

ЛУТ М.Т., МРАЧКОВСЬКИЙ А.М.



ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

КИЇВ – 2017

ЛУТ М.Т., МРАЧКОВСЬКИЙ А.М.

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

КИЇВ – 2017

УДК 621.316.54
ББК 31.264
Л82

Рекомендовано вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України, як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»(протокол № 4 від 23.11.17)

Рецензенти: Міроненко В.Г - д.т.н., професор, головний науковий співробітник Національного наукового центру ІМЕСГ Національної академії аграрних наук України»;

Мороз О.М. – д.т.н., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка;

Чміль А.І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри електроприводу і електротехнологій ім. С.П.Бондаренка Національного університету біоресурсів і природокористування України

Електричні апарати: Навч. посібник / М.Т.Лут., А.М.Мрачковський. За ред. А.М.Мрачковського. – К.: ЦП «Компринт», 2017.- 564 с.

У навчальному посібнику наведена класифікація електричних апаратів, розглянуті питання їх теорії і конструкції, вимоги до апаратів та сфери застосування.

Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ISBN 978-966-665-567-0

М.Т.Лут, А.М. Мрачковський

Вступ

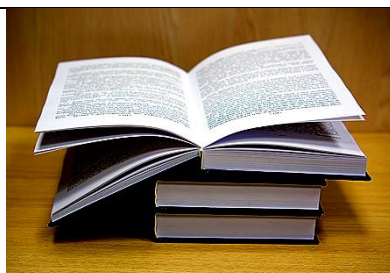
Перетворення електричної енергії в механічну за допомогою електродвигунів дозволяє легко і економічно вигідно приводити в рух всілякі робочі механізми: конвеєри, підйомно-транспортне устаткування, насоси, вентилятори, компресори, металорізальні верстати, прокатні стани, швейне устаткування та ін.

Завдяки простоті конструкції, високій надійності і невисокій вартості асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором (АД), є найбільш поширеним електродвигуном. Понад 85% всіх електричних машин — це трифазні асинхронні електродвигуни.

АД зазвичай розраховані на термін служби 15–20 років без капітального ремонту, за умови їх правильної експлуатації. Під правильною експлуатацією АД розуміється його робота відповідно до номінальних параметрів, вказаних в паспортних даних електродвигуна. Проте в реальних умовах мають місце значні відхилення від номінальних режимів експлуатації. Це, в першу чергу, погана якість напруги живлення і порушення правил технічної експлуатації: технологічні перевантаження, умови довкілля (підвищені вологість, температура), зниження опору ізоляції, порушення охолодження. Наслідком таких відхилень є аварійні режими роботи АД. В результаті аварій щороку виходять з ладу до 10% застосовуваних електродвигунів. Наприклад, 60% занурювальних електронасосних агрегатів пошкоджуються частіше одного протягом року. Вихід з ладу АД призводить до важких аварій і великого матеріального збитку, пов'язаного з простоєм технологічних процесів, усуненням наслідків аварій і ремонтом електродвигуна, що вийшов з ладу. Ремонт електричної машини потужністю до 1 кВт обходиться в 5–6\$ США. Аби оцінити, в що обійдеться ремонт потужнішої машини, треба просто помножити цю цифру на потужність двигуна. Окрім цього, робота на аварійних режимах веде до підвищеного енергоспоживання з мережі, збільшенню споживаної реактивної потужності.

Абсолютно вочевидь, що застосування надійного і ефективного захисту від аварійних режимів роботи значно скоротить кількість і частоту аварійних ситуацій і продовжить термін служби АД, скоротить витрату електроенергії і експлуатаційні витрати.

Змістовий модуль 1
Теоретичні засади



1. ПРОЦЕСИ КОМУТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

1.1 Основні закони комутації електричних кіл

1.2 Утворення електричної дуги в комутаційних апаратах

1.3 Процеси в дуговому проміжку

1.4 Вольт-амперні характеристики електричної дуги

1.5 Умови гасіння дуги постійного струму

1.6 Умови гасіння дуги змінного струму

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Електричне коло	Сукупність електротехнічних пристроїв та природних об'єктів, які утворюють шляхи для електричних струмів і електромагнітні процеси в яких можна описати за допомогою понять електрорушійної сили, струму та напруги	<i>electric circuit</i>
Схема електричного кола	Графічне зображення електричного кола, яке складається з умовних позначень його елементів та з'єднання	<i>electric circuit diagram</i>
Вітка електричного кола	Ділянка електричного кола, по елементах якої протікає один і той же струм	<i>branch</i>
Комутація (кола комутаційним апаратом)	Замикання (розмикання) електричного кола комутаційним апаратом, за якого відбувається практично стрибко-подібна зміна провідності електричного кола	<i>closing, switching</i>
Усталений режим (електричного кола)	Режим, в якому постійна чи періодична ЕРС, напруга та струм в колі існують досить довгий проміжок часу, зберігаючи незмінними свої параметри	<i>steated state</i>
Постійний електричний струм	Електричний струм, який не змінюється в часі Примітка. Аналогічно визначаються постійні ЕРС, напруга, МРС, магнітний потік, електричний заряд	<i>direct current</i>

Змінний електричний струм	Електричний струм, який не змінюється в часі Примітка. Аналогічно визначаються миттєві ЕРС, напруга, МРС, магнітний потік, електричний заряд	<i>alternatic current</i>
Синусоїдний електричний струм	Періодичний електричний струм, який є синусоїдною функцією часу. Примітка. Аналогічно визначаються миттєві ЕРС, напруга, МРС, магнітний потік, електричний заряд, що змінюється синусоїдно	<i>sine current</i>
Перехідний струм	Струм у колі під час перехідного процесу. Примітка. Аналогічно визначають перехідні: ЕРС, напругу, МРС, магнітний потік та ін..	<i>transient current</i>
Усталений струм	Періодичний чи постійний електричний струм, який встановлюється в електричному колі після закінчення перехідного процесу під впливом на коло періодичних чи постійних ЕРС чи напруг	<i>standing current</i>
Електричний опір (резистанс)	Чинник теплового розсіювання електричної енергії, який визначають як відношення постійної напруги на ділянці електричного кола до постійного струму в ній в разі відсутності на ділянці ЕРС	<i>resistor</i>
Резистор	Елемент електричного кола, призначений для використання його електричного опору	<i>resistor</i>
Індуктивна котушка (катушка індуктивності)	Елемент електричного кола, що являє собою сукупність витків, призначений для використання його індуктивності	<i>inductor</i>
Конденсатор	Елемент електричного кола, призначений для використання його ємності	<i>capacitor</i>
Активний електричний опір	Параметр електричного кола синусоїдного струму чи його елемента, що характеризує здатність теплового розсіювання електричної енергії і який визначають як відношення активної потужності, що поглинається пасивними елементами цього електричного кола, до	<i>resistance</i>

	квадрату діючого струму на вході цього кола чи елемента	
Повний електричний опір (імпеданс)	Параметр електричного кола синусоїдного струму чи його елемента, який дорівнює відношенню діючої напруги на затискачах пасивного електричного кола до діючого струму на вході цього кола за синусоїдальних напруги та струму	
Реактивний опір (реактанс)	Параметр електричного кола синусоїдного струму чи його елемента, який дорівнює кореню квадратному із різниці квадратів повного та активного опору кола, взятий із знаком плюс, якщо струм відстає за фазою від напруги, і із знаком мінус, якщо струм випереджає за фазою напругу	<i>reactance</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Струм постійний	<i>direct current</i>
AC	Струм змінний	<i>alternatic current</i>

Літерні позначення

<i>I</i>	Струм, сила струму
<i>U</i>	Напруга електрична, різниця електричних потенціалів
<i>R</i> або <i>r</i>	Опір електричний, (<i>опір електричний активний</i>)
<i>L</i>	Індуктивність власна
<i>C</i>	Ємність електрична
<i>E</i>	Сила електрорушійна (ЕРС)
<i>t</i>	Час

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. - 68 с.
2. ДСТУ 2815-94 Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. –105 с.

1.1 Основні закони комутації електричних кіл

Комутація електричних кіл – це операція замикання або розмикання електричних кіл, під час якої зміна його опору відбувається практично стрибкоподібно.

В контактному апараті вимкнення електричного кола (розімкнення контактів) фізично являє собою процес переходу міжконтактного проміжку апарата із стану провідника електричного струму до стану діелектрика (ізолятора). Відношення опору комутаційних елементів в розімкненому і замкненому станах складає $10^{10} - 10^{14}$.

В безконтактному апараті комутаційний елемент під впливом якихось електричних величин (електричне або магнітне поле, температура і т.д.) змінює свій опір («закриває» коло). Відношення опору у «закритому» та «відкритому» станах має значення $10^4 - 10^7$.

В контактних апаратів зміна опору комутаційного пристрою, а отже й струму в колі відбувається стрибкоподібно, тобто в обмежений (долі секунди) проміжок часу. Такий режим застосовується до апаратів з невеликим струмом і має назву **релейний**.

У безконтактних апаратів залежно від характеру (швидкості) зміни керуючого сигналу зміна опору комутаційного елемента може відбуватись як стрибкоподібно, так і плавно. У першому випадку апарат працює в комутаційному (релейному) режимі «відкрито» - «закрито», в другому – в режимі регулятора.

Кожне електричне коло володіє визначеною індуктивністю L та ємністю C . Перехід з одного стану в інший займає певний час, оскільки кожному встановленому стану кола відповідає визначений запас енергії електричних $W_e = CU^2/2$ та магнітних $W_m = LI^2/2$ кіл.

Ця енергія може змінюватись тільки безперервно.

Звідси слідують наступні закони комутації:

В початковий момент комутації струм в індуктивному колі залишається таким, яким він був безпосередньо перед комутацією, а потім поступово змінюється.

В початковий момент після комутації напруга ємнісного кола залишається такою, якою вона була безпосередньо перед комутацією, а потім поступово змінюється.

Струм в ємнісному колі може змінюватись стрибкоподібно.

1.2 Утворення електричної дуги в комутаційних апаратах

У комутаційних електричних апаратах, призначених для розмикання і замикання кола зі струмом, мають місце перехідні процеси, що призводять до ряду небажаних явищ (іонізація газу, затримка струму та ін.). В результаті цих явищ виникає розряд в газі, який може існувати або у вигляді тліючого розряду, або у вигляді дуги.

При аналізі та розрахунку процесів комутації необхідно враховувати такі загальні закони комутації:

- при комутації індуктивних електричних кіл струм і магнітний потік не можуть змінитися стрибком ($\frac{di}{dt} \neq \infty$ і $\frac{d\psi}{dt} \neq \infty$);
- при комутації ємнісних кіл напруга і електричний розряд не можуть змінитися стрибком ($\frac{dU}{dt} \neq \infty$, $\frac{dQ}{dt} \neq \infty$).

Дуговий розряд виникає тільки при великих струмах. Наприклад, для металів такий струм становить приблизно 0,5 А. Температура в центральній частині дуги, в електричних апаратах може досягати 6000...18000 К, густина струму на катоді надзвичайно велика - 100...1000 $\frac{A}{мм^2}$. Падіння напруги біля катоду становить всього 10 ... 20 В і практично не залежить від струму.

У дугового розряду можна розрізнити три характерні області: катодну, область стовпа дуги і анодну. У кожній з цих областей процеси іонізації і деіонізації протікають по-різному, залежно від умов, які там існують. Оскільки результуючий струм, що проходить через ці три області однаковий, в кожній з них відбуваються процеси, що забезпечують виникнення необхідної кількості зарядів.

Катодна область займає досить невеликий простір. Її довжина зазвичай не більше 10^{-6} м. Середня напруженість електричного поля біля катоду досягає 10 В/м. основними носіями струму в катодній області є електрони, що виходять з катоду. Поблизу катоду розташований позитивний об'ємний заряд, створюваний позитивними іонами. Між позитивним об'ємним зарядом і катодом виникає електричне поле, в якому рухаються електрони, що вийшли з катоду. Сили електричного поля впливають на електрони і збільшують їх швидкість. при зіткненні такого електрона з нейтральною частинкою може статися іонізація. Для того щоб іонізувати нейтральний атом, електрон повинен володіти певною енергією.

Напруга U_i (напруга розгону), яку необхідно прикласти до електрону, щоб той отримав енергію $W = U_i e$ (де e - абсолютне значення електричного заряду електрона), достатню для іонізації, називається потенціалом іонізації.

Для газів цей потенціал коливається від 24,58 В (гелій) до 13,8 В (водень). Пари металів мають значно менший потенціал іонізації (наприклад, для пари міді він дорівнює 7,7 В). Позитивні іони, так само як і електрони, розганяються електричним полем, але через велику масу ними отримується незначна швидкість. При ударі позитивного іона об нейтральну частку виділяється менше енергії, ніж при ударі електрона, тому іонізація ударом відбувається в основному за рахунок електронів.

Зважаючи на малу протяжність катодної області електрони не набирають швидкість, достатню для іонізації ударом. найчастіше після удару атом переходить у збуджений стан (електрон атома переходить на більш віддалену від ядра орбіту). Для іонізації збудженого атома потрібна менша енергія і в результаті необхідний потенціал іонізації зменшується. Така іонізація називається ступінчастою. При ступінчастій іонізації необхідні багаторазові удари електронів по атому, тобто для утворення кожного позитивного іона потрібні десятки електронів. Тому струм біля катоду, не зважаючи на наявність позитивних іонів, носить електронний характер. Утворені електрони не створюють поблизу катоду негативного об'ємного заряду, оскільки їх швидкість значно більше швидкості важких позитивних іонів. позитивні іони розганяються в полі, створюваному напругою катоду, і бомбардують катод. Завдяки цьому температура катоду піднімається і досягає температури випаровування матеріалу електрода. При високих температурах з'являється термоелектронна емісія катоду (див.п.1.3), яка в значною мірою залежить від його температури. Дослідження свідчать про те, що необхідно для існування дуги кількість електронів може бути отримана за рахунок автоелектронної емісії (див.п.1.3). Основним джерелом іонів є термічна іонізація. при високій температурі швидкість частки зростає до величини, при якій удар в нейтральний атом призводить до його іонізації. Чим менша маса частки, тим більша її швидкість руху.

Аналіз процесів, що протікають в дузі, показує, що чим більший тиск газу, тим нижча ступінь іонізації. У зв'язку з цим у багатьох дугогасних пристроях створюється підвищений тиск газу, що сприяє гасінню дуги. Як уже було відзначено, дуже сильний вплив на іонізацію чинить температура. Для великої кількості двоатомних газів через ступінчасту іонізацію процес утворення іонів починається при температурах 3000...4000 К. У зв'язку з цим в дугогасних пристроях необхідно вживати заходів, що перешкоджають попаданню пари металу електродів в стовп дуги. До таких заходів належать зменшення перерізу плавких вставок запобіжників, переміщення дуги по електродах, що знижує температуру електродів, а отже, їх випаровування, і ряд інших.

Оскільки ступінь іонізації визначається температурою, у всіх без винятку дугогасних пристроях прагнуть відводити теплоту від дуги або за рахунок охолодження рухомим повітрям або газом повітряні, масляні вимикачі, або за рахунок тепловіддачі стінок дугогасної камери.

1.3. Процеси в дуговому проміжку

Дуговий розряд виникає у випадках, коли значення струму і напруги на контактах перевищують деякі критичні значення, які залежать від матеріалу контактів, параметрів кола, навколишнього середовища та інших факторів.

На мідних контактах за нормального атмосферного тиску дуга виникає при струмах, які перевищують 0,5А і напрузі не нижче 15В.

Виникнення і горіння дуги в повітряному проміжку між контактами свідчить про іонізацію цього проміжку.

В звичайних умовах повітря є ізолятором, для пробою повітряного проміжку в 1см при атмосферному тиску необхідно прикласти напругу не менше 30кВ.

Для того, щоб повітряний проміжок став провідником, необхідно створити в ньому концентрацію заряджених частинок: негативних і позитивних.

Як відомо, процес відділення від нейтральної частинки одного чи декількох електронів і створення позитивних іонів називається іонізацією.

Фізично процес розмикання електричного кола полягає в деіонізації повітряного проміжку між контактами, тобто відновлення його діелектричних властивостей і завершенні електричного розряду.

Явище проходження електричного струму через газ називається газовим розрядом (рис.1.1) і відбувається при будь яких значення струму.

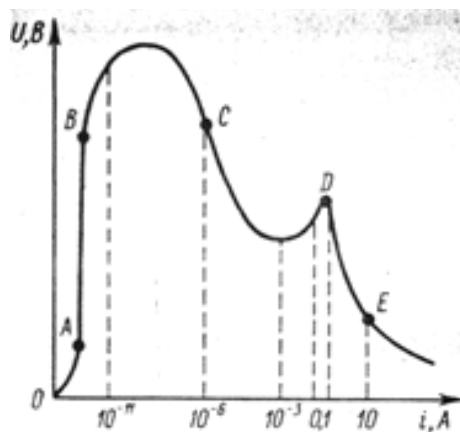


Рисунок 1.1 - Вольт-амперна характеристика газового розряду

Автоелектронна емісія - явище виходу електронів з катоду під дією сильного електричного поля 105 В/см і більше. Така напруженість на катоді може створюватись просторовими зарядами, а також в процесі розходження контактів. Струм автоелектронної емісії малий і достатній тільки для початку розвитку дугового розряду.

Термоелектронна емісія – явище випуску електронів з нагрітої поверхні при розходженні контактів. На від'ємному електроді утворюється катодна пляма (розплавлена площадка), яка є основою дуги випромінювання електронів. Струм термоелектронної емісії також малий, достатній лише для виникнення електричної дуги, але не достатній для її горіння.

Якщо вільний електрон буде володіти достатньою швидкістю, то при зіткненні з атомом може вибити з нього електрон, в результаті чого виникає вільний електрон і позитивний іон. Отриманий електрон може, в свою чергу, іонізувати наступну частинку. Така іонізація називається іонізацією поштовхом.

Термічна іонізація – процес іонізації під дією високої температури (3000 – 6000 K).

Рекомбінація – процес, при якому позитивно і від'ємно заряджені частинки зіштовхуючись утворюють нейтральні частинки.

Дифузія – процес винесення заряджених часток з дугового проміжку в атмосферу, що зменшує провідність дуги.

Із розглянутих процесів іонізації і деіонізації слідує наступний висновок: основним фактором горіння дуги являється її висока температура (термічна іонізація) і всебічне інтенсивне охолодження дуги є найкращим способом її гасіння.

Гази з високою теплопровідністю і теплоємністю мають найкращі дугогасні властивості.

Наприклад: кисень, вуглекислий газ, водяний пар і водень мають відносно до повітря теплопровідність 1,8; 2,5; 5; 17 і відповідні дугогасні властивості.

1.4 Вольт-амперні характеристики електричної дуги

Найважливішою характеристикою дуги є залежність напруги на ній від величини струму. Ця характеристика називається вольт-амперною (рис.1.2). З ростом струму підвищується температура дуги, посилюється термічна іонізація, зростає число іонізованих часток в розряді і падає електричний опір дуги r_d . Напруга на дузі становить $U_d = I r_d$. При збільшенні струму опір дуги зменшується так різко, що напруга на дузі падає, незважаючи на те, що струм

в колі зростає. Кожному значенню струму у встановленому режимі відповідає свій динамічний баланс числа заряджених часток.

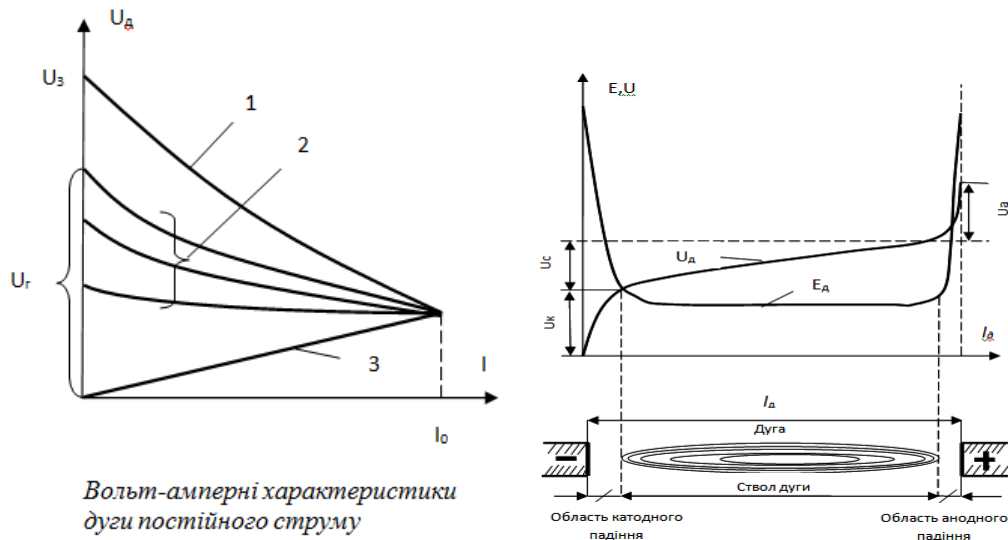


Рисунок 1.2 - Розподіл напруги та градієнта напруг в стаціонарній дузі постійного струму

При більшому значенні струму збільшується число виникаючих зарядів. Однак при цьому зростає число зникаючих зарядів, тому результуюча швидкість зміни числа заряджених часток при новому значенні струму дорівнює нулю.

При переході від одного значення струму до іншого тепловий стан дуги не змінюється миттєво. Дуговий проміжок володіє тепловою інерцією. Якщо струм змінюється в часі повільно, то тепла інерція розряду не позначається. Кожному значенню струму відповідає однозначне значення опору дуги або напруги на ній.

Залежність напруги на дузі від струму при повільній його зміні називається статичною вольт-амперною характеристикою дуги. Статична характеристика дуги залежить від відстані між електродами (довжини дуги), матеріалу електродів і параметрів середовища, в якому горить дуга. Напругу на дузі U_d можна розглядати як суму біля-електродних падінь напруги U_{ϵ} і падіння напруги в стовпі дуги:

$$U_d = U_{\epsilon} + El \quad (1.1)$$

де E - напруженість електричного поля в стовпі дуги; l - довжина на дуги.

Величина E залежить від струму і умов, в яких горить дуга. Статичні вольт-амперні характеристики дуги зображені на рис.1.2. Чим більша довжина дуги, тим вище знаходиться її статична вольт-амперна характеристика. З ростом тиску середовища, в якому горить дуга, напруженість E збільшується і вольт-амперна характеристика піднімається вище.

Охолодження дуги істотно впливає на цю характеристику. Чим інтенсивніше охолодження дуги, тим більша від неї відводиться потужність. При цьому повинна зростати потужність, виділена дугою. При заданому струмі це можливо за рахунок збільшення напруги на дузі. Таким чином, з ростом охолодження вольт-амперна характеристика піднімається. Цим широко користуються в дугогасних пристроях електричних апаратів.

Розглянемо баланс напруг в колі, схема якої приведена на рис.1.3, а, при дузі, що має незмінну довжину. Записати його можна наступним чином:

$$U = iR + \frac{Ldi}{dt} + U_d \quad (1.2)$$

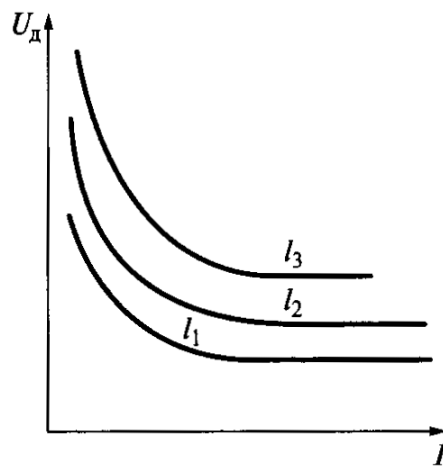


Рисунок 1.3 - Вольт-амперна характеристика дуги при різній її довжині (l_1, l_2, l_3)

Очевидно, що стаціонарним режимом буде такий, при якому струм в колі не змінюється, тобто $\frac{di}{dt} = 0$. На рис.4, б спільно з вольт-амперною характеристикою дуги побудована похила пряма $U - iR$.

Розглянемо більш докладно рівновагу напруг поблизу цих точок. Якщо з яких-небудь причин напруга в мережі знижується до значення U' , то точка зрівноваженого стану 2 переходить у 2'; при цьому величина струму зменшується до значення i'_2 , що визначається перетином вольт-амперної характеристики з прямою $U' - iR$ (на рис.1.4, б не показана).

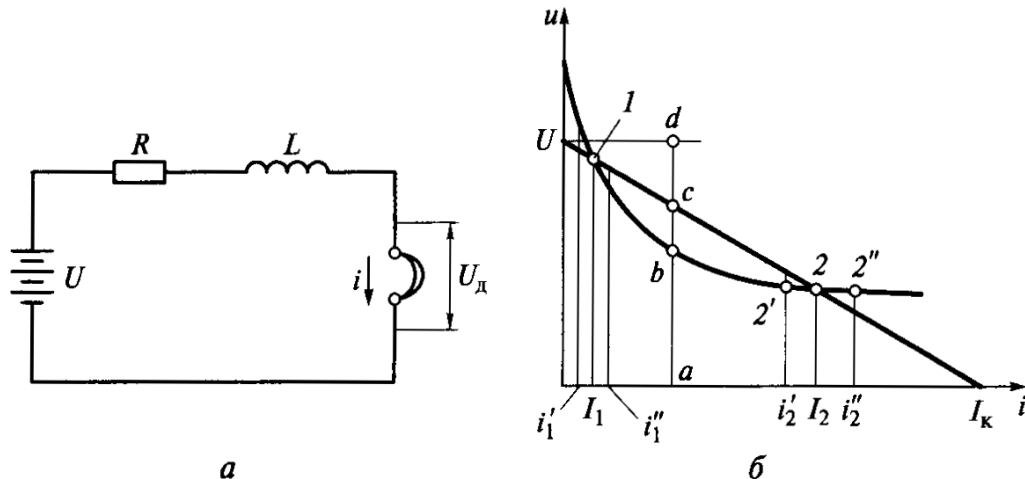


Рисунок 1.4 - Баланс напруги в електричному колі з дугою: а - схема кола; б - вольт-амперна характеристика дуги і пряма $U - iR$.

Тепер припустимо, що напруга джерела відновлюється до колишнього значення U . При струмі i_2 величина $U - iR > U_d$, тому $\frac{Ldi}{dt} > 0$. Таким чином, при струмі i'_2 , на котушці індуктивності виникає позитивна напруга $\frac{Ldi}{dt}$, яка збільшує струм (похідна позитивна у зростаючій в часі величині). Процес триватиме до тих пір, поки напруга $\frac{Ldi}{dt}$ не стане рівною нулю, тобто поки ми не потрапимо в точку 2. Якщо ж з яких-небудь причин, наприклад через зростання напруги джерела живлення, струм стане рівним i''_2 , $i''_2 > I_2$, після чого напруга джерела повернеться до попереднього значення U , то на котушці індуктивності виникне напруга $\frac{Ldi}{dt} < 0$. При цьому струм i''_2 буде зменшуватися, поки не стане рівним струму i_2 . Точка 2 є точкою стійкої рівноваги: при виході з неї виникають процеси, які повертають коло в стан, що відповідає цій точці.

Тепер розглянемо процес зміни струму поблизу точки 1. Нехай струм в колі стає рівним i'_1 при цьому $1 < I_1$. Очевидно, що в цьому випадку на котушці індуктивності виникає напруга $\frac{Ldi}{dt} < 0$ і струм в колі буде спадати до тих пір, поки дуга згасне. Якщо струм в колі стає рівним i''_1 , при цьому $1 < I_1$, виникає напруга $\frac{Ldi}{dt} > 0$. Струм буде зростати до значення i_2 . Таким чином, точка 1 є точкою нестійкої рівноваги: при виході з неї струм в колі стає рівним або I_2 , або нулю (дуга гасне).

При створенні електричних апаратів вживають всіх заходів для того, щоб дуга гасла за мінімально короткий час. Очевидно, для гасіння дуги при

всіх значеннях струму напруга $\frac{Ldi}{dt}$ має бути менше нуля. Для виконання цієї умови необхідно, щоб

$$U_d > U - IR \quad (1.3)$$

Це можливо або за рахунок підняття вольт-амперної характеристики, або за рахунок збільшення опору кола.

Вольт-амперна характеристика дуги може бути піднята шляхом збільшення довжини дуги, інтенсивного охолодження, підвищення тиску середовища, в якому горить дуга. При замкнених контактах дуга відсутня і струм в колі дорівнює $I_k = \frac{U}{R}$. При розмиканні контактів між ними виникає дуга зі струмом I_2 . Якщо довжина дуги і напруга джерела живлення незмінні, то при збільшенні опору кола струм в ній буде зменшуватися від значення i_2 до $i_{кр}$ (рис.1.4). При подальшому зростанні опору дотримується нерівність $U_d > U - iR$, тобто створюються умови для гасіння дуги. Якщо при незмінному значенні струму кола I_k збільшити напругу живлення U чи при незмінному значенні напруги U збільшити струм кола I_k , то пряма $U - IR$ буде проходити вище. Тоді для дотримання умови гасіння дуги (рис.1.5) необхідно підняти вольт-амперну характеристику дуги. Таким чином, з ростом струму вимкнення і напруги джерела умови вимкнення ускладнюються.

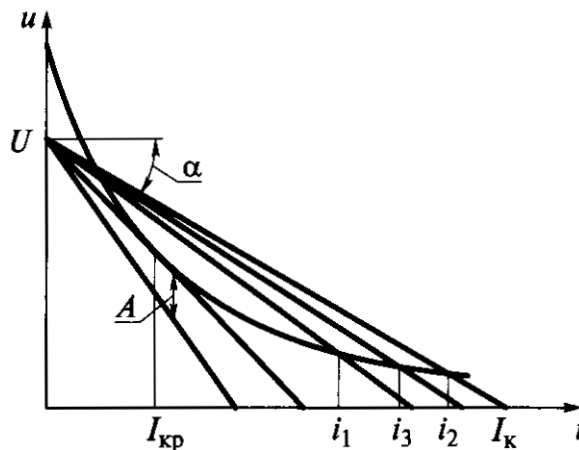


Рисунок 1.5 - Струм в колі при різних значеннях опору R (різних кутах α) і наявності дуги (зрізів A відповідає $U = \frac{Ldi}{dt} < 0$)

Аналіз рисунка 1.5 показує, що за рахунок зміни опору R можна зняти статичну характеристику тільки при струмах не менше $I_{кр}$. Для того щоб зняти цю залежність при менших струмах, необхідно збільшити напругу

живлення. Визначимо тривалість t_d горіння дуги. Позначимо $\Delta U = \left| \frac{Ldi}{dt} \right|$. Провівши інтегрування, отримаємо

$$t_d = L \int_{I_k}^0 \frac{di}{\Delta U} \quad (1.4)$$

Таким чином, чим більше ΔU , тим менше тривалість горіння дуги. Але збільшення ΔU призводить до зростання напруги на контактах в момент гасіння дуги.

Напруга на контактах в момент $i = 0$ називається напругою гасіння дуги. При $i = 0$ рівняння (1.3) приймає вид:

$$U = \frac{Ldi}{dt} + U_{\text{гас}} \quad (1.5)$$

Звідси

$$U_{\text{гас}} = U - \frac{Ldi}{dt} \quad (1.6)$$

Але оскільки $\frac{Ldi}{dt} < 0$ то можна записати:

$$U_{\text{гас}} = U + \left| \frac{Ldi}{dt} \right| \quad (1.7)$$

Таким чином в момент гасіння дуги напруга на контактах дорівнює напрузі джерела плюс модуль напруги на котушці індуктивності. Збільшення напруги на контактах щодо напруги джерела живлення називається перенапругою. Чим більше індуктивність і швидкість спаду струму в момент гасіння, тим більша перенапруга. Швидкість спаду струму $\frac{di}{dt}$ залежить від швидкості його деіонізації. Тому в швидкодіючих апаратах, що вимикають коло постійного струму за соті частки секунди, можуть виникати великі перенапруги.

На швидкість спаду струму впливає індуктивність комутованого кола. Чим більша її величина, тим менша швидкість спаду струму при інших рівних умовах. Перенапругу характеризують коефіцієнтом перенапруги:

$$k = \frac{U_{\text{гас}}}{U} = 1 + \frac{\left| \frac{Ldi}{dt} \right|}{U} \quad (1.8)$$

Напруга, що виникає на контактах, може в десятки разів перевищувати напругу джерела живлення. При цьому ізоляція як самого апарату, так і кола, яке ним вимикається, піддається небезпечним перевантаженням. Для зменшення тривалості горіння дуги бажано, щоб значення $\frac{Ldi}{dt}$ при всіх струмах було великим. В той ж час для зниження перенапруги бажано, щоб значення $\frac{Ldi}{dt}$ були малими. У зв'язку з цим в дугогасних пристроях постійного струму прагнуть мати більші значення $\frac{Ldi}{dt}$ при великих струмах і малі при струмах, близьких до нуля. Якщо струм в колі змінюється повільно, то

струму i_1 відповідає опір r_1 , а більшому струму i_2 відповідає менший опір r_2 (див. статичну характеристику дуги - крива A на рис.1.5). В електричних установках струм може змінюватися досить швидко. Внаслідок теплової інерції дугового стовпа зміна опору дуги відстає від зміни струму. Залежність напруги на дузі від струму при швидкій його зміні називається динамічною вольт-амперною характеристикою дуги. При зростанні струму динамічна характеристика йде вище статичної (крива B на рис.1.6), оскільки при швидкому зростанні струму опір дуги падає повільніше, ніж зростає струм. При зменшенні струму динамічна характеристика йде нижче (крива C на рис.6), оскільки в цьому режимі опір дуги менше, ніж при повільній зміні струму.

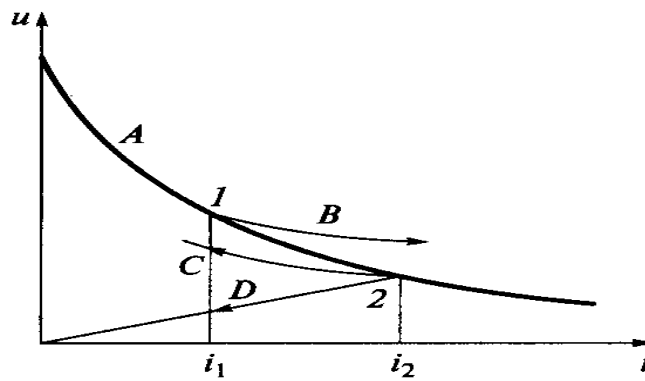


Рисунок 1.6 - Статична і динамічна вольт-амперна характеристика дуги

Динамічна характеристика значною мірою визначається швидкістю зміни струму в дузі. Якщо в коло ввести дуже великий опір за час, нескінченно малий в порівнянні з тепловою сталою часу дуги, то протягом часу спаду струму до нуля, опір дуги залишається постійним. В цьому випадку динамічна характеристика являє собою пряму лінію, що йде з точки 2 в початок координат (пряма D), тобто дуга поводить себе як металевий провідник, оскільки напруга на дузі пропорційна струму.

У реальному апараті після розмикання контактів відстань між ними змінюється, тобто дуга має змінну довжину. По мірі збільшення довжини дуги струм буде приймати значення, відповідні точкам перетину швидко мінливих статичних характеристик з прямою $U - iR$, поки не досягне критичної позначки I_{KP} . При подальшому збільшенні довжини дуги настануть умови для її гасіння. Довжина дуги, при якій статична характеристика описується прямою $U - iR$, називається критичною довжиною дуги. Після досягнення дугою цієї довжини струм швидко зменшується до нуля і дуга гасне. У колі з великою індуктивністю спад струму сповільнюється, вольт-

амперна характеристика дуги відразу ж після розмикання контактів піднімається вище прямої $U - iR$. Слід зазначити що в момент гасіння дуги можливі великі перенапруги.

Результати дослідів показують, що для всіх апаратів з дугогасними пристроями енергія, яка надходить в дугу від джерела живлення, становить всього 3...5% енергії дуги. Решта (97...95%) припадає на електромагнітну енергію, вимкнення контуру. Енергія, що виділяється в дузі, частково витрачається на підвищення температури розряду, а частково віддається навколишньому середовищу. Для гасіння дуги необхідно, щоб температура розряду зменшувалася, тобто щоб енергетичний баланс дуги був негативним: кількість енергії, що підводиться до дуги, має бути менше кількості теплоти, що відводиться від неї.

При вимкненні кола з великою індуктивністю електромагнітну енергію контуру, що виділяється в дузі, необхідно відводити від неї за рахунок охолодження. Чим більша індуктивність кола і струм вимкнення, тим важче вимкнути коло.

1.5 Умови гасіння дуги постійного струму

Щоб загасити дугу постійного струму, необхідно створити такі умови, при яких у дуговому проміжку, при всіх значеннях струму від початкового до кінцевого (нульового) значення процеси деіонізації переважали б над процесами іонізації.

Для електричного кола з опором R , індуктивністю L і дуговим проміжком з падінням напруги U_d для будь-якого моменту часу буде відповідати рівняння:

$$U = U_d + i + R + L \frac{di}{dt} \quad (1.9)$$

де: $L \frac{di}{dt}$ - падіння напруги на індуктивності при зміні струму.

При дузі, що горить стало $\frac{di}{dt} = 0$, і відповідно

$$U = U_d + i + R$$

Для гасіння дуги необхідно створити умови, щоб струм у дузі постійно зменшувався. Це означає, що $\frac{di}{dt} < 0$, а

$$U_d > U - i \cdot R,$$

через нуль кожного півперіоду, тобто, дуга гасне і запалюється знову. При цьому завдання гасіння дуги дещо полегшується, а саме для ефективного гасіння дуги необхідно створити умови, при яких струм не відновився б після проходження через природний нуль.

На рис.1.7 наведено криві зміни струму і напруги на дуговому проміжку при змінному струмові. В момент появи струму в колі різко збільшується напруга $U_{зп}$, (напруга запалювання). Із збільшенням струму падіння напруги на дузі зменшується і досягає мінімуму при максимальному струмові. Згодом напруга на дузі знову зростає і досягає значення напруги згасання $U_з$ в момент, коли струм в колі дорівнює нулю.

При переході струму через нуль має місце безструмова пауза $t_1 = 0$, під час якої відбувається інтенсивна деіонізація дугового проміжку, що призводить до зменшення його провідності, збільшення опору і полегшує умови гасіння дуги.

Повторне запалювання дуги в наступний півперіод пов'язане з пробоем міжконтактного проміжку і чим триваліше проміжок буде деіонізований, тим більша напруга буде потрібна для його пробоя і повторного запалювання дуги.

Таким чином: раціональною умовою гасіння дуги змінного струму при розмиканні контактів вважається гасіння при переході струму в колі через нуль.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Чим обумовлене утворення електричної дуги в комутаційних апаратах при їх розмиканні?
2. Який вплив чинить електрична дуга на роботу контактів комутаційного апарату?
3. Яка напруга називається напругою гасіння дуги і як вона визначається?
4. Назвіть способи зниження шкідливого впливу електричної дуги на роботу контактів комутаційного апарату.
5. Назвіть умови гасіння дуги в колі постійного струму.
6. Як загасити дугу в колі змінного струму?
7. Які процеси відбуваються в дуговому проміжку?
8. Назвіть основні закони комутації електричних кіл.
9. Поясніть, що являє собою вольт – амперна характеристика електричної дуги.

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

2. ЕЛЕКТРИЧНІ КОНТАКТИ

- 2.1 Загальні відомості
- 2.2 Перехідний опір контакту
- 2.3 Матеріали контактів
- 2.4 Конструкції контактів
- 2.5 Режими роботи контактів
- 2.6 Зношування контактів
- 2.7 Зварювання контактів

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Контакт (апарату)	Два (або більше) провідники, призначені для встановлення неперервності кола, якого вони торкаються, і які внаслідок їх взаємного переміщення під час оперування замикають чи розмикають коло	<i>Contact</i>
Контакт електричного реле	Сукупність контактних елементів з їх ізоляцією, які внаслідок їх відносного переміщення забезпечують замкнення чи розімкнення кола контакту електричного реле	<i>contact assembly of a relay</i>
Контакт керування контактного апарату	Допоміжний контакт контактного апарата, ввімкнений у коло його керування	<i>Control contact of a mechanical switching device</i>
Контакт-деталь електричного реле	Частина контактної деталі електричного реле, за допомогою якої відбувається замкнення чи розімкнення контакту	<i>contact tip of a relay, contact point of a relay</i>
Контакт-деталь контактної апарату	Струмівідна деталь контактної апарату, призначена для того, щоб у разі стикання чи роз'єднання з іншою струмівідною деталлю здійснювати комутацію електричного кола	<i>contact piece of a mechanical switching device</i>
Контактотримач контактної апарату	Деталь контактної апарату, до якої прикріплюється контакт-деталь	<i>contact holder of a mechanical switching device</i>

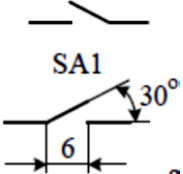
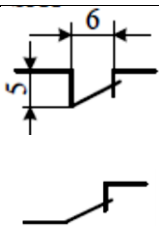
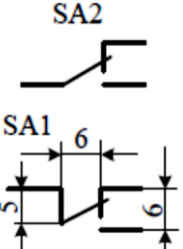
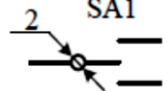
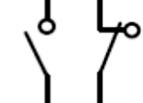
Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Струм постійний	<i>direct current</i>
AC	Струм змінний	<i>alternatic current</i>

Літерні позначення

ρ	Опір електричний питомий
R	Опір електричний, (<i>опір електричний активний</i>)

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	S	Контакт замикаючий
		Контакт розмикаючий
	SA	Контакт перемикаючий
		Контакт перемикаючий з нейтральним центральним положенням
		Контакт із самоповерненням: замикаючий і розмикаючий
		Контакт без самоповернення: замикаючий і розмикаючий

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.
2. ДСТУ 2290-93 (ІЕС 60441:1974, NEQ). Контакти електричні. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1995

2.1 Загальні відомості

Електричні апарати складаються з окремих деталей (провідників), електрично з'єднаних між собою.

Дотик частин, які забезпечують безперервність електричного кола, називаються електричним контактом; деталь, яка дотикається до іншої деталі при утворенні електричного контакту, називається контакт-деталлю; утворення та існування електричного контакту – електричним контактуванням.

Електричний контакт являє собою місце переходу струму із однієї струмовідної деталі в іншу. Конструкційно контакт для комутації електричного кола виконують у вигляді контактного вузла, що складається із двох (кількох) контакт-деталей. Як правило контактний вузол це поєднання нерухомого і рухомого контактів, хоча нерухомий контакт також може незначно переміщатися, що пов'язано з пружними і температурними деформаціями деталей комутаційного апарату.

За можливого переміщення цих частин одна відносно одної при заданому дії пристрою контакти електричних кіл можуть бути розділені на три групи: розбірні, комутуючі і ковзаючі.

Розбірні контакти - це ті, у яких в процесі роботи деталі не переміщаються одна відносно одної, а залишаються надійно скріпленими. Наприклад, болтове з'єднання шин, приєднання провідників до затискачів і т.д.

Комутуючі контакти - це ті, які в процесі роботи замикають, розмикають або перемикають коло, в якому тече або може протікати струм. Наприклад, контакти вимикачів, контакторів, рубильників і т.п.

Ковзні контакти - різновид комутуючих контактів, у яких одна з деталей переміщається (ковзає) відносно іншої, але електричний контакт при цьому не порушується. Наприклад, контакти реостатів, щітковий контакт електричних колекторних машин, шарнірний контакт.

Слід розрізняти умовну і ефективну площі контактування. Як би ретельно не були відшліфовані контактні поверхні, вони все ж будуть мати мікроскопічні горбки і шорсткості. Тому фізично дві поверхні будуть контактувати не всією умовної площею робочої поверхні контакту-деталі (рис.2.1, в), а лише окремими мікроскопічними майданчиками (рис.2.1, д). Кількість майданчиків контактування і їх розташування залежать від геометричних форм контактуючих деталей.

За формою контактування розрізняють три типи контактів: точковий, лінійний, поверхневий.

1) точковий - контактування здійснюється тільки на одному майданчику - точці (рис.2.1, а і г). Наприклад, сфера-сфера, сфера-площину, конус-площину і т. д. Тут умовна і фізична картини контактування збігаються;

2) лінійний - умовне контактування деталей відбувається по лінії (рис.2.1, б і д). Наприклад, циліндр - циліндр (по твірній), циліндр - площина, виток - виток і т.д. Фізична картина контактування буде представлена кількома майданчиками (мінімум два), розташованими на лінії;

3) поверхневий - умовне контактування відбувається по поверхні (рис.2.1, в), фізичне - на ряді майданчиків (мінімум три), розташованих на цій поверхні.

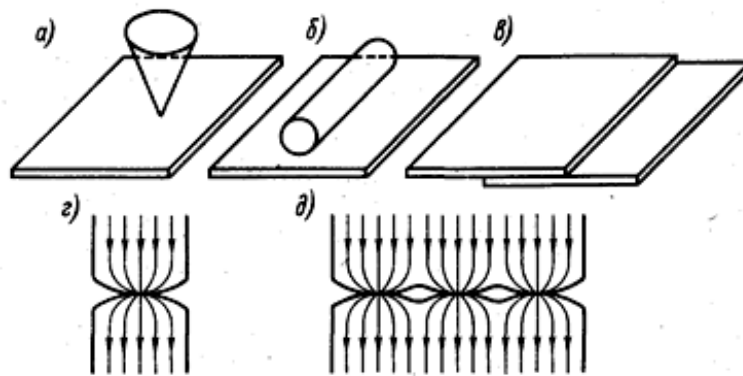


Рисунок 2.1 - Типи контактів, умови і фізична картини контактування

Розміри майданчиків контактування пропорційні зусиллю, яке стискає контакт-деталі, і залежать від опору зминанню матеріалу, з якого вони виготовлені. Якщо дві деталі контактують на одному майданчику, то його розмір в першому наближенні

$$q = P / \delta \quad (2.1)$$

де P - зусилля, що стискає деталі;

δ - тимчасовий опір матеріалу зминанню.

Якщо деталі контактують на m майданчиках, то розмір кожного визначиться тим же рівнянням, а їх загальна площа буде дорівнювати сумі площ окремих майданчиків. У першому наближенні зусилля стиснення для кожного майданчика можна вважати рівним

$$P = P / m \quad (2.2)$$

Співвідношення (2.1) з достатнім наближенням справедливо до деякого значення зусилля P . Із зростанням зусилля стиснення зростання розмірів майданчиків дотикання сповільнюється, починається усаджування всієї

площі контакту. Звідси випливає, що збільшення зусилля натискання контактів вище певної межі є недоцільним.

Тип контакту визначається його призначенням, значеннями струму і контактного натиснення, конструкцією контактної вузла і всього комутаційного апарату. При цьому слід завжди мати на увазі, що багатоточкове контактування забезпечує більш надійний контакт.

2.2 Перехідний опір контакту

Важливою характеристикою є опір електричного контакту, що складається із невеликого власного опору контакт-деталей і перехідного опору.

Перехідний опір в свою чергу складається із опору, що виникає внаслідок зменшення площі контактування, і опору окисних, масляних, сульфідних, газових плівок та пилю, які покривають поверхню контактів і мають низьку електричну провідність.

Перехідний опір залежить як від геометричних розмірів і матеріалу контактів, так і від шорсткості контактуючих поверхонь. Дотикання контактів проходить не по всій площі, а лише по вершинах мікронерівностей. Із збільшення контактної натискання мікронерівності зминаються і площа контактування збільшується. Окрім цього, водночас проходить руйнування плівки окислу, що покриває поверхню контакту.

В місці переходу струму з однієї деталі в іншу має місце відносно великий опір, який називається перехідним опором контактів.

Перехідний опір контактів R_n визначається опором звужених ділянок, по яких проходить струм до майданчика контактування, і наближено визначається наступною формулою:

$$R_n = \varepsilon / P^n, \quad (2.3)$$

де: ε - стала, яка залежить від матеріалу, форми і стану контактів ($\varepsilon_{Cu} = 0,001$; $\varepsilon_{Ag} = 0,0005$; $\varepsilon_{Al} = 0,0016$),

P – зусилля натискання на контакт-деталь,

n - показник, який характеризує кількість точок контактування ($n=0.5$ - для одноточкового контакту; $n=0.7...0.8$ - для лінійного контакту; $n=1$ - для площинного контакту).

Залежність перехідного опору від температури. Із протіканням струму через контакти на них виділяється теплова енергія ($I^2 \cdot R_{пер}$), що викликає їх нагрівання, перехідний опір зростає, що в свою чергу призводить до збільшення тепловиділення:

$$R_k = R_{k0} \left(1 + \frac{2}{3} \alpha \times \tau \right), \quad (2.4)$$

де α - температурний коефіцієнт перехідного опору.

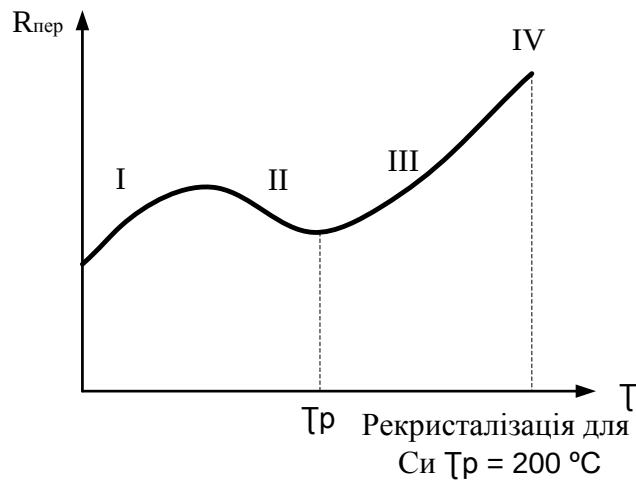


Рисунок 2.2 - Залежність перехідного опору від температури:

I - наростання перехідного опору $R_{\text{пер}}$ до температури, при якій відбувається

II - зменшення перехідного опору $R_{\text{пер}}$ при температурі τ рекристалізації (відбувається розм'якшення контактів і їх змінання);

III - при подальшому підвищенні температури перехідний опір $R_{\text{пер}}$ зростає до температури плавлення матеріалу $\theta_{\text{пл}}$;

IV - на цій ділянці при температурі плавлення контакти зварюються і перехідний опір $R_{\text{пер}}$ практично падає до 0 ($\theta_{\text{пл}}$ для міді приблизно дорівнює +1100°C).

Допустимі значення робочої температури контактів не повинні перевищувати 100-120°C. За таких обставин із збільшенням номінального струму комутаційного апарату перехідний опір має бути зменшений, що потребує підвищення зусилля контактного натискання. Окрім цього, необхідно збільшити поверхню охолодження, і відповідно розміри контактного вузла. За більш високої температури нагрівання контактів проходить розм'якшення і змінання мікронерівностей, площа контактування збільшується і перехідний опір падає. Зрештою дуже висока температура призводить до зварювання контактів та знижує перехідний опір до нуля.

Залежність перехідного опору від контактного натиску. Ця залежність відповідно до рівняння (2.3) представлена на рис.2.3. Крива 1 відповідає процесу зростання контактного натиснення, крива 2 - зниження натиснення. Різний хід кривих пояснюється наявністю залишкових

деформацій окремих горбків, на яких відбувалося дотикання контакт - деталей.

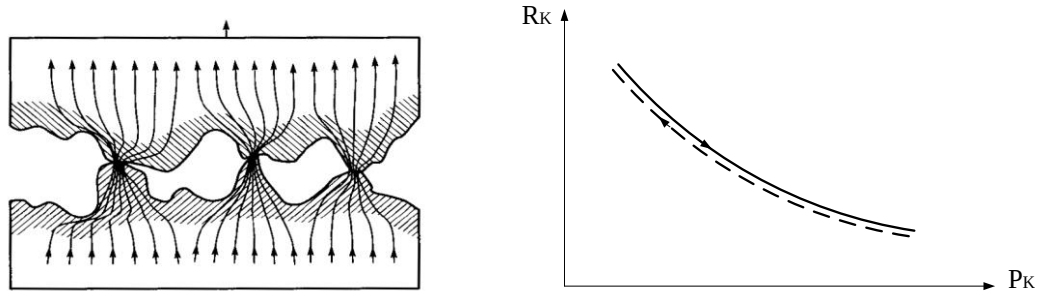


Рисунок 2.3 - Залежність перехідного опору $R_{\text{пер}}$ від зусилля натиснення контакт-деталей P_k .

Слід зазначити, що при одному і тому ж натисненні перехідний опір одного і того ж контакту при кожному замиканні може бути різним і відрізнятися в досить широких межах: у великих при малих натисненнях і в менших при великих натисненнях (більше 100 Н). Пояснюється це тим, що кількість і розмір майданчиків контактування при кожному замиканні можуть бути різними. Значення перехідного опору залежно від натиснення практично виражається не якоюсь кривою, а областю, обмеженою двома кривими.

Величина контактного натиснення P_k визначається за формулою:

$$P_k = \frac{K_M}{0.102 P_k^m} \quad (2.5)$$

де m - показник степені, що залежить від форми контактів: $m = 0,5 \dots 0,8$ - для точкових контактів; $0,8$ - для лінійних контактів; 1 - для поверхневих контактів; K_M - коефіцієнт, що залежить від матеріалу, з якого виготовлені контакти.

Залежність перехідного опору від стану поверхні контактів. Шліфування контактної поверхні збільшує перехідний опір $R_{\text{пер}}$. Контакти сильноточкових апаратів повинні зачищатися тільки грубозернистими напилками, але не наждачним папером. При шліфуванні горбки на поверхні стають більш пологими і змінання їх затруднюється.

Залежність перехідного опору від матеріалу контактів. Перехідний опір надзвичайно чутливий до окислення поверхні з огляду на те, що оксиди багатьох металів (зокрема, міді) є поганими провідниками. У мідних

відкритих контактів внаслідок їх окислення з часом перехідний опір може зрости в тисячі разів у вимкненому стані і в сотні разів в увімкненому.

У процесі тривалого перебування під струмом на поверхні замкнених контактів також виникають окисні плівки, які погано проводять струм. Вони проникають до майданчиків контактування і, збільшуючи тим самим перехідний опір, можуть вивести контакти з ладу. Підвищення температури прискорює ріст поверхневих плівок і скорочує проміжок часу, що призводить до втрати робото здатності контактів. Підвищення контактного натискання, навпаки, ускладнює проникнення окисних плівок до майданчиків контактування, підвищуючи тим самим термін служби контактів.

Оксиди срібла мають електричну провідність, близьку до провідності чистого срібла. При підвищених температурах оксиди срібла руйнуються. Тому перехідний опір контактів зі срібла, а також з срібловмістких металокерамічних композиційних матеріалів практично не змінюється з плином часу. Він навіть може знизитися внаслідок повільної пластичної деформації матеріалу на майданчиках контактування. Саме тому для мідних контактів необхідно застосовувати заходи боротьби з окисленням їх робочих поверхонь.

У розбірних з'єднаннях виконують антикорозійні покриття робочих поверхонь - сріблять, лудять, кадмують, іноді нікелюють і цинкують. Застосовують покриття робочих поверхонь нейтральним мастилом (наприклад, вазеліном) після зачищення їх напилком. Після складання контактного з'єднання шви повинні бути закладені (герметизовані) асфальтовим або емалевим лаком.

Комутуючі контакти, які тривалий час працюють під струмом, що не вимикається, виконуються, як правило, зі срібла або металокераміки на основі срібла. Для мідних контактів знижується значення струму навантаження в порівнянні з допустимим для 8-годинного режиму. Тим самим зменшуються нагрівання контактів та інтенсивність їх окислення. Якщо це допустимо за технологічними умовами, рекомендується апарати з мідними контактами періодично, після 8 - 12 годин роботи, вимикати 2 - 3 рази під струмом і знову вмикати. Електрична дуга, що виникає при вимкненні контактів, спалює оксиди, і їх перехідний опір знижується. У багатьох апаратах (контактори, автоматичні вимикачі) кінематична схема передбачає при замиканні деяке проковзування одного контакту по іншому. Новоутворена окисна плівка при цьому стирається.

Матеріали більшої твердості мають більший перехідний опір і потребують більшого контактного натискання. Чим вища електрична провідність і теплопровідність матеріалу, тим нижчий перехідний опір.

2.3 Матеріали контактів

До матеріалів для виготовлення контактів електричних апаратів висуваються такі вимоги:

- висока електрична провідність;
- висока теплопровідність;
- стійкість проти корозії в повітрі та інших газах;
- стійкість проти утворення плівок з високим питомим опором;
- мала твердість для зменшення необхідного зусилля натиснення (в той же час для зменшення механічного зношення при частих увімкненнях і вимкненнях добре мати високу твердість);
- мала ерозія;
- висока термостійкість (температура плавлення);
- великі значення струму і напруги, що виникають при утворенні електричної дуги;
- простота обробки;
- невелика вартість.

Як матеріали контактів використовують:

- чисті метали (мідь, алюміній, срібло, вольфрам та ін.);
- сплави (латунь, бронза та ін.);
- неметали (вуглець);
- композиції взаємно не сплавлюваних металів (вольфрам-срібло, вольфрам-мідь);
- композиції металів з оксидами металів (срібло-оксид кадмію¹, срібло-оксид міді, мідь-оксид міді);
- композиції металів з карбідами (вольфрам-карбід вольфраму);
- композиції металів з вуглецем (срібло-графіт, мідь-графіт);
- численні потрійні композиції.

Вибір матеріалу для виготовлення контактів визначається умовами їх роботи.

Розглянемо властивості деяких контактних матеріалів.

Мідь. Позитивні властивості контактів з міді: високі електрична провідність і теплопровідність, достатня твердість, простота технології виготовлення, низька вартість. До недоліків слід віднести низьку температуру плавлення. Крім того, при роботі на повітрі контакти з міді

¹ Оксид кадмію CdO - відноситься до 1-го класу токсично небезпечних речовин. Як і решта сполук кадмію, оксид проявляє сильнотоксичну дію. П потрапляючи до організму шляхом інгаляції, він може спричиняти набряк легенів, утруднене дихання, кашель, стиснення у грудях, головний біль, м'язові болі, нудоту, діарею. Відноситься до потенційних канцерогенів-хімічні речовини, які є причиною виникнення злоякісних новоутворень (раку).

покриваються шаром міцних окислів, які мають високий опір, що вимагає досить великих зусиль натиснення. Для захисту міді від окислення поверхню контактів покривають електролітичним способом шаром срібла товщиною 20...30 мкм. Мідь використовується для виготовлення плоских і круглих шин, контактів апаратів високої напруги, контакторів, автоматичних вимикачів та ін. Внаслідок низької термостійкості міді небажано її застосування в апаратах, що вимикають коло з утворенням потужної дуги і мають велике число увімкнень на годину.

Срібло. Позитивні властивості контактів зі срібла: високі електро- і теплопровідність, мала механічна міцність плівки оксиду срібла, завдяки чому плівка швидко руйнується при нагріванні контактної точки. Контакти із срібла стійкі, завдяки малій механічній міцності для нього достатні малі натиснення. Стійкість, малий перехідний опір є характерними властивостями контактів зі срібла. У той же час мала термостійкість і недостатня твердість срібла перешкоджають використанню срібних контактів в апаратах з утворенням потужної дуги, а також працюючих при частих увімкненнях і вимкненнях. Срібло застосовується в реле і контакторах при струмах до 20 А. В апаратах на великі струми (аж до 10 кА) з нього (срібла) виготовляють головні контакти, які працюють без дуги.

Алюміній. Цей матеріал має досить високі електричну провідність і теплопровідність. Завдяки малій густині струмовідна частина круглого перерізу з алюмінію, розрахована на такий же струм, що і мідний провідник, має майже на 4% меншу масу, що дозволяє знизити масу апарата.

Недоліки контактів з алюмінію: утворення на повітрі і в активних середовищах плівок з високою механічною міцністю і високим опором, низька термостійкість (температура плавлення алюмінію значно нижча, ніж у міді і срібла), мала механічна міцність. Крім того, при контакті алюмінію з міддю утворюється пара метал-метал, схильна до інтенсивної електрохімічної корозії. У зв'язку з цим при з'єднанні з міддю алюміній необхідно покривати тонким шаром міді електрохімічним шляхом або обидва метали слід покривати сріблом. Алюміній і його сплави (дюралюміній, силумін) застосовують головним чином для виготовлення шин і конструкційних деталей апаратів.

Вольфрам. Позитивними властивостями контактів з вольфраму є висока термостійкість, висока стійкість проти ерозії і зварювання. Висока твердість вольфрамових контактів дозволяє застосовувати їх в апаратах, що працюють з частими увімкненнями і вимкненнями. До недоліків контактів з вольфраму відносяться: високий питомий опір, мала теплопровідність, утворення міцних оксидних і сульфідних плівок. У зв'язку з високою

механічною міцністю і утворенням плівок вольфрамові контакти вимагають великого натискання.

В реле на малі струми з невеликими натисненнями застосовуються стійкі проти корозії благородні метали: золото, платина, паладій та ін.

Металокерамічні матеріали. Аналіз властивостей розглянутих металів та сплавів показує, що жоден з них не задовольняє повністю всім вимогам, що висуваються до матеріалу розривних контактів. Основні властивості контактного матеріалу - високі електрична провідність і термостійкість - не можуть бути отримані і за рахунок сплавів срібла і вольфраму, міді та вольфраму, оскільки зазначені метали сплавів не утворюють. Матеріали, що володіють необхідними для контактів властивостями, отримують методом порошкової металургії (металокераміка). Фізичні властивості металів при виготовленні металокерамічних контактів зберігаються. Термостійкість кераміці надають такі метали, як вольфрам, молібден. Для отримання низького перехідного опору контакту в якості другого компоненту використовують мідь або срібло.

Чим більше в матеріалі контактів вольфраму, тим вища їх термостійкість, механічна міцність, опір зварюванню. Але відповідно тим більший опір контактів, менша їх провідність. Зазвичай металокераміка з вмістом вольфраму понад 50% застосовується для важко навантажених апаратів, що вимикають великі струми короткого замикання.

В апаратах низької напруги найбільшого поширення отримала металокераміка зі срібла та оксиду кадмію (CdO). Відмінною особливістю цього матеріалу є дисоціація CdO на пари кадмію і кисню. Газ, що виділяється, змушує дугу швидко переміщатися по поверхні контакту, що сприяє деіонізації дуги. Металокераміка, що складається зі срібла і 10% оксиду кадмію, має високу зносостійкість. Про токсичну небезпечність оксиду кадмію йшла мова вище, тому останнім часом ця сполука не застосовується.

Срібно-нікелеві контакти добре обробляються, мають високу стійкість проти електричного зношування, забезпечують низький і стійкий в експлуатації перехідний опір.

Срібно-графітові та мідно-графітові контакти завдяки високій стійкості проти зварювання застосовуються в якості дугогасних.

2.4 Конструкції контактів

Конструкційне виконання контактів. Контактна система будь-якого електричного апарата виконується залежно від його призначення. За конструкцією розрізняють жорсткі, нерозмикаючі і розмикаючі контакти.

Жорсткі контакти. Такі контакти служать для нерухомого з'єднання струмоведучих деталей (шинні з'єднання, з'єднання кабелів, приєднання апаратів до ланцюга). В процесі експлуатації обидва контакти зєднані або болтами, або за допомогою гарячого чи холодного зварювання.

При болтовому з'єднанні мідних шин, їх перед складанням ретельно зачищають від оксидів і змащують технічним вазеліном. Після складання весь контакт в цілому, особливо шви, фарбують вологостійким лаком або фарбою. Таке приготування контактів зменшує перехідний опір і робить його стабільним у часі.

Покриття дотичних поверхонь оловом (лудіння) трохи підвищує початковий опір, але при цьому завдяки пластичності олова збільшується кількість майданчиків контактування. Контакт виходить більш тісним, опір контакту - більш стабільним.

Для відповідальних контакт - деталей, особливо при великих номінальних струмах, рекомендується посріблення поверхонь. Алюміній на повітрі піддається сильній корозії, внаслідок чого зачищення дотичних поверхонь виконують під шаром вазеліну. Після зачищення брудний вазелін замінюють чистим і з'єднують контакти за допомогою болтів. Болтові з'єднання поводяться недостатньо надійно, особливо при алюмінієвих контактах, тому в даний час алюмінієві контакти з'єднують за допомогою холодного або термічного зварювання.

Нерозмикні контактні з'єднання рухомих елементів. Такі з'єднання використовують для того, щоб передати струм з рухомого контакту на нерухомий або дати можливість елементу нерухомого контакту мати невелике переміщення під дією рухомого контакту. Найбільш простим з'єднанням зазначеного типу є гнучкий зв'язок. Для отримання необхідної еластичності зв'язок виготовляють з мідної стрічки товщиною не більше 0,1 мм або багатожильного плетеного провідника, що складається з мідних жил діаметром 0,1 мм. Гнучкий зв'язок при роботі не повинен піддаватися різким перегинанням, в іншому випадку він швидко зруйнується. При великому ході рухомих контактів довжина гнучкого зв'язку виходить значною. Тому таке контактне з'єднання застосовують тільки при переміщеннях рухомого елемента не більш ніж на 0,25 м.

При великому ході і великих номінальних струмах використовують ковзні і роликові контакти. Недоліком таких контактів є велика сила тертя, яка вимагає значних зусиль від приводного механізму. Меншу силу тертя дає роликовий контакт. Кількість роликів вибирають залежно від номінального струму короткого замикання. Роликовий контакт, для переміщення якого потрібні невеликі зусилля, знайшов широке застосування в сучасних комутаційних апаратах високої напруги.

Розривні контакти. Контактна система апаратів, як правило, складається з нерухомих і рухомих контактів, які можуть мати найрізноманітнішу форму. Залежно від величини дотичних поверхонь контакти поділяють на точкові (рис.2.4, а), лінійні (рис.2.4, б) і площинні (рис.2.4, в).

В процесі роботи контакти багатьох апаратів розривають коло з струмом, більшим, ніж мінімальний струм дугоутворення I_0 . Електрична дуга, що виникає призводить до швидкого зношення контактів. Між нерухомих і рухомих контактами необхідно створювати певну відстань для надійного гасіння дуги, яка виникає при розмиканні контактів.

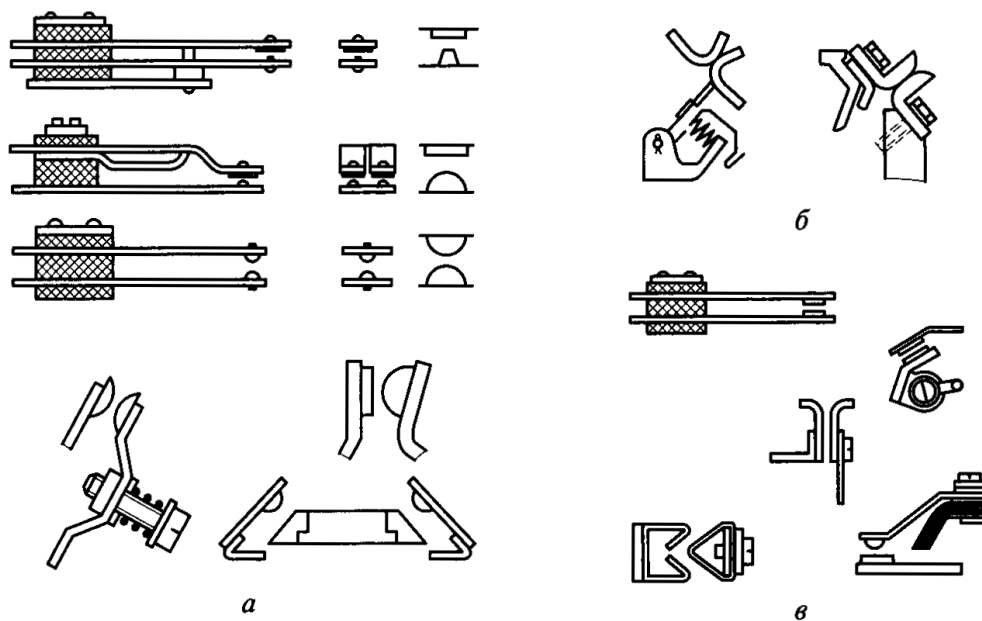


Рисунок 2.4 - Точкові (а), лінійні (б) і площинні (в) електричні контактні з'єднання

Конструкція розривних контактів визначається номінальним струмом, струмом короткого замикання кола, режимом роботи і призначенням

апарату. Від конструкції кріплення контактів залежить кількість контактних точок дотикування і стабільність контакту.

Контакт, який має можливість вільно встановлюватися на поверхні, володіє максимальною кількістю точок дотику. Такий контакт називається самоустановним. Приклад його наведено на рис.2.5. Нерухомі контакти 1 і рухливий містковий контакт 3 в місці торкання мають сферичні або циліндричні напайки 2, виконані зі срібла або металокераміки. Натискання контактів створюється пружиною 4. Після дотикування контактів скоба 5, пов'язана з приводом апарату, продовжує свій рух догори на величину, рівну натиску (провалу) контакту δ .

У контактах, показаних на рис.2.5, плівка окислів не стирається, тому в подібній конструкції не рекомендується використовувати мідь в якості контактного матеріалу.

На рис.2.6 зображена пальцева система з перекочуванням, яка широко застосовується в контакторах з мідними контактами. Контактний важіль 4 зв'язаний з якорем електромагніту. При увімкненні апарату центр O_1 переміщається по дузі радіусом O_2O_1 (положення I). Дотикування контактів 1 і 2 відбувається в точках а (положення II). Під час наступного переміщення центру O_1 в зіткнення приходять точки б (положення III). Перекочування контакту 1 по контакту 2 відбувається з невеликим проковзуванням, в результаті чого плівка оксиду на контактах стирається. При замиканні контактів через шорсткість на поверхні дотику з'являється додаткова вібрація контактів, тому величина проковзування повинна бути невеликою. При вимкненні дуга виникає між точками а - а, що захищає від оплавлення точки б - б, якими контакти стикаються у замкненому положенні. Таким чином, вдається розділити контакти на дві частини: в одній частині відбувається гасіння дуги, в іншій - тривале протікання струму. Оскільки для контактів, показаних на рис.2.6, безпосередній контроль провалу δ утруднений, про його величину судять за зазором, що утворюється між важелем 4 і контактною скобою 3.

Провал контактів, що забезпечує їх необхідне натискання, є у всіх без винятку контактних електричних апаратах. Внаслідок обгорання і зношення контактів в процесі експлуатації провал зменшується, що призводить до зниження зусилля натиснення і зростання перехідного опору контактів. Тому в експлуатації провал контактів повинен обов'язково контролюватися і перебувати в межах, встановлених заводом-виробником.

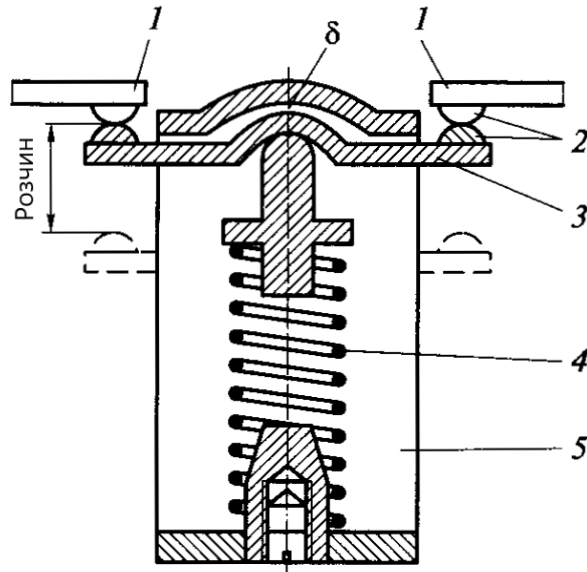


Рисунок 2.5 - Контактний вузол із самоустановними рухомими контактами, 1 - нерухомі контакти; 2 - напайки; 3 - рухомі контакти; 4 - пружина; 5 - скоба; δ - провал контакту.

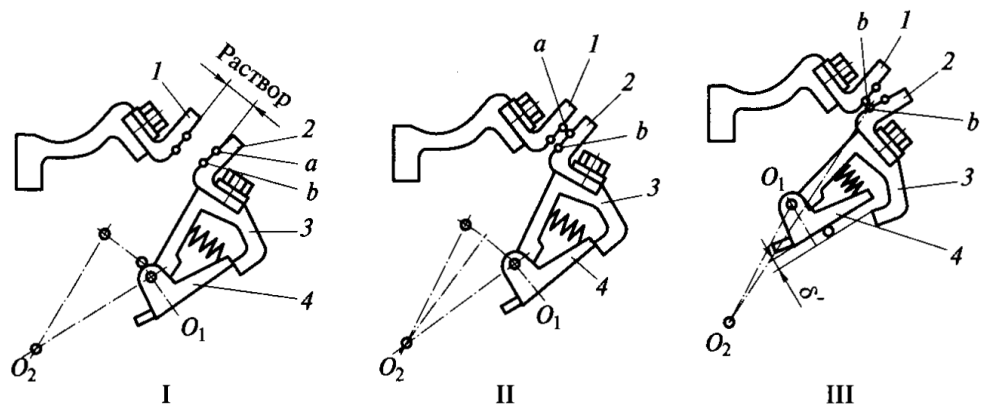


Рисунок 2.6 - Контактний вузол з переключуванням рухомого контакту, 1,2 - контакти; 3 - контактна скоба; 4 - важіль; a , b - точки дотику.

Особливо це відноситься до апаратів, які працюють в режимі частих увімкнень і вимкнень (контактори), у яких зношування контактів інтенсивне. Допустиме зменшення провалу вказується заводом-виробником. Як правило, воно становить 50% від початкового значення. У торцевому містковому контакті (рис.2.5) провал зазвичай складає 3...5 мм, в потужних вимикачах високої напруги він збільшується до 8...10 мм.

У високовольних масляних вимикачах широко застосовується розеткова система контактів. Рухомий контакт виконується у вигляді

стрижня круглого перетину, нерухомий - у вигляді розетки, що складається з ламелей. Така система має низький перехідний опір і дозволяє різко знизити контактний тиск на ламель. При переході від торцевого контакту до розеткового зусилля натискання на ламель з умов зварювання зменшується в $\frac{1}{n^2}$ раз, де n - число ламелей.

При великих номінальних струмах (понад 2000 А) застосовується двохступінчата контактна система (рис.2.7). Апарат з такою системою має основні 1, 1' і дугогасний 2, 2' контакти. Основу головних контактів виконують з міді, а поверхні їхнього дотикання - зі срібла у вигляді нанесеного електролітичним способом шару завтовшки до 20 мкм або припаяних срібних пластинок. Основу дугогасних контактів виготовляють з міді, наконечники дугогасних контактів - з термостійкого матеріалу (вольфраму або металокераміки).

Оскільки опір головних контактів значно менший, ніж дугогасних, 75...85% тривалого струму проходить через головні контакти. При вимкненні спочатку розходяться головні контакти і весь струм кола перекидається в дугогасні.

Контакти 2, 2' розходяться в той момент, коли відстань між головними контактами достатня для того, щоб витримати найбільшу напругу, що виникає в процесі гасіння дуги на дугогасних контактах. При відключенні великих струмів на головних контактах виникає дуга, тому, що після їх розмикання весь струм починає проходити через дугогасну систему і на головних контактах з'являється напруга. Припустимо, що дугогасна система має опір R_2 і індуктивність L_2 , а швидкість наростання струму в колі цієї системи $\frac{di_2}{dt}$. Напруга, яка з'являється на головних контактах може виявитися достатньою для пробію проміжку між головними контактами. Для зменшення обгорання головних контактів необхідно прагнути зменшити індуктивність

$$U_r = I_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt},$$

$$L = L_2 - L_1 - 2M$$

де L_1 - індуктивність головного контуру;

M - взаємоіндуктивність головного і дугогасного контуру.

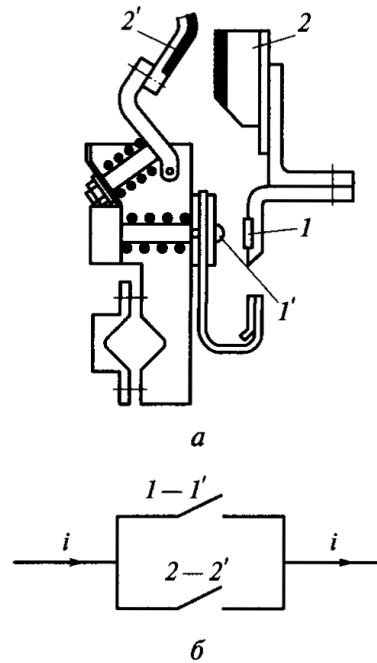


Рисунок 2.7 - Конструкція (а) і електрична схема (б) двохступінчатої контактної системи, 1, 1' - основні контакти; 2, 2' - дугогасні контакти.

При увімкненні двохступінчатої контактної системи спочатку замикаються дугогасні контакти, а потім головні, що забезпечує відсутність дуги і оплавлення срібних поверхонь головних контактів. Через громіздкість таке конструкційне рішення застосовується тільки при дуже великих струмах в автоматичних вимикачах і вимикачах високої напруги. У всіх інших випадках прагнуть підібрати відповідний матеріал і обійтися одноступінчатою контактною системою.

Місткові контакти здійснюються в точці сфера-сфера. Застосовуються для прямоходових магнітних систем. Як матеріал використовується срібло і його сплави. Місткові контакти складаються з рухомою контакт-деталі – містка 1 (рис.2.8 а, б) і нерухомих контакт-деталей 3 до 4, до яких паянням або зварюванням прикріплені робочі поверхні 2. Струм проходить від нерухомої контакт-деталі 3 через рухомий місток 1 до іншої нерухомої контакт-деталі 4. При розімкнених контакт-деталях створюється подвійний розрив між ними, що є перевагою в порівнянні з контактами інших типів. Інша перевага місткових контактів – відсутність гнучких зв'язків між рухомими і нерухомими струмовідними частинами.

У місткових контактів відсутні перекочування і проковзування контакт-деталей, що забезпечували би їх самоочищення. Тому робочі поверхні контакт-деталей виготовляють не із міді, а з срібла або

металокераміки на базі срібла і виконують у вигляді «площина – площина», «площина – циліндр», «площина – сфера» і «сфера – сфера».

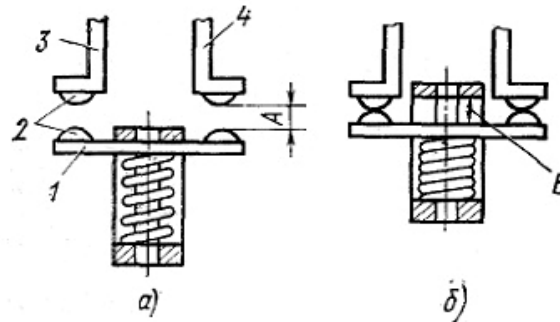


Рисунок 2.8 - Місткові контакти: а) розімкнені контакт-деталі; б) замкнені контакт-деталі; 1 – контакт-деталь місток; 2 – робочі поверхні контакт-деталей; 3 і 4 – нерухомі контакт-деталі; А – зазор; Б - провал .

Врубні контакти застосовуються в апаратах низької напруги (рубильники, роз'єднувачі, запобіжники), матеріал їх – мідь. Врубні контакти характерні тим, що їх провідний стан утворюється шляхом введення плоскої контакт-деталі між двома пружними. Електричний контакт здійснюється між нерухомою 1 і рухомою 2 контакт-деталлями (рис.2.9, а).

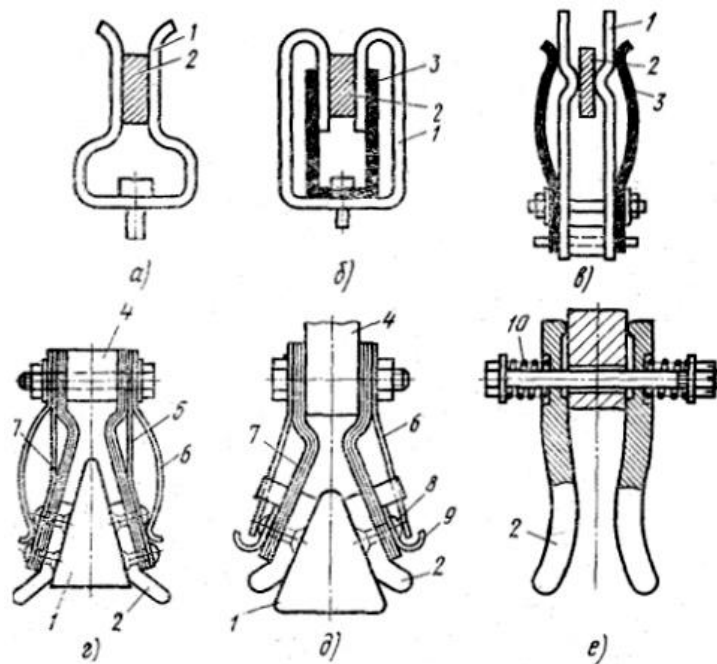


Рисунок 2.9 - Врубні контакти з контактним натисненням за рахунок пружних властивостей матеріалу (а), сталевій плоскій пружини (б, в), набору мідних пластин (г, д) і спіральної пружини (е).

Контактне натиснення здійснюється за рахунок пружних властивостей матеріалів контакт-деталей (твердо-тягнута мідь, спеціальна бронза). Для збільшення зусилля натиску у врубних контактів на великі струми встановлюють сталеві пружини 3 (рис.2.9, б).

У апаратах високої напруги на великі струми використовують врубні контакти клиноподібної форми. Рухомі контакт-деталі 2 (рис.2.9, г, д) виконують у вигляді окремих ламелей, з'єднаних із струмовідною деталлю 4 гнучким зв'язком 7, що складається з набору тонких мідних пластин. Контактне натиснення створюється пружиною 6. У несамовстановних контактах (рис.2.9, г) плоска пружина 5 не дає ламелям вільно встановлюватися на нерухомій контакт-деталі, що зменшує площу контактування. У самовстановних контактах (рис.2.9, д) зусилля контактної пружини передається на заклепку 8 (плоска пружина відсутня), і ламелі вільно встановлюються на нерухомій контакт-деталі, забезпечуючи кращий контакт. Положення ламелей від переміщення фіксується скобою 9. Врубний контакт, в якому контактне натиснення створюється спіральними пружинами 10, показаний на рис.2.9, е.

Кільцеві контакти (рис.2.10) - застосовують при великих значеннях ходу рухомої контакт-деталі і великих номінальних струмах. Вони складаються з рухомого контакт-стрижня 2, двох нерухомих контакт-стрижнів 1, роликів 5, зв'язаних з віссю 4, і контактних пружин 3. При замиканні електричного кола рухомий контакт переміщується.

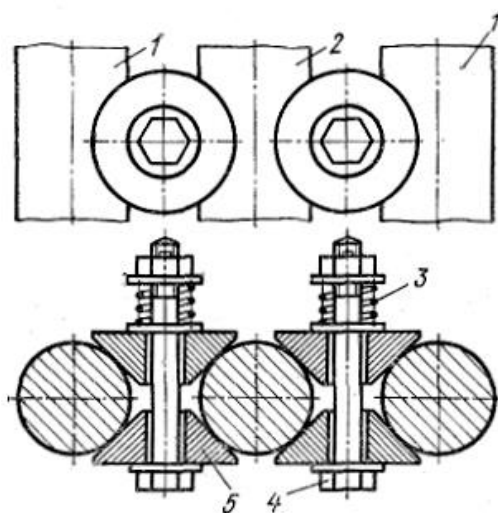


Рисунок 2.10 - Кільцеві контакти: 1 – нерухомий контакт-стрижень; 2 – рухомий контакт-стрижень; 3 – спіральна пружина; 4 – вісь (болт); 5 – ролик.

Стикові контакти (рис.2.11) утворюються переміщенням однієї контакт-деталі в напрямку, перпендикулярному поверхні іншої контакт-деталі до першого дотикання. Їх виготовляють з порожнистих труб, суцільних металевих стрижнів і використовують в основному у високовольтних вимикачах. Поверхні контакт-деталей виконують плоскими або сферичними

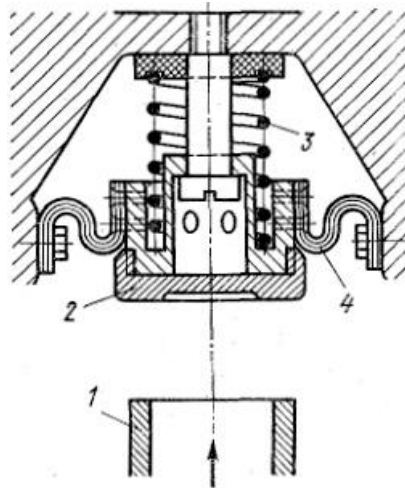


Рисунок 2.11 - Стикові контакти: 1 – нерухома контакт-деталь; 2 – рухома контакт-деталь; 3 – контактна пружина; 4 – гнучкий зв'язок

Ковзні контакти здійснюють контактування при ковзанні однієї контакт-деталі по іншій, при цьому обриву електричного кола не відбувається. Вони можуть виконуватися з важільним, містковим, роликівим та іншими контактами. В апаратах низької напруги ковзні контакти широко застосовують в реостатах і контролерах.

Роликові контакти призначені для струмознімання; **торцеві контакти** – призначені для контактування з площини, контакт має великий перехідний опір і використовується переважно для дугогасіння;

Герметичні контакти - здійснюють розмикання і замикання електричного кола в середовищі інертного газу або вакууму. Контакти 1 і 2 геркона (рис.2.12), виконані з залізо-нікелевого сплаву, розміщені всередині скляного балончика 4, заповненого азотом з домішкою водню або гелію. При проходженні струму через обмотку 3 контакти 1 і 2 під дією магнітного поля замикаються. Після вимкнення струму в обмотці, контакти розмикаються під дією пружних пластин.

Керування контактами може здійснюватися і за допомогою постійного магніту. При наближенні магніту до геркона відбувається замикання

контактів, при віддаленні - розмикання. Це дозволяє виконувати шляхові вимикачі на герконах. Геркони можуть мати не тільки замикаючі, а й розмикаючі, а також перемикаючі контакти та дозволяють легко створити реле з пам'яттю. В останньому випадку магнітопровід з магнітотвердого матеріалу примикає до контактів 1 і має керуючу обмотку. При подаванні сигналу магнітопровід намагнічується і контакти замикаються.

Після зняття сигналу через контакти проходить залишковий магнітний потік, що дозволяє контактам залишатися в замкненому стані. Для їх розмикання необхідно подати імпульс зворотної полярності і розмагнітити магнітопровід.

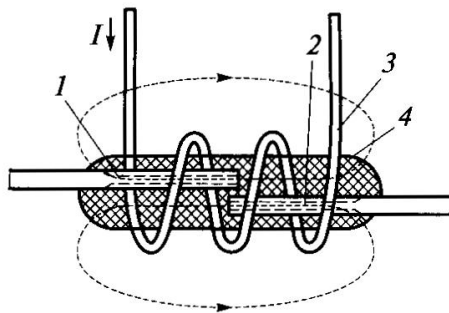


Рисунок 2.12 - Герметичний контакт (геркон): 1, 2 - контакти; 3 - обмотка; 4 - скляний балончик; I - струм обмотки.

Для отримання надійного контакту поверхні контактування геркона покривають тонким шаром золота, родію або срібла. Перед встановленням контакти нагрівають до високої температури, внаслідок чого вони звільняються від шкідливих оксидів і забруднення. Завдяки тому що контакти ізолювані від навколишнього середовища і працюють в атмосфері інертного газу, надійність їх складає $(2 \cdot 10^8) \dots (2 \cdot 10^9)$ комутацій, що як мінімум, на два порядки вище, ніж у звичайних контактів в повітрі. Завдяки своїм перевагам геркони застосовуються і в апаратах високої напруги, аж до 10 кВ. Недоліками герконів є вібрація контактів при замиканні і недостатня ударостійкість. Тривалість вібрації залежить від багатьох умов і коливається в межах 0,3...1,0 мс.

Основні параметри контактних з'єднань:

Зазор контактів являє собою найкоротшу відстань між розімкненими робочими поверхнями рухомої й нерухомої контакт-деталей. Зазор контактів звичайно вибирається з умови гасіння малих струмів.

При роботі контакти зношуються. Щоб забезпечити надійне їх з'єднання на тривалий строк, кінематика комутаційного апарату виконується

таким чином, що контакти стикаються раніше, ніж рухома система (система переміщення рухомих контакт-деталей) доходить до упору.

Розхил - найменша відстань між повністю роз'єднаними контактами. Його величина визначається умовами гасіння дуги, родом і величиною струму.

Якщо при замкненому положенні рухомої системи забрати нерухому, то рухомий контакт зміститься на деяку відстань, яка називається **провалом**. Провал визначає запас на зношування контактів при заданому числі спрацьовувань. За інших рівних умов більший провал забезпечує більш високу зносостійкість, тобто довший термін служби. Але більший провал, як правило, вимагає й потужної магнітної системи.

Контактне натиснення — зусилля, що стискає контакти в місці їх дотикування. Розрізняють початкове натиснення P_0 у момент початку замикання контакт-деталей, коли провал дорівнює нулю, і кінцеве натиснення P_k при повному провалі:

$$P_k = P_0 + c\Delta l_2 \quad (2.6)$$

де: c — жорсткість контактної пружини;

Δl_1 , — початкове натиснення пружини;

Δl_2 — додатковий натиснення пружини при виборі провалу.

2.5 Режим роботи контактів

Для створення замкненого електричного кола зазвичай необхідно використовувати кілька контактів. Контакти можуть бути рухомими і нерухомими. За наявності нерухомих контактів струмовідні елементи електричного кола в процесі роботи не перемішаються відносно один одного, а щільно і надійно з'єднані між собою. У разі рухомих контактів елементи кола в процесі роботи з'єднуються між собою (увімкнення кола), залишаються протягом необхідного часу щільно і надійно скріпленими (проведення струму колом), після чого роз'єднуються за допомогою приводу (вимкнення кола).

Увімкнення електричного кола. При замиканні контактів можуть мати місце такі процеси:

- вібрація контактів;
- ерозія в результаті утворення розряду між з'єднуваними контактами;

Розглянемо природу вібрації, користуючись рис.2.13. Рухомий контакт 1 зв'язаний з контактним важелем 2 через контактну пружину 3. Статичний контакт 4 жорстко закріплений на опорі. Електромагніт контактора впливає на важіль 2. У момент зіткнення контактів виникає удар, в результаті якого відбувається деформація стиснених контактів і відкидання контакту 1 вправо. Між контактами утворюється зазор і загоряється дуга. Рух контакту 1 вправо припиняється тоді, коли енергія, отримана при ударі, переходить в енергію стискання пружини 3. Після цього контакт 1 під дією пружини 3 починає переміщуватись вліво. Відбувається новий удар і нове відкидання контакту.

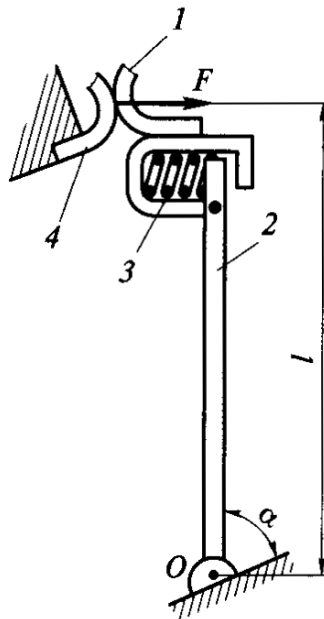


Рисунок 2.13 - Струмівідне коло контактора в процесі увімкнення: 1, 4 – відповідно рухомий і нерухомий контакти; 2 - важіль; 3 – пружина.

При увімкненні кола, що має коротке замикання, вібрація контактів посилюється через виникнення відкидаючих зусиль в точці доторкання. Для того щоб не було оплавлення контактів в момент їх доторкання, необхідно зусилля попереднього натягу контактної пружини компенсувати електродинамічні зусилля відкидання і створити таке натискання, при якому падіння напруги на перехідному опорі не приводить до плавлення в точках дотикання (2.5).

В апаратах, розрахованих на великі струми короткого замикання, електродинамічні зусилля в торцевих контактах виходять настільки великими, що контактні пружини повинні розвивати зусилля в декілька тисяч ньютон. Очевидно, що в подібних випадках необхідно переходити до іншої

конструкції контактів, яка дає менше електродинамічне зусилля їх відкидання.

У контактних системах існують електродинамічні зусилля двох типів. Перші виникають в будь-яких контактних системах і обумовлені самою природою контактних явищ, тобто стягуванням ліній струму до контактного майданчика. Ці зусилля, вперше виявлені вченим-електротехніком Д.Двайтом, вони носять його ім'я і позначаються P_d . Сили другого типу обумовлені взаємодією елементів контуру струму контактної системи і часто називаються контурними. Сили Двайта завжди відштовхують один контакт від іншого. При цьому на один контакт радіусом r в осесиметричній контактній системі уздовж осі контактів діє сила

$$P_d = \mu_0 I^2 \ln \frac{\left(\frac{r}{a}\right)}{4\pi} \quad (2.7)$$

У компенсаторах електродинамічних контактних зусиль (рис.2.14) контурні сили P_k спрямовані так, щоб компенсувати дію сил Двайта.

У швидкодіючих автоматичних вимикачах контурні електродинамічні сили використовують для прискорення відкидання рухомого контакту, що призводить до швидкого введення в електричне коло опору виникаючої електричної дуги.

У міру наближення рухомого контакту до нерухомого в процесі увімкнення кола зростає напруженість електричного поля між контактами і при певній відстані відбувається пробій міжконтактного проміжку. В апаратах низької напруги пробій виникає при дуже малій відстані між контактами (соті долі міліметра).

У дугову форму розряд не переходить, оскільки рухомий контакт рухається і, усуваючи проміжок, припиняє розрядні процеси. Однак, виникаючі при пробії електрони бомбардують анод і викликають його зношення. Метал аноду відкладається на катоді у вигляді тонких голок.

Зношення контактів в результаті перенесення матеріалу з одного контакту на інший, тобто випаровування в навколишній простір без зміни складу матеріалу, називається фізичним зношенням, або ерозією. Ерозія при замиканні невелика, але при малих натисненнях і малих відстанях між контактами вона може привести до їх спікання.

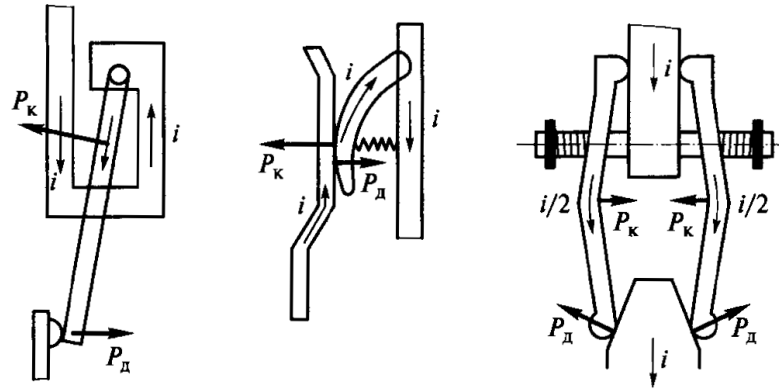


Рисунок 2.14 - Типи компенсаторів електродинамічних зусиль на контактах

В апаратах високої напруги під час зближення контактів пробій відбувається при великих відстанях. Виникла дуга горить відносно довго; при цьому можливе зварювання контактів, особливо при увімкненні кола, що має коротке замикання. За рахунок застосування великої кількості послідовно увімкнених контактних з'єднань (розривів) зменшується напруга, що припадає на розрив, що дає можливість знизити час попереднього пробію до $5 \cdot 10^{-3}$ с. Вказане значення визнано безпечним для масляних вимикачів.

Проведення струму контактами в увімкненому стані. У цьому режимі слід розрізняти два випадки:

- 1) через контакти проходить тривалий номінальний струм;
- 2) через контакти проходить струм короткого замикання. Для надійної роботи контактів необхідно, щоб при номінальному струмі I_H падіння напруги на опорі R_{Π}

$$I_H R \leq U_{\text{к.доп}} = (0,5 \dots 0,8) U_{\text{пл}} \quad (2.8)$$

де $U_{\text{пл}}$ - падіння напруги при плавленні в точці дотику.

Для розрахунку контактів на невеликі струми використовують формулу (2.6). За заданим струмом I_H і допустимим значенням напруги $U_{\text{к.доп}}$ визначають перехідний опір R_{Π} , після чого знаходять необхідну силу контактного натиснення за допомогою формули (2.4).

При короткому замиканні через контакти проходять струми, які в 10-20 разів перевищують I_H . Через малу постійну часу нагріву температура контактної майданчика практично миттєво піднімається і може досягти

температури плавлення. Аналітичний розрахунок струму плавлення при короткому замиканні утруднений, оскільки існуючі формули не враховують розм'якшення матеріалу при високій температурі. Тому при практичних розрахунках контактів рекомендується користуватися дослідними даними, безпосередньо зв'язуючими струм зварювання і зусилля натиснення.

При розрахунках електродинамічної стійкості контактів добрі результати дає експериментальна формула (2.9):

$$I \leq k_c \sqrt{F}, \quad (2.9)$$

де I - струм електродинамічної стійкості (зазвичай береться амплітудне значення ударного струму);

k_c - коефіцієнт, значення якого наводяться у відповідній літературі, наприклад [2];

F - зусилля натиснення.

Вимкнення електричного кола. При розмиканні контактів зусилля натиснення зменшується, перехідний опір зростає, тому зростає температура в точках дотику. У момент роз'єднання контактів вона досягає температури плавлення і між контактами виникає місток з рідкого металу. При подальшому розходженні контактів місток розривається і залежно від параметрів кола виникає дуговий або тліючий розряд.

При виникненні дугового розряду температура катодної і анодної плям досягає температури плавлення матеріалів. Висока температура контактів призводить до їх інтенсивного окислення, розпилення матеріалу контактів в навколишньому просторі, перенесення матеріалу з одного електрода на інший і утворення плівок. Все це тягне за собою зношення контактів. Перенесення матеріалу з одного електрода на інший найбільш шкідливе при постійному струмі, оскільки напрям перенесення не змінюється, що веде до швидкого виходу контактів з ладу. Перенесення матеріалу з аноду на катод називається позитивною ерозією, перенесення в зворотній бік - негативною. Мірою ерозії є втрата маси або об'єму контакту. Напрямок ерозії і форма зношення контактних поверхонь залежать від виду розряду і величини струму. Основними засобами боротьби з ерозією контактів в апаратах на струми від 1 до 600 А є:

- зменшення тривалості горіння дуги за рахунок використання дугогасних пристроїв;
- усунення вібрації при увімкненні;
- використання жорстких контактних матеріалів.

Для контактів, що комутують струми від частки ампера до декількох ампер, застосовуються схемні методи зменшення ерозії.

2.6 Зношування контактів.

Зношування контактів при малих струмах. Якщо $I < I_0$, а $U < U_0$, то з'являється електрична іскра. При цьому можливі два варіанти процесу зношування контактів:

- 1) зношування, пов'язане з утворенням окисних плівок або корозія;
- 2) зношування, пов'язане з перенесенням матеріалу контактів з однієї на іншу контакт - деталь і в навколишнє середовище під дією електричного поля називається ерозією контакту.

Зношення контактів при малих струмах визначається за формулою

$$\sigma = \gamma_u \cdot q, \quad (2.10)$$

де γ_u - коефіцієнт, що характеризує матеріал контакту;

q - кількість електрики.

Зношення контактів при малих струмах з'являється через наявність електричного кола з індуктивністю. При різкому зниженні струму з'являється різниця потенціалів, обумовлена ЕРС самоіндукції, через це виникає іскровий розряд. Для зменшення зношення під дією іскрового розряду застосовують іскрогасні кола.

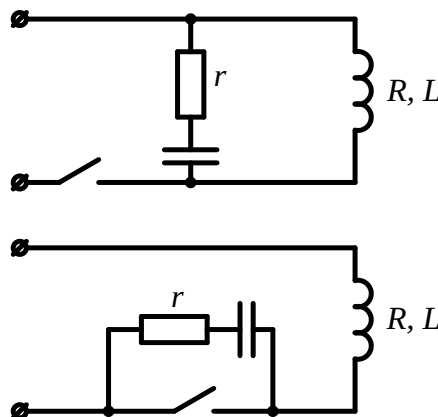


Рисунок 2.15 - Іскрогасні кола (В-С)

В цьому випадку при розмиканні кола частина його енергії йде на заряджання конденсатора, а тривалість іскрового розряду істотно скорочується.

Зношування контактів при великих струмах виникає, якщо задовільняються умови $I < I_0$, $U < U_0$, тобто з'являється електрична дуга.

При цьому зношення контактів залежить:

1) від кількості розмикань контактів (лінійна залежність від кількості розмикань)

$$\Sigma = \sigma \cdot n \quad (2.11)$$

де Σ - сумарне зношення;

σ - одне розмикання;

n - кількість розмикань.

2) від напруженості магнітного поля (зі збільшенням H зношення зменшується).



Рисунок 2.16 – Характеристика дуги залежно від напруженості магнітного поля

При малих значеннях H дуга горить в основному на одних і тих же опорних майданчиках (точках) - зношення досить велике.



Рисунок 2.17 – Переміщення дуги по опорних точках

При збільшенні H дуга переміщається до поверхні контакту - зношення знижується.

У разі подальшого посилення магнітного поля частина матеріалу контактів викидається цим полем за межі міжконтактного проміжку і зношення збільшується. При ще більшому посиленні поля вже весь матеріал

з розплавленого перешийка викидається за межі контактного проміжку і зношення стабілізується;

3) від напруги. За наявності магнітного поля дуга залишає міжконтактний проміжок вже при зазорі 1...2 мм, тому зношення від напруги U практично не залежить;

4) від струму (залежність лінійна). Чим більший струм, тим більше зношення контактів;

5) від швидкості розходження контактів. За наявності поля зношення від швидкості практично не залежить. За відсутності поля залежність зворотна, тобто чим більша швидкість розходження контактів, тим їх зношення менше.

2.7 Зварювання контактів

При проходженні через контакти великих струмів (наприклад, струмів короткого замикання) падіння напруги на них може досягти таких величин, що температура в точках дотикання стане рівною або навіть перевищить температуру плавлення матеріалу. Якщо цей струм протікає достатній час, то може статися зварювання контактів. Значення струму, при якому в усталеному режимі нагрівання настає оплавлення точок дотику контактів, називається мінімальним струмом плавлення. Якщо припустити для простоти, що температурний коефіцієнт опору металу контактів дорівнює нулю, то з формули Хольма-Кольрауша

$$\frac{U_k}{8\rho\lambda} = \theta \quad (2.12)$$

і виразу для опору стягування

$$R_c = \frac{\rho}{2a} \quad (2.13)$$

можна знайти мінімальний струм плавлення:

$$I_{\min \text{ пл}} = \alpha_{\text{пл}} \sqrt{32 \lambda \theta / \rho} \quad (2.14)$$

У цьому виразі всі величини мають бути взяті при температурі плавлення. Розміри точок дотикання контактів при температурі плавлення можуть бути прийняті в 1,5 рази більшими, ніж при нормальній температурі.

Теоретично мінімальний струм плавлення плавить метал нескінченно довго. Практично ж, через малі розміри контактів, для плавлення цим струмом достатньо біля 10 с. Насправді поява ефекту зварювання контактів починається при менших струмах, які можна назвати граничними струмами

зварювання, при яких з'являються невеликі майданчики схоплювання (мікромайданчики), ледь помітні для неозброєного ока, які створюють прихоплювання контактів настільки, що для їх відділення потрібне деяке зусилля. Особливо помітно проявляються такі схоплювання у ковзних і врубних контактів.

Однак слід мати на увазі, що деяке схоплювання контактів (зварювання) може мати місце навіть і без оплавлення контактних плям. Так, при помітному розм'якшенні металу і за наявності чималих зусиль стиснення контактів можливе зчеплення - взаємне проникнення поверхневих шарів один в одного, подібно до того, як це спостерігається при холодному зварюванні. Це особливо позначається на збільшенні сил тертя (спокою) у ковзних і врубних контактах.

Таким чином, встановлення значень граничних струмів зварювання являє собою складне завдання. Слід враховувати, що зварюванню контактів апаратів можуть сприяти електродинамічні зусилля, що виникають в самому контакті.

У провіднику, де спостерігається різкий перехід його перерізу, виникають поздовжні розтягуючі зусилля. У контактах має місце стягування струму до точок дотику і, отже, виникають зусилля відштовхування між контактами, що мають ту ж природу. Ці зусилля можуть мати вирішальне значення в явищі зварювання, оскільки вони істотно знижують результуючу силу стиснення контактів. При зменшенні зусилля стискування контактів збільшується перехідний опір і, в зв'язку з цим, теплова потужність, що виділяється в місці дотикання, метал плавиться і настає зварювання.

Запитання для самоперевірки

1. Що собою являють електричні контакти?
2. Як впливає деформація контактів на електричний перехідний опір?
3. Які типи контактів використовуються в електричних апаратах?
4. Від чого залежить температура контактів і як вона впливає на їх роботу?
5. Назвіть режими роботи електричних контактів і їх характеристики.
6. Чим обумовлене зношення контактів в електричних апаратах?
7. Які матеріали використовуються для виготовлення електричних контактів і чому?
8. Чим обумовлено утворення електричної дуги в комутаційних апаратах?
9. Який вплив чинить електрична дуга на роботу контактів?

10. Яка напруга називається напругою гасіння дуги і як вона визначається?

11. Назвіть способи зниження шкідливого впливу електричної дуги на роботу контактів.

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.

2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.

3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.

4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.

5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ

3.1 Загальні відомості

3.2 Розрахунки електродинамічних зусиль

3.3 Електродинамічні зусилля між паралельними провідниками

3.4 Електродинамічні зусилля між перпендикулярними провідниками

3.5 Електродинамічні зусилля в кільцевому витку і між кільцевими витками

3.6 Механічний резонанс

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Електродинамічна стійкість	Здатність комутаційного апарата витримати без пошкодження проходження найбільшого можливого за експлуатаційних умов струму короткого замикання	<i>electrodynamic stability</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Струм постійний	<i>direct current</i>
AC	Струм змінний	<i>alternatic current</i>

Літерні позначення

<i>F</i>	Сила механічна

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. - 68 с.
2. ДСТУ 2815–94 Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. –105 с.

3.1 Загальні відомості

При короткому замиканні в мережі через струмовідну частину апарата можуть проходити струми, які в десятки разів перевищують номінальний. Ці струми, взаємодіючи з магнітним полем, створюють електродинамічні зусилля (ЕДЗ), які прагнуть деформувати як самі провідники, так і ізолятори, на яких вони кріпляться. Електродинамічною стійкістю апарата називається його здатність протистояти силам, що виникають при проходженні струмів короткого замикання. Ця величина може виражатися або безпосередньо амплітудним значенням струму $I_{\text{дин}}$, при якому механічні напруги в деталях апарата не виходять за межі допустимих значень, або кратністю цього струму щодо амплітуди номінального струму:

$$K_{\text{дин}} = \frac{I_{\text{дин}}}{\sqrt{2}I_{\text{ном}}}$$

Електродинамічна стійкість характеризується найбільшим струмом, який апарат може витримати без пошкодження .

Наприклад, якщо електричний апарат має електродинамічну стійкість 50 кА, то це значить, що даний апарат здатний витримати без негативних наслідків, що перешкоджають його подальшій роботі, такі механічні навантаження.

Зовсім інший характер мають динамічні сили режиму короткого замикання (КЗ). При даному режимі струми, що протікають в колі та через електричні апарати, в десятки і сотні разів перевищують номінальні (робочі) струми і досягають десятків кіло ампер (кА).

Спричинене режимом КЗ підвищення струму збільшує електродинамічні зусилля, які намагаються деформувати як струмовідні частини електричних апаратів, так і ізоляторів, якими апарати прикріплюються до заземлених частин електричних установок.

Щоб бути цілком впевненим у спроможності електричного апарату протистояти руйнівній дії електродинамічних зусиль, необхідно вміти розраховувати механічні напруження, створені цими зусиллями у матеріалах апарата. Такий розрахунок тим більше необхідний через те, що з метою одержання мінімальних габаритів в апаратах прагнуть розташовувати струмовідні частини якнайближче одна до одної.

3.2 Розрахунки електродинамічних зусиль

Для розрахунку електродинамічних зусиль використовують два методи.

У *першому* – зусилля розглядається як результат взаємодії провідника із струмом i і магнітного поля. Якщо елементарний провідник $d\mathbf{l}$ (м) зі струмом i (А) знаходиться в магнітному полі з індукцією $\mathbf{B}$ (Тл), створюваного іншими провідниками (рис.3.1, а), то сила $d\mathbf{F}$ (Н), що діє на цей елемент, є таким :

$$d\mathbf{F} = i \cdot d\mathbf{l} \cdot \mathbf{B} = i \cdot \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} \cdot \sin \beta \quad (3.1)$$

де i – струм; β – кут між векторами елементу $d\mathbf{l}$ і індукції $\mathbf{B}$, вимірюваний кутом повороту вектора $d\mathbf{l}$ до вектора $\mathbf{B}$ по найкоротшій відстані. За напрям $d\mathbf{l}$ береться напрям струму в елементі. Напрямок індукції $\mathbf{B}$, створюваної іншим провідником, визначається за правилом буравчика, а напрям сили – за правилом лівої руки.

Для визначення повної зусилля, що діє на провідник завдовжки l , необхідно підсумувати сили, що діють на всі його елементи:

$$\mathbf{F} = \int d\mathbf{F} = \mathbf{B} \cdot i \cdot \sin \beta \cdot d\mathbf{l} \quad (3.2)$$

У разі будь - якого розташування провідників в одній площині $\beta = 90^\circ$ це рівняння спрощується:

$$\mathbf{F} = \int \mathbf{B} \cdot i \cdot d\mathbf{l} \quad (3.3)$$

Описаний метод рекомендується застосовувати тоді, коли можна аналітично знайти індукцію у будь - якій точці провідника, для якого необхідно визначити силу. Індукцію визначають, використовуючи закон Біо - Савара - Лапласа.

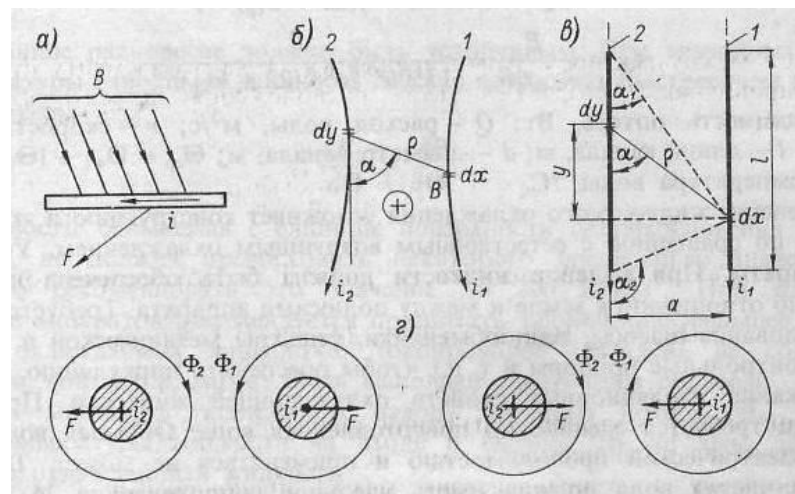


Рисунок 3.1 – Напрямок дії електродинамічних сил між провідниками

Другий метод заснований на використанні енергетичного балансу системи провідників зі струмом. Якщо нехтувати електростатичною енергією системи і прийняти, що при деформації струмовідних контурів або при їх переміщенні під дією ЕДЗ струми у всіх контурах залишаються незмінними, то силу можна знайти за рівнянням:

$$F = dW/dx \quad (3.4)$$

де W – електромагнітна енергія; x – можливе переміщення у напрямі дії сили. Таким чином, сила дорівнює похідній частинній від електромагнітної енергії даної системи по координаті, у напрямі якої діє сила. При розрахунку Е.Д.З., діючих при короткому замиканні, величини струмів у контурах можна вважати незмінними.

б) **Напрямок дії ЕДЗ** Знайдемо напрям сили, що діє на елемент dl_1 із струмом i_1 (рис.2, б). Лінія індукції B_2 , що створюється струмом i_1 , є колом з радіусом r , що лежить у площині, перпендикулярній до I_2 . Напрямок сили dF_1 визначається за правилом лівої руки (показано на рис.2, б). Для задачі, коли всі провідники лежать в одній площині, сумарна індукція, що діє на провідник, завжди перпендикулярна до цієї площини, а сила лежить у площині.

Напрями ЕДЗ для деяких випадків розташування провідників в одній площині показані на рис.3.1. Напрямок дії сили може бути також визначений з наступного загального положення: сили, що діють в контурі із струмом, прагнуть змінити конфігурацію контуру так, щоб охоплюваний контуром магнітний потік збільшився.

Зручним для визначення напрямку дії електродинамічної сили є метод, запропонований акад. У.Ф. Міткевичем, заснований на представленні бічного розпору і тяжіння магнітних ліній. Зображають і накладають одна на одну картини магнітних полів, що створюються струмом кожного з провідників. Завдяки бічному розпору магнітних силових ліній сила, що діє на провідник, направлена у бік, де поле ослаблене (рис.3.1).

3.3 Електродинамічні зусилля між паралельними провідниками

До електротехнічних конструкцій, в яких електродинамічні зусилля можна розглядати як сили у паралельних провідниках, можна віднести, наприклад, електротехнічні шини (рис.3.2), в яких утворюються значні взаємні зусилля F_1 ; F_2 ; F_3 під час протікання по них струмів КЗ. Ці сили намагаються зігнути шини та зламати ізолятори, на яких вони закріплені.

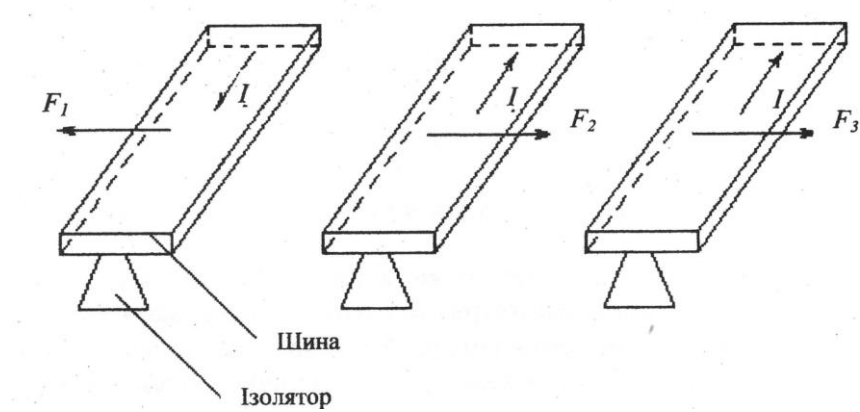


Рисунок 3.2 – Електродинамічні сили в паралельних провідниках

У випадку, коли по двох тонких провідниках довжиною l протікають струми та направлені на зустріч один одному, то на провідники будуть діяти електродинамічні сили, які прагнуть їх відштовхнути.

$$F_{\text{дин}} = k_{\Gamma} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot 10^{-7}$$

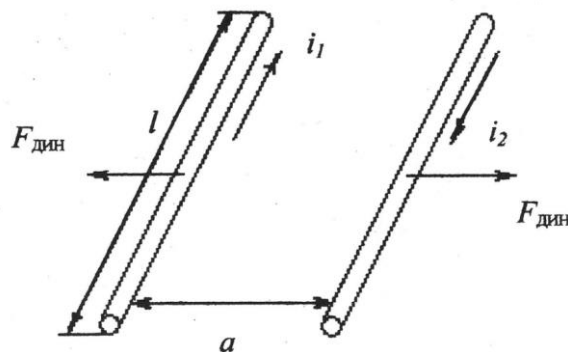


Рисунок 3.3 – Напрямок дії електродинамічних сил в паралельних провідниках

Кількісне значення цієї сили можна визначити за виразом:

$$F_{\text{дин}} = k_{\Gamma} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot 10^{-7} \quad (3.5)$$

де k_{Γ} - геометричний коефіцієнт

$$k_{\Gamma} = \frac{2l}{a} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right] \quad (3.6)$$

Значення коефіцієнта k_{Γ} залежить від довжини провідників та відстані між ними.

Якщо $\frac{\alpha}{l} \leq 0,1$, що має місце в реальних електроустановках, то $F_{\text{дин}}$ визначається як:

$$F_{\text{дин}} = \frac{2 \cdot l}{\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot 10^{-7} \quad (3.7)$$

Приклад. Знайти електродинамічну силу взаємодії двох провідників, якщо $I_1=50 \text{ кА}$, $I_2=-50 \text{ кА}$ (I_1, I_2 направлені назустріч один одному), $a=250 \text{ мм}$, $l=3 \text{ м}$.

Визначивши відношення $\frac{\alpha}{l} = \frac{0,25}{3} \approx 0,08 \leq 1$, можна за допомогою формули знайти $F_{\text{дин}}$:

$$F_{\text{дин}} = \frac{2 \cdot 3}{0,25} \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot (-50 \cdot 10^3) \cdot 10^{-7} = -6000 \text{ Н}$$

Знак мінус показує, що сили направлені в протилежні сторони.

В попередній формулі було прийняте припущення, що провідники дуже тонкі. Реальні провідники мають певні розміри. У круглих та трубчастих провідниках магнітні силові лінії мають форму кіл і на практиці прийнято вважати, що струм протікає в них по їхній осі, тому вищенаведені формули залишаються справедливими і для таких форм реальних провідників.

Магнітні силові лінії провідників прямокутної форми (рис.3.4) мають форму овалів. Зміна електродинамічних сил для таких провідників враховується введенням спеціального коефіцієнта форми $k_{\text{ф}}$

Кількісне значення $k_{\text{ф}}$ залежить від співвідношень товщини провідника h , його ширини b та відстані між осями провідників a . Коефіцієнт $k_{\text{ф}}$ визначається за спеціальними кривими.

Тоді для провідників прямокутної форми електродинамічна сила може бути визначена за формулою:

$$F_{\text{дин}} = k_{\text{ф}} \cdot \frac{2 \cdot l}{\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot 10^{-7} \quad (3.8)$$

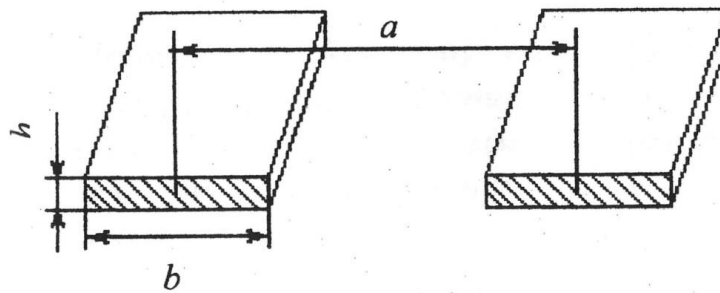


Рисунок 3.4 - Розрахунок електродинамічних сил в паралельних провідниках прямокутної форми.

3.4 Електродинамічні зусилля між перпендикулярними провідниками

В електричних апаратах часто зустрічається конструкція, в якій струмовідні елементи розміщуються *перпендикулярно* один одному (рис.3.5,а). Така конструкція може бути подана у вигляді вертикального провідника нескінченної довжини та горизонтального відрізка довжиною a , по яких протікає струм i . Електродинамічну силу $F_{\text{дин}}$ у такій конструкції визначають за формулою:

$$F_{\text{дин}} = I^2 \cdot \ln \frac{a}{r} 10^{-7} \quad (3.9)$$

де r – радіус провідника.

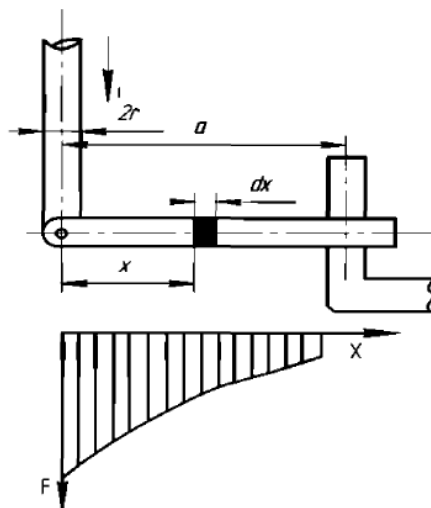


Рисунок 3.5- Електродинамічні зусилля між перпендикулярними провідниками

В цьому випадку зусилля направлене в бік випрямлення провідника. Найбільше лінійне зусилля спостерігається у місці згину провідника. Якщо побудувати епюру зусиль уздовж горизонтального провідника, вона буде мати вигляд, зображений на рис.3.5, б.

В окремих електричних апаратах струмовідні елементи можуть мати вигляд напівпетлі, наприклад у місткових контактах, рубильниках та ін. Ця конструкція може бути представлена як два вертикальні провідники, з'єднані перемичкою (траверсою) (рис.6, а).

Електродинамічне зусилля, що діє на перемичку, буде складатися під впливом зусиль від лівого та правого вертикальних провідників, тобто, буде у два рази більшим порівняно з першим випадком:

$$F_{\text{дин}} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{a}{r} \quad (3.10)$$

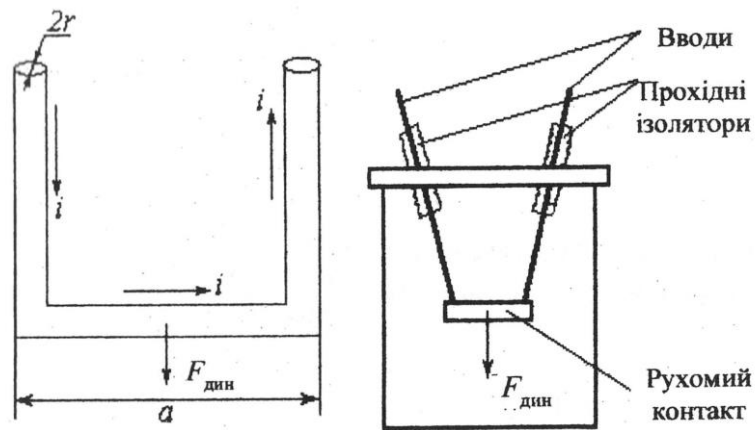


Рисунок 3.6 - Електродинамічні зусилля між вертикальними провідниками, з'єднаних перемичкою (траверсою)

Приклад. У баковому вимикачі (рис.3.6, б) струмовідні елементи розміщені на відстані 200 мм і виконані у вигляді круглих стрижнів діаметром 20 мм. Визначити силу дії на рухомий контакт, якщо через вимикач протікає наскрізний струм КЗ $I_{\text{кз}} = 50 \text{ кА}$

$$F_{\text{дин}} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot (50 \cdot 10^3)^2 \cdot \ln \frac{0,2}{0,01} = 1500 \text{ Н} \approx 150 \text{ кг}$$

3.5 Електродинамічні зусилля в кільцевому витку і між кільцевими витками

У кільцевому витку (рис.3.7, а) діаметром $2R$, виконаному провідником з радіусом r , виникають погонні радіальні зусилля $F_{\text{дин}}$, які прагнуть збільшити радіус витка. У поперечному перерізі витка з'являється зусилля

$F_{\text{дин}}$, яке прагне розірвати виток. Це зусилля складається з геометричної суми сил, що діють на чверть витка.

Якщо $R \gg r$, то зусилля $F_{\text{дин}}$ розраховується за формулою:

$$F_{\text{дин}} = 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \left(\ln \frac{8 \cdot R}{r} - 0,75 \right) \quad (3.11)$$

Якщо поперечний переріз провідника прямокутний, то у формулу замість останньої складової $-0,75$ підставляють $+0,5$.

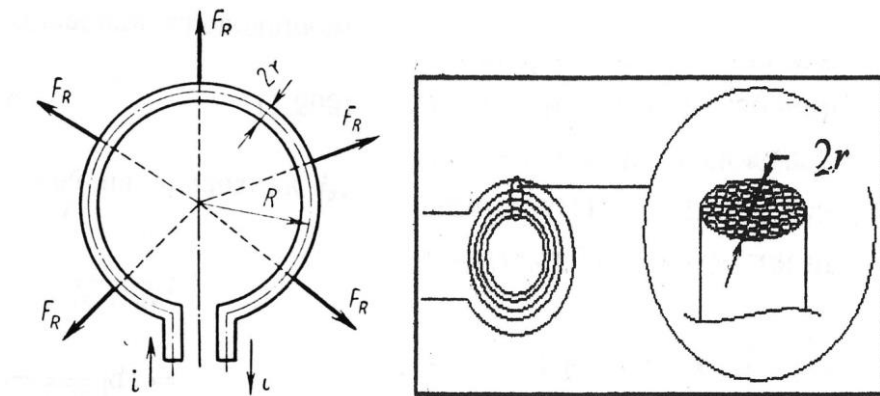


Рисунок 3.7 - Електродинамічні зусилля в кільцевому витку

У випадку, коли загальний виток (рис.3.7, б) складається з ω витків проволу, які складають даний переріз радіусом r , у формулі необхідно прийняти $I = I \cdot \omega$, де I – струм в одному провіднику.

У котушках електричних апаратів, окрім сил всередині витка, існують також електродинамічні зусилля між витками (рис.3.8). Причому, якщо струми у витках мають один напрямок протікання, то витки прагнуть наблизитися один до одного.

При рівних радіусах обох витків R , віддалених на відстань h один від одного, зусилля зближення можна визначити за формулою:

$$F_{\text{дин}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{R}{h} \quad (3.12)$$

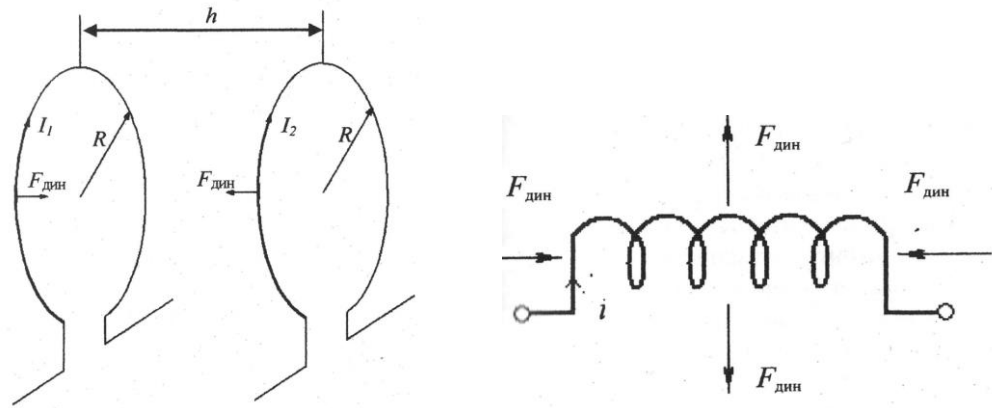


Рисунок 3.8 - Електродинамічні зусилля всередині витка (а) і між витками (б)

Приклад. Знайти силу взаємодії між двома витками з рівними радіусами $R=25$ см, віддаленими один від одного на відстань $h=2$ см, якщо через них протікає струм 12 кА.

$$F_{\text{дин}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,25}{0,02} = 2200 \text{ Н} \approx 220 \text{ кг}$$

висновок: електродинамічні зусилля в котушці направлені так, щоб стиснути котушку по довжині та товщині і збільшити її діаметр (рис.3.8, б).

3.6 Механічний резонанс

Усяка механічна пружна система має так звану власну частоту коливань. Якщо яка-небудь сила виведе цю систему з рівноваги (деформує її яким-небудь чином, не переходячи межі пружності), а потім перестане діяти, то система буде якийсь час коливатися біля свого положення рівноваги. Частота цих коливань і називається *власної частотою коливань системи*. Швидкість їхнього згасання залежить від пружних властивостей, маси системи і її деталей, а також від сил тертя, й не залежить від значення сили, що викликала коливання.

Якщо сила, що виводить механічну систему з рівноваги, буде мінятися із частотою, рівною частоті власних коливань системи, то на деформацію одного періоду буде накладатися деформація наступного періоду й система буде розгойдуватися із все зростаючою амплітудою, теоретично до нескінченності. Природно, що ніяка конструкція не може протистояти такій всі зростаючій деформації й руйнується.

Збіг частоти власних коливань із частотою зміни електродинамічної сили називається механічним резонансом.

Повний резонанс спостерігається при точному збігу частоти коливань сили із частотою власних коливань конструкції й рівних позитивних і негативних амплітудах, *частковий* — при неповному збігу частот і нерівних амплітудах.

Для запобігання механічному резонансу необхідно, щоб частота власних коливань конструкції відрізнялася від частоти зміни електродинамічної сили. Краще, коли частота власних коливань лежить нижче частоти зміни сили.

Підбір необхідної частоти власних коливань можна виконувати різними способами. Для шин, наприклад, цього можна домогтися шляхом зміни довжини вільного прольоту.

Для підрахунку власної частоти коливань шин рекомендується формула:

$$f = \frac{k}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{g}} \quad (3.13)$$

де l — проліт між ізоляторами; E — модуль пружності, Па; J — момент інерції щодо осі, перпендикулярної напрямку вигину; g — вага одиниці довжини шини, Н/см; k — коефіцієнт, що залежить від характеру кріплення шин: $k = 112$ при твердому кріпленні шин і ізоляторів, $k = 78$ при вільному кріпленні на одній опорі й твердому — на іншій; $k = 49$ при шинах, що вільно лежать на опорах.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Чим відрізняються вирази для електродинамічних зусиль (ЕДЗ) між паралельними провідниками нескінченної і кінечної довжини?
2. Як впливає форма перетину провідників на величину ЕДЗ?
3. Чим зумовлена сила відштовхування контактів, і до яких шкідливих наслідків вона може призвести?
4. Як розраховуються ЕДЗ в круговому витку і між витками?
5. Поясніть причину виникнення електродинамічного зусилля між провідником зі струмом і феромагнітним тілом.
6. Як розраховуються ЕДЗ всередині контуру зі струмом і між контурами за допомогою енергетичного методу?
7. Дайте визначення електродинамічної стійкості електричних апаратів.

8. Як спрямовані ЕДЗ і моменти в системах перпендикулярних провідників?
9. У яких випадках для розрахунку ЕДЗ зручніше використовувати рівняння Ампера, а в яких - енергетичного балансу?
10. Які кількісні показники служать для оцінки електродинамічної стійкості?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

4. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТАХ

4.1 Загальні відомості

4.2 Втрати енергії в електричних апаратах

4.3 Теплопередача в електричних апаратах

4.4 Усталений режим нагрівання електричних апаратів

4.5 Нагрівання електричних апаратів в перехідних режимах

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Термічна стійкість	Здатність комутаційного апарату витримати проходження струму короткого замикання певних значень та тривалості без пошкодження і без перевищення температури, допустимої в разі коротких замикань	<i>thermal stability</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Струм постійний	<i>direct current</i>
AC	Струм змінний	<i>alternatic current</i>

Літерні позначення

Θ (T)	Абсолютна температура (K)
θ, Θ (t)	Температура (за Цельсієм) ($^{\circ}\text{C}$)
Q	Теплота, кількість тепла (теплоти)
λ (k)	Теплопровідність
C	Теплоємність
c	Питома теплоємність

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. - 68 с.
2. ДСТУ 2815-94 Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. -105 с.

4.1 Загальні відомості

При роботі комутаційного апарату в його струмовідному колі, ізоляції і деталях конструкції виникають втрати електричної енергії, що перетворюються в тепло. Теплова енергія частково витрачається на підвищення температури апарату і частково віддається в навколишнє середовище. При підвищенні температури відбувається прискорене старіння ізоляції провідників і зменшення їхньої механічної міцності.

Якщо при даній припустимій тривалій температурі θ_n термін служби ізоляції провідників дорівнює t , то при зростанні тривалої температури усього лише на 8°C термін служби скорочується в 2 рази. При значному підвищенні температури ізоляція плавиться і навіть згорає. Це призводить до короткого замикання (КЗ) і виходу апарату з ладу.

При підвищенні температури від $+100$ до $+250^\circ\text{C}$ механічна міцність знижується на 40%. При короткому замиканні, коли температура може досягати граничних значень ($200\text{—}300^\circ\text{C}$), струмоведучі частини піддаються впливу великих електродинамічних сил.

Робота контактних з'єднань також сильно залежить від температури. Нагрівання струмоведучих частин і ізоляції апарата значною мірою визначає його надійність. Тому у всіх можливих режимах роботи температура частин апарата не повинна перевершувати таких значень, при яких забезпечується його тривала надійна робота.

4.2 Втрати енергії в електричних апаратах

Активні втрати енергії в апаратах. Втрати в струмовідних частинах. В апаратах постійного струму нагрів відбувається тільки за рахунок втрат в активному опорі струмоведучого кола. Енергія, що виділяється в провіднику, дорівнює:

$$W = \int_0^t i^2 R dt \quad (4.1)$$

де W — енергія, Дж; i — струм у колі, А; R — опір, Ом; t — тривалість протікання струму, с.

Для однорідного провідника опір R легко знайти, знаючи властивості матеріалу, довжину і переріз провідника. При змінному струмі активний опір провідника відрізняється від опору при постійному струмі через виникнення поверхневого ефекту і ефекту близькості

Опір при змінному струмі $R_{\sim}$ визначається рівнянням:

$$R_{\sim} = k_d R \quad (4.2)$$

де R — опір при постійному струмі; k_d — коефіцієнт додаткових втрат, викликаних поверхневим ефектом і ефектом близькості.

Відомо, що чим вища частота струму і чим менший питомий опір провідника - тим більшим є поверхневий ефект. У феромагнітних матеріалах поверхневий ефект різко зростає через збільшення магнітної проникності провідників.

Істотну роль відіграють форма і розміри провідника. Чим більший його діаметр, тим більший поверхневий ефект. При використанні провідників великого перерізу через поверхневий ефект внутрішня частина перерізу не обтікається струмом і фактично не використовується.

У цьому випадку застосовують струмовідний провідник трубчастого чи коробчастого перерізів. Коробчастий переріз у порівнянні з круглим є кращим, тому що збільшується поверхня охолодження при тому ж перерізі і зростає механічна міцність.

Коробчасту шину виконують у вигляді двох половин, між якими вводять зазор, що забезпечує охолодження внутрішньої поверхні шинопроводу.

Розрахунок коефіцієнта додаткових втрат від поверхневого ефекту K_n проводять за спеціальними кривими.

Поверхневий ефект. Змінне магнітне поле, що охоплює провідник (рис.1, а), по якому протікає змінний струм, індукує в цьому провідникові електрорушійну силу (ЕРС), спрямовану назустріч прикладеній напрузі.

Центральні (внутрішні) шари провідника перетинаються більшим магнітним потоком, ніж зовнішні. Наведена в центральних шарах проти - ЕРС буде більшою, ніж у зовнішніх. Це призведе до зменшення густини струму J в центральних шарах в порівнянні з густиною струму в зовнішніх (рис.1, б). Вказане фізичне явище має назву поверхневого ефекту.

Вплив цього явища сприймається як збільшення опору провідника, оскільки при одному і тому самому значенні прикладеної напруги, змінний струм, що протікає по провіднику, буде меншим, ніж постійний.

Коефіцієнт поверхневого ефекту K_n зростає зі зростанням частоти струму та питомої провідності матеріалу провідника, а також залежить від відношення периметру провідника до його перерізу.

При нагріванні питома провідність падає, відповідно, знижується і вплив поверхневого ефекту. При більшому діаметрі провідника магнітний потік, що перетинає центральні шари, буде більшим, відповідно, більшими будуть нерівномірність розподілу струму та коефіцієнт поверхневого ефекту.

Оскільки при змінному струмі, а особливо при його підвищеній частоті, середня частина розрізу провідника погано використовується, то в таких випадках вигідно брати не суцільний круглий провідник, а пусту трубку і застосовувати провідники з можливо більшим співвідношенням периметра до перерізу.

Відношення активного опору провідника, що знаходиться в магнітному полі інших провідників, до опору відокремленого провідника називається коефіцієнтом близькості:

$$k_6 = R_{\sim} / R_{\sim \text{пр}} \quad (4.3)$$

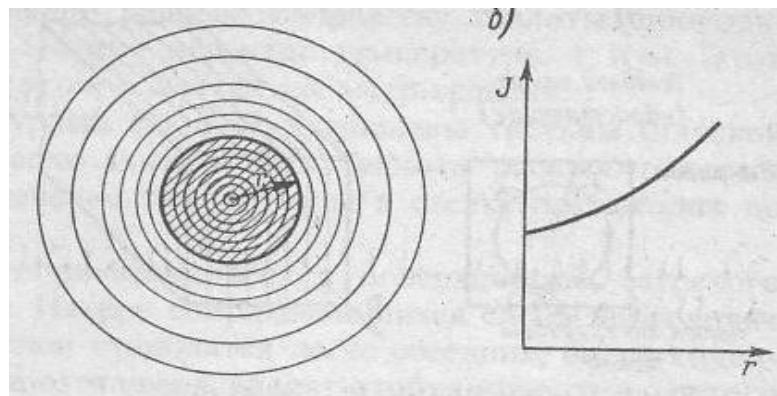


Рисунок 4.1- Пояснення поверхневого ефекту

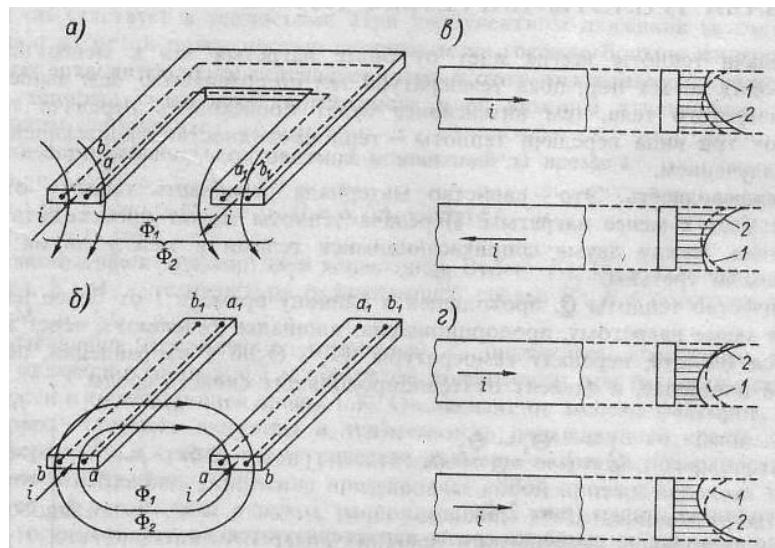


Рис 4.2- Пояснення ефекту близькості, розподіл струму при: 1 - нескінченно великій відстані між провідниками, 2 - при близькому розташуванні провідників (обумовлено поверхневим ефектом)

Аналогічно поверхневому ефекту ефект близькості зростає з частотою струму, провідністю матеріалу і залежить від форми і взаємного розташування провідників. Чим ближче розташовані провідники один до одного, тим сильніше магнітне поле від сусіднього провідника і тем більший ефект близькості.

Струми в провідниках мають протилежні напрямки. На відміну від коефіцієнта поверхневого ефекту k_n коефіцієнт близькості k_6 може бути й менше одиниці, тому що за рахунок магнітного поля сусідніх провідників можливе вирівнювання густини струму по перерізу.

Коефіцієнт близькості залежить також і від напрямку струму в сусідніх провідниках. Коефіцієнт близькості знаходять за допомогою кривих, що наводяться в довідниковій літературі.

Для трифазної системи провідників картина впливу сусідніх фаз значно ускладнюється. Однак можна вказати ті мінімальні відстані між сусідніми фазами, при яких ефект близькості практично незначний.

Так, при циліндричних провідниках $k_6=1$, якщо відстань між фазами $l \geq 6d$, де d — діаметр провідника.

Для прямокутних шин у трифазній системі $k_6=1$, якщо $l \geq 3a$, де a — найбільший розмір поперечного перерізу.

Коефіцієнт додаткових втрат:

$$k_d = k_n + k_6 > 1 \quad (4.4)$$

б) Втрати в неструмовідних феромагнітних частинах. При змінному струмі крім активних втрат у струмовідному колі з'являються активні втрати у феромагнітних деталях апаратів, розташованих у змінному магнітному полі.

Розглянемо проходження змінного магнітного потоку вздовж осі масивного циліндричного стрижня. Під дією потоку в елементарних циліндричних шарах з'являються Е.Р.С. і вихрові струми таких напрямків, при яких створювані ними потоки протидіють зміні основного потоку (правило Ленца). Через розмагнічувальну дію цих струмів магнітний потік по перерізу розподіляється нерівномірно, причому магнітна індукція має найменше значення в центрі стрижня.

Можна вважати, що на глибині α від зовнішньої поверхні індукція залишається постійною. При подальшому наближенні до центру вона різко падає до нуля.

Товщина шару α , протягом якого індукція постійна, називається глибиною проникнення потоку.

Цей ефект аналогічний поверхневому ефекту в провідниках. Розрахунки і дослідження показують, що в більшості практичних випадків товщина шару α складає кілька міліметрів і значно менше, ніж радіус стрижня.

Розрахунок глибини проникнення визначається за формулою:

$$\alpha = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_a}} \quad (4.5)$$

де α — глибина проникнення, м;
 ρ — питомий опір, Ом -м;
 ω — кругова частота, с;
 μ_a — абсолютна проникність матеріалу, Г/м.

Чим менший питомий опір осердя, чим вища частота струму і магнітна проникність, тим сильнішим є ефект витіснення потоку. Крім втрат від вихрових струмів, виникають додаткові втрати на перемагнічування за рахунок гістерезису.

Для зменшення втрат у магнітопроводах апаратів їх виконують шихтованими з листів електротехнічної сталі товщиною 0,2—0,5 мм, ретельно ізольованих один від одного. Сталь повинна мати малі втрати на вихрові струми і гістерезис.

Повні втрати в магнітопроводі P_m можна знайти за формулою:

$$P_m = (X_\Gamma B^{1,6} + X_B f B^2) f G_T \quad (4.6)$$

де B^m — максимальне значення індукції, Т;
 f — частота, Гц;
 X_Γ і X_B — коефіцієнти втрат від гістерезису і вихрових струмів;
 G_T — маса магнітопроводу, кг.

Для трансформаторних сталей (Е41-Е43) $\chi_\Gamma = 1,9-2$, $\chi_B = 0,4-1,2$.

Для зменшення втрат у масивних деталях застосовують такі методи:

а) введення немагнітних зазорів на шляху потоку (зменшується потік за рахунок зростання магнітного опору кола);

б) на масивний магнітопровід одягається короткозамкнений виток (струм, що виникає в короткозамкненому витку, зменшує потік і обумовлює до зниження втрат);

в) при великих номінальних струмах (вище 1000А) конструкційні деталі виготовляють з немагнітних матеріалів: силуміну, дюралюмінію, бронзи, немагнітного чавуну та інших.

В апаратах змінного струму високої напруги, крім втрат у провідникових і феромагнітних матеріалах, необхідно враховувати втрати, що виникають в ізоляції. Ці втрати визначаються за формулою:

$$P = 2\pi fCU^2 \tan \delta \quad (4.7)$$

де f – частота струму;
 C – ємність ізоляції;
 U – діюче значення напруги на ізоляції;
 $\tan \delta$ – тангенс кута діелектричних втрат.

Ізоляція апарату нагрівається як за рахунок втрат у струмовідному колі, так і за рахунок втрат у діелектрику, $\tan \delta = 0,005 \div 0,0001$.

Поява дефектів в окремих місцях ізоляції (при цьому збільшується $\tan \delta$) призводить до виникнення місцевих теплових виділень, які здатні викликати тепловий пробій ізоляції (ізоляція обвуглюється і стає провідною).

Інші види джерел теплоти в електричних апаратах:

а) енергія, що виділяється в електричних дугах, у комутаційних апаратах, особливо при частих увімкненнях і вимкненнях.

б) при терті між собою окремих елементів електричних апаратів.

Нагрівання електричних апаратів викликає прискорене старіння ізоляції і підвищує швидкість окислювання електричних контактів.

4.3 Теплопередача в електричних апаратах

Способи передавання тепла всередині нагрітих тіл та з їхньої поверхні. Передавання теплоти завжди йде від більш нагрітих тіл до менш нагрітих і відбувається до того часу, поки їх температури не зрівняються. Чим вища температура нагрітого тіла, тим інтенсивніше буде відбуватися передавання теплоти. Розрізняють три види теплообміну: теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання.

Теплопровідність - це властивість матеріалу передавати теплоту від більш нагрітого до менш нагрітого тіла .

(Теплопровідністю називається процес поширення тепла між безпосередньо дотичними частками, обумовлений тепловим рухом молекул чи атомів речовини, а в металах — вільних електронів).

Кількість теплоти Q , яке проходить за одиницю часу t від більш нагрітого тіла до менш нагрітого, пропорційна площі (поперечному перерізу) s , через яку передається тепло та перепаду температур $(\theta_1 - \theta_2)/\delta$ в напрямку,

перпендикулярному площі і залежить від теплопровідних властивостей середовища λ :

$$Q = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{\delta} S \cdot t, \quad (4.8)$$

де δ – товщина стінки.

Передавання теплоти може відбуватися всередині одного тіла, між двома тілами і між двома тілами, розділеними третім.

Теплопровідні властивості середовища характеризуються коефіцієнтом теплопровідності, чисельно рівним кількості теплоти, яка проходить через площу 1 м^2 за 1 секунду при перепаді температур 1 К/м . Цей коефіцієнт позначається λ і вимірюється у ватах на метр-кельвін ($\text{Вт/м}\cdot\text{К}$).

Якщо два тіла А і В з температурами θ_1 і θ_2 розділені третім (плоскою стінкою) з теплопровідністю λ і якщо вважати, що тепло поширюється в одному напрямку, то зміна температури в стінці відбувається по прямій.

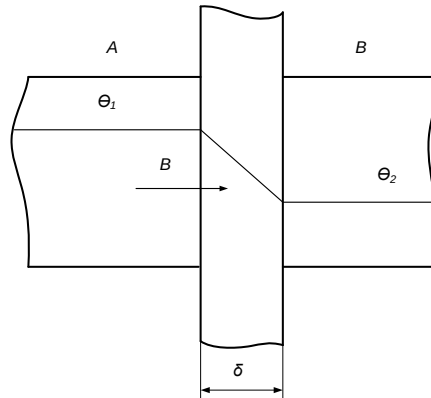


Рисунок 4.3 - Передавання теплоти між двома тілами, розділеними третім.

Конвекція. Газ або рідина, дотичні з поверхнею нагрітого тіла, нагріваються від цієї поверхні. Нагрів дотичних шарів відбувається за рахунок теплопровідності.

Нагріті шари стають легшими за сусідні (більш холодні шари зовнішнього середовища), піднімаються догори і виносять відібране від нагрітого тіла тепло. Цей фізичний процес називається конвекцією.

Якщо швидкість руху частин зовнішнього середовища визначається тільки ступенем їх нагріву від поверхні нагрітого тіла, то конвекція називається природною.

Якщо швидкість руху частин зовнішнього середовища задається примусово (за допомогою вентиляторів або насосів), то конвекція називається штучною.

Кількість тепла, яке віддається конвекцією за час t визначається за формулою:

$$Q = (\theta_1 - \theta_2) F_t \quad (4.9)$$

де K_k - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м² К

θ_1 - температура нагрітого тіла, К

θ_2 - температура навколишнього середовища, К

F_t - поверхня тепловіддачі, м²

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією K_k визначає кількість тепла, яке віддається в секунду з 1 м² нагрітої поверхні при різниці температур поверхні і навколишнього середовища в 1 К. Він залежить від багатьох факторів – швидкості руху і теплоємності навколишнього середовища, температури поверхні і середовища, геометричних розмірів нагрітої поверхні.

Випромінювання. Частину тепла нагріте тіло віддає в навколишній простір шляхом випромінювання електромагнітних коливань різної довжини (ультрафіолетових, світлових і інфрачервоних променів). Цей спосіб тепловіддачі називається випромінюванням або радіацією.

Найбільш інтенсивно теплову енергію переносять інфрачервоні промені (довжина хвилі 0,8 – 40 мкм), найменше – світлові промені (довжина хвилі 0,4 – 0,8 мкм).

Фізичні властивості теплових і світлових променів схожі, як ті, так і інші розповсюджуються зі швидкістю світла.

Поверхня, яка відбиває від себе всі падаючі промені, називається абсолютно білою поверхнею. Поверхня, яка повністю поглинає всі падаючі на неї промені, називається абсолютно чорною.

Нагріте абсолютно чорне тіло випромінює таку ж кількість енергії, яку поглинає.

Кількість тепла, випроміненого з поверхні нагрітого тіла за 1 секунду, визначається за формулою:

$$Q = K_d \left[\left(\frac{Q_1}{1000} \right)^4 - \left(\frac{Q_2}{1000} \right)^4 \right] F_t \quad (4.10)$$

де: k_d - коефіцієнт теплового випромінювання;

θ_1 - температура тіла;

θ_2 - температура навколишнього середовища;

S - площа поверхні випромінювання.

Втрати в провідниках. Потужність P , яка втрачається в провіднику при протіканні по ньому струму дорівнює:

$$P = I^2 \cdot R,$$

При постійному струмі R відповідає електричному опору :

$$R = \rho \ell / s ,$$

де ρ - питомий опір, ℓ та s - довжина і поперечний переріз провідника.

При змінному струмі втрати будуть більшими ніж при постійному за рахунок поверхневого ефекту і ефекту близькості, що враховується коефіцієнтом додаткових втрат k_d

$$k_d = k_{\pi} + k_{\delta} > 1 \quad (4.11)$$

Опір при змінному струмі називається активним опором.

$$R_{\sim} = k_d R = R_{\text{акт}} \quad (4.12)$$

4.4 Основні номінальні режими роботи електричних апаратів і допустимі перевищення температури

Режими роботи електричних апаратів в умовах експлуатації доволі різноманітні. Апарати можуть працювати з повним навантаженням як тривалий час (наприклад, трансформатори на електричних станціях), так протягом відносно короткого проміжку часу (реле, контактори). У сучасних установках електричні апарати дуже часто мають циклічний режим роботи. У багатьох випадках вони працюють зі змінним навантаженням.

При різних режимах роботи електричні апарати нагріваються неоднаково. З точки зору найбільш раціонального використання матеріалів доцільно, щоб нагрівання частин електричного апарату в реальних умовах його експлуатації було близьким до допустимого за чинними стандартами. Для цього кожен електричний апарат слід проектувати і виготовляти з урахуванням конкретних умов і режимів його експлуатації, що на практиці практично нездійсненно. Навіть якщо припустити, що умови роботи кожного електричного апарату можна передбачити, врахування цих умов при виготовленні не дозволив би організувати масове виробництво однотипних електричних апаратів і вони були б занадто дорогими.

Тому згідно з чинними стандартами електричні апарати виготовляють для трьох основних номінальних режимів роботи: тривалого, короткочасного і повторно-короткочасного.

Тривалим номінальним режимом роботи електричного апарату називається режим роботи при незмінному номінальному навантаженні,

тривалість якого така, що перевищення температури всіх частин електричного апарату при незмінній температурі охолоджуючої середовища досягають практично сталих значень.

Короткочасним номінальним режимом роботи електричного апарату називається режим роботи, при якому періоди незмінного номінального навантаження (при незмінній температурі охолоджуючого середовища) чергуються з періодами вимкнення апарату. При цьому періоди навантаження не настільки тривалі, щоб перевищення температури всіх частин електричного апарату могли досягти практично сталих значень, а періоди зупинки настільки тривалі, що всі частини апарату приходять в практично холодний стан.

Повторно-короткочасним номінальним режимом роботи електричного апарату називається режим роботи, при якому короткочасні періоди незмінного номінального навантаження (робочі періоди) при незмінній температурі навколишнього середовища чергуються з короткочасними періодами вимкнення апарату (паузами). Як робочі періоди, так і паузи не так тривалі, щоб перевищення температури окремих частин апарату могли досягти ustalених значень.

Повторно-короткочасний номінальний режим роботи характеризується відносною тривалістю увімкнення (ПВ, %), тобто відношенням тривалості робочого періоду до тривалості циклу (сумарної тривалості робочого періоду і паузи).

Окрім перерахованих трьох основних номінальних режимів роботи стандарти передбачають ще чотири додаткових номінальних режиму роботи, при яких навантаження має циклічний характер.

Більшість електричних апаратів виготовляються для тривалого режиму роботи. З метою забезпечення нормальних (передбачених виробником) термінів служби електричних апаратів значення температури їх окремих частин, особливо температура ізоляції обмоток, повинні бути обмежені.

Робоча температура ізоляції і окремих частин апарату T , залежить не тільки від навантаження, але і від температури навколишнього або охолоджуючої середовища T_{t0} . Від навантаження залежить тільки перевищення температури в окремих частин апарату. Між перерахованими величинами існує наступна залежність:

$$T_t = T_{t0} + \theta \quad (4.13)$$

Стандарти на окремі типи апаратів нормують гранично допустимі перевищення температури $\theta_{\text{доп}}$ і одночасно встановлюють значення максимально допустимої температури навколишнього середовища $T_0=40^\circ\text{C}$.

Способи визначення перевищення температур обмоток не гарантують знаходження їх максимальних значень, а метод опору дозволяє встановити тільки середнє перевищення температури обмоток. Тому в стандартах залежно від способу вимірювання температури і конструкції обмотки встановлюються значення $\theta_{\text{доп}}$ які на 5...15% менше $T_{\text{тадо}} - T_{t0}$.

Найбільш надійні результати вимірювання температури дають метод опору і метод закладення термодетекторів. Останні являють собою термометри опору або термопари, які закладаються між котушками апаратів при їх виготовленні.

Термометри опору виготовляються з тонкого мідного дроту, за зміною опору якого і визначається температура.

Для зазначених методів вимірювання стандарти встановлюють при температурі $T_{t0}=40^{\circ}\text{C}$ наступні допустимі перевищення температури обмоток: 60°C - для класу нагрівостійкості ізоляції *A*; 70°C - для класу *E*, 80°C - для класу *B*; 100°C - для класу *F*; 125°C - для класу *H*. Якщо температура навколишнього середовища більше або менше 40°C , то стандарти дозволяють певні зміни допустимих перевищень температури. Допустимі короточасні перевантаження також нормуються стандартами.

4.5 Нагрівання електричних апаратів в перехідних режимах

Нагрівання електричних апаратів при різних режимах роботи. Нагрівання апарату як ідеального твердого тіла при тривалому режимі роботи характеризує крива, наведена на рис. 4.4,а, а за наявності у апарату початкового перевищення температури ($\theta_0 \neq 0$) - крива на рис.4.4. В процесі нагрівання для даного класу ізоляції необхідно дотримуватися умови $\theta_{\infty} = \theta_{\text{доп}}$. Охолодженню апарату відповідає крива на рис.4.5, б. На рис.4.4, 4.5 величини $T_{\text{нагр}}$, $T_{\text{охл}}$ - постійні часу відповідно нагрівання та охолодження.

При проектуванні електричних апаратів виконуються необхідні теплові розрахунки з метою встановлення перевищення температури окремих частин апарату. Тепловий розрахунок для тривалого режиму роботи є основним, оскільки на ньому базуються розрахунки перевищення температур при короточасному і повторно-короточасному режимах роботи.

Теплові розрахунки електричних апаратів досить складні. Наведемо лише хід розрахунку для **тривалого режиму роботи**, коли перевищення температури досягають ustalених значень.

Значення втрат в певних частинах апарату беруть з електричного розрахунку. За конструкційною схемою встановлюють напрямки теплових

потоків і кількість теплоти, що віддається охолоджуваними поверхнями. Потім визначають швидкість повітря або іншого охолоджуючого середовища біля окремих охолоджуваних поверхонь і обчислюють:

- перепад температури ізоляції обмоток $\theta_{iz} = T_{t1} - T_{t2}$ - за формулою (4.13.);
- перепад температури сердечника θ_c - за формулою (4.13);
- перевищення температури охолоджуваної поверхні над температурою охолоджуючого середовища $\theta = \theta_{п.о.}$ - за формулою (4.14).

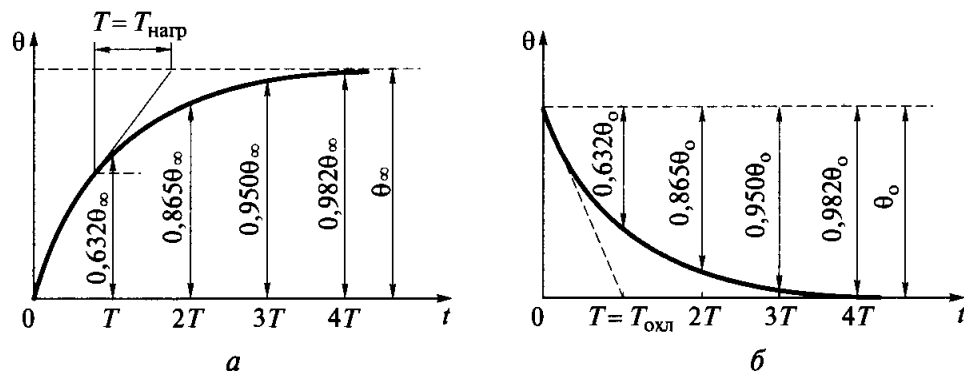


Рисунок 4.4 - Криві нагрівання (а) і охолодження (б) ідеального однорідного твердого тіла

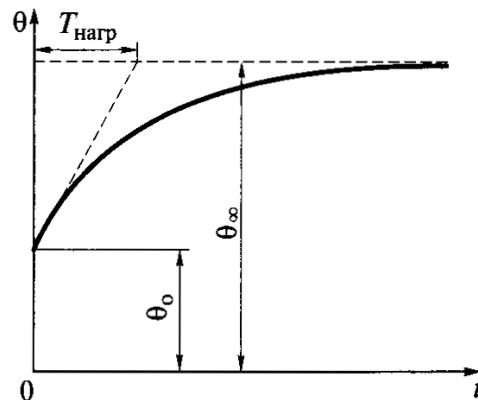


Рисунок 4.5 - Крива нагрівання однорідного твердого тіла при наявності початкового перевищення температури

Крім того, при русі газів і рідин по каналах враховують середній підігрів власне охолоджуючого середовища $\Delta\theta_{охол.}$

Перевищення температури обмотки над температурою повітря, що надходить в охолоджуване середовище апарату знаходять за формулою:

$$\theta_{об} = \theta_{із} + \theta_c + \theta_{п.о.} + \Delta\theta_{охол} \quad (4.14)$$

Величина $\theta_{об}$ не повинна перевищувати допустимого, встановленого стандартами значення.

Значення швидкості руху охолоджуючого середовища на тих чи інших поверхнях, а також відповідні коефіцієнти тепловіддачі вдається встановити лише приблизно через складність аеродинамічних явищ і картини розподілу теплових потоків в апараті. Тому теплові розрахунки дають досить точні результати лише за наявності необхідних експериментальних даних.

Щоб визначити перевищення температури різних частин апарату $\theta_{кр}$ при короткочасному режимі роботи, спочатку знаходять зазначеним раніше способом перевищення температури θ_{∞} , яке була б можливим, якби апарат працював при заданій потужності тривало, а також встановлюють постійні часу нагрівання $T_{нагр}$. Знаючи тривалість короткочасного режиму $t_{кр}$, обчислюють перевищення температури за формулою:

$$\theta_{кр} = \theta_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (4.15)$$

Значення $\theta_{кр}$ повинні укладатися у встановлені межі.

Очевидно, що $\theta_{кр} < \theta_0$, і оскільки допустимі перевищення температури $\theta_{доп}$ для всіх режимів однакові, то при короткочасному режимі можна допустити θ_{∞} , в $1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$ раз більше, ніж при тривалому режимі роботи. У стільки ж разів можуть бути більшими допустимі значення втрат в апараті. Тому при даних габаритних розмірах апаратів і витраті матеріалів потужності апаратів з короткочасним режимом роботи більші потужностей апаратів з тривалим режимом роботи.

Припустимо, що апарат починає роботу в режимі повторно-короткочасного навантаження, перебуваючи в холодному стані. Нехай час робочого періоду t_p , а час паузи - $t_{п}$.

Нагрівання в перший робочий період відповідає ділянці 0 - 1 кривої нагрівання I (рис.4.6), яка може бути накреслена, якщо відомі постійна часу нагрівання $T_{нагр}$ і стале перевищення температури θ_{∞} при роботі в тривалому режимі з даною потужністю.

Потім настає пауза, під час якої апарат починає охолоджуватися. Охолодженню відповідає ділянка 1' - 2' кривої II . Ця крива може бути також накреслена, якщо відомі θ_{∞} і постійна часу охолодження $T_{охол}$. Якщо умови вентиляції під час паузи такі ж, як і в робочому періоді, то $T_{охол} = T_{нагр}$. Якщо ж, наприклад, під час паузи апарат не вентилюється, то $T_{охл} > T_n$. Перенісши ділянку 1' - 2' кривої II паралельно самій собі, так щоб точка

Ізбіглася з точкою 1, отримаємо ділянку 0 - 1 - 2 кривої зміни θ за час першого циклу роботи.

Під час другого робочого періоду, нагріванню відповідає ділянка кривої I , що починається від значення θ , яке було досягнуто в кінці першої паузи в роботі.

Подібним чином можна побудувати зубчасту криву III нагрівання апарату при повторно-короткочасному режимі роботи. вона складається з ділянок кривих I і II , зміщених паралельно самим собі на відповідні інтервали часу роботи t_p і паузи t_{Π} .

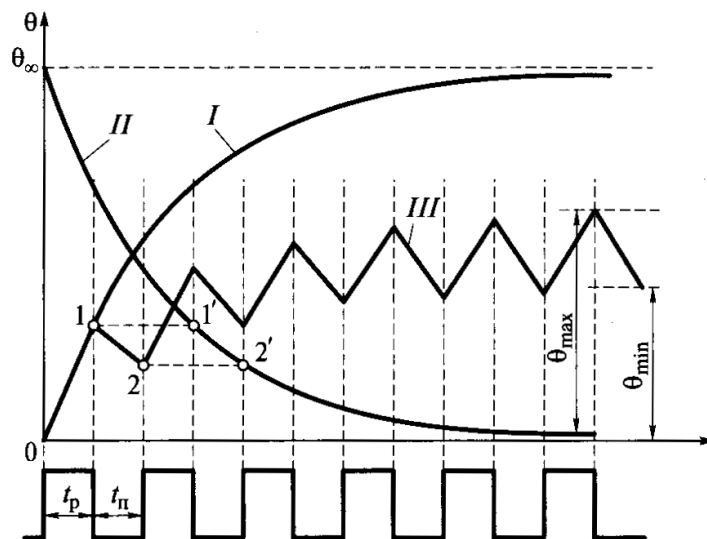


Рисунок 4.6 - Побудова кривої нагрівання при повторно-короткочасному режимі роботи: I , II - криві відповідно нагрівання і охолодження при тривалому режимі роботи; III - крива нагрівання при повторно-короткочасному режимі роботи

Через деякий час температурний режим повторно-короткочасної роботи практично встановлюється і загальний підйом кривої III припиняється. Перевищення температури при цьому коливається в межах від θ_{max} до θ_{min} . Значення θ_{max} не повинно перевищувати значення $\theta_{доп}$ при тривалому режимі роботи. Отже, при повторно-короткочасному режимі роботи в разі тих же габаритних розмірів апарату і тих же умов вентиляції можна допустити в $\frac{\theta}{\theta_{max}}$ разів більші втрати і відповідно більшу потужність.

Таким чином, при використанні апарату, призначеного для тривалого режиму роботи, в повторно-короткочасному режимі його потужність можна збільшити, якщо це допустимо за іншими умовами роботи, наприклад за комутацію або перевантажувальною здатністю.

Тепер розглянемо **режим короткого замикання**. При короткому замиканні електричні апарати піддаються значній термічній дії. Як правило, це аварійний режим роботи, тому час його дії обмежується до мінімально можливого. Для більшості електричних апаратів цей час $t < 0,1T_{нагр}$, тобто не перевищує час нагрівання без теплообміну з навколишнім середовищем. Режим короткого замикання можна розглядати як короткочасний режим роботи, при якому температура частин електричного апарату досягає значень, що перевищують допустиму температуру в тривалому режимі. Оскільки тривалість короткочасного режиму зазвичай невелика, при цьому не відбувається істотних змін в ізоляції та інших елементах, які обмежують температуру в тривалому режимі роботи.

Нехтуючи тепловіддачею в навколишнє середовище від поверхні апарату, рівняння теплового балансу при короткому замиканні можна записати в такий спосіб:

$$P_0(1 + \alpha T_t) = \frac{c\gamma dT_t}{dt} \quad (4.16)$$

де P_0 - потужність джерел теплоти в початковий момент часу $t=0$;

α - температурний коефіцієнт опору; c - питома теплоємність матеріалу;

γ - густина матеріалу.

Представивши рівняння (4.16) у вигляді

$$\frac{dT_t}{dt} = \frac{j^2 \rho_0 (1 + \alpha T_t)}{[\gamma c_0 (1 + \beta T_t)]} \quad (4.17)$$

де β - температурний коефіцієнт теплоємності), після інтегрування при $T_t=0^\circ C$, отримаємо:

$$j^2 t = \left(\frac{\gamma c_0}{\rho_0} \right) \cdot \left\{ \left[\frac{(\alpha - \beta)}{\alpha^2} \right] \ln \left[(1 + \alpha T_t) + \frac{\beta T_t}{\alpha} \right] \right\} \quad (4.18)$$

де c_0 - питома теплоємність матеріалу при $T_t=0^\circ C$; ρ_0 - питомий опір матеріалу при $T_t=0^\circ C$.

Знаючи для кожного матеріалу α , β , ρ_0 , c_0 , у, можна побудувати залежності, що носять назви кривих адіабатного нагріву.

Зазвичай такі криві наводяться для температури в початковий момент часу $T_{th}=0^\circ C$. Якщо $T_{th} \neq 0^\circ C$ і по заданому значенню $j^2 t$ потрібно знайти температуру провідника апарату з струмом короткого замикання, то поступають таким чином. Для даної температури T_n за кривою адіабатного нагріву знаходять значення $j^2 t_n$ (рис.4.7). Потім на осі абсцис від значення $j^2 t_n$ відкладають відрізок, рівний $j^2 t_1$, і по кривій адіабатного нагріву знаходять кінцеву температуру провідника T_{tk} .

Криві адіабатного нагріву дозволяють вирішувати як пряме, так і зворотне завдання, тобто за значенням $j^2 t$ знаходити температуру провідника

і, навпаки, по заданій температурі знаходити допустиме значення квадратичного імпульсу густини струму.

Здатність електричних машин і апаратів витримувати без пошкоджень, що перешкоджають подальшій їх роботі, термічний вплив протікаючих по струмовідних частинах струмів заданої тривалості називається термічною стійкістю, її кількісною характеристикою є струм термічної стійкості, що протікає протягом певного проміжку часу. Знаючи час короткого замикання і матеріал провідника, а також допустиму температуру короточасного нагрівання, за кривими адіабатного нагрівання визначають щільність струму термічної стійкості апарату. Далі вирішують одне з двох завдань: за відомим поперечним перерізом провідника визначають струм термічної стійкості або за заданим струмом термічної стійкості знаходять необхідний поперечний переріз струмовідних частин.

Розрахункові тривалості коротких замикань стандартизовані і прийняті рівними 10; 5 і 1 с. Відповідно до цього розрізняють десяти-, п'яти- і односекундний струми термічної стійкості.

Тривалості короткого замикання і густини струмів взаємопов'язані:

$$j_1^2 t_1 = j_2^2 t_2 \quad (4.19)$$

Тому легко отримати формулу перерахунку струмів термічної стійкості:

$$I_1^2 = 5I_5^2 = 10I_{10}^2. \quad (4.20)$$

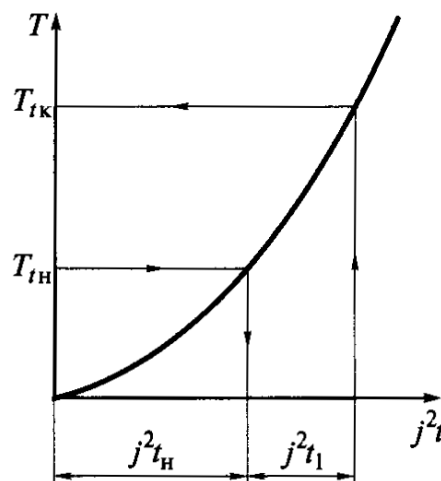


Рисунок 4.7 - Крива адіабатного нагріву

Знаючи необхідний струм термічної стійкості і поперечний переріз провідника, можна за допомогою кривих адіабатного нагріву перевірити, чи

задовільняє провідник цій термічній стійкості з точки зору допустимої температури короткочасного нагрівання.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Які існують класи нагрівостійкості ізоляції? Приведіть приклади допустимих перевищень температури для різних частин апаратів при нормальній роботі і короткому замиканні.

2. Що таке поверхневий ефект і ефект близькості?

3. Як визначаються тепловий опір плоскої стінки і температурний перепад в ній?

4. Що таке коефіцієнт тепловіддачі, яка його розмірність і величина для різних частин апаратів при природному охолодженні?

5. Як визначається необхідний переріз провідника за умовою допустимого нагрівання при протіканні номінального струму?

6. Якими факторами визначається температура нагріву котушки? Поясніть характер розподілу температури в перерізі котушки.

7. За допомогою кривих нагрівання і охолодження апарату поясніть, що таке усталене перевищення температури та тепла постійна часу. Наведіть їх формули.

8. Що таке допустимий, еквівалентний за нагріванням, струм короткочасного і повторно-короткочасного режимів роботи? Від чого він залежить і в яких розрахунках застосовується?

9. У чому полягає сутність теорії нагріву провідників струмом короткого замикання? Як визначити температуру провідника за допомогою кривих адіабатного нагріву за заданими умовами короткого замикання?

10. Що таке струм і час термічної стійкості? Яка залежність існує між ними?

16. Запишіть рівняння теплового балансу і охарактеризуйте його складові.

17. Перерахуйте джерела тепла в електричних апаратах кинетичної і статичної комутації.

18. Чим характеризується процес нагрівання провідника зі струмом в перехідному режимі?

19. Запишіть рівняння теплового балансу для процесу короткого замикання і визначте залежність температури нагрівання провідника в часі.

20. Що таке коефіцієнт перевантаження за струмом? Наведіть формули для розрахунку коефіцієнтів перевантаження за струмом в короткочасному і повторно-короткочасному режимах.

21. Чим визначається тривалість процесу короткого замикання? Якими факторами обмежується температура нагріву провідника при короткому замиканні?

22. Як залежить опір провідника від температури? Наведіть формулу.

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.

2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.

3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.

4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.

5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

5. СПОСОБИ І ЗАСОБИ ГАСІННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ ПРИ КОМУТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

5.1 Загальні відомості

5.2 Виникнення і гасіння електричної дуги

5.3 Дуговий розряд. Гасіння електричної дуги

5.4 Гасіння електричної дуги в магнітному полі

5.5 Гасіння електричної дуги в поздовжніх щілинах дугогасного пристрою

5.6 Гасіння дуги високим тиском

5.7 Гасіння дуги в потоці стиснутого повітря

5.8 Гасіння електричної дуги в трансформаторному маслі

5.9 Гасіння дуги у вакуумному середовищі

5.10 Гасіння електричної дуги повітряним дуттям

5.11 Бездугова комутація кіл змінного струму

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Дугогасна камера комутаційного апарату	Камера, у яку переміщується дуга з метою полегшення її гасіння	<i>arc extinguish chamber of a switching device</i>
Дугогасний контакт контактного апарату	Контакт контактного апарату, який розриває електричну дугу з метою захисту від пошкодження дугою інших, паралельно увімкнених з ним, контактів	<i>arcing contact of a mechanical switching device</i>
Дугогасний пристрій комутаційного апарату	Пристрій, призначений для забезпечення гасіння електричної дуги в комутаційному апараті	<i>arc-control device of a switching device</i>

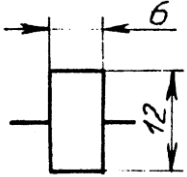
Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Струм постійний	<i>direct current</i>
AC	Струм змінний	<i>alternatic current</i>

Літерні позначення

$\Theta (T)$	Абсолютна температура (K)
$\theta, \Theta (t)$	Температура (за Цельсієм) (°C)
Q	Теплота, кількість тепла (теплоти)

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	Котушка електромагнітного пристрою

Стандарти

1. IEC 60050-121¹1998/ IEC – Chapter 121¹ Electromagnetism/ - 109 р.
2. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.-68 с.

5.1 Загальні відомості

Електрична дуга. При розмиканні електричних кіл за допомогою електричних апаратів (вимикачів, автоматичних вимикачів, контакторів, пускачів, рубильників, реле) зазвичай на їх контактах виникає дуговий розряд, якщо значення струму і напруги перевищують деякі критичні значення (табл. 5.1). Ці критичні значення залежать від ряду факторів: матеріалу контактів, параметрів електричного кола, властивостей середовища і т.д.

Виникнення дуги на контактах веде до їх значного зношення і скорочення терміну служби апарату. Ступінь зношення значною мірою залежить від струму, що розмикається, і часу горіння дуги. Тому одним з найбільш ефективних методів зменшення зношення контактів під впливом дуги є скорочення часу її горіння.



Рисунок 5.1 – Властивості дугового розряду

Але, з іншого боку, в ряді випадків виникла електрична дуга відіграє і позитивну роль. Так, при вимкненні постійного струму значна частина електромагнітної енергії, запасеної у вимикуваному колі, перетворюється на теплову енергію дуги, яка відводиться в навколишнє середовище. Це веде до зниження перенапруг, небезпечних для ізоляції електрообладнання.

При змінному струмі дуга є провідним елементом кола протягом однієї напівхвилі струму, а процес гасіння дуги, по суті, проходить поблизу нульової паузи струму, коли електромагнітна енергія кола близька до нуля. В результаті ймовірність появи небезпечних перенапруг різко зменшується.

В електричних апаратах, що вимикають кола з великими значеннями струму і напруги, для прискорення гасіння дуги застосовують спеціальні дугогасні пристрої (камери).

Таким чином, в цілому дуговий процес, що виникає між контактами комутаційного апарату, являє собою складне явище, залежне від багатьох чинників.

5.2 Виникнення і гасіння електричної дуги.

У комутаційних електричних апаратах, призначених для замикання і розмикання кола зі струмом, при їх вимкненні виникає розряд у газі у вигляді тліючого розряду або дуги. Утворення електричної дуги обумовлюється явищами іонізації, що відбуваються в просторі між контактами. Цей процес полягає у відділенні від нейтральних атомів повітря одного або декількох електронів і утворенні вільних позитивно заряджених частинок - іонів.

Для процесів, що відбуваються в міжконтактному проміжку, характерні чотири види іонізації: термо- і автоелектронна емісії (процеси, що відбуваються поблизу контактів - електродів), термічна та ударна іонізації (процеси, що протікають в об'ємі стовпа дуги).

При розмиканні невеликих струмів (до 0,1 А) при напрузі 200-300 В виникає розряд, названий тліючим. Розмикання контактів може статися без утворення дуги. Таке вимкнення називається безіскровим. Безіскровий розрив спостерігається, зокрема, в апаратах змінного струму при розходженні контактів в момент переходу струму через нуль.

Розряд струму з утворенням електричної дуги називається дуговим і характеризується великою густиною струму, високою температурою центральної частини дуги, незначним падінням напруги біля електродів і невисокою напругою в дуговому проміжку. Мінімальні напруга і струм, необхідні для підтримання дугового розряду, залежать від матеріалу контактів.

Виникнення електричного розряду між контактами призводить до їх електричного зношування. При вимкненні електричного кола, що має невеликі струм і напругу, між контактами утворюється місток розплавленого металу, який розбризкується і випаровується. При розмиканні великих струмів і великій напрузі в результаті теплового впливу електричної дуги це явище значно посилюється. Щоб зменшити зношення контактів, застосовують спеціальні пристрої, що забезпечують швидке гасіння дуги.

Одночасно з іонізацією відбувається зворотний процес - деіонізація, тобто нейтралізація заряджених і утворення нейтральних часток. Деіонізація призводить до гасіння дуги. Вона відбувається за участю третього тіла (наприклад, стінки дугогасних камер, розташованих поблизу або нейтральних часток газів, що знаходяться в об'ємі дугового проміжку), а також в результаті винесення заряджених часток з простору між електродами (дифузія заряджених частинок), внаслідок чого зменшується кількість електронів та іонів, що беруть участь в підтриманні горіння дуги.

Гасіння електричної дуги можливе лише за умови, якщо процеси деіонізації протікають з більшою швидкістю, ніж процеси іонізації.

Для інтенсивної деіонізації дугового проміжку при розходженні контактів збільшують довжину дуги, підвищують швидкість розходження контактів, переміщують дугу в навколишньому повітрі, що сприяє її охолодженню, приводять дугу в тісне зіткнення зі стінками дугогасної камери, розбивають її на ряд коротких дуг, переміщують через нерухомі газ або рідину.

Головним іонізуючим фактором, що підтримує горіння електричної дуги, є термічна іонізація, тому гасіння дуги має відбуватися в основному за рахунок її охолодження.

При гасінні дуги постійного струму необхідно створити умови, при яких струм упав би до нуля. При горінні дуги змінного струму струм в ній проходить кожен напівперіод через нуль незалежно від ступеню іонізації дугового проміжку, тобто кожен напівперіод дуга гасне і запалюється знову. Завдання гасіння дуги при цьому дещо полегшується і достатньо створити умови, при яких струм не відновився би після проходження через нуль.

Пристрої, що використовуються в електричних апаратах для гасіння дуги, називають дугогасними.

5.3 Дуговий розряд. Гасіння електричної дуги.

Електрична дуга (дуговий розряд) - фізичне явище, один з видів електричного розряду в газі.

Дуга з'являється внаслідок пробую при зростанні напруги між двома електродами (це можуть бути контакти вимикача, проводи та ін.) до певного значення.

Напруга електричного пробую залежить від відстані між електродами, середовища, в якому він відбувається, ізоляції та ін. Під час пробую між електродами зазвичай виникає іскровий розряд, імпульсно замикаючи електричне коло.

При пробі в повітрі електрони в іскрових розрядах іонізують молекули в повітряному проміжку між електродами. При досить високій потужності джерела напруги, в повітряному проміжку утворюється плазма. Плазма є хорошим провідником, тому опір повітряного проміжку різко падає, при цьому іскрові розряди перетворюються в дуговий розряд - своєрідний плазмовий тунель. Дуговий розряд (рис.5.2) є по суті провідником, і замикає електричне коло між електродами, середній струм при цьому збільшується та ще більше нагріває дугу до 5000-50000 К.

Після виникнення дуга може зберігатися навіть при розведенні електричних контактів на деяку відстань.



Рисунок 5.2. - Дуговий розряд між контактами роз'єднувача

При експлуатації електроустановок високої напруги поява електричної дуги є неминучою. Взаємодія електродів з плазмою дуги призводить до їх нагрівання, часткового розплавлення, випаровування, окислення та інших видів корозії і до багатьох інших негативних наслідків, внаслідок чого з'являється потреба в застосуванні різних дугогасних пристроїв.

Завдання дугогасних пристроїв (ДП) полягає в тому, щоб забезпечити гасіння дуги за малий час з допустимим рівнем перенапруг при малому зношенні частин апарату, при мінімальному об'ємі розжарених газів, що при цьому викидаються, а також із мінімальними звуковими і світловими ефектами.

Для ефективного гасіння електричної дуги або підвищують швидкість відновлення електричної міцності міжконтактного проміжку за допомогою дугогасних пристроїв, підвищуючи тиск в просторі горіння дуги, використовуючи інертний газ, вакуум, або знижують швидкість відновлення напруги на контактах, застосовуючи шунтуючі резистори та збільшуючи кількість розривів на полюс.

У комутаційних апаратах низької напруги (нижче 1000 В) і високої напруги до 6 кВ на великі струми застосовують дугогасні пристрої, в яких використовуються практично всі способи гасіння дуги постійного струму.

Окрім того, в таких дугогасних пристроях для збільшення швидкості руху дуги і посилення інтенсивності її охолодження застосовують спеціальне магнітне дуття, а при малих струмах, коли магнітне дуття малоефективне, застосовують повітряне дуття.

У комутаційних апаратах на напругу понад 6 кВ для ефективного впливу на стовбур дуги застосовують повітря високого тиску, трансформаторне масло, інертний газ, вакуум.

В сучасних комутаційних апаратах широкого розповсюдження набули дугогасні камери з поздовжніми щілинами. Поздовжньою називають щілину, вісь якої збігається за напрямком з віссю стовпа дуги. Така щілина утворюється між двома ізоляційними пластинами. На рис.5.3 схематично зображені характерні форми поздовжніх щілин дугогасних камер.

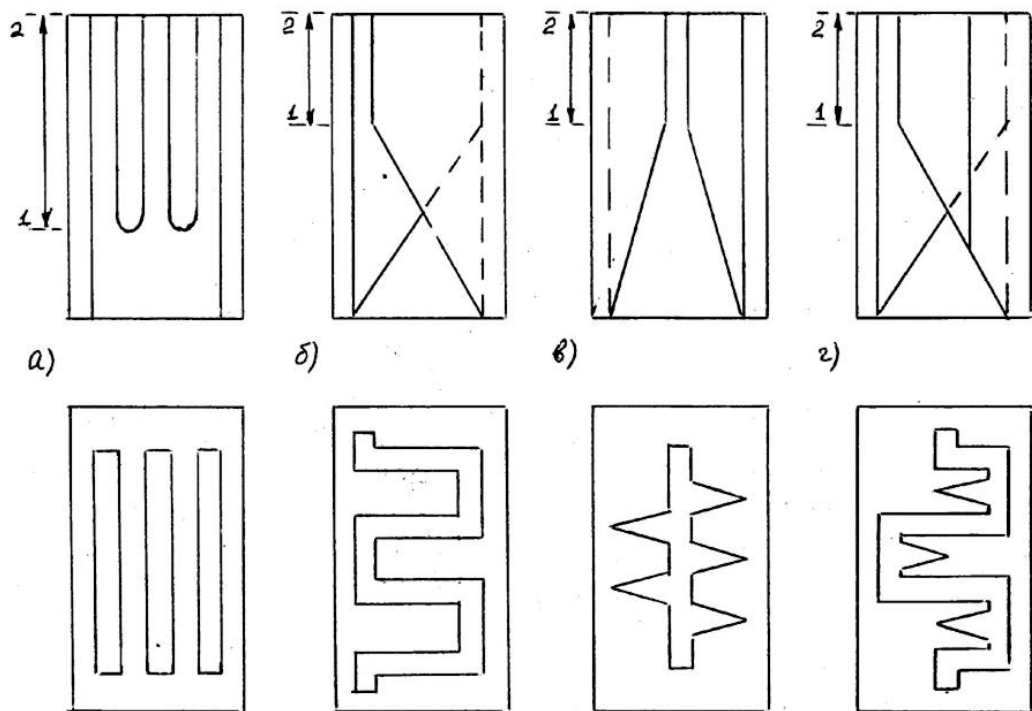


Рисунок 5.3 - Гасіння дуги у вузьких щілинах і каналах камер дугогасного пристрою

У камері (рис.5.3, а) застосовано кілька прямих паралельних щілин. Такі камери застосовують при вимкненні великих струмів. При цьому горять кілька паралельних дуг, які інтенсивно охолоджуються, що сприяє більш інтенсивному процесу деіонізації. Однак паралельні дуги існують недовго і швидко гаснуть, крім однієї, яка також при інтенсивному охолодженні гасне.

На рис.5.3, б умовно зображена камера з однією поздовжньою щілиною, якій надана звивиста форма. При такій формі щілини відбувається подовження і гасіння дуги, яка рухаючись інтенсивно охолоджується зустрічним потоком повітря.

У дугогасних пристроях крім щілин з плоскопаралельними стінками застосовують щілини з ребрами, виступами та розширеннями (рис.5.3 в, г). Наявність ребер і розширень мало впливає на швидкість руху дуги. Значення ж поздовжнього градієнта напруги залежить від кількості ребер і форми розширень. Наявність ребер підвищує напругу на дузі в порівнянні з тим, що має місце в щілині з плоскопаралельними стінками. Затиснута і деформована у вузькій щілині дуга буде тиснути на стінки і за наявності розширення в щілині вдавлюється в проміжок, утворений розширенням. Деформація стовпа дуги, викликана наявністю прорізу, призводить, по-перше, до збільшення площі зіткнення дуги з холодними стінками камери; по-друге, ребра, що утворюють розширення проникають всередину дуги і сприяють її

інтенсивному охолодженню. Зазначені обставини призводять до місцевого підвищення градієнта напруги.

5.4 Гасіння електричної дуги в магнітному полі

Електрична дуга є своєрідним провідником зі струмом, а отже, може взаємодіяти з магнітним полем. Цей принцип і покладено в основу створення дугогасних пристроїв з магнітним дуттям.

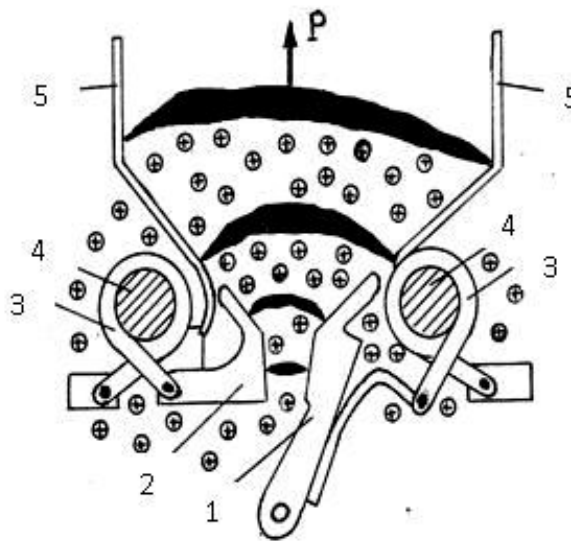


Рисунок 5.4 - Гасіння електричної дуги в магнітному полі

Зусилля, що діє на одиницю довжини дуги, визначається за формулою:

$$F = I \cdot B \quad (5.1)$$

де B - магнітна індукція;

I - струм у колі дуги (струм дуги).

Магнітне поле створюється спеціальною котушкою(ами) 3 (рис.5.4), намотаною на сталеве осердя 4. Котушки увімкнені послідовно в комутоване електричним апаратом коло. Електрична дуга, що утворюється між контактами 1 і 2 при їх розмиканні, горить в магнітному полі, напрямком якого на рисунку показано хрестиками (точками). В результаті взаємодії струму дуги і магнітного поля виникає зусилля F , яка переміщує дугу з великою швидкістю по дугогасних рогах 5 контактів і викидає її в дугогасну камеру.

Для котушки, увімкненої в розмикуване коло, можна вважати

$$B = I \text{ тобто } F = K \cdot I^2 \quad (5.2)$$

Це зусилля (F), переміщаючи дугу в повітрі, призводить до інтенсивного її охолодження як за рахунок зустрічного потоку повітря, так і за рахунок збільшення її довжини на дугогасних рогах контактів.

При зміні напрямку струму змінює знак і магнітне поле. Зусилля, що діє на дугу, свого напрямку не змінює, що дозволяє ефективно використовувати цей спосіб для гасіння дуги змінного струму.

Поряд з перевагами, такі дугогасні пристрої мають і недоліки. Це недостатньо надійне гасіння дуги за малих струмах (5...7 А), велика витрата міді на котушку, нагрів контактів за рахунок тепла в дугогасній котушці.

Незважаючи на ці недоліки, завдяки високій надійності при гасінні номінальних і великих струмів, дугогасні пристрої з послідовною котушкою отримали переважне поширення.

Дугогасні пристрої з паралельною котушкою мають наступні недоліки:

- напрямок електродинамічного зусилля, що діє на дугу, залежить від полярності струму. При зміні напрямку струму змінюється напрямок руху дуги, і контактор стає непрацездатним;
- при короткому замиканні можливе зниження напруги на джерелі, що живить котушку. В результаті процес гасіння дуги йде неефективно.

У зв'язку із зазначеними недоліками дугогасний пристрій з паралельною котушкою напруги застосовуються тільки при вимкненні невеликих струмів (5...10А).

Діяти на дугу можна і магнітним полем постійного магніту. При цьому відсутні витрати енергії на створення магнітного поля; різко скорочується витрата міді на контактор; відсутній підігрів контактів від котушки, як це має місце в дугогасному пристрої з послідовною котушкою. Порівняно з пристроєм з паралельною котушкою, дугогасний пристрій з постійним магнітом має високу надійність і може використовуватися при будь-яких значеннях струму. За рахунок конструкційних заходів дугогасний пристрій з постійним магнітом можна зробити роботоздатним при будь-якому напрямку струму. Характеристики такого дугогасного пристрою аналогічні характеристикам ДП з паралельною котушкою.

Дугогасні пристрої з магнітним дуттям і керамічною дугогасною камерою застосовуються також в апаратах змінного струму.

У дугогасному пристрої з послідовною котушкою зусилля, що діє на дугу, пропорційне квадрату струму. Тому і при змінному струмі на дугу діє зусилля, незмінне за напрямком.

Середнє значення зусилля виходить таким же, як при постійному струмі, за умови, що постійний струм дорівнює діючому значенню змінного струму. Вказані співвідношення справедливі, коли втрати в магнітній системі

котушки дуття відсутні, і потік по фазі збігається зі струмом. Незважаючи на ефективність пристрою, він застосовується тільки в контакторах з важким режимом роботи при кількості увімкнень протягом години понад 600.

Недоліком цих пристроїв є наявність втрат в сталі магнітної системи дугогасіння, що веде до підвищення температури контактів, і можливості виникнення великих перенапруг при примусовому припиненні струму (до природного нуля).

Паралельні котушки в дугогасному пристрої змінного струму не застосовуються через те, що зусилля, яке діє на дугу, змінює свій знак, оскільки потік, створюваний магнітною системою дугогасіння, зсунутий по фазі відносно вимиканого струму. Дугогасні пристрої змінного струму з послідовною котушкою і керамічною дугогасною камерою застосовуються у вимикачах напругою не вище 10 кВ.

5.5 Гасіння електричної дуги в поздовжніх щілинах

Гасіння дуги за допомогою дугогасної решітки застосовується як на постійному, так і на змінному струмі. Цей спосіб запропонований ще на початку століття російським вченим М.О. Доліво-Добровольським і до теперішнього часу широко застосовується.

При розходженні контактів комутаційного апарату виникла між ними дуга під впливом магнітного поля рухається на пластини дугогасної решітки і розбивається на ряд коротких дуг. Оскільки на змінному струмі деіонна решітка працює ефективніше, ніж на постійному, а апарати можуть використовуватися як на змінному, так і на постійному струмі (наприклад автоматичні вимикачі). Кількість пластин дугогасної решітки розраховують з умови гасіння дуги постійного струму.

В електричних апаратах низької напруги найбільш широко застосовуються дугогасні пристрої з вузькою щілиною. Для підвищення ефективності охолодження ширину щілини роблять меншою діаметра дуги. Слід зазначити, що із втягуванням дуги в щілину вона стає зигзагоподібною. При цьому збільшується не тільки довжина дуги, але і відведення тепла від неї. Переміщення дуги в такій камері здійснюється за допомогою магнітного поля.

Найбільш характерні форми щілини в керамічних пластинах ДП зображені на рис.5.5, де 1 і 2 - зони найбільшої охолодження дуги; 3 - поздовжня щілина, в яку спрямовується дуга; 4 - розширення, що полегшує входження дуги в камеру; 5 - місцеві розширення в щілині.

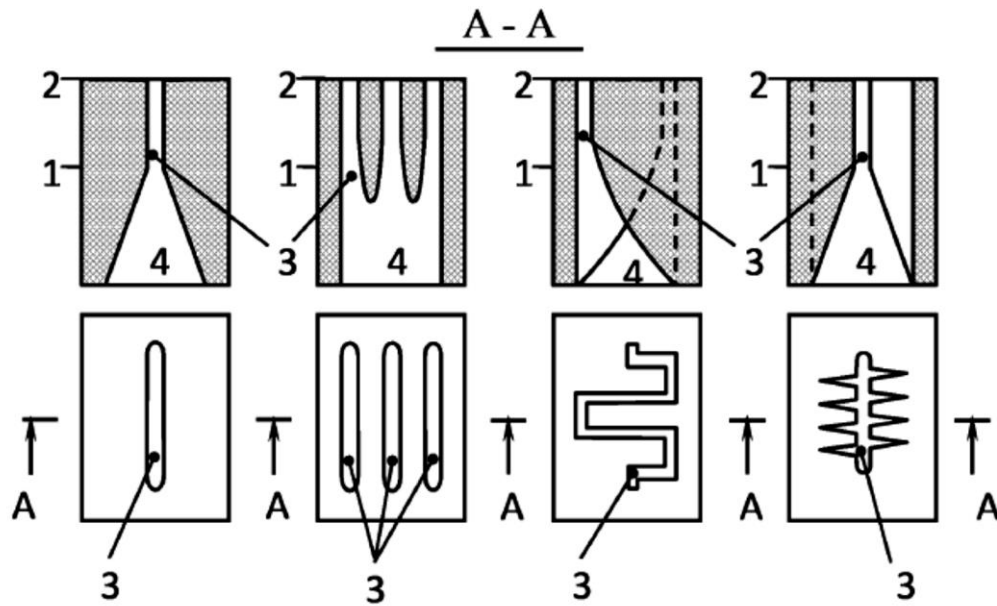


Рисунок 5.5 – Форми поздовжніх щілин дугогасних камер: 1 і 2 – зони найбільшого охолодження дуги; 3 – поздовжня щілина; 4 – розширення дугогасної камери

Коли дуга під дією магнітного поля зтягується в зигзагоподібну вузьку щілину, збільшується її довжина. При цьому зростає градієнт за рахунок охолодження завдяки тісному контакту дуги з керамічними стінками щілини. Найбільш ефективна форма, наведена на рис.5.5, д, при якій градієнт додатково зростає за рахунок місцевих розширень 5.

Розжарені гази, що викидаються із ДП після гасіння дуги, потрапляючи на струмовідні деталі обладнання, можуть призводити до виникнення в ньому короткого замикання. Тому на шляху цих газів встановлюють ґратки з металевих пластин.

Гази, проходячи через цю решітку, деіонізуються, охолоджуються, і небезпечна зона їх викиду різко скорочується.

5.6 Гасіння дуги високим тиском

Застосовується як на постійному, так і на змінному струмі). З ростом тиску зростає густина газу, при цьому збільшується теплопровідність і відведення тепла від дуги. На цьому принципі засноване гасіння дуги в запобіжниках та інших апаратах низької напруги (у деяких апаратах стінки дугогасної камери робляться з газогенеруючих матеріалів - наприклад, фібри). Завдяки високій температурі дуги такі стінки виділяють газ і тиск (піднімається до 10-15 МПа.).

5.7 Гасіння дуги в потоці стисненого повітря

В електричних апаратах високої напруги комутуються струми в десятки кілоампер при напрузі до 10^6 В. Для вирішення такого складного завдання використовується вплив на електричну дугу потоку стисненого повітря або інших газів. Стиснене повітря має високу густину і теплопровідність. Омиваючи дугу з великою швидкістю, воно охолоджує її і при проходженні струму через нуль забезпечує деіонізацію дугового стовпа. Повітря при високому тиску має також високу електричну міцність, що створює високу швидкість наростання електричної міцності між контактного проміжку.

5.8 Гасіння електричної дуги в трансформаторному маслі ²

Цей спосіб гасіння дуги знайшов широке застосування у вимикачах змінного струму на високу напругу. Контакти вимикача занурюються в трансформаторне масло. Дуга, що виникає при розмиканні контактів за високої температури ($5000-60000^{\circ}\text{C}$), призводить до дуже інтенсивного випаровування навколишнього масла з дисоціацією його пари.

Навколо дуги утворюється газова оболонка - газовий міхур, що складається в основному з водню (70-80% газів міхура) і пари масла. Водень, що володіє найвищими серед газів дугогасними властивостями (має виключно високу теплопровідність), найбільш тісно стикається зі стовпом дуги. Виділені з величезною швидкістю гази проникають безпосередньо в зону стовпа дуги, викликають перемішування холодного і гарячого газу в міхурі, створюють інтенсивне охолодження і деіонізацію проміжку. Швидке розкладання масла призводить до підвищення тиску всередині міхура, що також сприяє гасінню дуги.

5.9 Гасіння дуги у вакуумному середовищі

Застосовується як на постійному, так і на змінному струмі. У вакуумному дугогасному пристрої контакти розходяться в середовищі з тиском 10^{-4} Па (10^{-6} мм рт.ст.), при якому густина повітря мала. Довжина вільного пробігу молекул досягає 50 і електронів - 300 м. У вакуумі дуже висока швидкість дифузії через велику різницю густини часток в дузі і оточуючому її вакуумі. Практично через 10 мкс після проходження струму через нуль між контактами відновлюється електрична міцність вакууму. Таким чином, швидка дифузія часток, високі електрична міцність вакууму і

швидкість її відновлення забезпечують гасіння дуги при першому проходженні струму через нуль. Вакуумні дугогасні пристрої є в даний час найбільш ефективними і довговічними. Їх термін служби досягає 25 років.

5.10 Гасіння електричної дуги повітряним дуттям

Дуга, що утворюється між контактами, обдувається уздовж або впоперек потоком повітря під тиском від 1 до 4 Па ($10 \div 40$ кг/см²).

Потік повітря, що переміщується з великою швидкістю, видаляє із зони дуги нагріті іонізовані частки, заміщаючи їх іншими, охолодженими. Температура стовпа дуги різко падає, особливо в момент проходження струму через нуль. Одночасно відбувається і механічне руйнування стовпа дуги.

Основний вплив на процес гасіння чинять швидкість руху повітря, відстань між контактами, площа вихідного отвору і спрямованість струменю повітря.

З ростом тиску падає ступінь іонізації, а з ростом швидкості збільшується інтенсивність охолодження дуги.

За таких обставин з ростом тиску і швидкості витікання потоку повітря підвищуються інтенсивність гасіння дуги і вимикальна здатність дугогасного пристрою. Із збільшенням вихідного отвору зростає швидкість витікання потоку повітря, умови гасіння дуги покращуються.

По відношенню до стовпа дуги потік повітря може бути (рис.5.6):

- поперечним - поперечне повітряне дуття;
- поздовжнім - поздовжнє повітряне дуття;
- поздовжньо - поперечним - поздовжньо - поперечне повітряне дуття.

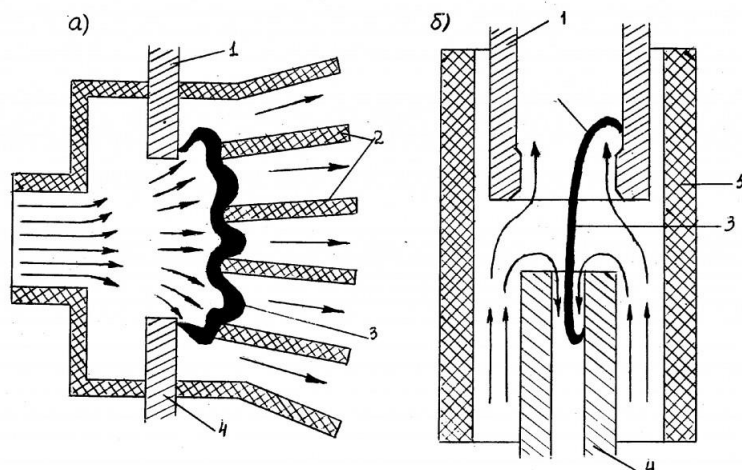


Рисунок 5.6 – Дугогасний пристрій з повітряним дуттям: а) поперечним; б) поздовжнім.

У дугогасних камерах з поперечним дуттям (рис.5.6, а) повітряний потік спрямований перпендикулярно дузі. Дуга 3, що виникає між контактами 1, 4, піддається впливу стисненого повітря і притискається до перегородок 2. При цьому забезпечується інтенсивне її охолодження. Однак через великі габарити і велику витрату повітря такі камери широкого застосування не знайшли.

Переважно в електричних апаратах використовуються камери поздовжнього і поздовжньо-поперечного дуття. У камерах поздовжнього дуття (рис.5.6, б) корпус 5 виконаний з порцеляни. Дуга 3, що утворюється між контактами 1 і 4, потоком повітря швидко вдувається у внутрішню порожнину дугогасних камер. При цьому забезпечується мале зношення контактів. Пари металу електродів не потрапляють в міжконтактний проміжок і потоком повітря виносяться в атмосферу, що дозволяє з великою швидкістю відновлювати електричну міцність міжконтактного проміжку.

У камерах поздовжньо-поперечного дуття (рис.5.7 а, б) дуга 2, що виникає між контактами 1, 3, спочатку обдувається поздовжнім потоком повітря і відбувається інтенсивне її охолодження. При подальшому розходженні контактів дуга 2 (рис.5.7, б) потоком повітря скидається на контрелектрод 4 і новоутворена дуга вже обдувається поперечним потоком повітря, інтенсивно охолоджується і гаситься.

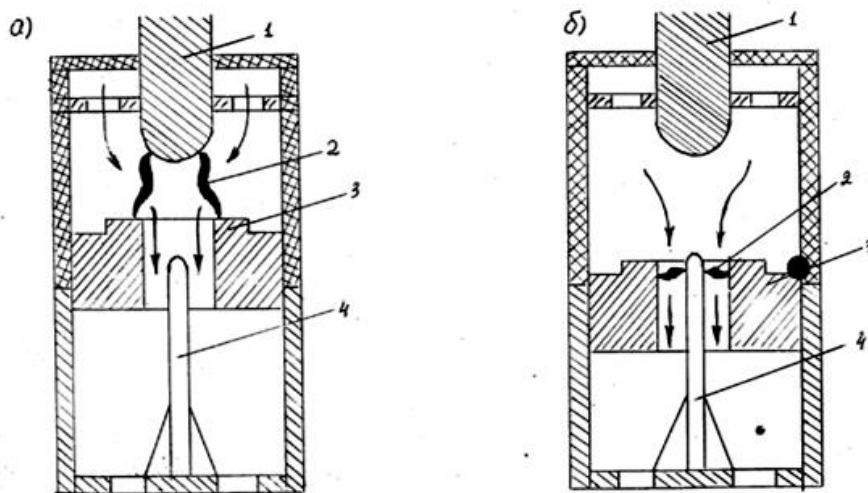


Рисунок 5.7 - Дугогасний пристрій з повітряним поздовжньо-поперечним дуттям: а) інтенсивне охолодження поздовжнім потоком повітря; б) охолодження дуги на контрелекроді 4 поперечним дуттям.

Разом з тим, при горінні дуги в ній виділяється велика потужність, що призводить до швидкого нагрівання повітря і локального зростання тиску.

В результаті кількість повітря, що охолоджує дугу, і його швидкість різко зменшуються. Можлива навіть повна зупинка руху повітряного потоку і закупорювання сопла дугогасного пристрою.

Тому мінімальна швидкість витікання повітря повинна бути не нижче 8-10 м/с. Крім того, для обмеження часу горіння дуги при великих значеннях струму, що вимикається, знижують швидкість і величину відновлюваної напруги за допомогою шунтуючих резисторів і збільшення кількості міжконтактних проміжків.

5.11 Бездугова комутація кіл змінного струму

З метою продовження ресурсу контакторів може бути використана схема, наведена на рис.5.8, що містить тиристорний блок бездугового вимикання(показаний для одного полюса).

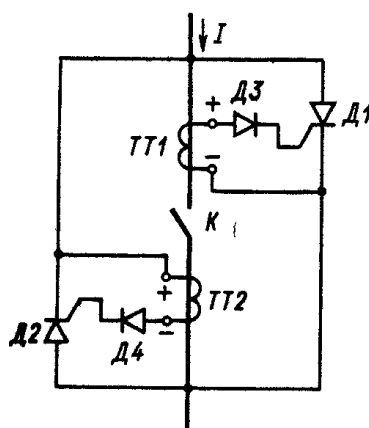


Рисунок 5.8 – Схема електрична принципова тиристорного блоку бездугового вимикання контактора

Тиристори **VS1** і **VS2** увімкнені паралельно контактам контактора **К**. При розімкнених контактах тиристори закриті – струм у колі відсутній. Із замиканням контактів проходить струм у колі трансформаторів струму **ТА1** і **ТА2**, зі вторинних обмоток яких подаються відповідно полярності відкриваючі сигнали на керуючі електроди тиристорів. Однак струм через тиристори не протікає, оскільки вони шунтовані замкненими контактами контактора. В момент розмикання контактів струм переходить в коло того з тиристорів, напрямок провідності якого відповідає полярності струму. Пряме падіння напруги на відкритому тиристорі мале (1,5 – 2В на одному тиристорі), і дуга на контактах не виникне. При переході струму через нуль

тиристор, що проводить струм, закриється, а інший не відкриється, оскільки немає сигналу на відкривання. Струм у колі припиняється.

Електрична зносостійкість контактів за наявності блоку бездугового вимикання суттєво зростає (приміром у контакторів серій КТ-64 і КТ-65 приблизно в 10 разів). До того ж оскільки тиристори обтікаються струмом лише протягом одного напівперіоду, то вони можуть бути вибрані на малі номінальні струми з доволі великим перевантаженням, а габарити блоку бездугового вимикання виявляються невеликими.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Чим обумовлене утворення електричної дуги в комутаційних апаратах?
2. Який вплив чинить електрична дуга на роботу контактів?
3. Яка напруга називається напругою гасіння дуги і як вона визначається?
4. Назвіть способи зниження шкідливого впливу електричної дуги на роботу контактів комутаційних апаратів.
5. Що таке термічна іонізація, рекомбінація і дифузія?
6. У чому полягають умова стійкого горіння і умова гасіння дуги постійного струму?
7. Що таке критична довжина і критичний струм дуги?
8. Від чого залежать перенапруги при вимкненні постійного струму і час гасіння дуги?
9. Від чого залежать швидкості наростання пробивної міцності і відновлюваної напруги при гасінні дуги змінного струму, і як вони впливають на умови її гасіння?
10. Від чого залежить початкова відновлювальна міцність дугового проміжку і як вона впливає на гасіння коротких дуг змінного струму?
11. У чому полягає спосіб гасіння дуги впливом магнітного поля?
12. Які способи існують для виключення точки стійкого горіння дуги постійного струму? Як вони реалізовані в дугогасних пристроях?
13. Поясніть принцип дії магнітного дуття. Як він реалізований в дугогасних пристроях?
14. Поясніть принцип дії дугогасної решітки і назвіть області її застосування.
15. Сформулюйте умову гасіння дуги змінного струму.
16. Чому дугогасна решітка ефективніша на змінному струмі, ніж на постійному?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

6. РОЗРАХУНКИ МАГНІТНИХ КІЛ

6.1 Основні поняття

6.2 Магнітне коло постійного струму

6.3 Розрахунок магнітних кіл постійного струму

6.4 Магнітне коло змінного струму

6.5 Розрахунок магнітних кіл при змінному струмі

6.6 Електромагніти, будова і принцип дії електромагніту

6.7 Магнітні системи з постійними магнітами

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Магніт	Пристрій, призначений для отримання зовнішнього магнітного поля	<i>magnet</i>
Магнітна індукція	Векторна величина, якою характеризують інтенсивність магнітного поля за величиною сили, що діє на рухому заряджену частинку з боку магнітного поля	<i>magnetic induction, magnetic flux density</i>
Магнітне коло	Сукупність пристроїв, що створюють замкнені шляхи для магнітних потоків, електромагнітні процеси в яких можуть бути описані за допомогою понять магніторушійної сили, магнітного потоку та різниці магнітних потенціалів	<i>magnetic circuit</i>
Магнітне осердя	Феромагнітна деталь, на якій розміщуються обмотки електромагнітного пристрою	<i>magnetic core</i>
Магнітний екран	Феромагнітний екран, призначений для зменшення проникнення магнітного поля в певну ділянку	<i>magnetic screen</i>
Магнітний потік	Потік вектора магнітної індукції крізь поверхню, скалярна величина, що зображує магнітне поле у вигляді замкненого вихрового матеріального потоку, швидкість зміни якого у часі (похідна у часі від магнітного потоку) дорівнює електрорушійній силі контура, що охоплює цей потік	<i>magnetic flux</i>

Магніторушійна сила, МРС	Скалярна величина, що дорівнює лінійному інтегралу напруженості магнітного поля вздовж замкненого контура	<i>magnetomotive force, mmf</i>
Магнітопровід електротехнічного пристрою	Магнітна система електротехнічного пристрою чи сукупність декількох її частин у вигляді окремої конструктивної одиниці	<i>magnetic circuit of an electrical device</i>
ДСТУ 2843.96		
Магнітний опір	Скалярна величина, яка дорівнює відношенню різниці магнітних потенціалів на ділянці даного магнітного кола до магнітного потоку у цій ділянці	<i>reluctance</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Струм постійний	<i>direct current</i>
AC	Струм змінний	<i>alternatic current</i>

Літерні позначення

<i>B</i>	Індукція магнітна
<i>Φ</i>	Потік магнітний
<i>H</i>	Напруженість магнітного поля
<i>F(F_m)</i>	Сила магніторушійна по замкнутому контуру (МРС)
<i>μ₀</i>	Стала магнітна
<i>Ψ</i>	Потокозчеплення (<i>магнітне</i>)
<i>H_c</i>	Сила коерцитивна
<i>M</i>	Намагніченість

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. - 68 с.
2. ДСТУ 2815–94 Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. –105 с.

6.1 Основні поняття

Магнітні кола знаходять широке застосування в різних електричних апаратах (електромагнітних пристроях, контакторах, автоматичних вимикачах, приводах вимикачів, гальмових, тягових, підйомних електромагнітах, реле, датчиках, електромагнітних муфтах, дроселях та ін.).

Електромагнітні пристрої служать для створення магнітного поля за допомогою обмотки, що обтікається електричним струмом. У багатьох електромагнітних пристроях магнітне поле використовують для створення електромагнітних зусиль, що викликають переміщення рухомих частин і здійснюють механічну роботу. При цьому рухомі частини рухаються по заданій траєкторії і долають сили опору, які визначаються механічною характеристикою. Такі електромагнітні пристрої називаються електромагнітними механізмами (ЕММ). ЕММ використовуються в електроапаратобудуванні в основному як приводи.

Електромагнітні механізми, що мають магнітну систему з феромагнітних матеріалів, називають електромагнітами (ЕМ).

Під магнітним колом розуміють сукупність тіл і середовищ, що створює орієнтований магнітний потік за наявності магніторухійної сили (МРС).

Магнітні кола можна поділити на два основних види: кола з малим потоком розсіювання і кола з великим потоком розсіювання.

З достатньою для практики точністю потоком розсіювання можна знехтувати в трьох випадках: коли магнітопровід замкнений; коли на шляху основного потоку є повітряний зазор порівняно малої величини, а магнітне коло насичене незначно; коли розмагнічувальна дія вторинної обмотки порівняно невелика. Інакше кажучи, нехтувати потоком розсіювання можна в тих випадках, коли він малий у порівнянні з основним потоком.

Електромагніти застосовуються в контакторах, пусках, реле, автоматичних вимикачах, електромагнітних муфтах і т.д.

За способом дії електромагніти поділяють на утримувальні, що служать для утримання вантажів (електромагніти підйомних кранів) і притягувальні, які здійснюють роботу, притягаючи свій якір.

За способом увімкнення в електричне коло електромагніти можуть бути з паралельною (вмикається на повну напругу мережі) або послідовною обмоткою (вмикається в коло послідовно з опором навантаження).

За родом струму, що живить обмотку електромагніту, розрізняють електромагніти постійного і змінного струму. Електромагніти постійного струму можуть бути нейтральними (нечутливими до напрямку струму в

обмотці) і поляризованими (спрацьовують лише при певному напрямку струму).

За часом дії є швидкодіючі, з нормальним часом дії і уповільнені електромагніти.

За характером руху якоря розрізняють поворотні (якір по повертається навколо осі або опори) і прямоходові (якір переміщується поступально) електромагніти.

6.2 Магнітні кола постійного струму

Магнітна система - це сукупність феромагнітних тіл і провідників зі струмом (або постійних магнітів), призначена для створення магнітного поля заданих конфігурації і величини в певному місці простору. Всі магнітом'які елементи магнітної системи утворюють магнітопровід, який служить для зменшення магнітного опору потоку і підведення його до того місця простору, де потік використовується. Поле магнітної системи розраховують або безпосередньо методами теорії поля (польові методи), або методами теорії кіл, що базуються на теорії поля.

Поле переважної більшості магнітних систем електричних апаратів тривимірне. Розрахунок тривимірних полів польовими методами, зазвичай пов'язаний зі значними обсягами обчислювальних робіт, але ці розрахунки більш універсальні і дають можливість точніше вирішити задачу, ніж розрахунки методами теорії кіл. Тому в багатьох випадках їх доцільно використовувати як математичні моделі високого рівня, коли вже попередньо істотно звужена область пошуку розмірів магнітної системи і необхідно тільки «відшліфувати» проектування.

Магнітне коло - це спрощене уявлення про магнітну систему у її магнітному полі. При такому поданні електромагнітні процеси описуються з використанням таких понять, як «магніторушійна сила» (МРС), «різниця скалярних магнітних потенціалів» (магнітна напруга), «магнітний потік», «магнітний опір». Ці поняття формально аналогічні поняттям, відповідно, «електторушійна сила» (ЕРС), «електрична напруга», «струм провідності», «опір електричного кола».

Аналогія між електричними і магнітними колами формальна. Наприклад, електрична провідність провідників приблизно в 10^{10} разів вище, ніж у ізоляторів, тоді як магнітна проникність магнітом'яких матеріалів зазвичай тільки в 10^3 - 10^6 разів більше, ніж у немагнітних матеріалів. Магнітні кола більшості магнітних систем електричних апаратів містять немагнітні зазори, які не переривають магнітний потік, а тільки збільшують

магнітний опір на його шляху. Ізоляційний проміжок в електричному колі постійного струму практично зупиняє струм. Магнітна проникність залежить від струму (магнітного потоку), а електрична питома провідність від струму практично не залежить (без урахування нагріву провідника). Ці відмінності роблять розрахунки магнітних кіл більш складними, ніж розрахунки електричних кіл.

6.3 Розрахунок магнітних кіл постійного струму

Для аналізу і розрахунку магнітних кіл постійного струму використовуються три закони: перший і другий закони Кірхгофа і закон Ома для магнітних кіл.

Перший закон Кірхгофа: алгебраїчна сума магнітних потоків Φ у вузлі магнітного кола дорівнює нулю:

$$\sum \Phi = 0 \quad (6.1)$$

Потік, що входить у вузол, береться з одним знаком, а потік, що виходить з вузла - з іншим.

Перший закон Кірхгофа для магнітного кола діє за умови безперервності ліній магнітної індукції.

$$\sum B dS = 0$$

де B - магнітна індукція; S - площа деякої замкнутої поверхні.

Другий закон Кірхгофа: алгебраїчна сума магнітних напруг для будь-якого довільно обраного замкнутого контуру обходу дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що діють в цьому контурі:

$$\sum U_M = \sum F \quad (6.2)$$

де U_M - магнітна напруга на опорі ділянки контуру; F - ЕРС, що діє в цьому контурі.

Якщо напрямок обходу контуру збігається з дійсним або умовно приймається (коли це не очевидно) позитивним напрямком магнітної напруги, то ця напруга підставляється у (6.2) зі знаком «+», якщо не співпадає, зі знаком «-». Позитивний напрямок магнітної напруги на магнітному опорі збігається з позитивним напрямком потоку в цьому опорі. Якщо напрямок ЕРС збігається з напрямком обходу, то ЕРС підставляється зі знаком «+», якщо не співпадає зі знаком «-».

Якщо розраховане значення будь-якої величини вийшло зі знаком «+», то попередньо прийнятий умовно позитивний напрямок збігається з дійсним, якщо зі знаком «-», то він протилежний дійсному.

Другий закон Кірхгофа для магнітного кола впливає з закону повного струму:

$$\int H dl = \sum I$$

де H - напруженість магнітного поля уздовж замкнутого контуру довжиною l ; $\sum I$ - алгебраїчна сума струмів, які пронизують цей контур.

Закон Ома для ділянки магнітного кола постійного струму:

$$\Phi = \frac{U_M}{R_M} = U_M \Lambda \quad (6.3)$$

де R_M - магнітний опір ділянки кола; Λ - магнітна провідність цієї ділянки.

Закон Ома для магнітного кола впливає з закону повного струму з урахуванням формули (6.2). Точність розрахунку магнітної системи методами кіл значною мірою залежить від точності визначення магнітної провідності ділянок немагнітного простору і навколишньої магнітної системи.

Розглянемо деяку довільну трубку магнітного потоку в повітрі (рис.6.1), між кінцями якої діє магнітна напруга:

$$U_M = \varphi_{M1} - \varphi_{M2}$$

де φ_{M1} , φ_{M2} - скалярні магнітні потенціали кінців трубки.

Відповідно до формули (6.3) магнітна провідність елементарної ділянки цієї трубки площею dS і довжиною dl :

$$\Delta \Lambda = \frac{B ds}{H dl} \quad (6.4)$$

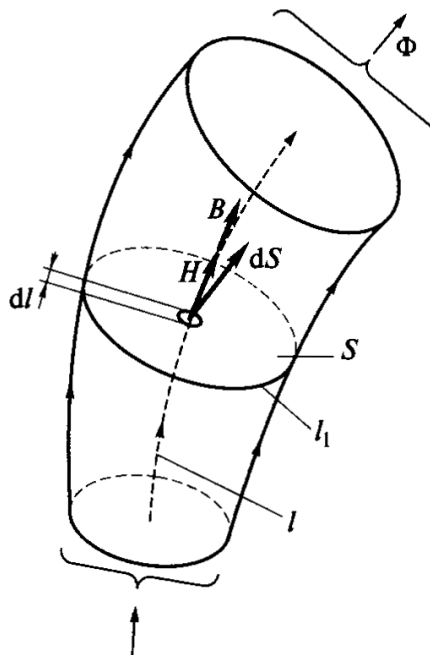


Рисунок 6.1 - Довільна трубка магнітного потоку

Отже, магнітна провідність всієї трубки:

$$\Lambda = \frac{\int_S B ds}{\int_l H dl}, \quad (6.5)$$

де B , H - відповідно вектори магнітної індукції і напруженості магнітного поля; S - площа довільного перерізу трубки, в якому проводиться розрахунок потоку Φ за індукцією; l - довжина лінії магнітної індукції, за якою розраховується циркуляція напруженості магнітного поля, що дорівнює U_m .

Якщо магнітне поле в повітрі визначено вектором магнітного потенціалу A , то з урахуванням виразу $B = \text{rot} A = \mu_0 H$ і теореми Стокса

$$\int_S \text{rot} A dS = \int_{l_1} A dl_1 : \quad \Lambda = \frac{\mu_0 \int_{l_1} A dl}{\int_l \text{rot} A dl}, \quad (6.6)$$

де μ_0 - магнітна постійна; l_1 - контур, що обмежує площу поперечного перерізу S .

Як випливає з формул (6.5) і (6.6), для визначення Λ в загальному випадку необхідно знати векторні характеристики поля, що пов'язано з розв'язуванням відповідної граничної задачі. Отримати такий розв'язок аналітично як правило неможливо, тому доводиться використовувати чисельні або інші наближені методи. Для найпростішого розподілу поля на ділянці магнітопроводу площею S і довжиною l $B = \mu_0 H = \text{const}$. Тоді згідно з формулою (6.6):

$$\Lambda = \frac{\mu S}{l} \quad (6.7)$$

Магнітний опір ділянки магнітопроводу з постійною площею поперечного перерізу S і довжиною l :

$$R_m = \frac{1}{\mu S} = \frac{\rho_m l}{S} \quad (6.8)$$

де μ - відносна магнітна проникність матеріалу магнітопроводу; ρ_m - питомий магнітний опір цього матеріалу, $\rho_m = \frac{1}{\mu}$.

При використанні методів розрахунку кіл діють у такій послідовності:

- аналізують якісний (без кількісних характеристик) розподіл поля в магнітній системі;

- реальну конфігурацію поля замінюють спрощеною конфігурацією, що складається з окремих ділянок, досить просто описуваних математично; деякими ділянками нехтують; вихрові області поля часто замінюють безвихровими, для цього об'ємний розподіл струмів призводять до розподілу у вигляді нескінченно тонкої стрічки або нитки;
- складають магнітне коло;
- знаходять магнітні провідності (або магнітні опору) окремих ділянок поля в повітрі та інших не феромагнітних ділянках;
- виконують розрахунок магнітного кола з урахуванням або без урахування магнітного опору магнітопроводу.

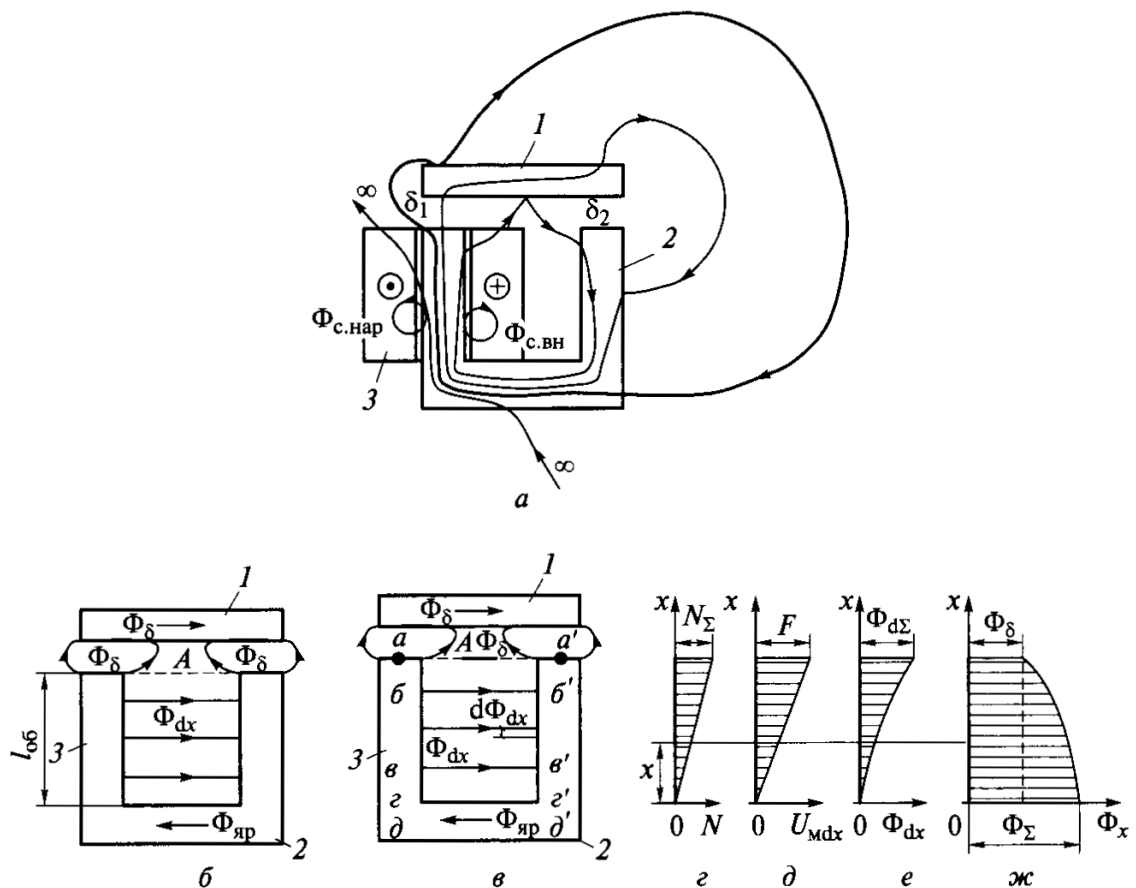


Рисунок 6.2 - Магнітне поле і розподіл магнітних потоків в магнітній системі постійного струму: а - картина магнітного поля; б - спрощена магнітна система; в - схема потокорозподілу; г...ж - епюри зміни відповідно числа витків обмотки, різниці магнітних потенціалів, потоків розсіювання і потоків в магнітопроводі; 1 - ярко; 2 сердечник; 3 - обмотка

При розрахунку магнітного кола вирішують зазвичай одну з двох задач: пряму або зворотну. У прямій задачі відомим є магнітний потік Φ (або магнітна індукція B) на деяких ділянках магнітної системи, а потрібно

визначити МРС обмотки F . У зворотній задачі задана МРС обмотки, а потрібно визначити магнітний потік (або індукцію). Як у прямій, так і в зворотній задачі відомі всі розміри магнітної системи і матеріал магнітопроводу. У переважній більшості випадків розрахунки магнітних полів постійного струму проводять без урахування гістерезису намагнічування.

Як приклад розглянемо магнітну систему прямоходового електромагніту, зображену на рис.6.2. Його магнітопровід складається з рухомого елемента - якоря 1 і нерухомого елемента - сердечника 2. Останній має дві вертикальні частини і одну що сполучає їх внизу, горизонтальну частину - ярмо. Якір відділений від осердя двома повітряними зазорами (δ_1 і δ_2), званими робочими зазорами. Саме через зміни цих зазорів відбувається перетворення енергії і забезпечується функціонування апарату. Крім робочих зазорів в магнітній системі можуть бути присутніми паразитні (немагнітні, повітряні) зазори, зумовлені особливостями конструкції і технологічними умовами її виконання. Магнітне поле створюється струмом, що протікає в обмотці 3, яка охоплює ліву вертикальну частину сердечника. Напрямок струму показано хрестиком (від нас) і точкою (до нас) на поперечному перерізі обмотки. Струм і лінії магнітної індукції створених ним магнітних потоків утворюють правоїгноту систему. Надалі магнітний потік, що проходить через робочі зазори, будемо називати умовно робочим потоком, а решта потоків - потоками розсіювання.

На рис.6.2, а представлена картина поля розглянутої магнітної системи. Суцільними кривими зображені кілька ліній магнітної індукції, напівжирними кривими відзначені особливі лінії магнітної індукції - довільної амплітуди, що відокремлюють одні характерні області поля від інших. Одна з ліній магнітної індукції йде з магнітної системи в нескінченність (позначена відповідним знаком) і повертається назад в магнітну систему.

Введемо ряд спрощень в розглянуту магнітну систему і її магнітне поле (рис.6.2, б). Обмотку 3 представимо у вигляді нескінченно тонкої стрічки довжиною $l_{об}$, розташованої безпосередньо на лівій вертикальній частині осердя довжиною l_c , і прийнемо $l_{об} = l_c$. При такому спрощенні зникають потоки розсіювання, оскільки їх центри повинні знаходитися всередині тіла обмотки, зневажимо також «зовнішній» потік розсіювання осердя $\Phi_{с.зов}$ (рис.6.2, а), вважаючи його істотно меншим аналогічного «внутрішнього» потоку розсіювання $\Phi_{с.вн}$, поле останнього прийнемо плоскопаралельним і обмеженим зверху горизонтальною штриховою лінією A (рис.6.2, б). Будемо також вважати, що робочий потік проходить з осердя в якір через зазор δ_1 і

далі з якоря в осердя через зазор δ_2 тільки в межах торців осердя, причому області проходження цього потоку в обох зазорах однакові. Для спрощення розрахунку магнітних провідностей цих областей обмежимо їх в площині креслення дугами кола.

Виділимо елементарну трубку потоку розсіювання, віддалену на відстані від ярма (рис.6.2, в). У загальному випадку потік, що протікає по цій трубці,

$$d\Phi_x = U_{Mdx} \lambda_{dx} dx \quad (6.9)$$

де U_{Mdx} , λ_{dx} - відповідно магнітна напруга на елементарній трубці (між вертикальними частинами осердя) і питома (на одиницю довжини l_c) магнітна провідність розсіювання на відстані x від ярма; dx - ширина трубки.

У разі рівного розподілу конфігурацій вертикальних частин осердя для прийнятої спрощеної картини поля (рис. 6.2, б)

$$U_{Mdx} = \int_0^x f_x dx - \Phi_{яр} R_{м.яр} - 2 \int_0^x \Phi_x r_{mx} dx \quad (6.10)$$

де f_x - питома (на одиницю довжини) МРС обмотки; $\Phi_{яр}$ - магнітний потік в ярмі; $R_{м.яр}$ - магнітний опір ярма; Φ_x , r_{mx} відповідно магнітний потік у вертикальних частинах сердечника і питомий опір цих частин на відстані x від ярма.

Питомий магнітний опір:

$$r_{mx} = \frac{1}{\mu_x S_{ix}} = \frac{\rho_{mx}}{S_{ix}} \quad (6.11)$$

де μ_x , ρ_{mx} , S_{ix} - відповідно магнітна проникність, питомий магнітний опір матеріалу і площа поперечного перерізу вертикальних частин сердечника на відстані x від ярма.

З урахуванням формул (6.2) і (6.10) і закону повного струму:

$$\int_0^x \Phi_x r_{mx} dx = \int_0^x H_x dx \quad (6.12)$$

де H_x - напруженість поля в вертикальних частинах осердя на відстані x від ярма.

З формул (6.9) і (6.10) випливає, що магнітний потік розсіювання, переходить з лівої вертикальної частини осердя в його праву частина на відстані x ,

$$\Phi_{dx} = \int_0^x U_{Mdx} \lambda_{dx} dx = \int_0^x \int_0^x f_x \lambda_{dx} dx dx - \Phi_{яр} R_{м.яр} \int_0^x l_{dx} dx - 2 \int_0^x \int_0^x \Phi_x r_{mx} \lambda_{dx} dx dx \quad (6.13)$$

Якщо знехтувати магнітним опором магнітопровода ($\mu_x = \infty$, $\rho_{mx} = 0$, $R_{м.яр} = 0$),

$$U_{Mdx} = \int_0^x f_x dx. \quad (6.14)$$

При рівномірному розподілі витків обмотки уздовж її довжини (рис. 6.2, г) $f_x = f = \text{const}$. З формули (6.14) слідує (рис. 6.2, д)

$$U_{mdx} = fx. \quad (6.15)$$

У спрощеній картині поля (див. рис. 6.2, б) ми допустили рівномірність розподілу магнітного потоку розсіювання. При нехтуванні магнітним опором магнітопроводу це означає, що $\lambda_{dx} = \lambda_d = \text{const}$. Тоді з формули (6.9) з урахуванням (6.15) слідує:

$$d\Phi_{dx} = f\lambda_d x dx \quad (6.16)$$

З формули (6.13) після інтегрування з урахуванням $l_{o\delta} = l_d$ отримуємо:

$$\Phi_{dx} = \frac{F\lambda_d x}{2} = \frac{F\lambda_d x^2}{(2l_d)}. \quad (6.17)$$

Сумарний магнітний потік розсіювання при $x = l_d$:

$$\Phi_{d\Sigma} = \frac{F\lambda_d l_d}{2}. \quad (6.18)$$

Магнітний потік в вертикальних частинах осердя на відстані x :

$$\Phi_x = \Phi_\delta + (\Phi_{d\Sigma} - \Phi_{dx}) = F\Lambda_{\delta\kappa} + F\lambda_d \frac{l_d^2 - x^2}{2l_d}, \quad (6.19)$$

де $\Lambda_{\delta\kappa}$ - еквівалентна магнітна провідність двох послідовних робочих зазорів (δ_1 і δ_2).

З урахуванням прийнятого допущення про ідентичність областей поля в робочих зазорах:

$$\Lambda_{\delta\kappa} = \frac{1}{R_{м.ек}} = \frac{\Lambda_{\delta 1} \Lambda_{\delta 2}}{\Lambda_{\delta 1} + \Lambda_{\delta 2}} = \frac{\Lambda_\delta}{2},$$

де $R_{м.ек}$ - магнітний опір, відповідний провідності $\Lambda_{\delta\kappa}$.

Графік розподілу потоку F_x уздовж осі x зображено на рис.6.2, ж. При $x=l_d$ потік Φ_x дорівнює потоку Φ_δ , а при $x=0$ - потоку в ярмі $\Phi_{яp}$. При прийнятих припущеннях (зокрема, $\mu = \infty$) сумарний потік магнітної системи

$$\Phi_\Sigma = \Phi_{яp} = F(\Lambda_{\delta\kappa} + K_\phi \Lambda_{d\Sigma r}), \quad (6.20)$$

де K_ϕ - коефіцієнт приведення за потоком магнітної провідності розсіювання розглянутої магнітної системи до МРС обмотки F , $K_\phi = \frac{1}{2}$; $\Lambda_{d\Sigma r}$ - сумарна магнітна провідність плоскопаралельного поля розсіювання розглянутої магнітної системи, обумовлена тільки її геометрією, $\Lambda_{d\Sigma r} = \lambda_d l_d$.

Частина виразу (6.20), укладена в дужки, являє собою сумарну магнітну провідність даної магнітної системи, приведену по магнітному потоку Φ_Σ до МРС обмотки F :

$$\Lambda_{\Sigma\Phi} = \frac{1}{R_{M\Sigma\Phi}} = \frac{\Phi_\Sigma}{F} = \Lambda_{\delta ek} + K_\Phi \Lambda_{d\Sigma r}, \quad (6.21)$$

де $R_{M\Sigma\Phi}$ - магнітний опір, відповідне сумарній магнітній провідності $\Lambda_{\Sigma\Phi}$.

Відношення $\frac{\Phi_\Sigma}{\Phi_\delta} = \sigma_{\Sigma\Phi}$ називається сумарним коефіцієнтом розсіювання по потоку. Сумарне потокозчеплення розглянутої магнітної системи:

$$\psi = \psi_\delta + \int_0^{l_d} d\psi dx. \quad (6.22)$$

Оскільки лінії магнітної індукції робочого потоку Φ_δ в розглянутій спрощеній моделі поля (рис.6.2, б) охоплюють всі витки обмотки ($N_\Sigma \psi_\Sigma = N_\Sigma \Phi_\delta$), то диференціальний вираз для потокозчеплення розсіювання:

$$d\psi_{dx} = N_x d\Phi_{dx}, \quad (6.23)$$

де N_x - кількість витків обмотки, які охоплюються потоком $d\Phi_{dx}$.

При рівномірному намотуванні витків і $l_{ob} = l_d$ маємо $N_x \psi = N_\Sigma \Phi_\delta$ на основі формули (6.22) з урахуванням (6.16) після інтегрування отримаємо:

$$\psi_\Sigma = N_x F (\Lambda_{\delta ek} + K_\psi \Lambda_{d\Sigma r}), \quad (6.24)$$

де K_ψ - коефіцієнт приведення по потокозчепленню магнітної провідності розсіювання розглянутої магнітної системи до МРС F сумарному числу витків N_Σ обмотки, $K_\psi = \frac{1}{3}$.

Частина виразу (6.24), укладена в дужки, являє собою сумарну магнітну провідність даної магнітної системи:

$$\Lambda_{\Sigma\psi} = \frac{\psi_\Sigma}{N_\Sigma F} = \Lambda_{\delta ek} + K_\psi \Lambda_{d\Sigma r} \quad (6.25)$$

приведену до потокозчеплення ψ_Σ до F і N_Σ обмотки. З урахуванням того, що $K_\Phi = \frac{1}{2}$, а $K_\psi = \frac{1}{3}$, з порівняння формул (6.21) і (6.25) слідує:

$$\Lambda_{\Sigma\psi} \leq \Lambda_{\Sigma\Phi}$$

Відношення $\frac{\Psi_\Sigma}{\Psi_\delta} = \sigma_{\Sigma\psi}$ називається сумарним коефіцієнтом розсіювання до потокозчеплення. Індуктивність L і магнітна енергія W_M розглянутої магнітної системи при всіх прийнятих раніше допущеннях визначаються за формулами:

$$L = \frac{\Psi_{\Sigma}}{I} = N_{\Sigma}^2 (\Lambda_{\delta\epsilon\kappa} + K_{\Psi} \Lambda_{d\Sigma r}); \quad (6.26)$$

$$W_M = \frac{\Psi_{\Sigma} I}{2} = \frac{LI^2}{2} = F^2 \frac{\Lambda_{\delta\epsilon\kappa} + K_{\Psi} \Lambda_{d\Sigma r}}{2}. \quad (6.27)$$

Ці вирази можуть бути використані для розрахунку електромагнітної сили, створюваної цією системою. Крім того, вираз (6.26) необхідний для визначення постійної часу цієї магнітної системи і часових параметрів електромеханічних апаратів, в яких така система використовується.

На рис.6.3, а наведена схема магнітного кола розглянутої магнітної системи, складена за спрощеною картиною поля (рис.6.2, в) без урахування магнітного опору магнітопроводу. На рис.6.3, б показаний проміжний етап перетворення цієї вихідної схеми заміщення до найпростішого кола з джерелом МРС і сумарним магнітним опором $R_{M\Sigma\Phi}$ на його затискачах (рис.6.3, в).

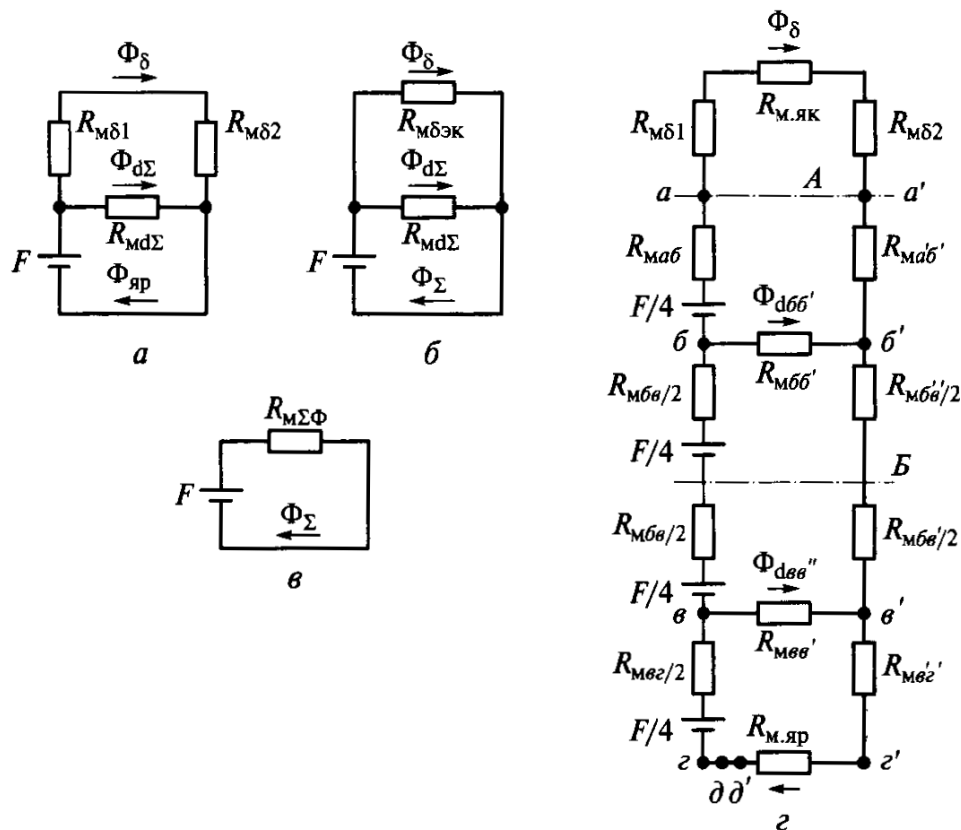


Рисунок 6.3 - Еквівалентні схеми систем магнітних кіл: а...в - без урахування магнітного опору магнітопроводу, г - з урахуванням магнітного опору магнітопроводу (використані позначення, наведені на рис.6.2, в)

При аналізі магнітної системи з урахуванням магнітного опору магнітопроводу розв'язати аналітично рівняння (6.10), (6.13) і їм подібні, що визначають розподіл в магнітній системі магнітних напруг і потоків, частіше за все не вдається навіть при $f_x = \text{const}$ і $\lambda_{dx} = \text{const}$. Це пов'язано зі складністю знаходження магнітної проникності μ_x , яка визначається при заданому матеріалі магнітопроводу розподілом потоків в магнітній системі, оскільки μ_x залежить від магнітної індукції.

Еквівалентна схема магнітного кола системи, що враховує магнітний опір магнітопроводу, наведена на рис.6.3, г.

6.4 Магнітні кола змінного струму

Значення струму в обмотці магнітної системи, підключеної до джерела напруги змінного струму, не дорівнює відношенню даної напруги, до активного опору проводу обмотки, як це має місце в магнітній системі постійного струму в статичному або квазістатичному режимі роботи (при нескінченно повільному переміщенні якоря).

Зв'язок між миттєвими значеннями напруги і струму, і активного опору R і потокозчеплення Ψ при змінному струмі визначається виразом:

$$u = iR + \frac{d\Psi_{\Sigma}}{dt}, \quad (6.28)$$

де iR - активна складова напруги, $iR = u_R$; $\frac{d\Psi_{\Sigma}}{dt}$ - реактивна складова напруги, що дорівнює по модулю і зворотна по фазі ЕРС обмотки e , $d\Psi_{\Sigma} = u_L = -e$.

Якщо знехтувати значенням u_R , вважати $\Psi_{\Sigma} = \Psi_m \sin(\omega t)$ і перейти від максимального значення потокозчеплення до його дійсного значення, то

$$u = \omega \Psi_{\Sigma m} \cos(\omega t) = \sqrt{2} \omega \Psi_{\Sigma} \cos(\omega t) = U_m \cos(\omega t) = \sqrt{2} U \cos(\omega t).$$

Тоді,

$$\Psi_{\Sigma m} = \sqrt{2} \Psi_{\Sigma} = \frac{U_m}{\omega} = \frac{U}{(4.44 f)}. \quad (6.29)$$

Таким чином, якщо задано напругу, то задано і потокозчеплення, яке при допущенні $U_R = 0$ не залежить від робочого зазору δ . Струм, що протікає по обмотці, повинен мати таке значення, щоб забезпечувалося дане потокозчеплення.

Якщо знехтувати магнітним опором магнітопроводу, то можна записати:

$$I = \frac{u}{\omega N_{\Sigma}^2 \Lambda_{\Sigma\Psi}}. \quad (6.30)$$

Таким чином, струм в обмотці буде зростати зі збільшенням робочого зазору δ , оскільки при цьому зменшується значення $\Lambda_{\Sigma\Psi}$.

Звичайно, з цього не слід робити висновок, що зі збільшенням зазору δ робочий потік залишається незмінним. Сумарне потокозчеплення Ψ_{Σ} складається з робочого потокозчеплення Ψ_{δ} і потокозчеплення розсіювання Ψ_d . Зі збільшенням δ потокозчеплення розсіювання збільшується, а робоче потокозчеплення зменшується.

Крім того, якщо врахувати падіння напруги на активному опорі R , то можна записати:

$$\Psi_{\Sigma} = \frac{\sqrt{u^2 - (IR)^2}}{\omega}. \quad (6.31)$$

Оскільки зі збільшенням зазору δ струм збільшується, то сумарне потокозчеплення Ψ_{Σ} зменшується, однак це зменшення, як і зменшення робочого потокозчеплення (а отже, і робочого потоку) значно менше, ніж в такій же магнітній системі постійного струму. Із зазначеної причини тягові характеристики магнітної системи змінного струму (наприклад, залежність електромагнітної сили від робочого зазору) більш пологі, ніж у магнітних систем постійного струму.

6.5 Розрахунок магнітних кіл змінного струму

При розрахунку магнітної системи змінного струму крім активних магнітних опорів повітряних проміжків і магнітопроводу необхідно враховувати втрати в магнітопроводі через гістерезис і вихрових струмів, а також дії вторинних електропровідних контурів (додаткові замкнуті обмотки, короткозамкнені витки, інші електропровідні тіла), пронизує потоком первинну обмотку магнітної системи. Втрати обумовлюють різні фази магнітних потоків і МРС. Для врахування цієї особливості за аналогією з електричними ланцюгами використовують комплексні значення магнітних опорів. Значення магнітного потоку, потокозчеплення, МРС та магнітної напруги також представляють в комплексному вигляді, наприклад:

$$\dot{\Phi}_m = \frac{\dot{U}_m}{\underline{Z}_M}. \quad (6.32)$$

Комплексний магнітний опір:

$$\underline{Z}_M = R_M + jX_M, \quad (6.33)$$

де R_M і X_M - відповідно активна і реактивна складові.

Якщо $\Phi = \Phi_m \sin(\omega t)$, то $u = U_m \sin(\omega t + \gamma)$, де кут називається кутом втрат.

$$\gamma = \arctg\left(\frac{X_M}{R_M}\right) \quad (6.34)$$

Відповідно до формули (6.32) комплексне магнітний опір ділянки магнітопроводу

$$\underline{Z}_{M.M} = \frac{\dot{U}_{M.Mm}}{\dot{\Phi}_m} = \frac{\dot{H}_m l}{\dot{B}_m S}. \quad (6.35)$$

$$\text{Позначимо } \dot{\rho}_{mZ} = \frac{\dot{H}_m}{\dot{B}_m} = \frac{\dot{H}}{\dot{B}}$$

Величина $\dot{\rho}_{mZ}$ є комплексним питомим магнітним опором матеріалу магнітопроводу. Зворотною йому величиною є $\dot{\mu}_a = \frac{1}{\dot{\rho}_{mZ}} = \frac{\dot{B}}{\dot{H}}$ - комплексна абсолютна магнітна проникність матеріалу магнітопроводу.

Розкладемо $\dot{\rho}_{mZ}$ на активну ρ_{mR} і реактивну ρ_{mX} складові:

$$\dot{\rho}_{mZ} = \rho_{mR} + j\rho_{mX}. \quad (6.36)$$

Тоді:

$$\underline{Z}_{M.M} = \frac{\dot{\rho}_{mZ} l}{S} = \frac{(\rho_{mR} + j\rho_{mX})l}{S}. \quad (6.37)$$

Активна складова комплексної магнітної напруги $U_{M.MR} = \Phi_{M.M} R_{M.M}$, а реактивна $U_{M.MX} = \Phi X_{M.M}$.

Для обчислення ρ_{mX} необхідно знати втрати на вихрові струми і перемагнічування. Значення цих втрат наводяться в нормативних документах, технічних умовах на матеріал або знаходяться розрахунковим шляхом.

Значення $\dot{\rho}_{mZ}$ визначають по кривій намагнічування, яка знята на змінному струмі відповідної частоти, потім розраховують значення $\dot{\rho}_{mR} = \sqrt{\dot{\rho}_{mZ}^2 - \dot{\rho}_{mX}^2}$.

Для ряду матеріалів ρ_{mR} і ρ_{mX} можна знайти по кривих залежності від магнітної індукції [1]. При цьому слід мати на увазі, що часто в технічній літературі за комплексний питомий магнітний опір приймають $\dot{\rho}_{mZ} = \frac{\dot{H}_m}{\dot{B}_m} = \frac{\dot{H}}{\dot{B}}$

,тобто відношення від діючого значення напруженості магнітного поля до амплітуди магнітної індукції, $\frac{\dot{H}}{\dot{B}_m}$.

Магнітопроводи магнітних систем змінного струму виконують в основному з електротехнічних сталей, які мають малі втрати на перемагнічування (мала коерцитивна сила) і на вихрові струми (підвищений питомий електричний опір). З метою зменшення втрат на вихрові струми магнітопроводи виготовляють шихтованими у вигляді набору електрично ізольованих один від одного пластин товщиною від 0,1 до 1,0 мм. Для зниження втрат в магнітній системі змінного струму використовують також і інші матеріали, наприклад магнітом'які ферити, аморфні сплави.

Розглянемо найпростішу магнітну систему, що являє собою тороїдальний магнітопровід з рівномірно намотаною на нього обмоткою (рис.6.4, а).

Повна векторна діаграма і схема заміщення магнітного кола дані на рис.6.4, б, в. Обмотка має активний опір R і підключена до джерела напруги і змінного струму. Вектор напруги $\bar{U}$ може бути розкладений на дві складові: активну U_R , що збігається за фазою із струмом I , і реактивну U_X , випереджаючи струм на 90° . При цьому $U_R = IR$, $U_X = jIX$. Значення опору втрат R_B визначається потужністю втрат P_B магнітопроводу: $R_B = \frac{P_B}{I^2}$.

Еквівалентний реактивний опір обмотки $X_{ек} = L_{ек} \omega$, де $L_{ек}$ - її еквівалентна індуктивність. Значення індуктивності котушки без урахування втрат в магнітопроводі і екранах визначається за формулою:

$$L_0 = \frac{\omega^2}{R_M}, \quad (6.38)$$

де ω - число витків.

В даному випадку $L_0 = \frac{\omega^2}{R_{M.M}}$. Відно до схеми заміщення $\gamma = \arctg\left(\frac{X_{M.M}}{R_{M.M}}\right)$.

Тоді:

$$L_{ек} = L_0 \cos^2 \gamma. \quad (6.39)$$

Опір втрат:

$$R_B = \omega L_0 \sin \gamma \cos \gamma. \quad (6.40)$$

Еквівалентний комплексний опір обмотки:

$$\underline{Z} = R_{ек} + jX_{ек}. \quad (6.41)$$

Еквівалентний активний опір обмотки:

$$R_{ек} = R + R_B. \quad (6.42)$$

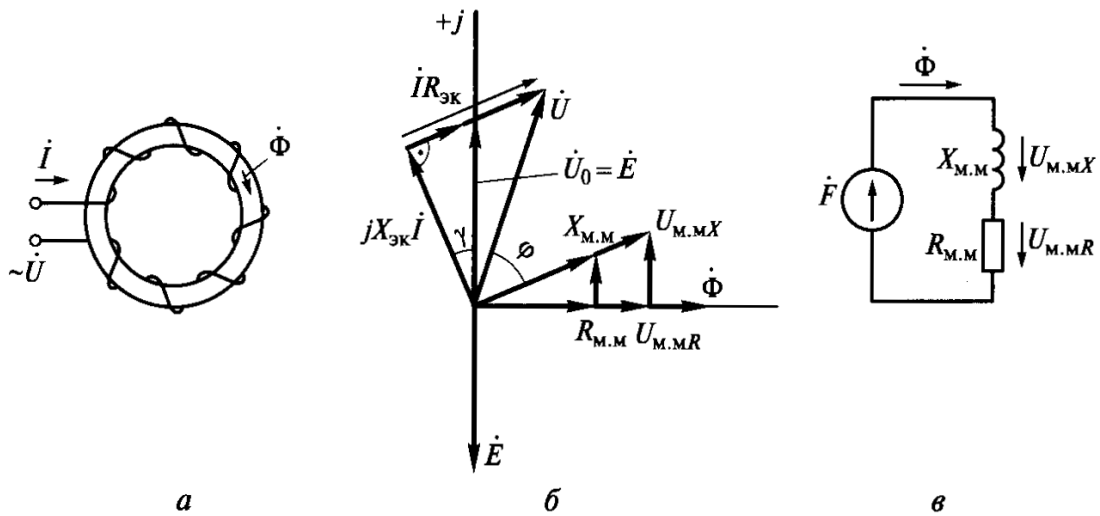


Рисунок 6.4 - Магнітна система змінного струму у вигляді тороїдального магнітопроводу з рівномірно намотаною обмоткою (а), її повна векторна діаграма (б), і схема магнітного кола (в).

Комплексна напруга живлення:

$$\dot{U} = \dot{U}_{\text{Ree}} + \dot{U}_X. \quad (6.43)$$

Діюче значення напруги живлення:

$$U = \sqrt{U_{\text{Ree}}^2 + U_X^2}, \quad (6.44)$$

де $U_{\text{Ree}} = IR_{\text{ек}}$.

Сумарні активні втрати в магнітній системі:

$$P = UI \cos \varphi = IU_{\text{Ree}} = I^2 R_{\text{ек}}. \quad (6.45)$$

Кут зсуву фаз між струмом і напругою:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{X_{\text{ек}}}{R_{\text{ек}}} \right). \quad (6.46)$$

6.6 Електромагніти, будова і принцип дії електромагніту

Електромагніт складається з магнітопроводу і обмотки 2 (рис.6.5). Рухома частина магнітопроводу називається якорем 1. Ділянки магнітопроводу 3 і 4 називаються стрижнями або осердями.

На рис.6.6 наведені найбільш характерні різновиди електромагнітних систем, що застосовуються в електричних апаратах. При проходженні струму по обмотці (катушці) 2 електромагніту виникає намагнічувальне зусилля, під дією якого збуджується магнітний потік Φ .

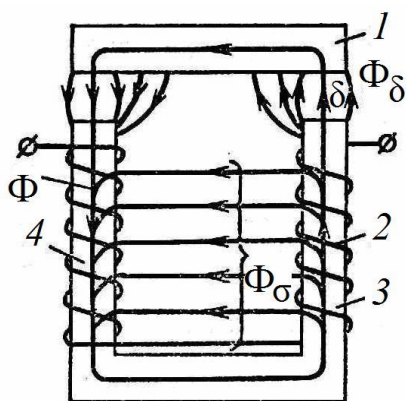


Рисунок 6.5— Схематична будова електромагніту

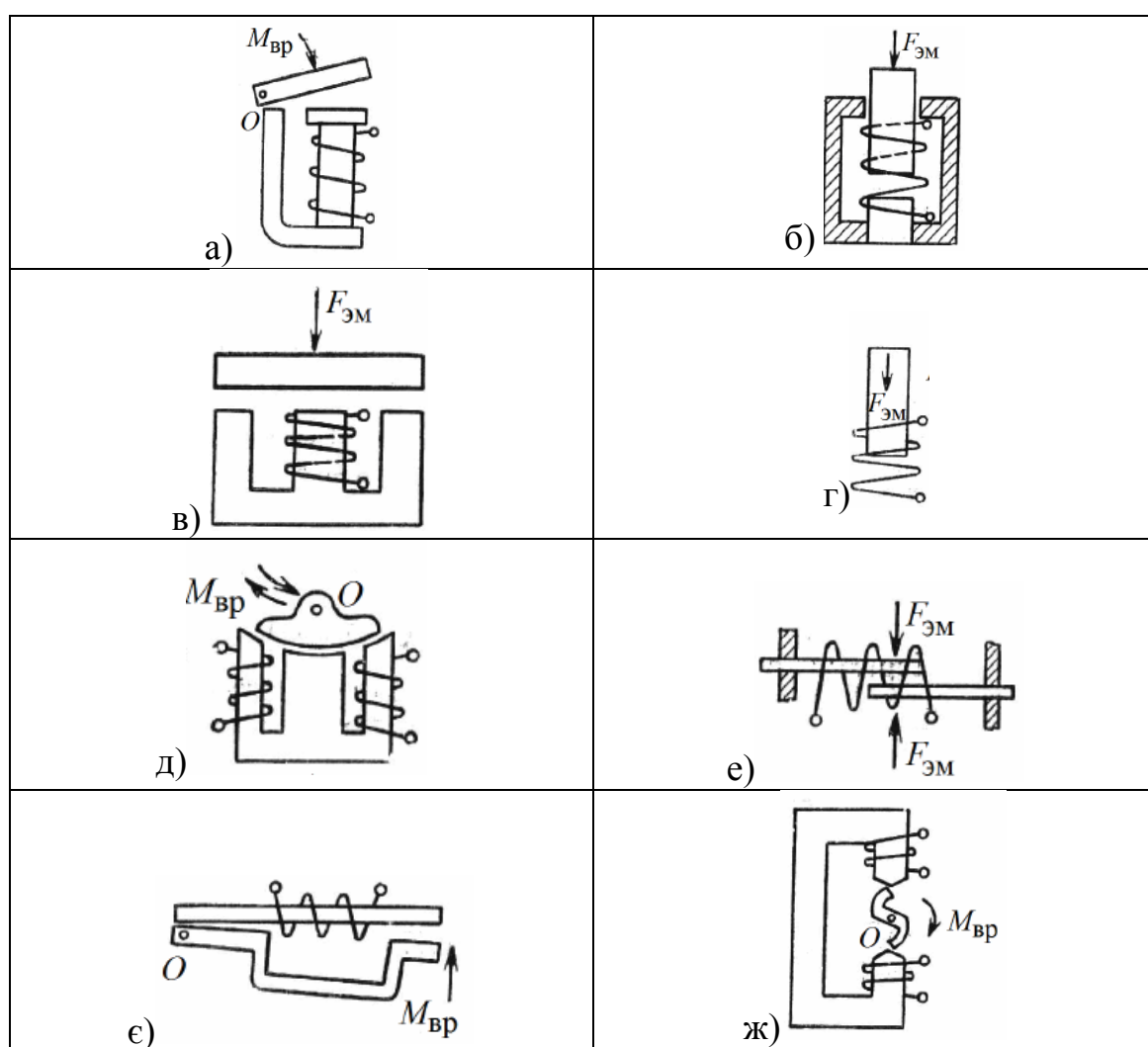


Рисунок 6.6 – Різновиди електромагнітних систем: а) клапанна; б) броньова; в) Ш-подібна; г) соленоїдна; д) з поворотним якорем; е) для герконів; е) плоска для багато контактних реле; ж) із Z-подібним якорем для реле захисту з високим коефіцієнтом повернення

Цей потік замикається через повітряний зазор між іншими частинами магнітного кола, що мають різні магнітні потенціали. Повітряний зазор, який змінюється при переміщенні якоря, називається робочим. У робочих зазорах розвивається електромагнітне зусилля, що здійснює переміщення (тяжіння) якоря. Від якоря зусилля передається механізму, який приводиться в рух. Якір може бути розташований зовні по відношенню до обмотки (рис.6.5, а, в, д, з) - зовнішній притягувальний якір або всередині обмотки (рис.6.5, б, г, е) - втягувальний якір. Магнітний потік, що проходить через робочий зазор, називається робочим. Всі інші потоки називаються потоками розсіювання.

6.7 Магнітні системи з постійними магнітами

У магнітних колах електричних апаратів широке застосування знаходять постійні магніти. Їх виготовляють із спеціальних сплавів або шляхом спікання частинок різних матеріалів, які, будучи намагніченими, здатні за рахунок накопиченої магнітної енергії служити джерелом магнітного поля. Матеріали, що володіють зазначеною властивістю, називаються магнітотверді.

Найважливішою характеристикою матеріалу постійного магніту є крива розмагнічування, що представляє собою частину граничної петлі гістерезису $B_M = f(H)$ цього матеріалу, розташовану у другому квадранті осей B і H (рис.6.7).

Існує й інший різновид кривої розмагнічування: $B_M = f(H)$, де B_M - індукція намагніченості M матеріалу, $B_M = \mu_0 M$.

Якщо відома одна з характеристик (B або B_M), то іншу можна побудувати на підставі виразу:

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_0 H + B_M. \quad (6.47)$$

Найважливішими параметрами кривих розмагнічування є залишкова магнітна індукція B_r і коерцитивна сила H_c .

Для використання постійного магніту необхідно, щоб він був в магнітній системі з повітряним зазором. Складова МРС постійного магніту, що витрачається на проведення потоку в цьому зазорі, називається вільною МРС. При відсутності зазору (магнітна система замкнута, індукція в постійному магніті дорівнює B_r) вся МРС постійного магніту витрачається на проведення потоку по постійному магніту (падінням магнітної напруги в магнітопроводі нехтуємо):

$$F = H_c l_{п.м}, \quad (6.48)$$

де $l_{п.м}$ - довжина постійного магніту.

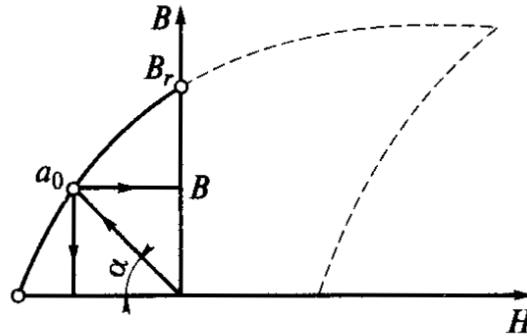


Рисунок 6.7 - Крива розмагнічування

При наявності повітряного зазору в магнітній системі:

$$F = F_{\Pi, M} + F_{\delta},$$

де $F_{\Pi, M}$, F_{δ} - частини сумарної МРС магніту F , витрачені відповідно на проведення потоку в постійному магніті і зазорі.

Введення зазору чинить на постійний магніт розмагнічуючу дію, яку представимо у вигляді розмагнічуючої напруженості поля H . При цьому індукція в постійному магніті зменшується з B_r до B (точка a_0 на кривій розмагнічування $B = f(H)$ - див. рис.6.7).

Якщо знехтувати розсіюванням, то потік Φ_{δ} в повітряному проміжку δ дорівнює потоку в постійному магніті $\Phi_{\Pi, M}$:

$$\Phi_{\delta} = F_{\delta} \Lambda_{\delta} = H l_{\Pi, M} \Lambda_{\delta} = \Phi_{\Pi, M} = B S_{\Pi, M}, \quad (6.49)$$

де Λ_{δ} - магнітна провідність зазору, $S_{\Pi, M}$ - площа поперечного перерізу постійного магніту.

З рис.6.7 з урахування формули (6.48) слідує

$$\frac{Bl}{HK_M} = \frac{\lambda_{\delta} l_{\Pi, M}}{S_{\Pi, M} K_M} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (6.50)$$

де K_M - коефіцієнт, що визначається відношенням масштабів $\frac{m_B}{m_H}$

Таким чином, маючи криву розмагнічування постійного магніту, його розміри $l_{\Pi, M}$, $S_{\Pi, M}$ і знаючи Λ_{δ} , можна, користуючись виразом (6.50), обчислити потік в зазорі. Для цього необхідно провести на діаграмі (рис.6.7) пряму з початку координат під кутом

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Lambda_{\delta} l_{\Pi, M}}{S_{\Pi, M} K_M} \right). \quad (6.51)$$

Ця пряма називається лінією провідності.

Точка перетину лінії провідності з кривою розмагнічування $B_M = f(H)$ визначає значення B і H в постійному магніті.

За знайденою індукцією B за допомогою формули (6.49) знаходять потоки в постійному магніті і зазорі (нехтуючи розсіюванням). При врахуванні розсіювання в формулу (6.51) необхідно підставляти не провідність Λ_δ , а сумарну провідність всієї магнітної системи з постійним магнітом. Тоді отримуване значення індукції B відповідатиме індукції в нейтральному перетині постійного магніту (посередині між полюсами). У цьому ж перерізі $\Phi_{П.М} = BS_{П.М}$ а потік в повітряному зазорі

$$\Phi_\delta = \frac{\Phi_{П.М}}{\sigma_{\Sigma\Phi}} = \frac{BS_{П.М}}{\sigma_{\Sigma\Phi}}, \quad (6.52)$$

де $\sigma_{\Sigma\Phi}$ - сумарний коефіцієнт розсіювання магнітної системи по потоці.

При проектуванні магнітної системи з постійним магнітом прагнуть до максимального використання матеріалу постійного магніту, для отримання максимального значення відданої ним вільної (зовнішньої) магнітної енергії. Магнітна енергія, зосереджена в повітряному проміжку,

$$W_M = \frac{\Phi_\delta F_\delta}{2}. \quad (6.53)$$

Беручи до уваги, що $\Phi_\delta = \Phi_{П.М} = BS_{П.М}$. (без урахування розсіювання), допускаючи колінеарність і сталість величин B і H по всьому об'єму магніту $V_{П.М}$ і враховуючи, що $F_\delta = Hl_{П.М}$, отримуємо

$$W_M = \frac{B H l_{П.М} S_{П.М}}{2} = \frac{B H V_{П.М}}{2}. \quad (6.54)$$

Матеріал постійного магніту характеризується магнітною енергією, віднесеною до одиниці його об'єму, тобто значенням питомої енергії

$$\omega_M = \frac{B H}{2}. \quad (6.55)$$

Користуючись кривою розмагнічування $B_M = f(H)$, можна побудувати криву питомої енергії (рис.6.8). Ця крива має максимум $\omega_{Mmax} = f(H)$. При $H_c = \infty$, крива $B_M = f(H)$ в межах другого квадранта є прямою, що проходить через точки B_r і H_c . Отже, граничне значення ω_M визначається за формулою:

$$\omega_M = \frac{\left(\frac{B_r}{2}\right)\left(\frac{H_c}{2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{B_r}{2}\right)\left(\frac{B_r}{2\mu_0}\right)}{2} = \frac{B_r^2}{8\mu_0}. \quad (6.56)$$

В процесі роботи магнітної системи робочий зазор може змінюватися, що призводить до зміни магнітної провідності системи. Припустимо, що постійний магніт, попередньо намагнічений в спеціальній установці, після видалення з неї мав робочу точку α_0 на кривій розмагнічування $B = f(H)$ (рис.6.9), якій відповідав кут α_0 , індукція B_0 і напруженість H_0 . при з'єднанні постійного магніту з магнітопроводом магнітної системи магнітна провідність системи збільшиться, чому буде відповідати новий кут α_1 і велика індукція в постійному магніті. Однак збільшення індукції в постійному магніті відбувається не по кривій розмагнічування, а по деякій іншій кривій α_0bc , так званій кривій повернення. Якщо магнітопровід видалити, то індукція буде змінюватися приблизно по кривій $cd\alpha_0$. Криві α_0bc і $cd\alpha_0$ є кривими приватних циклів намагнічування і розмагнічування. Ширина петлі зазвичай невелика, тому петлю замінюють прямою α_0c , яка називається прямою повернення. Відношення (6.57) називається коефіцієнтом повернення.

$$p_h = \frac{\Delta B}{\Delta H} = K_M \operatorname{tg} \gamma \quad (6.57)$$

Граничне значення коефіцієнту повернення:

$$p_{\text{ггга}} = K_M \mu_0. \quad (6.58)$$

Постійні магніти широко застосовуються в поляризованих магнітних системах, які відрізняються від неполяризованих тим, що мають джерела магнітного поля двох видів: поляризуючі і керуючі.

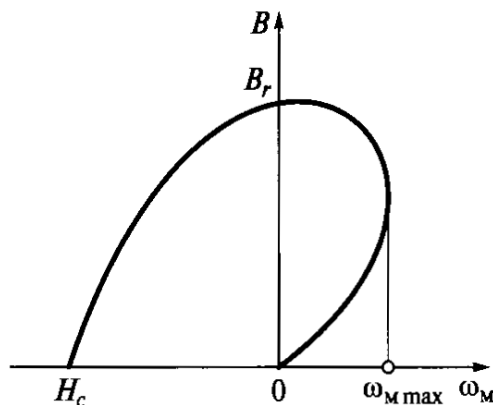


Рисунок 6.7 - Криві розмагнічування та питомої енергії постійного магніту (відповідно зліва і справа від осі ординат)

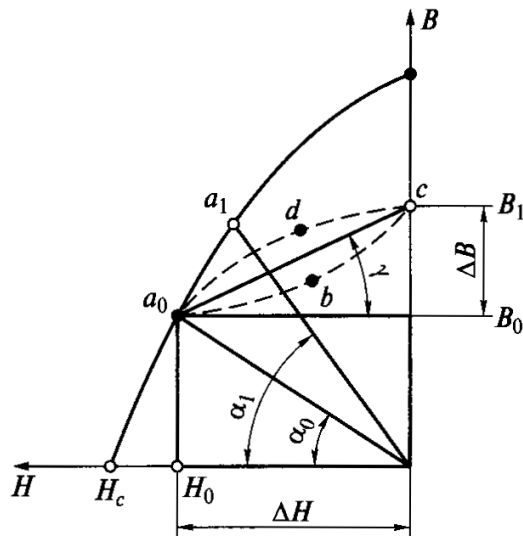


Рисунок 6.8 - Лінії повернення матеріалу постійного магніту

Джерелом поляризуючого поля в більшості випадків є постійні магніти. Керуюче поле створюється МРС керуючої обмотки. Основною відмінною рисою поляризованої магнітної системи є залежність її дії не тільки від значення, а й від напрямку струму в керуючій обмотці. При відсутності струму в цій обмотці на рухому частину магнітної системи (якір) діє електромагнітне зусилля, створюване поляризуючим полем.

Використання постійного магніту дозволяє отримати фіксований положення якоря незалежно від наявності або відсутності джерела струму і виключає споживання енергії в неробочий період. Наявність поляризуючого поля визначає також високу чутливість і швидкодію електричних апаратів на основі поляризованих магнітних систем. Це пов'язано головним чином з тим, що при спрацьовуванні цих апаратів магнітне поле не створюється знову повністю, а відбувається лише перерозподіл магнітних потоків.

Поляризовані магнітні системи є основою високочутливих швидкодіючих реле, електромагнітних перетворювачів електричного сигналу в пропорційне кутове або лінійне переміщення, швидкодіючих автоматичних вимикачів, блокувальних пристроїв і т. д.

Існує велика різноманітність поляризованих магнітних систем. Вони підрозділяються на системи з послідовними, диференціальними і мостовими магнітними колами. Кожна з цих груп має багато різновидів. В даний час найбільшого поширення набули магнітні системи з диференціальними і мостовими магнітними колами. Приклади наведені на рис.6.9.

Розглянемо принцип дії диференціальної магнітної системи, показаної на рис.6.9, а. Вона складається з магнітопроводу 1, на якому розміщені дві

обмотки управління (2 і 4), включені послідовно і зустрічно. З магнітопроводом жорстко скріплений постійний магніт 3, що створює поляризуючий магнітний потік $\Phi_{п.м}$ (позначений суцільною лінією). Якір 5 може повертатися на осі O в підшипниках (на рис.6.9, а не показані). Потік $\Phi_{п.м}$ проходить через повітряний зазор δ_2 в якір і потім розгалужується на два потоки ($\Phi_{п.м.\delta_1}$ і $\Phi_{п.м.\delta_2}$), що проходять відповідно через повітряні зазори δ_1 і δ_3 . При відсутності струму в обмотках і горизонтальному положенні якоря діючі на нього електромагнітні зусилля в зазорах δ_1 і δ_3 , однакові. Якір при цьому знаходиться в нестійкому положенні; при незначному повороті якоря (наприклад, проти годинникової стрілки, тобто в бік зменшення зазору δ_1 і збільшення зазору δ_3) електромагнітна сила в зазорі δ_1 збільшується, а в зазорі δ_3 зменшується. В результаті якір переходить в положення, зображене на рис.6.9, а.

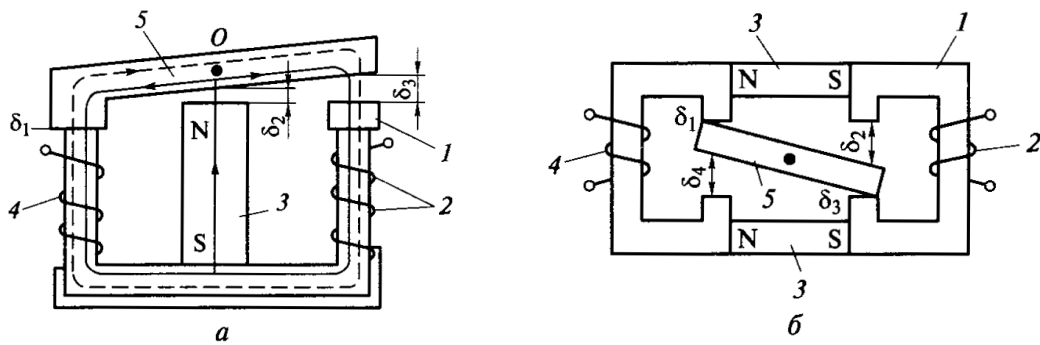


Рисунок 6.9 - Приклади диференціальної (а) і мостової (б) поляризованої магнітної системи: 1 - магнітопровід; 2, 4 - обмотки; 3 - постійний магніт; 5 – якір

Після ввікнення обмоток з полярністю, вказаною на рис.6.9, а, створюється керуючий магнітний потік Φ_y (позначений штриховою лінією), що проходить послідовно через зазори δ_1 і δ_3 . При цьому в зазорі δ_1 відбувається віднімання потоків $\Phi_{п.м.\delta_1}$ і $\Phi_{п.м.y}$, а в зазорі δ_3 - їх додавання. При певній МРС обмоток електричне зусилля в зазорі δ_3 стає більше електромагнітного зусилля в зазорі δ_1 і (за умови відсутності інших сил) якір повертається за годинниковою стрілкою і займає інше крайнє положення. У цьому положенні він залишається і після зняття напруги з обмоток. Якщо по обмотках пустити струм іншої полярності, якір перекинеться в протилежний напрям.

У диференціальних схемах вісь якоря або пружинна підвіска сприймає значні зусилля, причиною яких є вплив електромагнітних сил. У першому випадку при переміщенні якоря в підшипниках виникають значні сили тертя, що негативно позначаються на чутливості апарату. У другому випадку ті ж зусилля викликають не тільки вигин пружини, але і її розтягнення, що призводить до необхідності застосовувати для пружини матеріали з високим часовим опором розриву. Мостові схеми показані на рис.6.9, б, цього недоліку не мають.

Ще одним недоліком диференціальних схем є неможливість повного поділу поляризовуючого і керуючого потоків в якорі. Це викликає необхідність збільшувати площу поперечного перерізу якоря, а отже, його масу, що знижує швидкодію апарату і його стійкість до зовнішніх механічних навантажень. В деяких мостових схемах (дивись рис.6.9, б) один з потоків (керуючий або поляризовуючий) направлений вздовж якоря, а другий поперек.

На відміну від диференціальних схем, що мають практично тільки два робочих зазори (δ_1 і δ_3 на рис.1.8, а), мостові схеми характеризуються як мінімум чотирма такими зазорами ($\delta_1 \dots \delta_4$ на рис.6.9, б). У ряді випадків це дає можливість зменшити приблизно вдвічі магнітний опір керуючого потоку в порівнянні зі схемами з двома зазорами, оскільки магнітний опір зазорів на шляху керуючого потоку в мостовій схемі розташовані попарно паралельно (δ_1 і δ_4 ; δ_2 і δ_3).

Запитання для самоконтролю і завдання

1. Що таке магнітне коло?
2. Назвіть основні відмінності між електричними та магнітними колами.
3. Що являють собою розвязки прямої і зворотної задач при розрахунку магнітних кіл?
4. Що таке еквівалентна схема заміщення магнітного кола?
5. Назвіть основні відмінності магнітних кіл з постійною МРС і змінною.
6. Яким способом зменшують втрати в магнітопроводі магнітного кола з змінною МРС?
7. Який вплив на роботу магнітного кола надає введення повітряного зазору?
8. Що являє собою крива розмагнічування матеріалу?
9. Як визначається магнітна енергія?

10. Які схеми поляризованих магнітних систем використовуються в електричних апаратах?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

7. ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ТА УМОВИ ЇХ РОБОТИ

7.1 Класифікація електричних апаратів

7.2 Вимоги до електричних апаратів

7.3 Кліматичне виконання технічних виробів

7.4 Категорії розміщення виробів

7.5 Виконання електрообладнання за ступенем захисту від впливу навколишнього середовища

7.6 Умови і режими роботи електричних апаратів

7.7 Категорії застосування комутаційних низьковольтних апаратів (за ГОСТ 12434-93)

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Оболонка	Частина, що забезпечує захист обладнання від деяких зовнішніх впливів і захист в усіх напрямках від прямих контактів [Міжнародний електротехнічний словник (VEI) 826-03-12]	<i>Enclosure</i>
Прямий контакт	Контакт людей або тварин з струмоведучими частинами [Міжнародний електротехнічний словник (VEI) 826-03-05].	<i>direct contact</i>
Ступінь захисту	Спосіб захисту, який забезпечується оболонкою від доступу до небезпечних частин, попадання зовнішніх твердих предметів і (або) води і перевіряється стандартними методами випробувань	<i>degree of protection</i>
Код IP	Система кодифікації, що застосовується для позначення ступенів захисту, що забезпечуються оболонкою, від доступу до небезпечних частин, попадання зовнішніх твердих предметів, води, а також для надання додаткової інформації, пов'язаної з таким захистом	
Небезпечна частина	Частина обладнання, наблизитися або торкатися до якої небезпечно, що володіє ознаками небезпечного виробничого фактора	<i>hazardous part</i>
Струмовідна небезпечна частина	Струмовідна частина, яка за певних умов може викликати ураження електричним струмом	<i>conductive hazardous part</i>

	(див. МЕК 536)	
Небезпечна механічна частина	Рухома частина, крім гладкого валу, що обертається, до якої небезпечно торкатися	<i>hazardous mechanical part</i>
Небезпечний виробничий фактор	Виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я (ГОСТ 12.0.002)	<i>hazardous production factor</i>
Захист, що забезпечується оболонкою від доступу до небезпечних частин	Захист людей від: - контакту з струмовідними небезпечними частинами, що перебувають під низькою напругою; - контакту з небезпечними механічними частинами; - зближення з небезпечними струмовідними частинами, що знаходяться під високою напругою, на відстань менше достатнього повітряного проміжку всередині оболонки. Примітка - Такий захист може бути забезпечений: - самою оболонкою; - за допомогою бар'єрів, що входять складовою частиною в оболонку, або за рахунок відстаней всередині оболонки	
Відстань, достатня для захисту від доступу до небезпечних частин	Відстань, що не дозволяє щупу доступності торкатися або наближатися до небезпечних частин	
Щуп доступу	Випробувальний щуп для перевірки достатності відстані від небезпечних частин обладнання, що імітує відповідним способом частину людського тіла або інструменту, або аналог, який тримає людина	<i>access probe</i>
Щуп-предмет	Випробувальний щуп для перевірки можливості проникнення всередину оболонки, що імітує зовнішній твердий предмет	<i>Probe</i>
Отвір	Щілина або отвір в оболонці, які існують або можуть бути утворені за допомогою прикладення випробувального щупа з певним зусиллям	<i>Hole</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Струм постійний	<i>direct current</i>
AC	Струм змінний	<i>alternatic current</i>

Літерні позначення

<i>I</i>	Струм

Стандарти

1. IEC 60050-121¹1998/ IEC – Chapter 121¹ Electromagnetism/ - 109 р.
2. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.-68 с.

7.1. Класифікація електричних апаратів

Електричний апарат — це електротехнічний пристрій, що використовується для увімкнення і вимкнення електричних кіл, контролю, вимірювання, захисту, керування і регулювання установок, призначених для передавання, перетворення, розподілу й споживання електроенергії.

Електротехнічний пристрій – це промисловий виріб, призначений для виконання певної функції при вирішенні комплексного завдання: виробництва, розподілу, контролю, перетворення і використання електричної енергії.

Електрична установка – сукупність машин, апаратів, ліній і допоміжного устаткування (разом зі спорудами і приміщеннями, в який вони встановлені), призначені для виробництва, трансформації, передачі, розподілу електроенергії чи перетворення електроенергії в інший вид енергії

Класифікація електричних апаратів відповідно до їх призначення:

- комутаційні апарати (здійснюють комутацію електричних кіл при розподіленні електричної енергії);
- апарати керування (здійснюють керування обладнанням – електричними машинами, технологічними об'єктами) і застосовуються при автоматизації виробничих процесів);
- апарати захисту (забезпечують захист людей, тварин, майна та довкілля від шкідливої дії електричної енергії);
- обмежувальні апарати (забезпечують обмеження надструмів та перенапруг у мережах);
- апарати контролю (здійснюють моніторинг параметрів технологічних процесів та сигналізують про їх стан).

Класифікація електричних апаратів за родом струму:

- апарати, що працюють винятково у колах змінного струму;
- апарати, що працюють винятково у колах постійного струму;
- апарати, що можуть працювати як у колах змінного струму, так і у колах постійного струму.

Класифікація електричних апаратів за номінальною напругою: (значення номінальної напруги апарату встановлює виробник, причому номінальна напруга апарата повинна відповідати значенню номінальної напруги мережі, у якій має працювати апарат з урахуванням визначених виробником умов). За цією ознакою апарати поділяють так:

- апарати низької напруги, тобто апарати з номінальною напругою до ~1000 В (змінного струму) або до 1500 В (постійного струму);
- апарати середньої напруги – від ~1000 В до 35 кВ (верхня межа у деяких країнах є вищою – до ~52 кВ) або від 1,5 кВ до 5 кВ;

– апарати високої напруги (вище верхньої границі середніх напруг, причому апарати високої напруги – це переважно апарати змінного струму).

Класифікація електричних апаратів за типом комутаційного елементу:

- електромеханічні електричні апарати;
- напівпровідникові електричні апарати;
- гібридні електричні апарати.

7.2 Вимоги до електричних апаратів

Вимоги до електричних апаратів доволі різноманітні, оскільки залежать від цілого ряду чинників: призначення, умов експлуатації, необхідного рівня надійності та ін. На рис.7.1 наведені вимоги, що є загальними практично для всіх електричних апаратів.

Основними нормативними документами, що визначають вимоги до енергетичного (головним чином електротехнічного) обладнання є ПУЕ, ПТЕЕС, ряд державних стандартів (ГОСТ, ДСТУ).

Вимоги щодо надійності	Надійність (dependability) – комплексна властивість об'єкту зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати очікувані функції в заданих режимах і умовах використання за призначенням, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. Надійність може поєднувати такі властивості: безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність, збереженість.
Вимоги щодо ремонтно-придатності	Можливість оперативної заміни: - електричного апарата або його частини, зокрема під напругою). - складових частин(вузлів) електричного апарата а резервні
Вимоги щодо зручності монтажування і демонтажування	Застосування: - виконань апаратів для встановлення на DIN-рейку; - втичних та викатник конструкцій апаратів; - аксесуарів, що полегшують монтажування
Вимоги щодо зручності оперування	Застосування зручних і досконалих актуаторів (рукояток) комутаційних апаратів з неелектричним керуванням, що не потребують значних зусиль оператора
Вимоги щодо ізоляції, відстаней витоку та зазорів	Дотримання стандартизованих (IEC 60947.1) мінімальних значень: - зазорів між струмовідними частинами електричних апаратів; - відстаней витоку
Вимоги щодо експлуатаційних витрат	Зменшення втрат енергії всередині апарату Скорочення витрат, пов'язаних із технічним обслуговування і ремонтом
Вимоги щодо компактності, трудомісткості матеріало-місткості	Застосування блочних конструкцій апаратів. Уніфікація деталей і складальних одиниць
Вимоги щодо працездатності у різних кліматичних умовах, умовах розміщення та умовах механічних впливів	

Рисунок 7.1 – Вимоги до електричних апаратів

Чинні ПУЕ² (глава 1.8. Норми приймально-здавальних випробувань) встановлюють комплекс вимог щодо електричних апаратів (трансформатори струму, трансформатори напруги, елегазові вимикачі, вакуумні вимикачі, вимикачі навантаження, роз'єднувачі, струмообмежувальні сухі реактори, електрофільтри, конденсатори, вентильні розрядники та обмежувачі перенапруг, запобіжники та запобіжники-роз'єднувачі на напругу вищу ніж 1кВ, апарати, вторинні кола та електропроводка напругою до 1 кВ) на стадії приймально-здавальних випробувань електроустановок.

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів(ПТЕЕС)³ містять окремі додатки⁴, що встановлюють вимоги до електричних апаратів (силові конденсатори, масляні та електромагнітні вимикачі, повітряні вимикачі, елегазові вимикачі, вакуумні вимикачі, вимикачі навантаження, запобіжники на напругу понад 1 кВ, роз'єднувачі, короткозамикачі та відокремлювані, вентильні розрядники та обмежувачі перенапруг, трубчасті розрядники, струмообмежувальні сухі реактори, вимірювальні трансформатори, електроустановки, апарати, вторинні кола.

7.3 Кліматичне виконання технічних виробів

Кліматичне виконання технічних виробів і зокрема електрообладнання, регламентує стандарт⁵, що встановлює також категорії розміщення виробів залежно від умов навколишнього середовища. Дія документу розповсюджується на проектування і виготовлення виробів, які мають бути призначені для експлуатації, зберігання і транспортування в діапазоні від верхнього до нижнього значення кліматичних факторів, встановлених стандартом.

Види кліматичних факторів та їх номінальні значення для конкретних видів або груп виробів у залежності від умов їх експлуатації встановлюються відповідними технічними завданнями, стандартами і технічними умовами.

Встановлена стандартом відповідність кліматичних виконань технічних виробів і макрокліматичних районів наведена в таблиці 7.1.

² Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х.:Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.

³ Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). Затверджено Наказ Ма палива та енергетики 25.07.2006 № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості № 91 від 13.02.2012 та № 905 від 16.11.2012)

⁴ Додаток 1 до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів.
Норми і обсяг випробувань та вимірювань параметрів електрообладнання та апаратів електроустановок споживачів

⁵ ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории условий эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»

Таблиця 7.1 - Кліматичні виконання технічних виробів

Кліматичне виконання виробів	Позначення		
	Літерні		Цифрові
	російські	латинські	
Вироби, призначені для експлуатації на суші, ріках та озерах			
Для макрокліматичних районів:			
- з помірним кліматом	У	(N)	0
- з помірним та холодним кліматом	УХЛ	(NF)	1
- з вологим тропічним кліматом	ТВ	(TH)	2
- з сухим тропічним кліматом	ТС	(TA)	3
- як з сухим, так і з вологим тропічним кліматом	Т	(T)	4
Для всіх макрокліматичних районів на суші, окрім макрокліматичного району з дуже холодним кліматом (загальнокліматичне виконання)	О	(U)	5

Якщо протягом певного періоду експлуатації виробу значення кліматичних факторів не виходять за межі встановлених номінальних значень, його можна використовувати в районах і місцях розміщення, що відрізняються від передбачених стандартом.

Стандарт встановлює для кожного із макрокліматичних районів значення температур і відносної вологості (таблиця 7.2)

Таблиця 7.2 - Граничні значення температур для макрокліматичних районів суші

Макрокліматичний район	Значення температури, °С	
	середній із річних абсолютних максимумів	середній із річних абсолютних мінімумів
1	2	3
З помірним кліматом	≤ плюс 40 (не вище)	≥ мінус 45 (не нижче)
З холодним кліматом	--	< мінус 45 (нижче)

Продовження таблиці 7.2

1	2	3
З вологим тропічним кліматом	≥ плюс 20 °C при вологості ≥ 80 %, що спостерігається приблизно половину доби і більше протягом безперервного періоду від 2-х до 12-и місяців щороку	
З сухим тропічним кліматом	> плюс 40 (понад)	--

Поряд з цим встановлені нормальні значення кліматичних факторів навколишнього середовища при експлуатації та випробуваннях (таблиця 7.3).

Таблиця 7.3 - Нормальні значення температур для макрокліматичних районів

Кліматичне виконання	Категорія розміщення	Значення температури повітря при експлуатації, °C			
		робочі		Граничні	
		верхнє	нижнє	верхнє	Нижнє
У	1; 1,1	+ 40	- 45 *1	+ 45	- 50
	2; 2,1; 3	+ 40	- 10 *5	+ 45	- 10 *5
	3,1	+ 35	- 5	+ 35	- 5
	5; 5,1				
ХЛ	1; 1,1; 2	+ 40	- 60	+ 45	- 60
	2,1; 3	+ 40	- 10 *5	+ 45	- 10 *5
	3,1	+ 35	- 10	+ 35	- 10
	5; 5,1				
УХЛ	1; 1,1; 2	+ 40	- 60	+ 45	- 60
	2,1; 3	+ 40	- 10 *5	+ 45	- 10 *5
	3,1	+ 35	+ 1	+ 40	+ 1
	4	+ 25	+ 10	+ 40	+ 1
	4,1	+ 35	+ 10	+ 40	- 1
	4,2	+ 35	- 10	+ 35	- 10
	5; 5,1				
О	1;1,1;2;2,1	45	60	55	60
	4	45	1	55	1
	4,1	25	10	40	1
	4,2	45	10	45	1
	5; 5,1	35	10	35	10

7.4 Категорії розміщення виробів

Категорії розміщення виробів залежно від умов навколишнього середовища, встановлені стандартом, є такими:

1-а категорія – експлуатація на відкритому повітрі;

2-а категорія – експлуатація під навісом або в приміщеннях, де відсутня пряма дія сонячного випромінювання і опадів і де коливання температури та вологості несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі (палатки, кузови, металеві приміщення без опалення та ін.);

3-я категорія – експлуатація в закритих приміщеннях з природною вентиляцією без штучного регулювання клімату, де коливання температури і вологості, вплив піску і пилу суттєво менші, чим на відкритому повітрі (кам'яні, бетонні, дерев'яні і металеві з теплоізоляцією приміщення без опалення або з нечастим опаленням);

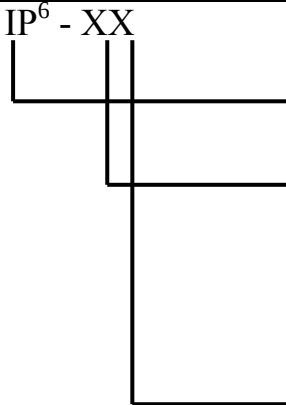
4-а категорія – експлуатація в приміщеннях з штучно регульованим мікрокліматом. Ця категорія в свою чергу, поділяється на підкатегорії: **4.1** – експлуатація в приміщеннях з кондиційованим повітрям; **4.2** - експлуатація в лабораторіях, капітальних житлових та інших приміщеннях;

5-а категорія – експлуатація в приміщеннях з підвищеною вологістю, де можливе тривала наявність води і часта конденсація вологи (шахти, підвали, корабельні приміщення).

7.5 Виконання електрообладнання за ступенем захисту від впливу навколишнього середовища

Різноманітні умови навколишнього середовища значною мірою впливають на стан технічних об'єктів і зокрема електрообладнання.

Дієвим заходом щодо підвищення експлуатаційної надійності обладнання є його захист від впливу навколишнього середовища. В умовах експлуатації мова йде про відповідність виконання виробів чи пристроїв реальним заченням факторів впливу. Застосовуються позначення ступеню захисту, наведені нижче:

	Ingress Protection Rating Цифра від 0 до 6 характеризує ступінь захисту персоналу від дотику до струмовідних частин всередині оболонки і ступінь захисту обладнання від попадання в середину оболонки твердих тіл Цифра від 0 до 8 характеризує ступінь захисту обладнання від попадання вологи всередину оболонки

Щодо першої цифри у позначенні ступеню захисту від впливу навколишнього середовища:

0 - захист відсутній;

1 - наявність захисту від випадкового дотику великої ділянки тіла людини до струмовідних частин всередині оболонки; відсутність захисту від навмисного доступу до цих частин; захист обладнання від попадання великих твердих сторонніх тіл діаметром не менше 52,5 мм;

2 - наявність захисту від можливості дотику пальців до струмоведучих або рухомих частин всередині оболонки; захист обладнання від попадання твердих сторонніх тіл середнього розміру діаметром не менше 12,5 мм;

3 - наявність захисту від дотику інструмента, дроту або інших подібних предметів, товщина яких перевищує 2,5 мм до струмоведучих або рухомих частин всередині оболонки; захист обладнання від попадання дрібних сторонніх тіл діаметром не менше 2,5 мм;

4 - наявність захисту від дотику інструмента, дроту або інших подібних предметів, товщина яких перевищує 1,0 мм до струмоведучих або рухомих частин всередині оболонки; захист обладнання від попадання твердих сторонніх тіл діаметром не менше 1,0 мм;

5 - повний захист персоналу від дотику до струмоведучих чи рухомих частин всередині оболонки; захист обладнання від шкідливих відкладень пилу;

6 - повний захист персоналу від дотику до струмоведучих чи рухомих частин всередині оболонки; повний захист обладнання від попадання пилу;

⁶ **Ingress Protection Rating** — система класифікації ступенів захисту оболонки електрообладнання від проникнення твердих предметів і води відповідно до міжнародних стандартів IEC 60529 (DIN 40050, ГОСТ 14254-96).

Щодо захисту обладнання від попадання вологи (друга цифра у позначенні ступеню захисту:

0 - захист відсутній;

1 - наявність захисту від капель сконденсованої води, що падають на оболонку вертикально;

2 - наявність захисту від капель води, що падають на оболонку під кутом не більше 15° до вертикалі;

3 - наявність захисту від дощу (каплі, що падають на оболонку, нахилені під кутом не більше 60° до вертикалі не повинні шкідливо впливати на обладнання, що знаходиться всередині оболонки);

4 - наявність захисту від бризок (бризки води будь-якого напрямку, що попадаються на оболонку, не повинні шкідливо впливати на обладнання всередині оболонки);

5 - наявність захисту від водяних струменів (вода, що викидається через накінецьник брансбойту на оболонку у будь-якому напрямку, не повинна шкідливо впливати на обладнання всередині оболонки);

6 - наявність захисту від дії морської хвилі (на палубі корабля тощо);

7 - наявність захисту від проникнення води всередину оболонки при занурюванні її у воду за умови певного тиску (тривалість занурення до 30 хвилин);

8 - наявність захисту від проникнення води всередину оболонки при занурюванні її у воду за умови певного тиску (тривалість занурення необмежена).

Умове позначення ступеню захисту обладнання від впливу навколишнього середовища має наноситися безпосередньо на оболонку або ж на табличку з паспортними даними (чи в інших місцях, обумовлених стандартами або технічними умовами).

Стандарт встановлює переважні ступені захисту і зокрема такі: IP00; IP20; IP23; IP44; IP54; IP55.

Передбачена також чітка методика випробовувань обладнання із наведенням креслень відповідних пристроїв чи установок.

Діє група стандартів, що регламентують питання захисту від впливу навколишнього середовища; визначені як загальні положення, так і конкретні вказівки щодо ступеню захисту від впливу навколишнього середовища для окремих видів обладнання.

Зокрема ГОСТ 19348-81 «Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения. Общие технические условия» встановлює ряд переважних ступеней захисту:

IP23; IP30; IP31; IP41; IP44; IP51; IP54; IP55.

Інший документ - ГОСТ 17494-72 «Машины электротехнические напряжением до 1000 В. Степени защиты» регламентує коло питань захисту від впливу навколишнього середовища електричних машин, встановлюючи серед переважних ступенів такі, що знашли поширення у серіях асинхронних електродвигунів: IP23; IP44; IP54; IP55.

7.6 Умови роботи електричних апаратів

Таблиця 7.4 - Вплив умов навколишнього середовища на експлуатаційну надійність енергетичного обладнання

Фактори впливу	Прояв впливу
1	2
Надміру висока температура повітря	Прискорене старіння електроізоляційних матеріалів; зменшення в'язкості рідких діелектриків, заливних мас кабельних муфт та мастила у підшипниках
Різкі коливання температури	Погіршення електричних властивостей діелектриків; механічні пошкодження (зокрема розтріскування) електроізоляційних матеріалів
Висока температура при недостатній вологості повітря	Висихання і деформація елементів ізоляції (органічної)
Підвищена вологість повітря	Корозія металевих деталей і вузлів; погіршення електричних та механічних властивостей електроізоляційних матеріалів (зокрема електричної міцності трансформаторного масла, опору ізоляції); зародження плісняви
Сонячна радіація (УФ та ІЧ випромінювання)	Скорочення строку служби гумової та полівінілхлоридної ізоляції проводів і кабелів; розтріскування окремих елементів ізоляції, лакофарбового покриття.
Наявність пилу (зокрема абразивних частинок)	Прискорене розтріскування частин, що обертаються; при високій вологості погіршення властивостей електроізоляційних матеріалів, погіршення тепловіддачі електродвигунів (утворення "панцира")
Надмірний вміст аміаку NH ₃ , сірководню H ₂ S, вуглекислоти CO ₂	Погіршення стану електричних контактів, поверхонь тертя, корозія металевих виробів

Продовження таблиці 7.4

1	2
Біологічні фактори: пліснява; бактерії; комахи; гризуни	Корозія металевих виробів, погіршення властивостей електроізоляційних матеріалів. Втрата гнучкості та еластичності гумовими виробами внаслідок дії плісняви. Руйнування елементів обладнання з органічних матеріалів мікроорганізмами, комахами і гризунами. Погіршення електроізоляційних властивостей внаслідок скупчення павутини
Механічні навантаження та перевантаження	Пошкодження деталей і вузлів внаслідок ударів, поштовхів і вібрації, викликані поганою якістю монтажу, несиметрією напруги у мережі живлення тощо.

Таблиця 7.5 - Класифікація умов зберігання електрообладнання

Позначення групи		Текстове позначення групи (місце зберігання)
Цифрове	Буквене	
1	Л	Опалюване сховище
2	С	Неопалюване сховище у макрокліматичних районах з помірним та холодним кліматом
3	Ж3	Неопалюване сховище
4	Ж2	Навіси у макрокліматичних районах з помірним та холодним кліматом; умовно чиста атмосфера
5	ОЖ4	Навіси
6	ОЖ2	Навіси
7	Ж1	Відкриті майданчики у макрокліматичних районах з помірним і холодним кліматом; умовно чиста атмосфера;
8	ОЖ3	Відкриті майданчики у макрокліматичних районах з помірним і холодним кліматом
9	ОЖ1	Відкриті майданчики

7.7 Категорії застосування комутаційних низьковольтних апаратів (за ГОСТ 12434-93)

Під умовами експлуатації розуміють сукупність значень зовнішніх факторів, які під час експлуатації виробу чи пристрою можуть на нього впливати⁷.

Відповідно умови роботи являють собою сукупність значень параметрів виробу чи пристрою, що характеризують його роботу у даний момент і при заданих умовах експлуатації.

Умовами використання виробу чи пристрою є сукупність умов його експлуатації та режимів роботи.

Режими роботи виробу чи пристрою поєднують у собі умови його роботи за визначений проміжок часу з урахуванням їх тривалості, послідовності, а також значень та характеру навантаження (рис.7.2).

Усталений режим роботи виробу чи пристрою характерний тим, що значення всіх параметрів режиму залишаються практично незмінними або ж періодично змінюються.

Перехідний режим роботи виробу чи пристрою - режим переходу від одного усталеного режиму до іншого.

Номінальний режим роботи виробу чи пристрою характерний тим, що значення кожного із параметрів дорівнює номінальному.

Нормальний режим роботи виробу чи пристрою має як характерну ознаку має відповідність усіх параметрів робочим значенням.

Анормальний режим роботи виробу чи пристрою настає, коли значення хоча б одного із параметрів режиму виходить за межі найбільшого або найменшого значення.

Аварійний режим роботи електротехнічного виробу чи пристрою пов'язаний із такими значеннями відхилення напруги (струму), що при достатній тривалості роботи це загрожує пошкодженням або руйнуванням виробу (пристрою).

Залежно від навантаження режими роботи електротехнічного виробу (пристрою) розподіляються на:

- режим неробочого ходу (без навантаження);
- режим короткого замикання, коли електричний опір навантаження дорівнює нулю або ж якщо виріб з'єднаний із джерелом живлення і

⁷ ГОСТ 14254-80. Электрическое оборудование напряжением до 1000 В. Оболочки. Степени защиты

ГОСТ 17494-72. Машины электрические напряжением до 1000 В. Степени защиты

знаходиться у загальмованому чи заклиненому стані (для прикладу заклинений асинхронний двигун);

- режим навантаження електротехнічного виробу (пристрою) характерний тим, що він віддає енергію зовнішньому об'єкту.

Розрізняють режими і у залежності від тривалості роботи виробу чи пристрою:

- тривалий;
- короткочасний;
- переривчасто-тривалий;
- повторно-короткочасний.

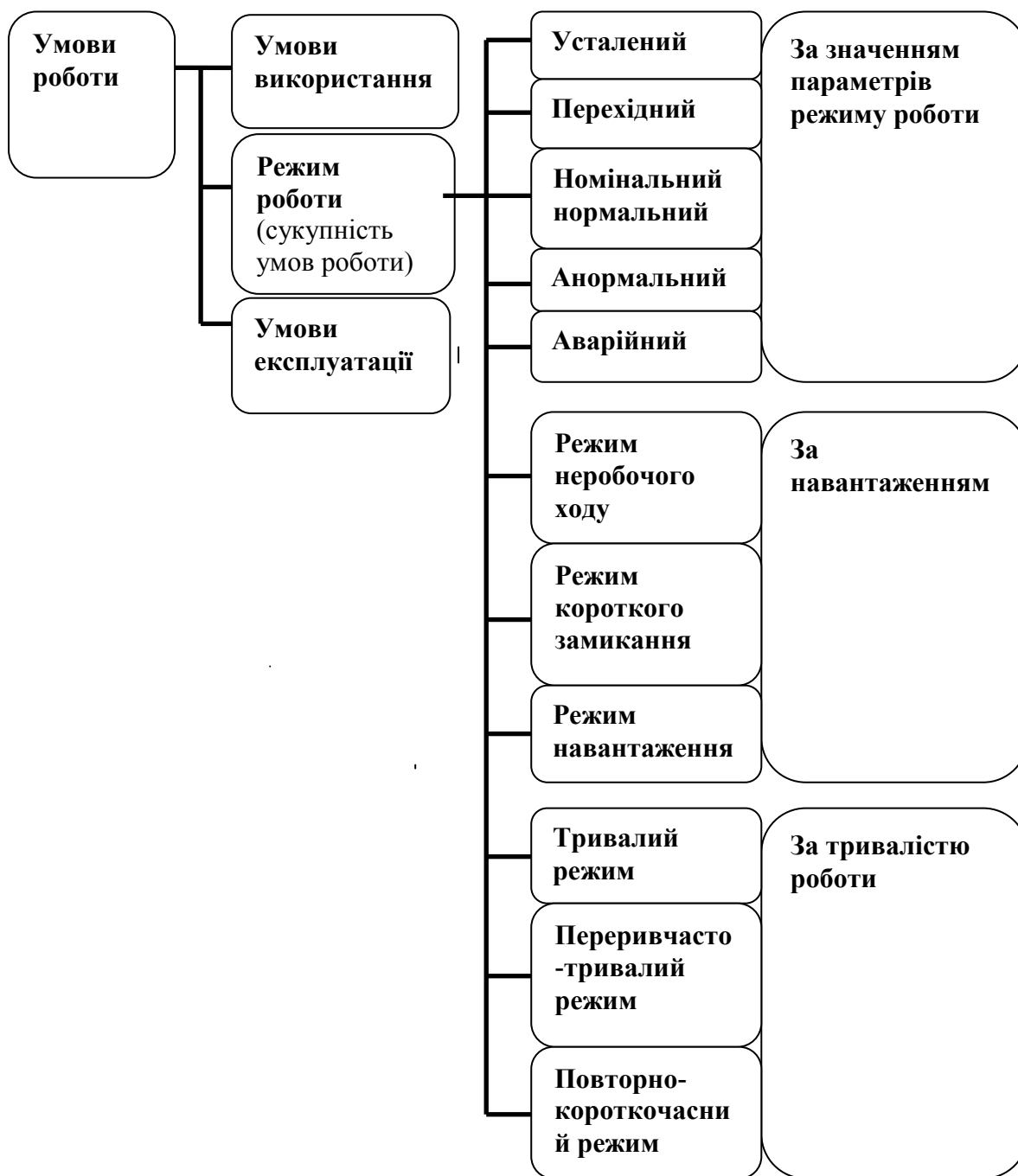


Рисунок 7.2 - Класифікація умов і режимів роботи електрообладнання (за ДСТУ 2267-93⁸)

Питання для самоконтролю і завдання

1. За якими ознаками класифікуються електричні апарати?
2. Які вимоги ставляться до електричних апаратів?

⁸ ДСТУ 2267-93 Вироби електротехнічні. Терміни та визначення

3. Як класифікують електричні апарати в залежності від кліматичного виконання?
4. Скільки і які категорії розміщення виробів залежно від умов навколишнього середовища?
5. Назвіть і розшифруйте умовне позначення ступеню захисту обладнання від впливу навколишнього середовища.
6. В яких температурних режимах можуть працювати електричні апарати?
7. Який вплив відіграють умови навколишнього середовища на експлуатаційну надійність енергетичного обладнання?
8. Які основні нормативні документи визначають вимоги до енергетичного обладнання?
9. Назвіть умови роботи електричних апаратів?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричные аппараты. Электромеханическая аппаратура коммутации, управления та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричные та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

Змістовий модуль 2

**Ручні та електромеханічні
апарати керування і захисту**



1 РУБИЛЬНИКИ. ВИМИКАЧІ. ПЕРЕМИКАЧІ

1.1 Загальні відомості

1.2 Рубильники

1.3 Вимикачі. Пакетні вимикачі

1.3 Перемикачі

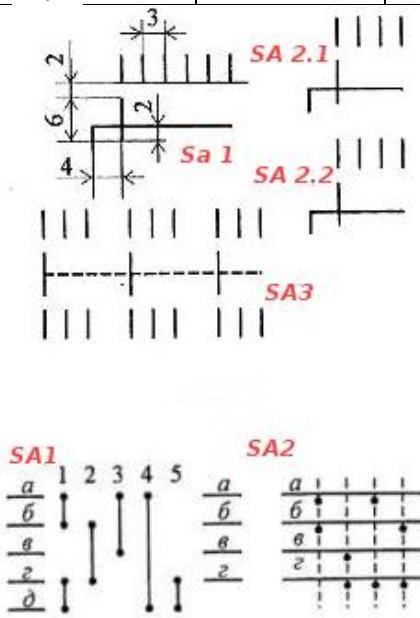
Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Вимикач	Комутаційний апарат, призначений для багаторазового вмикання і вимикання одного чи кількох електричних кіл	<i>on-off switch</i>
Пакетний вимикач	Вимикач із ручним приводом обертового руху, зібраний із окремих блоків-пакетів, кожен із яких має комутувальний пристрій	<i>packet switch</i>
Перемикач	Пристрій, призначений для зміни з'єднань в одному чи кількох електричних колах	<i>change-over switch, selector switch</i>
Груповий перемикач	Апарат, призначений для здійснювання змін у комбінаціях з'єднання кількох електричних кіл	<i>group switch</i>
Номінальна напруга комутаційного апарату	Найбільша номінальна робоча напруга комутаційного апарату, на яку розрахована робота головного кола комутаційного апарату	<i>rated voltage of a switching device</i>
Оболонка комутаційного апарату	Частина або сукупність частин комутаційного апарату, яка оточує його внутрішні частини і призначена для відокремлення їх від зовнішнього середовища	<i>housing of a switching device</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	Q	Вимикач (роз'єднувач) в силових колах
	QS	Рубильник
	SA	Перемикач
		Перемикач з нейтральним положенням
		Перемикач багатопозиційний

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с. Чинний від 01.01.1996
2. ДСТУ 2848-94. Апарати електричні комутаційні. Основні поняття. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1996
3. ДСТУ 2304-93. Апарати комутаційні електричні. Вимикачі, перемикачі. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1995
4. ДСТУ 3020-95 (ГОСТ 12434-93). Апарати комутаційні низьковольтні. Загальні технічні умови ДСТУ ІЕС 61020-1:2015 (ІЕС 61020-1:2009, IDT). Перемикачі електромеханічні для електричного та електронного обладнання. Частина 1. Загальні технічні умови.

1.1 Загальні відомості

До ручних силових комутаційних апаратів напругою до 1000 В (низьковольтних) відносять рубильники, перемикачі, контактори, натискні пускачі та автоматичні повітряні вимикачі. Усі низьковольтні комутаційні апарати в процесі експлуатації комутують електричні кола з певними параметрами, зумовленими особливостями навантаження.

Так, в момент пуску електродвигуна чи гальмування його шляхом противмикання в мережі спостерігаються струми, які багаторазово перевищують струми номінальних режимів. Комутувати кола з індуктивним навантаженням значно тяжче, ніж з активним.

Випуск комутаційних апаратів лише для найважчих умов роботи економічно недоцільний, оскільки в багатьох випадках закладена в них електрична і механічна міцність ніколи не буде реалізована, що призведе до невиправданих витрат матеріальних та трудових ресурсів. Через це промисловість випускає різні серії комутаційних апаратів одного функціонального призначення, які використовуються в різних категоріях застосування.

ГОСТ 12434-83 класифікує усі можливі області використання низьковольтних апаратів на наступні категорії застосування (для змінного струму): АС-1 – активне або малоіндуктивне навантаження, електропечі опору; АС-2 – пуск і вимкнення електродвигунів з фазним ротором, гальмування противмиканням; АС-3 – прямий пуск електродвигунів з короткозамкнутим ротором, вимкнення двигунів, що обертаються; АС-4 – пуск двигунів з короткозамкнутим ротором, відключення нерухомих двигунів, або двигунів, що обертаються повільно, гальмування противмиканням; АС-11 – керування електромагнітами змінного струму; АС-20 – комутація кіл активних навантажень, включаючи помірні навантаження; АС-22 – комутація змінних активних та індуктивних навантажень, включаючи помірні перевантаження; АС-23 – комутація навантажених двигунів чи інших високоіндуктивних навантажень.

У згаданому стандарті наведені конкретні умови комутації кіл з визначеними параметрами для кожної категорії застосування, а також наведені категорії застосування комутаційних апаратів для кіл постійного струму, які позначаються буквами DC та відповідними цифрами. У технічних даних низьковольтних комутаційних апаратів, як правило, зазначається рекомендована категорія їх застосування.

1.2 Рубильники

Рубильник є одним з найпростіших апаратів комутації неавтоматичного принципу дії. Рубильники відкритого типу, а також перемикачі, які мають центральну рукоятку, виконують керуючі дії із замикання і розмикання ненавантажених електричних кіл, апарати з бічною рукояткою можуть вмикати / вимикати навантажені кола. Якщо у рубильника є захисний кожух, то він може бути використаний як пусковий апарат для електродвигуна. Пристрої з центральними і бічними важелями застосовуються в розподільних силових пунктах, а також в розподільчих щитах для комутації електричних кіл під навантаженням.

Рубильники (рис.1.1) широко використовуються для нечастого ручного увімкнення і вимкнення в електричних колах. Пристрій характеризується вертикальним встановленням на панель розподільчого пристрою.

Рубильники з різними типами рукояток і приводів використовуються в колах змінного струму зі значенням напруги до 500 В і в колах постійного струму з напругою не вище 440 В.

Окрім цього є моделі, які виконують неавтоматичну комутацію в силових колах змінного струму зі значенням напруги до 660 В і 440 В для електричних кіл постійного струму.

Рубильники мають класифікацію за типом їх виконання. Вони можуть бути *відкритими* чи *захисними*, приводом може служити центральна або бічна рукоятка, залежно від кількості полюсів розрізняють 1, 2, або 3-полюсні рубильники. Залежно від способу підключення провідників апарати можуть бути з переднім або заднім підключенням.

Рубильники, які мають центральну рукоятку, можуть виконувати функції роз'єднувачів і використовуватися для розмикання заздалегідь знеструмлених електричних кіл, інші види рубильників можуть здійснювати комутацію електричних кіл з навантаженням.

Рубильники також використовуються для пуску електродвигунів, потужність яких не перевищує 10 кВт, при цьому значення номінального струму апарату без камер гасіння дуги має в 4-5 разів перевищувати номінальний струм двигуна.

	Рубильник РБ-4 400 А
	Рубильник-роз'єднувач ВР 32И 100А
	Рубильник перекидний SC-68 4P 100А
	<u>Рубильник АББ ОТ 40 F3C (40А)</u>

Рисунок 1.1 – Рубильники

Рубильник (рис.1.2) містить збірку, до якої входять однотипні пакети. Вони стягуються за допомогою шпильок і знаходяться на загальному валу з пластмаси. Пакет містить корпус, а також складається з набору нерухомих контактів, кількість пакетів повинна відповідати кількості полюсів, крім

цього додається один корпус, який містить механізм фіксації. Рухомі контакти мають два паралельно розміщених ножі (для кожного полюса), які стиснуті за допомогою спіральних пружин.

Найважливішою частиною рубильника є контакти. У переважній більшості випадків в цих апаратах знаходять застосування врубні контакти. У рубильниках на малі струми контактне натискання забезпечується за рахунок пружних властивостей матеріалу губок, а на струми від 100 А і вище - сталевими пружинами. Зі збільшенням натискання падає перехідний опір, але збільшується зношення контактів з-за тертя, що є обмежуючим для сили натискання фактором.

Гасіння дуги постійного струму при малих струмах (до 75 А) відбувається за рахунок її механічного розтягування ножами, які розходяться. При великих струмах гасіння здійснюється, в основному, за рахунок переміщення дуги під дією електродинамічних сил контуру струму (деталі рубильника, дуга). Зменшення довжини ножа веде до зростання напруженості магнітного поля і електродинамічних сил, що підвищує здатність до вимкнення рубильника. Рациональною є така довжина ножа, при якій забезпечується надійне гасіння струму до 75 А.

Гасіння електричної дуги при однофазному струмі напругою 220 В і при трифазному струмі напругою 380 і 500 В здійснюється, в основному, за рахунок біякатодних явищ, що мають місце при переході струму через нуль. Уже при відстані між контактами близько 2 мм дуга надійно гаситься. Довжину ножа в рубильниках змінного струму через усе це слід вибирати не з умов гасіння дуги, а виходячи з механічних умов.

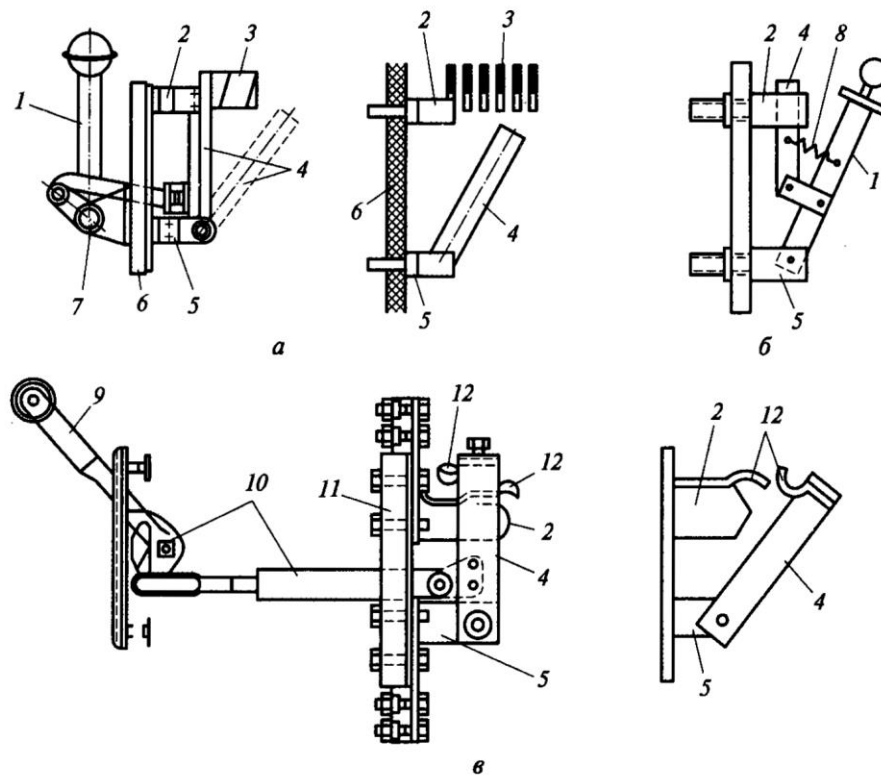


Рисунок 1.2 - Конструкція рубильників: а - рубильник з бічною рукояткою і дугогасною камерою; б, в - рубильники з центральним важільним приводом і дугогасними контактами; 1 - рукоятки, 2 - нерухомі контакти; 3 - дугогасні пристрої; 4 - ножі; 5 - стійки; 6, 11 - основи; 7 - вал; 8 - пружина; 9, 10 - система важелів; 12 - дугогасильні контакти

При монтажі рубильників в розподільних ящиках або в закритих розподільних пристроях малого об'єму актуальним стає питання обмеження розмірів дуги. Необхідно, щоб іонізовані гази кі залишилися після згасання дуги, не викликали замикань на корпус або між струмовідними частинами. У таких випадках рубильники забезпечуються різного роду дугогасними камерами.

Дослідження і досвід свідчать, що для створення малогабаритних рубильників і перемикачів, що володіють надійною комутаційною здатністю в межах своїх номінальних струмів, необхідне застосування дугогасних камер. Ефективною слід вважати камеру з дугогасними ґратками.

Дугогасні контакти 12 можуть застосовуватися в рубильниках постійного струму при струмах понад 100 А і у всіх рубильниках змінного струму, в яких швидкість розбіжності контактів і їх зазор не впливають помітно на умови гасіння дуги. Дугогасні контакти, вимикаючись останніми, служать тут для захисту головних ножів від обгорання.

Рубильники на великі струми (понад 1 000 А) виконуються з декількома паралельними ножами шляхом набору відповідної кількості блоків. Перевагою такого способу блочного конструювання є необхідність відпрацювання тільки одного блоку. При змінному струмі слід враховувати, що внаслідок близькості окремих пластин струм між ними розподіляється нерівномірно. Номінальний струм рубильника зростає при цьому не пропорційно кількості пластин, а повільніше. Наприклад, при трьох паралельних елементах на 1000 А, номінальний струм рубильника буде 2500 А.

Рубильник ВР32 (вимикач-роз'єднувач) використовується для ручної комутації кіл змінного струму номінальною напругою до 660В номінальної частоти 50Гц.

Основними вузлами рубильника ВР32 (рис.1.1) є рухомі і нерухомі контакти. Набір рухомих і нерухомих контактів з корпусом складає пакет. Пакети стягнуті шпильками. Кількість пакетів відповідає кількості полюсів плюс один корпус, в якому розміщений механізм фіксації, що служить для фіксації рукоятки приводу в положеннях «увімкнено» і «вимкнено».

Рухомі контакти встановлені в пластмасовий вал, при повороті якого рукояткою приводу в комутаційне положення здійснюється замикання і розмикання контактів.

У конструкції рубильника ВР32 застосована контактна система ножового типу з подвійним видимим розривом кола. За допомогою подвійного розриву кола, великих розхилів контактів і дугогасних камер забезпечується ефективно гасіння електричної дуги при комутації навантажень, що перешкоджає передчасному і надмірному зношенню контактів.

Рубильники ВР32 відповідають ТУ3424-029-18461115-2009 та ІЕС 60947-3.1.2 і призначені для встановлення в низьковольтні комплектні пристрої. За таких обставин ВР-32 випускаються в триполюсному виконанні з приводом із змінною бічною зміщеною рукояткою.

Структура умовного позначення рубильника ВР32:

ВР32-XX X-X-X-X-X
1 2 3 4 5 6 7

1 - Позначення серії;

2 - Умовне позначення номінального(теплого) струму:

31 - 100А;

35 - 250А;

37 - 400А;

39 - 630А

3 - Умовне позначення можливості знімання рукоятки:

А – незнімна;

В –знімна

4 - Умовне позначення кількості полюсів і кількості напрямків:

3 - триполюсний на один напрямок;

7 - триполюсний на два напрямки

5 - Умовне позначення наявності або відсутності дугогасних камер:

0 – відсутність;

1 – наявність

6 - Позначення виду рукоятки приводу:

2 - бокова рукоятка;

4 - передня зміщена рукоятка;

5 - бокова зміщена рукоятка

7- Позначення наявності або відсутності допоміжних контактів:

0 – без допоміжних контактів

Комутація кіл, що знаходяться під навантаженням, допускається тільки вимикачем-роз'єднувачем із встановленими дугогасними камерами.

Виводи вимикача-роз'єднувача ВР32 забезпечують приєднання мідних і алюмінієвих проводів та струмовідних жил кабелів, окінцьованих кабельними наконечниками, а також мідних і алюмінієвих шин.

Серед переваг вимикача - рубильника ВР32 можна виділити наступні:

- конструкцію контактної системи ножового типу з подвійним видимим розривом кола;
- струмовідні елементи з високоякісної електротехнічної міді марки М1;
- наявність допоміжних контактів;
- конструкція контактів забезпечує приєднання мідних і алюмінієвих провідників і кабелів кабельними наконечниками або контактними затискачами за допомогою різьбових з'єднань.

Передбачений ряд типовиконань вимикача - рубильника ВР32:

- за номінальним струмом;
- за видом ручного приводу, зокрема з передньою поворотною рукояткою;
- за кількістю напрямків і полюсів;
- за розташуванням контактних виводів.

1.3 Вимикачі. Пакетні вимикачі

Силові неавтоматичні вимикачі.

Неавтоматичні вимикачі (рис.1.3) - це комутаційні апарати, як правило, з ручним приводом, призначені для порівняно рідкісних увімкнень і вимкнень електричних кіл, а також для перемикання ділянки кола з одного джерела живлення на інше. Деякі види вимикачів використовуються також для нечастих пусків і зупинок електродвигунів.

	Вимикач-роз'єднувач INTERPACT INV160 3П екстреного вимикання
	Вимикачі кнопкові з блокуванням серії ВКИ
	Вимикачі навантаження серії ВН-32

Рисунок 1.3 – Силові вимикачі і вимикачі навантаження

Вимикачі навантаження (рис.1.3) забезпечують увімкнення, проведення та вимкнення номінального струму в нормальних умовах експлуатації, проведення струму в аварійних режимах, наприклад, при короткому замиканні, а також для виконання функцій роз'єднання електричного кола.

Пакетні вимикачі.

Пакетний вимикач (рис.1.4) - це ручний апарат, який призначений для комутації (увімкнення/вимкнення) невеликих струмів навантаження. Пакетні вимикачі (рис.1.4) застосовуються в електричних мережах змінного струму

до 660 В і постійного - до 440 В в якості ввідних вимикачів, вимикачів кіл керування і розподілу електричної енергії, а також для ручного керування асинхронними електродвигунами.



Рисунок 1.4 – Пакетні вимикачі

Структура позначення пакетного вимикача

Скорочено пакетні вимикачі позначаються буквами ПВ, а перемикачі - ПП. Цифра, наступна за скороченням ПВ або ПП – кількість полюсів, а після дефіса - вимиканий струм, А при напрузі 220 В.

П Х Х – ХХХ ХХ ХХ Х Х Х Х
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

1 - пакетний

2 – В(вимикач); П(перемикач)

3 – кількість полюсів (2, 3 і 4-полюсний)

4;5;6 – номінальний струм, А

7;8 – кількість напрямків при комутації

9;10 – кліматичне виконання

11;12;13 – ступінь захисту від впливу навколишнього середовища

14 – спосіб кріплення і монтажу

Залежно від способу кріплення і монтажу пакетні вимикачі(перемикачі) мають такі виконання:

- кріплення скобами, встановлення за панеллю товщиною 4 мм, заднє приєднання зовнішніх провідників;
- кріплення скобами, встановлення за панеллю товщиною 24 мм, заднє приєднання зовнішніх провідників;
- кріплення за основу, встановлення всередині шафи на панелі, переднє приєднання зовнішніх провідників;

- (тільки для вимикачів ВП-16), кріплення за оболонку вимикача, переднє приєднання зовнішніх провідників.

Ступінь захисту від впливу навколишнього середовища вимикачів 1 -3 виконань – IP00, 4-го виконання – IP30.

Завдяки наявності фіксуєчих виступів, що обмежують обертання пружинного механізму і разом з ним рухомих контактів, пакетний вимикач має чітку фіксацію положень при повороті рукоятки на 90°.

Залежно від ступеню захисту від впливу навколишнього середовища пакетних вимикачів є три їх виконання:

- відкрите (ПВЗ, ПВМ, ПВП);
- захищене (ВПЗ-40);
- герметизоване.

Пакетний вимикач відкритого виконання призначений виключно для встановлення в сухих незапиленних приміщеннях із відсутністю ймовірності пожежі та в інших захищених місцях (щити, ящики, ніші), що перешкоджають випадковому дотику до нерухомих контактів вимикача.

Захищене виконання пакетного вимикача забезпечується наявністю пластмасової оболонки, яка захищає вимикач не тільки від випадкового дотику, але і від попадання сторонніх предметів на струмопровідні частини.

Герметизоване виконання пакетного вимикача реалізується шляхом його захисту алюмінієвим або пластмасовим корпусом, який перешкоджає попаданню вологи всередину нього.

Пакетний вимикач складається з двох головних вузлів: механізму перемикачання і контактної системи (рис.1.5). Залежно від кількості робочих полюсів (1-4) він має в своєму складі кілька комутаційних пакетів.



Рисунок 1.5 – Складові пакетного вимикача: а) розібраний вимикач; б) окремий пакет вимикача

Окремий пакет містить рухомі і нерухомі контакти з фібровими шайбами, які сприяють гасінню дуги. Рухомі пружні контакти розміщені на поворотному стрижні, виготовленому із ізоляційного матеріалу, при повороті якого проходить фіксація положень вимикача по 90 градусів за кожен поворот рукоятки. Нерухомі контакти, що мають вигляд ножів, розміщені в пластмасових шайбах.

Встановлюють пакетні вимикачі на панелях розподільних щитів, а також в шафах як ввідні вимикачі.

1.4 Перемикачі

Перемикач - це контактний комутаційний апарат, який призначений для перемикання електричних кіл.

Перемикачі (рис.1.6) випускаються одно-, дво- та триполюсними на номінальні струми 20-400 А постійного струму при напрузі 220 В і 63-250А змінного струму при напрузі 380 В. Найбільша частота вимкнень за годину – 300.

Перемикач за схемою І-0-ІІ (**на з положення**) **може використовуватися як** перемикач з основного джерела живлення на резервне (генератор, інвертор).

	Рубильник-перемикач 3х40а	
		
		

Рисунок 1.6 – Перемикачі низької напруги

Питання для самоконтролю і завдання

1. Яке призначення рубильників і перемикачів в електричних колах розподільних пристроїв?

2. Для чого встановлюють автоматичні вимикачі в електричних колах?
3. Яким чином здійснюється гасіння електричної дуги в рубильниках і вимикачах?
4. З яких елементів складаються низьковольтні і високовольтні вимикачі?
5. Назвіть основні характеристики вимикачів.
6. В яких випадках застосовують універсальні перемикачі типу УП, яка їх будова?
7. Що собою являють пакетні вимикачі і перемикачі, які їхні різновиди, призначення і будова?
8. Яким чином забезпечується гасіння дуги у вимикачах серії ПВМ?
9. Які переваги мають вимикачі перед рубильниками?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків. - Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

2. ЗАПОБІЖНИКИ ТА КОМБІНОВАНІ АПАРАТИ ІЗ ЗАПОБІЖНИКАМИ

2.1 Загальні відомості

2.2 Конструкції і принцип роботи плавких запобіжників

2.3 Конструкція запобіжників низької напруги

2.4 Основні характеристики матеріалів плавких вставок

2.5 Швидкодіючі запобіжники Cooper Bussmann

2.6 Запобіжники для захисту конденсаторних установок

2.7 Роз'єднувачі, вимикачі та комбінації із запобіжниками

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Запобіжник	Комутаційний апарат, призначений для вимикання кола, яке він захищає, шляхом руйнування спеціально передбачених для цього струмовідних частин під дією струму, що перевищує певне значення протягом визначеного часу	<i>fuse</i>
Запобіжник-вимикач	Вимикач навантаження, у якому функцію рухомої контакт-деталі виконує плавка вставка або складальна одиниця, яка містить плавку вставку	<i>safety switch, fuse-switch</i>
Запобіжник-роз'єднувач	Роз'єднувач, у якому функцію рухомої контакт-деталі виконує плавка вставка або складальна одиниця, яка містить плавку вставку	<i>fuse-isolator, fuse-switch</i>
Вимикач із запобіжником	Вимикач навантаження, складовою частиною якого є вимикач, послідовно з одним чи кількома полюсами якого увімкнений запобіжник	<i>fuse-switch</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	<i>FU</i>	Запобіжник плавкий
		Вимикач-запобіжник
		Роз'єднувач-запобіжник
		Вимикач-роз'єднувач-запобіжник
		Запобіжник-вимикач
		Запобіжник- роз'єднувач
		Запобіжник- вимикач- роз'єднувач

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с. Чинний від 01.01.96
2. ДСТУ 3786-98. Запобіжники топкі. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.2000
3. ГОСТ Р 50339.0-2003 (МЭК 60269-1-98) Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования
4. ГОСТ 31196.2-2012 (IEC 60269-2:1986) Предохранители плавкие низковольтные. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения
5. ГОСТ Р 50339.3-92 (МЭК 269-3-87) Низковольтные плавкие предохранители. Часть 3. Дополнительные требования к плавким предохранителям бытового и аналогичного назначения
6. ГОСТ Р 50339.4-92 (МЭК 269-4-86) Низковольтные плавкие предохранители. Часть 4. Дополнительные требования к плавким предохранителям для защиты полупроводниковых устройств
7. ГОСТ Р 50537-93 (МЭК 127-1-88) Миниатюрные плавкие предохранители. Терминология для миниатюрных плавких предохранителей и общие требования к миниатюрным плавким вставкам

2.1 Загальні відомості

Запобіжник - це комутаційний електричний апарат, призначений для вимкнення електричного кола шляхом руйнування спеціально передбачених для цього струмовідних частин під дією струму, що перевищує певне значення.

У більшості конструкцій вимкнення електричного кола здійснюється внаслідок розплавлення плавкої вставки, що нагрівається безпосередньо струмом кола, яке захищається. Після вимкнення кола необхідно замінити зруйновану вставку на нову. Ця операція виконується вручну або автоматично. В останньому випадку замінюється весь запобіжник.

Запобіжники (табл.2.1; 2.2; рис.2.1 – 2.9) з'явилися одночасно з електричними мережами. Простота будови і обслуговування, малі розміри, висока вимикальна здатність, невелика вартість забезпечили широке їх застосування. Запобіжники низької напруги виготовляють на струми від декількох міліампер до тисяч ампер і на напруга до 660 В, а запобіжники високої напруги на напругу до 35 кВ і вище.

Таблиця 2.1 - Стандартизована шкала номінальних струмів плавких вставок запобіжників, А

0,3	0,6	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15	4	5	6,3	8		
			10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80		
			100	125	160	200	250	320	400	500	630	700	850	1000

Таблиця 2.2 - Категорії запобіжників і пристрої, які ними захищаються

1	2
gG	Повнодіапазонний запобіжник для загального використання, в основному для захисту кабелів і лінії електропередавання
aM	Частководіапазонний запобіжник для захисту електродвигунів
gR	Швидкодіючий повнодіапазонний запобіжник для захисту напівпровідникових елементів
gS	Швидкодіючий повнодіапазонний запобіжник для захисту напівпровідникових елементів підвищеної потужності
aR	Частководіапазонний запобіжник для захисту для захисту напівпровідникових елементів від короткого замикання
gTr	Повнодіапазонний запобіжник для захисту трансформаторів. Параметри цього запобіжника задані в кВА замість номінального струму в А

Продовження таблиці 2.2

1	2
gM	Повнодіапазонний запобіжник для захисту електродвигунів з двома номінальними струмами. Поширений у Великобританії 
gN	Північноамериканський запобіжник для загального використання для захисту кабелів і лінії електропередавання 
gD	Північноамериканський запобіжник з похилою характеристикою для загального використання і захисту електродвигунів 
gl	Застаріла ІЕС-категорія(повільна), замінена на gG
gll	Застаріла ІЕС-категорія(швидка), замінена на gG
gL	Застаріла VDE(стандарт ФРН)-категорія, замінена на gG
gRL	Позначення фірми, замінене на gS
gGR	Позначення фірми, замінене на gS
gT	Застаріла VDE-категорія(повільна), замінена на gG
gF	Застаріла VDE-категорія(повільна), замінена на gG

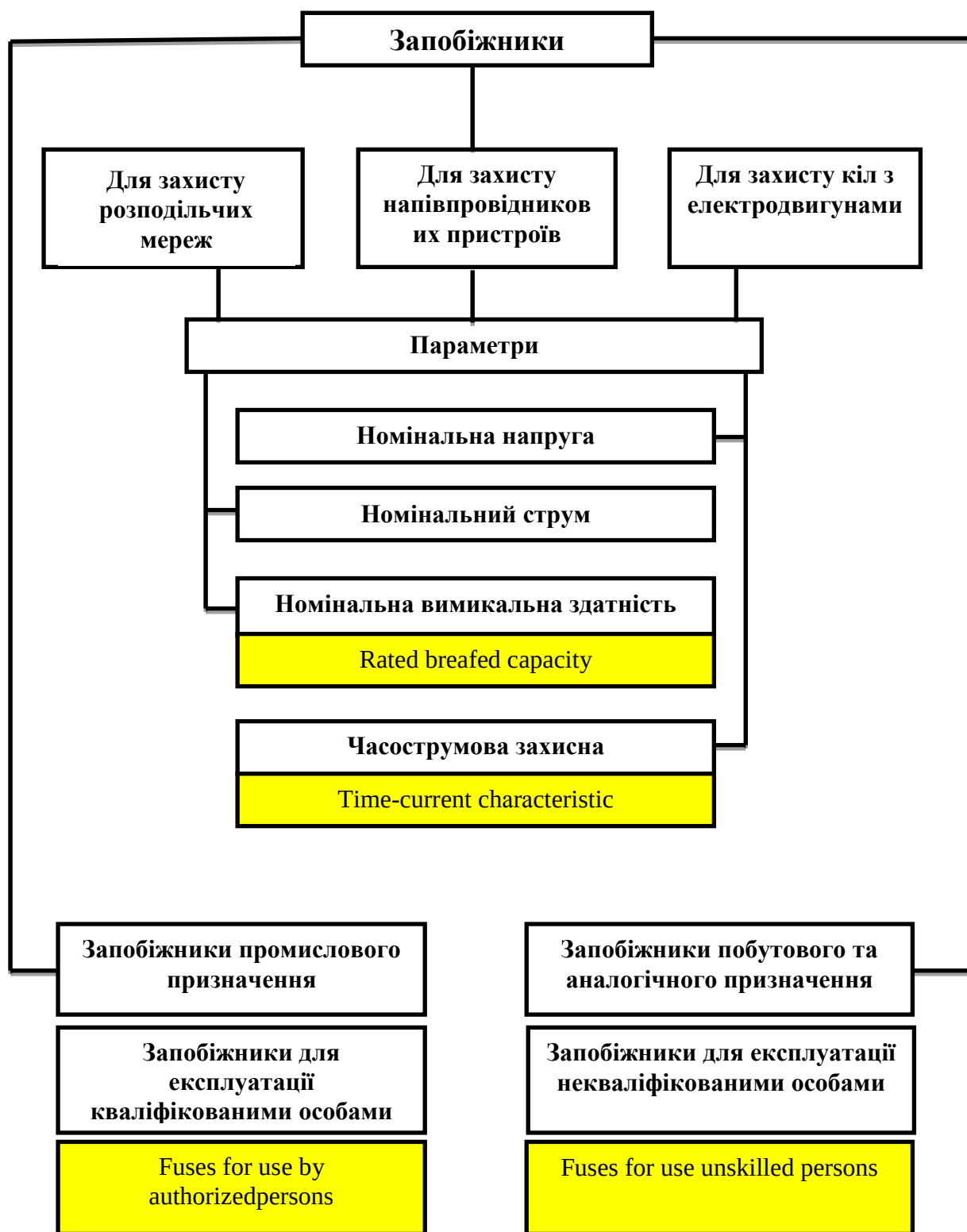


Рисунок 2.1 – Класифікація запобіжників

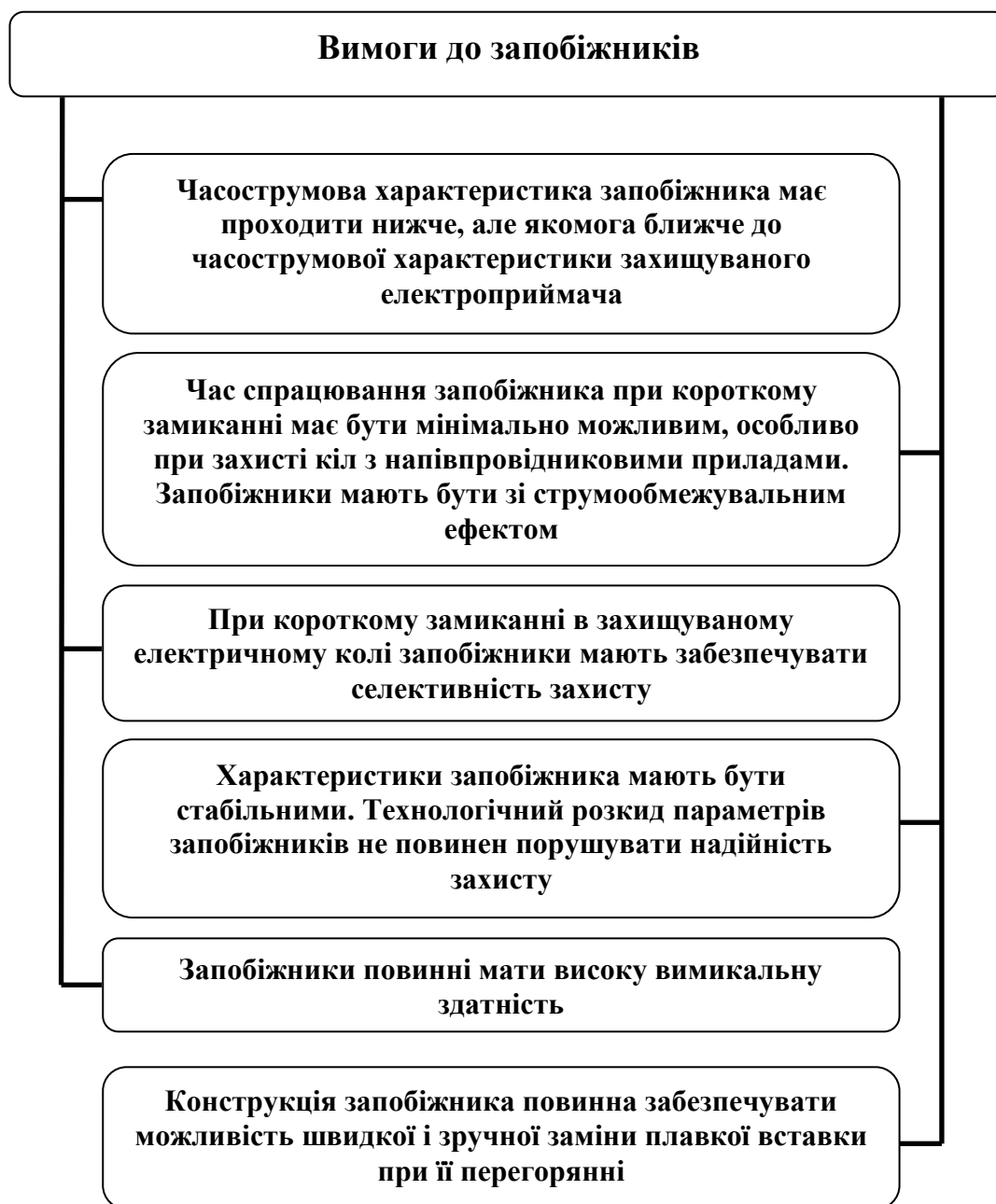


Рисунок 2.2 – Вимоги до запобіжників



Рисунок 2.3 – Переваги і недоліки плавких запобіжників



а)

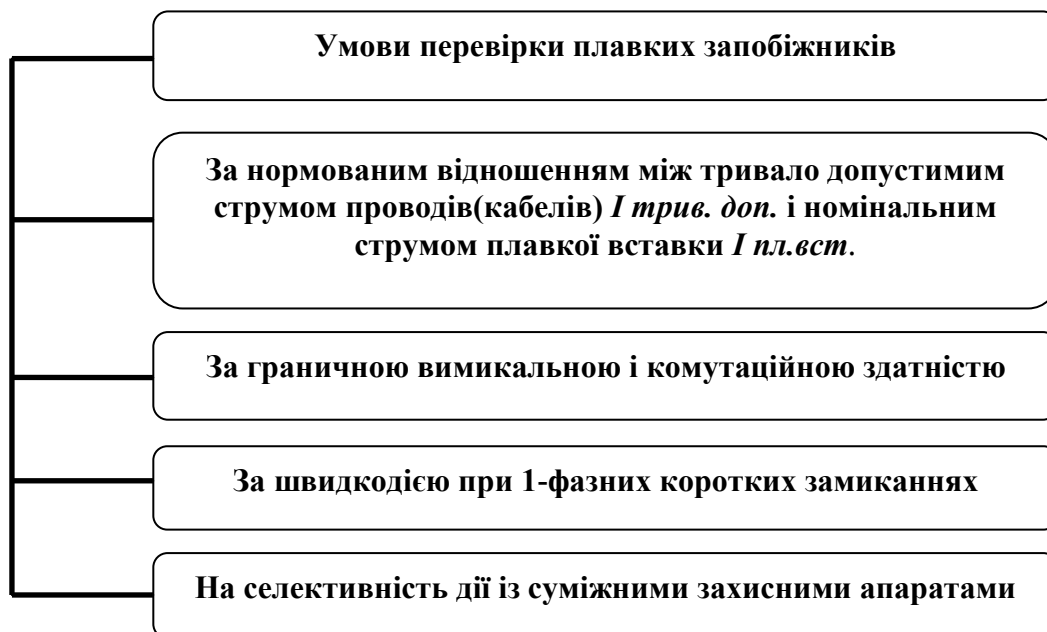


Рисунок 2.4 – Умови вибору (а) і перевірки (б) плавких запобіжників

2.2 Конструкції і принцип роботи плавких запобіжників

Конструкції запобіжників (рис.2.5) доволі різноманітні, проте всі вони мають такі основні елементи: корпус або несучу деталь, плавку вставку, контактний приєднувальний пристрій, дугогасний пристрій або дугогасне середовище.

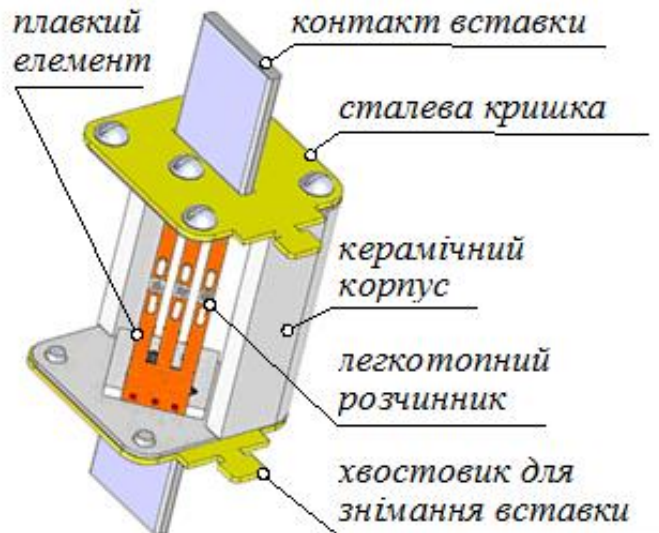


Рисунок 2.5 – Будова плавкого запобіжника

Найважливішою характеристикою запобіжника є залежність часу перегорання плавкої вставки від струму - часо-струмова характеристика (рис.2.6).

Робота запобіжника протікає в двох різних режимах: в нормальних умовах і в умовах перевантажень та коротких замикань.

У першому випадку нагрів вставки має характер встановленого процесу, при якому вся виділена в ній теплота віддається в навколишнє середовище. При цьому крім вставки нагріваються до ustalenoї температури і всі інші деталі запобіжника. Ця температура не повинна перевищувати допустимих значень. Струм, на який розрахована плавка вставка при тривалій роботі, називають номінальним струмом плавкої вставки $I_{ном}$. Він може відрізнятися від номінального струму самого запобіжника. Зазвичай в один і той же запобіжник можна вставляти плавкі вставки на різні номінальні струми. Номінальний струм запобіжника, вказаний на ньому, дорівнює найбільшому з номінальних струмів плавких вставок, призначених для даної конструкції запобіжника.

Для прискорення плавлення вставки при перевантаженнях і зниженнях загальної температури усієї вставки при її плавленні на дроти напаяють невеликі олов'яні кульки. При струмах перевантаження, коли температура вставки досягає температури плавлення олова, кулька розплавляється і розчиняє частину металу, на який він напаяний. Відбувається місцеве збільшення опору вставки і зниження температури плавлення металу, з якого вона виготовлена. У номінальному режимі кулька практично не впливає на температуру нагрівання вставки.

Цей спосіб отримання необхідної часо-струмової характеристики запобіжника може застосовуватися в разі тонких плавких вставок, наприклад при кульці діаметром 1 мм для дроту діаметром 0,3 мм і кулькою діаметром до 2 мм для більш товстих дротів. При збільшенні діаметра вставки вплив металургійного ефекту різко знижується і практично не позначається.

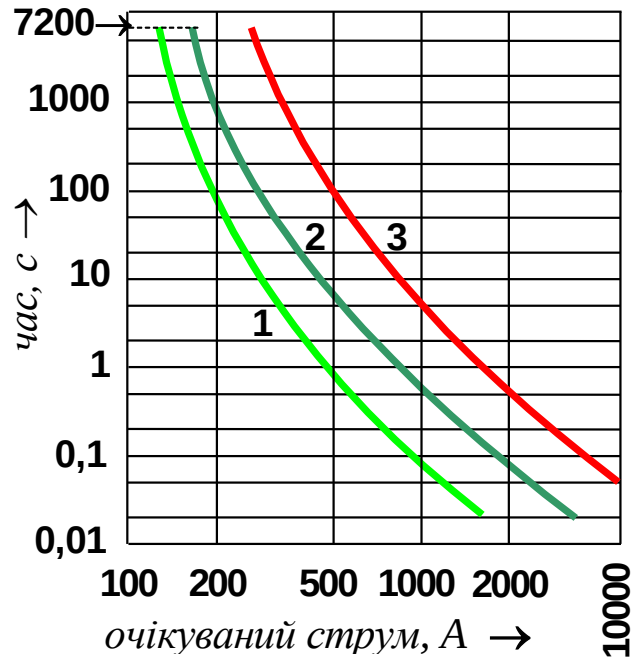


Рисунок 2.6 – Часо - струмова характеристика запобіжника серії ПН-2

При збільшенні струму навантаження зростає температура вставки та інших деталей запобіжника. Найбільший струм, при якому вставка не перегорає протягом тривалого часу, називають струмом плавлення I_{∞} . Його значення залежить від перерізу вставки, її форми, матеріалу і довжини, а також від конструкції запобіжника, температури навколишнього середовища і ряду інших чинників. Значення струму плавлення зазвичай нормується. При калібруванні задають мінімальний струм плавлення, наприклад $I_{\infty \min} = (1,3 \dots 1,4) I_{\text{НОМ}}$, при якому плавка вставка не повинна перегоріти протягом 1...2 год, і максимальний струм плавлення, наприклад $I_{\infty \max} = 1,6 I_{\text{НОМ}}$, при якому вставка повинна розплавитися за час до 2 год. При струмах, що перевищують струм плавлення ($I > I_{\infty}$), плавка вставка повинна перегоріти в найкоротший час. Щоб досягти різкого скорочення часу плавлення вставки з ростом струму, йдуть двома шляхами:

- надають плавкій вставці спеціальну форму;
- використовують металургійний ефект.

У першому випадку вставку виконують у вигляді пластинки з вирізами (рис.2.7), що зменшує її переріз на окремих ділянках. На цих звужених ділянках виділяється більше теплоти, ніж на широких. При номінальному струмі надлишкова теплота внаслідок теплопровідності матеріалу вставки встигає розповсюдитися по більш широких частинах і вся вставка має практично одну температуру. При перевантаженнях ($I \approx I_{\infty \max}$) нагрівання звужених ділянок йде швидше, оскільки тільки частина теплоти встигає відводитися по широких ділянках. Плавка вставка плавиться в одному самому гарячому місці (можливе місце розриву показано штриховими лініями на рис.2.7). При короткому замиканні ($I \gg I_{\infty}$) нагрівання звужених ділянок йде настільки інтенсивно, що практично відведенням теплоти від них можна знехтувати. Плавка вставка перегорає одночасно в декількох або відразу у всіх звужених місцях.

У багатьох конструкціях плавкій вставці надається така форма, при якій електродинамічні зусилля F , що виникають при струмах короткого замикання, розривають вставку ще до того, як вона встигає розплавитися. На рис.2.8, а, місця розриву позначені кружками. Ці ділянки виконують меншого перерізу. При струмах перевантаження електродинамічні зусилля малі і плавка вставка не рветься, а плавиться у звуженому місці. У конструкції, зображеній на рис.2.8, б, більш швидке вимкнення електричного кола при перевантаженнях і коротких замиканнях досягається за рахунок пружини 2, що розриває вставку 1 при пом'якшенні металу на звужених ділянках до того, як відбувається плавлення цих ділянок.

Металургійний ефект полягає в тому, що багато легкоплавких металів (олово, свинець та ін.) здатні в розплавленому стані розчиняти деякі тугоплавкі метали (мідь, срібло та ін.). Отриманий таким чином розчин володіє іншими характеристиками, ніж вихідні матеріали (наприклад, великим електричним опором і зниженою температурою плавлення). Зазначене явище використовується в запобіжниках зі вставками з ряду паралельних дротів.

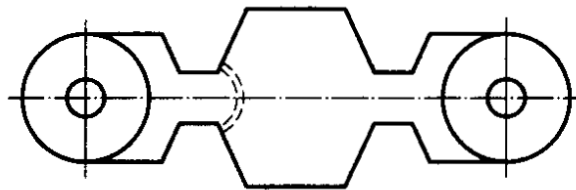


Рисунок 2.7 - Фігурна плавка вставка

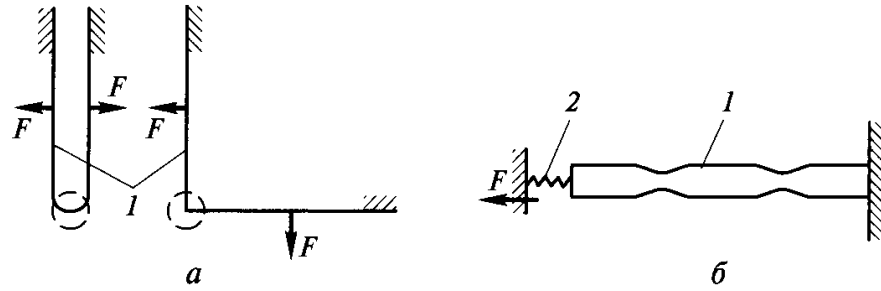


Рисунок 2.8 - Приклади (а, б) форм плавких вставок з прискореним розривом: 1 - плавка вставка; 2 - пружина; F - розривна зусилля.

Розглянуті способи прискорення перегорання вставки при струмах перевантаження і коротких замикань обумовлюють одну вельми істотну перевагу плавких запобіжників - їх струмообмежувальну дію. Плавка вставка перегорає набагато раніше, ніж струм в електричному колі при короткому замиканні встигає досягти максимального значення. Таким чином, струм короткого замикання обмежується у 2-5 разів, що знижує руйнівну дію електродинамічних зусиль.

***Наприклад,** усталений струм короткого замикання міг би досягти 25 кА, якби плавка вставка не перегоріла при струмі 8 кА, таким чином завдяки перегоранню вставки струм короткого замикання виявився обмежений більш ніж у 3 рази, а електродинамічні зусилля в колі - більш ніж у 9 разів.*

Струмообмежувальна дія плавких вставок з використанням металургійного ефекту нижча, ніж при інших способах струмообмеження.

Гасіння електричної дуги, що виникає після перегорання плавкої вставки, має здійснюватися якомога швидше. Час гасіння дуги залежить від конструкції запобіжника і прийнятого способу гасіння. Найбільший струм, який запобіжник може вимкнути без будь-яких пошкоджень або деформацій, що перешкоджає його подальшій справній роботі після зміни плавкої вставки, називають граничним струмом вимкнення запобіжника. В сучасних запобіжниках із закритими патронами без наповнювача дуга гаситься за рахунок високого тиску продуктів горіння, що виникає в патроні внаслідок появи дуги, а за наявності наповнювача - за рахунок інтенсивного охолодження дуги наповнювачем і високого тиску, що викликається дугою у вузьких каналах наповнювача. При цьому гасіння дуги відбувається в обмеженому об'ємі патрона запобіжника. За межі патрона не викидаються ні полум'я дуги, ні іонізовані гази.

Сучасна система дугогасіння спільно із струмо-обмежувальною дією вставки обумовлює високу вимикальну здатність плавких запобіжників. Це

не означає, що запобіжники можуть вимикати як завгодно великі струми короткого замикання. Необмежену вимикальну здатність слід розуміти так: плавкі запобіжники можуть застосовуватися для захисту кіл, в яких усталений струм короткого замикання міг би досягти дуже великих значень (в сучасних потужних енергоустановках можна допускати значення 200...500кА).

Плавкі вставки виготовляють зі свинцю, сплавів свинцю з оловом, цинку, міді, срібла та ін. Вставки з легкоплавких металів (свинець, цинк - температура плавлення 200...420°С) дозволяють отримати невисоку температуру самого запобіжника, проте вони мають малу провідність і вимагають значних перерізів, особливо при великих номінальних струмах. Широко розповсюджені цинкові вставки. Пари цинку мають відносно високий потенціал іонізації, що сприяє гасінню дуги. Вставки з міді і срібла мають менший переріз, але недоліком їх є висока температура плавлення, що призводить, при струмах перевантаження, до значного нагрівання і швидкого руйнування деталей запобіжника. Мідні плавкі вставки обов'язково повинні мати антикорозійне покриття, в іншому випадку окислення призведе до поступового зменшення перерізу вставки та несвоєчасного її перегорання.

Застосування паралельних плавких вставок (при великих струмах) дозволяє при тому ж сумарному поперечному перерізі вставок отримати велику поверхню охолодження. Це покращує умови охолодження вставок і дозволяє краще використовувати обсяг наповнювача (у запобіжниках з наповнювачем).

2.3 Конструкція запобіжників низької напруги

Запобіжники із закритими розбірними патронами без наповнювача серії ПР-2 (рис.2.9, а, б) виготовляють на напруги 220 і 500 В, номінальні струми патронів 15...1000 А і плавких вставок 6...1000 А. Їх вимикальна здатність залежно від габаритних розмірів і номінального струму становить 1,2...20,0кА.

Запобіжник ПР-2 складається з двох контактних стійок і одного патрона, всередині якого розміщені одна або дві (залежно від значення струму) плавкі вставки. Плавкі вставки (рис.2.9, в) виготовляють з листового цинку. Стійки являють собою комплекти струмовідних частин із замикаючими контактами і кріпильними деталями. Контактне натискання в запобіжниках на струми 15...63 А створюється за рахунок пружних властивостей матеріалу скоби контактних стійок; в запобіжниках на струми 100...350 А - сталеву кільцевою або пластинчастою пружиною; на струми

630...1000 А - гвинтом з пластмасовою рукояткою, встановленим на контактній стійці.

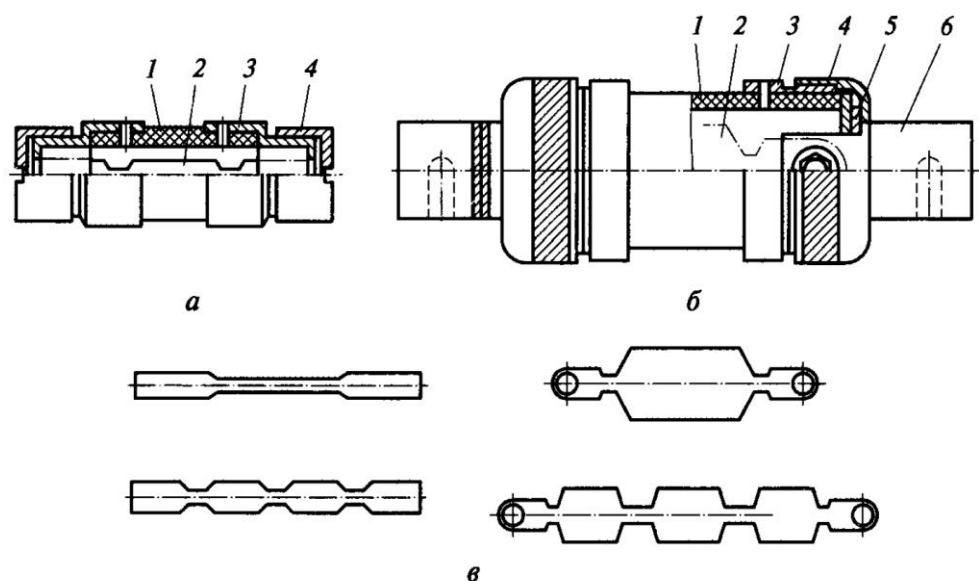


Рисунок 2.9 - Запобіжник серії ПР-2: а, б - патрони на номінальний струм відповідно 15...63 А і 100...1000 А; в - форми плавких вставок; 1 - фіброва трубка; 2 - плавка вставка; 3 - втулка; 4 - ковпачок; 5 - шайба; 6 - мідний ніж.

Патрон (рис.2.9, а, б) являє собою фіброву трубку 1, на яку з двох сторін накручені латунні втулки 3, вони мають проріз для плавкої вставки 2. На втулки нагвинчені латунні ковпачки 4, що є у запобіжників на струми до 63 А контактними частинами патрона. У запобіжників на струми 100...1000 А контактними частинами служать мідні ножі 6. Для запобігання повороту ножів передбачена підкладна шайба 5, що має паз для ножа.

Виникаюча при перегоранні вставки дуга викликає інтенсивну газогенерацію зі стінок трубки 1, тиск в трубці різко зростає, що забезпечує інтенсивне гасіння дуги.

Запобіжники серій ПД і ПДС (рис.2.10) розраховані для захисту кіл постійного струму напругою до 350 В і змінного струму частотою 50 Гц напругою до 380 В. Запобіжники серії ПД виготовляють семи типорозмірів на струми 1...630 А; серії ПДС - шести типорозмірів на струми 1...350 А. І ті, і інші мають підвищену механічну міцність. Запобіжники ПДС відрізняються від запобіжників ПД тим, що корпус у них виконаний не з порцеляни, а із стеатиту. Основними частинами запобіжників обох серій є контактна гільза 9 з порцеляновою або стеатитовою основою 12 і вставка. Остання

закріплюється головкою 2, яка нагвинчується на контактну гільзу 9. У контактну гільзу завальцована контактна стійка 10 для зовнішніх приєднань. Інший зовнішній контакт 13 в запобіжниках на струми до 63 А кріпиться до струмопроводу шляхом закліпування або паяння, в запобіжниках на великі струми він виконується у вигляді болтового з'єднання. Контактна гільза ізолюється від струмовідної шини гетинаксовою шайбою 11. Пружинне кільце 7 запобігає самовідгвинчуванню головки.

Вставка складається з порожнистого фарфорового циліндра 5, на торцях якого закріплені контактні ковпачки 4. Між ковпачками розташовані плавкі вставки 6 і контрольний дріт, зв'язаний з контрольним алюмінієвим оком 3. Циліндр 5 заповнений кварцевим піском 8. Коли струм в колі, що захищається запобіжником, перевищує допустимий, контрольний дріт перегорає разом з плавкими вставками, а контрольне вічко викидається розташованою під ним пружинкою в простір під заксленим отвором 1. Контрольне вічко видно через закслений отвір 1. Відповідно до положення вічка судять про справність плавкої вставки. Гасіння дуги здійснюється за рахунок високого тиску газу і інтенсивного охолодження в вузьких каналах наповнювача. Вимикальна здатність розглянутих запобіжників сягає 15 кА.

Запобіжники серії ПН-2 (рис.2.11) призначені для захисту силових кіл напругою до 500 В змінного струму і 440 В постійного струму. Вони виконуються на номінальні струми 100, 250, 400 і 630 А і мають струмообмежувальну дію і високу розривну здатність.

Корпус 1 являє собою глазуровану квадратну зовні і круглу всередині порцелянову трубку з чотирма різьбовими отворами з кожного торця. У трубку введений вузол з плавкою вставкою 2, приварені електроконтактним точковим зварюванням до шайб врубних контактних виводів 3. Контактний вузол з кожного торця трубки кріпиться до кришки 4 гвинтами. Кришки з азбестовими прокладками 5 пригвинчуються до корпусу і герметично закривають його.

Внутрішня порожнина трубки наповнена чистим і сухим кварцевим піском 6, що оточує вставку по всій її робочій довжині. Застосовують пісок з вмістом кварцу не менше 98%, який має зерна діаметром 0,2...0,3 мм, оброблений двовідсотковим розчином соляної кислоти, промитий і прожарений при температурі 120...180°C. Герметизація корпусу охороняє пісок від зволоження.

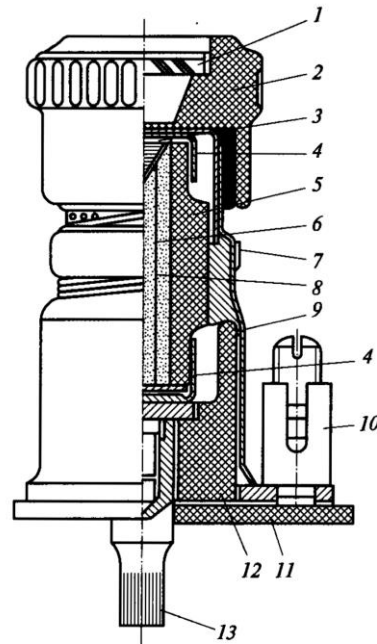


Рисунок 2.10 - Запобіжник серії ПД і ПДС: 1 - засклений отвір; 2 - головка; 3 - вічко; 4 - ковпачки; 5 - циліндр; 6 плавкі вставки; 7- пружинне кільце; 8 - кварцевий пісок; 9- контактна гільза; 10 контактна стійка; 11 - шайба; 12 - основа; 13 - зовнішній контакт.

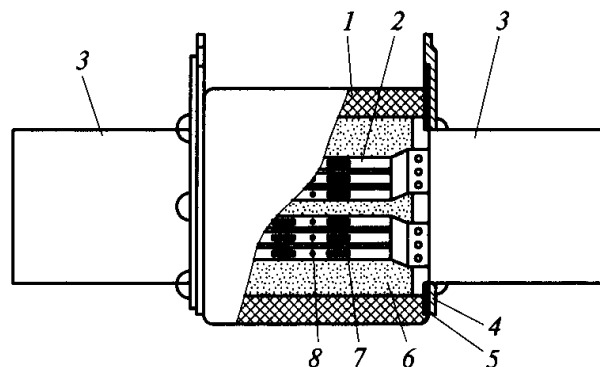


Рисунок 2.11 - Запобіжник серії ПН-2: 1 - корпус; 2 - плавка вставка; 3 - виводи; 4 - кришка; 5 - асбестова прокладка; 6 - кварцевий пісок; 7- просічки; 8 - олов'яний кулька.

Плавка вставка виконана з однієї або декількох мідних стрічок товщиною 0,15...0,35 мм і шириною до 4 мм. Просічки 7 зменшують переріз вставки в 2 рази на довжині не менше 6 мм. Застосування тонких паралельних стрічок дозволяє знизити перетин плавкої вставки для даного номінального струму, а отже, і кількість парів металу в дузі. Остання обставина полегшує гасіння дуги. Виникнення декількох дуг в паралельних каналах дозволяє брати участь в розсіюванні енергії дуги більшого обсягу наповнювача, що також полегшує гасіння дуги.

Для зменшення нагрівання запобіжника при малих перевантаженнях використовують металургійний ефект. На кожен стрічку вставки напаяють олов'яну кульку 8. Температура плавлення металу стрічки в місці, де напаяна олов'яна кулька, досягає $+475^{\circ}\text{C}$. Перевищення температури деталей запобіжника знаходиться в межах норми. Вимикальна здатність становить від 50 кА (запобіжник на струм 100 А) до 100 кА (запобіжник на струм 630 А).

Швидкодіючі запобіжники серії НПБ-2 з закритим патроном і наповнювачем випускаються на номінальні струми від 40 до 630 А і призначені для захисту електричних пристроїв з напівпровідниковими силовими вентилями. Ампер-секундна характеристика запобіжника лежить нижче ампер-секундної характеристики вентиля. Запобіжники можуть встановлюватися як з боку змінного струму (номінальна напруга 380 В), так і з боку випрямленого струму.

Запобіжники цієї серії відрізняються від запобіжників серії ПН-2 конструкцією плавкої вставки. Плавка вставка виготовляється із срібної стрічки і має перерізи, розраховані відповідно із захисною характеристикою запобіжників.

2.4 Основні характеристики матеріалів плавких вставок

Плавкі вставки виготовляються з міді, цинку, свинцю або срібла. Основні характеристики цих матеріалів під кутом зору їх застосовності для плавких вставок наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики матеріалів плавких вставок запобіжників

Матеріал	Питома вага, г/см ³	Температура плавлення при нормальному тиску, °C	Питомий електричний опір, Ом*мм ² /м	Експлуатаційна температура, °C
Мідь	8,93	1083	0,0175	250
Цинк	7,1	419	0,06	200
Свинець	11,34	327	0,22	150
Срібло	10,5	961	0,0155	*
Мідь з олов'яним розчинником	8,93	**	0,0175	***

* - Залежить від конструкції запобіжника

** - Залежить від часу впливу розплавленого олов'яного розчинника; може розплавлятися навіть при температурі $+280^{\circ}\text{C}$ і нижче

*** - Нижче температури плавлення олова ($+232^{\circ}\text{C}$) і зазвичай біля $+200^{\circ}\text{C}$

У сучасних найбільш досконалих запобіжниках віддають перевагу мідним вставкам з олов'яним розчинником. Широко поширені також цинкові вставки. Мідні вставки для запобіжників найбільш зручні, прості і дешеві. Поліпшення їх характеристик досягається наплавленням олов'яної кульки в певному місці, приблизно посередині вставки. Такі вставки застосовуються, наприклад, у серії насипних запобіжників ПН2. Олово плавиться при температурі $+232^{\circ}\text{C}$, значно нижчій, ніж температура плавлення міді, і розчиняє мідь вставки в місці контакту з нею.

Дуга, що з'являється при цьому, вже розплавляє всю вставку і гаситься. Зрештою захищене запобіжником електричне коло розривається.

Таким чином, наплавлення олов'яної кульки призводить до наступного:

- по-перше, мідні вставки починають реагувати з витримкою часу на настільки малі перевантаження, на які вони за відсутності олов'яного розчинника зовсім би не реагували.

***Наприклад,** мідний дріт діаметром 0,25 мм з розчинником у досліді розплавився при температурі $+280^{\circ}\text{C}$ за 120 хв.*

- по-друге, при одній і тій же досить великій температурі (тобто при однаковому навантаженні) вставки з розчинником реагують багато швидше, ніж вставки без розчинника.

***Наприклад,** мідний дріт діаметром 0,25 мм без розчинника при середній температурі $+1000^{\circ}\text{C}$ розплавився за 120 хв, а такий ж дріт, але з розчинником при середній температурі тільки $+650^{\circ}\text{C}$ розплавився всього за 4 хв.*

Застосування олов'яного розчинника дозволяє мати надійні і дешеві мідні вставки, що працюють при порівняно низькій експлуатаційній температурі, мають відносно малий об'єм і масу металу (що сприяє комутаційній здатності запобіжника) і в той же час мають велику швидкодію при великих перевантаженнях і реагують з витримкою часу на відносно малі перевантаження. Відношення $I_{\text{ног}} / I_{\text{в}}$ у таких вставок відносно невелике (не більше 1,45), що полегшує умови вибору провідників, що захищаються такими плавкими вставками від перевантажень.

Цинк часто використовується для виготовлення плавких вставок. Зокрема, такі вставки застосовуються в серії запобіжників ПР2. Вставки з цинку більш стійкі проти корозії. Тому, незважаючи на відносно малу температуру плавлення, для них, взагалі кажучи, можна було б припустити таку ж граничну експлуатаційну температуру, як для міді ($+250^{\circ}\text{C}$), і конструювати вставки з меншим перерізом. Однак електричний опір цинку приблизно в 3,4 рази більший, ніж у міді. Тому щоб зберегти ту ж експлуатаційну температуру, треба зменшити втрати енергії в плавкій

вставці, відповідно збільшивши її переріз. За таких обставин вставка виходить значно більш масивною. Це при інших рівних умовах призводить до зниження комутаційної здатності запобіжника. Окрім того, при масивній вставці з температурою $+250^{\circ}\text{C}$ не вдалося б у тих же розмірах утримати на допустимому рівні температуру патрона і контактів. Все це змушує знизити граничну експлуатаційну температуру цинкових плавких вставок до $+200^{\circ}\text{C}$, а отже, ще збільшувати переріз вставки. В результаті запобіжники з цинковими вставками при тих же розмірах мають значно меншу стійкість до струмів короткого замикання, ніж запобіжники з мідними вставками і олов'яними розчинниками.

За великої потреби плавкі вставки на ряді підприємств виготовляють у власних електроремонтних майстернях. При цьому матеріали, з яких виконують елементи плавких вставок, повинні бути ретельно калібровані і не менше 10% готових плавких вставок вибірково випробувані на мінімальний і максимальний струми.

За мінімальний приймають струм, при якому плавка вставка не повинна перегоріти за час менше 1 год. Зазвичай цей струм дорівнює $1,3 \dots 1,5$ її номінального струму, тобто $I_{\min} = (1,3-1,5) I_{\text{ном}}$.

За максимальний приймають струм, при якому плавка вставка повинна перегоріти за час менше 1 год, зазвичай він становить $(1,6 \dots 2,1) I_{\text{ном}}$.

Виготовлені вставки запобіжників за своїми якостями, характеристиками і номінальними струмами повинні відповідати вимогам відповідних стандартів.

Вставки кустарного виготовлення застосовувати неприпустимо, оскільки в кращому випадку вони захищають тільки від струмів короткого замикання. Для кріплення цинкової плавкої вставки повинні бути обов'язково використані сталева шайба збільшеного діаметру і пружна шайба. При відсутності цих шайб цинк поступово видавлюється з-під контактного болта і послаблює контакт. У патроні запобіжника ПР не можна встановлювати мідну вставку без олов'яного розчинника, оскільки при високій температурі плавлення мідної вставки фібровий патрон швидко руйнується.

2.5 Швидкодіючі запобіжники Cooper Bussmann

Швидкодіючі запобіжники Cooper Bussmann (рис.2.12) використовуються для захисту від перевантаження за струмом в електроустановках, що використовують джерела живлення постійного струму. Швидкодіючі запобіжники відрізняються тим, що їх характеристика повторює перевантажувальну характеристику напівпровідника, тобто не

допускає перевищення критичного значення струму за одиницю часу. Часто такі запобіжники знаходять застосування для захисту напівпровідникових елементів пристроїв плавного пуску (для забезпечення координації типу 2).



Рисунок 2.12 – Швидкодіючий запобіжник Cooper Bussmann

Запобіжники мають низьку напругу дуги і низький рівень енергії розсіювання (I^2t), а також низькі теплові втрати. Стійкі до циклічних навантажень. Відповідають вимогам стандартів IEC 60269-4, DIN 43653 і 43620, UL і CSA

Напруга 690В і 1250 В АС, додатково доступні більш високі значення напруги, номінальні струми від 10 до 7500 А. Вимикальна здатність до 300 кА. Робочий клас(категорія) - aR.

2.6 Запобіжники для захисту силових косинус них конденсаторів

Підключення конденсаторної установки (КУ) до мережі, що компенсується, виконується, як правило, через окремий апарат комутації (автоматичний вимикач). При цьому конструкція існуючих КУ передбачає, що в цілому захист від струмів короткого замикання (КЗ), відбудований від струмів увімкнення установки і такий, що діє без витримки часу, здійснюється автоматичним вимикачем. Якщо КУ (автоматизована або нерегульована) складається з декількох ступенів, захист кожного з них від струмів КЗ виконується запобіжниками окремо, незалежно від захисту КУ в цілому. Ця вимога визначена відсутністю у сучасних низьковольтних косинусних конденсаторів вбудованих запобіжників із-за їх односекційного виконання. При цьому плавкі вставки запобіжників повинні забезпечувати безпеку їх експлуатації, а також відповідати класу захисту, категорії розміщення і кліматичному виконанню КУ.

Конструкція плавкого запобіжника ножового (NH) типу категорії gG показана на рис.2.13.

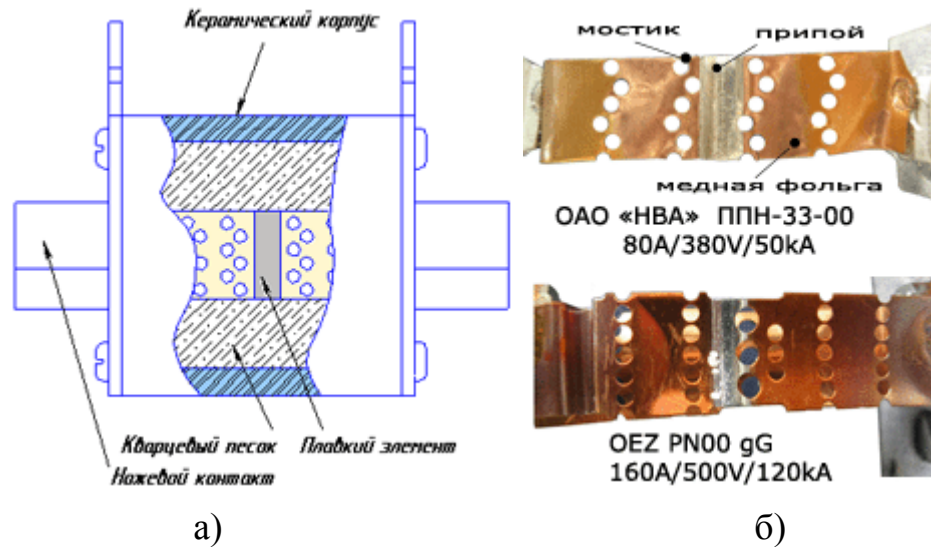


Рисунок 2.13 - Плавкий запобіжник ножового (NH) типу для захисту конденсаторних установок: а)конструкція; б) плавкий елемент

Як видно, плавкий елемент запобіжника складається з перфорованої мідної пластини, яка має місток з припоєм. При протіканні номінального струму надлишкове тепло, що виділяється на звужених ділянках (містках), із-за високої теплопровідності матеріалу пластин встигає поширитися до їх ширших частин, нагріваючи до усталеної температури всі струмовідні частини запобіжника. При струмі, що значно перевищує номінальний струм (струм увімкнення конденсаторної батареї) розігрівається в першу чергу пайка, виконана сплавом з теплоємністю, що калібрується, теплопровідністю і температурою плавлення. Цим досягається стабільність вимикальної здатності запобіжника у всьому діапазоні і відлаштування від великих пускових струмів малої тривалості, що характерні при комутації кіл конденсаторів. У разі ж виникнення струму КЗ, захисні функції вже виконують містки пластин, оскільки місце паяння має велику теплову постійну часу.

На рис.2.14 показані часо-струмові характеристики плавких запобіжників NH категорії gG і Ultra Quick MUQ1 00C(для порівняння).

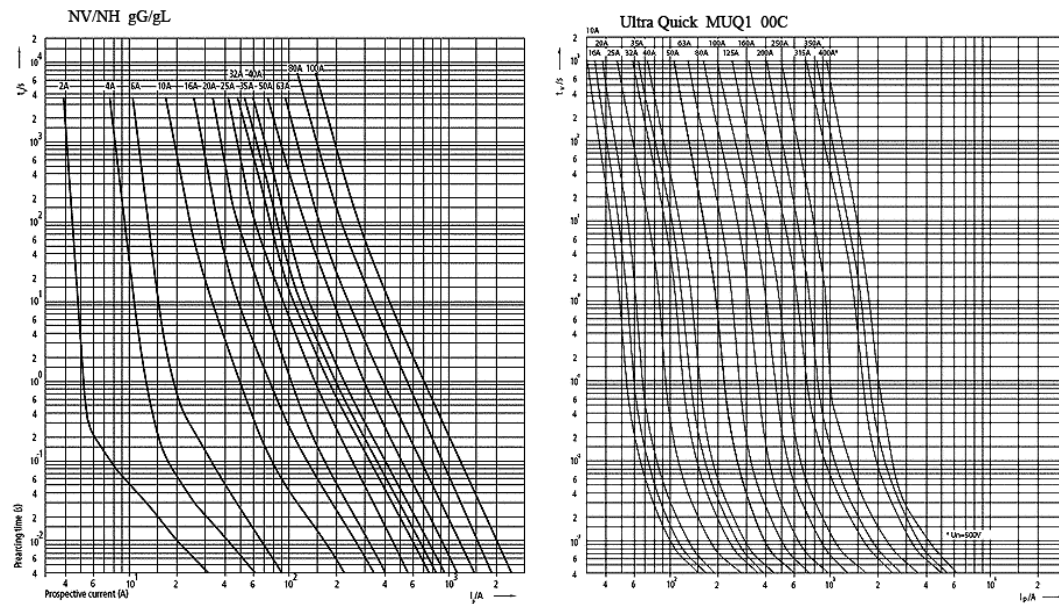


Рисунок 2.14 – Часо-струмові характеристики плавких запобіжників NH категорії gG і Ultra Quick MUQ1 00C(для порівняння).

Для захисту нерегульованих КУ і автоматичних КУ з електромеханічними контакторами повинні застосовуватися лише струмообмежувальні плавкі запобіжники класу gG, з наступними рекомендаціями:

- 1) номінальний струм запобіжника має бути більшим номінального фазного струму рівня КУ в 1,5...1,8 рази;
- 2) повинні застосовуватися лише калібровані плавкі вставки;
- 3) для роз'єднувачів з функцією захисту повинні застосовуватися плавкі вставки лише NH (ножові), типорозмера 000 (00C).
- 4) номінальний струм тримача запобіжника повинен відповідати номінальному струму плавкої вставки.
- 5) доцільно використовувати плавкі вставки з центральним вбудованим індикатором спрацьовування або застосовувати електронну індикацію (рис.2.15);
- 6) для КУ слід вибирати плавкі вставки з найменшою розсіюваною потужністю при номінальному струмі.



Рисунок 2.15 – Плавкий запобіжник з індикатором спрацьовування (а) і шафа керування КУ з електронною індикацією спрацьовування запобіжників (б)

Для захисту швидкодіючих КУ з тиристорними комутаторами повинні застосовуватися запобіжники категорії gR при дотриманні наступних умов:

- 1) пікове значення струму комутатора має бути більшим струму відсічки запобіжника;
- 2) значення I^2t комутатора має бути більшим максимальної енергії I^2t вимкнення плавкої вставки запобіжника;
- 3) максимальна зворотна напруга комутатора має бути більшою перехідної відновлюваної напруги плавкої вставки запобіжника.

2.7 Роз'єднувачі, вимикачі та їх комбінації із запобіжниками

Роз'єднувач – це електромеханічний комутаційний апарат, який забезпечує у розімкненому положенні ізоляційний проміжок між контактами (основним призначенням роз'єднувача є забезпечення функції роз'єднання у розімкненому положенні).

Вимикач (електромеханічний) – це електромеханічний комутаційний апарат, спроможний вмикати, проводити та вимикати струми за нормальних умов у колі, а також витримувати впродовж обумовленого часу струми при аномальних умовах у колі, приміром таких, як коротке замикання. Вимикач може бути спроможним вмикати, але не вимикати струми короткого замикання. Вимикачі, що забезпечують функцію роз'єднання, називають вимикачами-роз'єднувачами.

Роз'єднувачі та вимикачі-роз'єднувачі застосовують у розподільних пристроях для здійснення ручних операцій увімкнення/вимкнення електричних кіл. Ці апарати не забезпечують захист мереж від

перевантажень та коротких замикань, тому у розподільних пристроях послідовно до цих апаратів приєднують запобіжники.

Комбінація із запобіжником – це апарат, у якому поєднується роз'єднувач або вимикач-роз'єднувач та запобіжник (таблиця 2.2). Такий апарат суттєво економить місце у розподільному пристрої та спрощує його виготовлення. Найбільш розповсюдженими комбінаціями із запобіжниками є роз'єднувач-запобіжник (рис.2.18), вимикач-роз'єднувач-запобіжник, запобіжник-роз'єднувач та запобіжник-вимикач-роз'єднувач (рис.2.19).

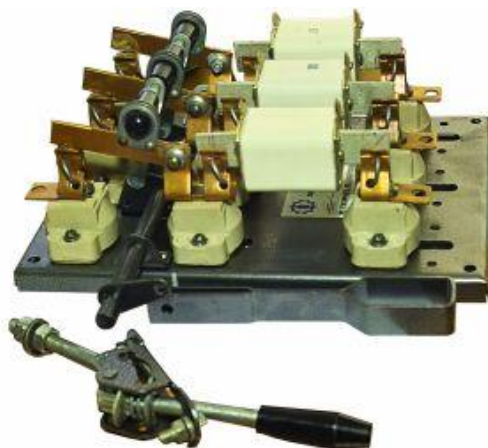


Рисунок 2.16 – Роз'єднувач-запобіжник із залежними операціями замикання та розмикання



Рисунок 2.17 - Запобіжник-вимикач-роз'єднувач ПВР

Таблиця 2.4 - Класифікація та позначення вимикачів, роз'єднувачів та комбінацій із запобіжниками

Функції, виконувані комбінованим комутаційним апаратом		
Комутація	Роз'єднання	Комутація та роз'єднання
Вид комбінованого комутаційного апарату та його позначення		
Вимикач 	Роз'єднувач 	Вимикач-роз'єднувач 
Вимикач-запобіжник 	Роз'єднувач-запобіжник 	Вимикач-роз'єднувач-запобіжник 
Запобіжник-вимикач 	Запобіжник-роз'єднувач 	Запобіжник-вимикач-роз'єднувач 

Питання для самоконтролю і завдання

1. Які призначення і принцип роботи запобіжників? Назвіть режими роботи запобіжників.
2. У чому полягають особливості конструкції запобіжників високої напруги?
3. Яким чином здійснюється гасіння дуги при перегорання запобіжника?
4. Опишіть будову та принцип дії розбірного і насипного запобіжників.
5. Які матеріали застосовуються для плавких вставок і в чому полягають особливості застосування різних матеріалів?
6. Як здійснюється вибір запобіжників? Наведіть приклади вибору запобіжників за умовами тривалої експлуатації, пуску і селективності.
7. Опишіть призначення і особливості конструкції швидкодіючого запобіжника. За якими параметрами проводиться його вибір?
8. Зобразіть часо-струмову характеристику запобіжника і поясніть її узгодження із захисною характеристикою захищувача.

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

3 АВТОМАТИЧНІ ВИМИКАЧІ (ВІДМИКАЧІ)

3.1 Загальні положення

3.2 Класифікація автоматичних вимикачів

3.3 Будова автоматичних вимикачів

3.4 Характеристики автоматичних вимикачів

3.5 Часо-струмові характеристики автоматичних вимикачів

3.6 Селективність автоматичних вимикачів(захистів)

3.7 Автоматичні вимикачі з вбудованими захисними пристроями, керованими диференційним струмом

3.8 Випробовування автоматичних вимикачів

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Головне коло (автоматичного вимикача)	Усі струмопровідні частини автоматичного вимикача, які належать до кола, яке він має вмикати чи вимикати	<i>main circuit (of a circuit-breaker)</i>
Полюс (автоматичного вимикача)	Частина автоматичного вимикача, пов'язана тільки з одною електрично незалежною частиною головного кола, забезпечена контактами, передбаченими для під'єднання та від'єднання безпосередньо головного кола, та без тих частини, які забезпечені засобами для спільного монтування та оперування всіма полюсами	<i>pole (of a circuit-breaker)</i>
Струмообмежувальний автоматичний вимикач	Автоматичний вимикач, у конструкції якого передбачені спеціальні заходи для обмеження у визначеному діапазоні струму електричного кола, що вимикається	<i>current limiting automatic circuit breaker;</i>
Розчіплювач (контактного апарату)	Пристрій, призначений механічно впливати на утримувальний пристрій контактного апарату з метою вивільнення його рухомих частин для зміни комутаційного положення	<i>release (of a mechanical switching device)</i>

Розчіплювач із витримкою часу (контактного апарату)	Розчіплювач контактного апарату, що спрацьовує після того, як фактор реагування розчіплювача досягне певного значення	<i>time-delay release (of a mechanical switching device)</i>
Розчіплювач із залежною витримкою часу (контактного апарату)	Розчіплювач контактного апарату з витримкою часу, величина якої залежить від значення фактора реагування	<i>inverse time-delay release (of a mechanical switching device)</i>
Розчіплювач із незалежною витримкою часу (контактного апарату)	Розчіплювач контактного апарату з витримкою часу, величина якої не залежить від значення фактора реагування	<i>definite time-delay release (of a mechanical switching device)</i>
Максимальний розчіплювач (контактного апарату)	Розчіплювач контактного апарату, що викликає його спрацьовування, якщо величина фактора реагування перевищує певний заданий рівень Примітка. Залежно від фактора реагування розчіплювача розрізняють максимальний розчеплювач струму, максимальний розчеплювач похідної струму, максимальний розчіплювач напруги тощо.	<i>over release (of a mechanical switching device)</i>
Мінімальний розчіплювач (контактного апарату)	Розчіплювач контактного апарату, що викликає його спрацьовування, якщо величина фактора реагування менша за певний заданий рівень	<i>under release (of a mechanical switching device)</i>
Незалежний розчіплювач (контактного апарату)	Розчіплювач контактного апарату, який викликає його спрацьовування при ввімкненні його органу реагування іншим апаратом в електричне коло, яке має задані параметри	<i>shunt release (of a mechanical switching device)</i>
Робоча напруга	Найвище середньоквадратичне значення змінної чи постійної напруги паралельне будь-якій конкретній ізоляції, яке може бути, коли устаткування живиться номінальною напругою.	<i>working voltage</i>

Імпульсна витримувана напруга	Найвище пікове значення імпульсної напруги запропонованої форми та полярності, яке не спричинює пробій ізоляції за нормального режиму роботи.	<i>impulse withstand voltage</i>
Надструм	Струм, величина якого перевищує найбільше номінальне значення	<i>over-current</i>
Струм перевантаження	Надструм, що виникає в електрично непошкоджені колі. Примітка. Струм перевантаження може спричинити пошкодження, якщо він триває протягом достатнього проміжку часу	<i>overload current</i>
Струм короткого замикання	Надструм, що виникає внаслідок дефекту незначного імпедансу між точками, які призначені бути під різними потенціалами за нормальних умов експлуатування. Примітка. Струм короткого замикання може бути через дефект або неправильне під'єднання.	<i>short-circuit current</i>
Часострумова характеристика комутаційного апарату	Залежність часу спрацьовування комутаційного апарату від струму в його головному колі	<i>time-current characteristic of a switching device</i>
Уставка за часом (комутаційного апарату)	Значення витримки часу, на яке відрегульований комутаційний апарат	<i>time setting (of a switching device)</i>
I^2t (інтеграл Джоуля)	Інтеграл квадрата сили струму за відповідний проміжок часу: $I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt$	<i>(I^2t (Joule integral))</i>
Характеристика I^2t автоматичного вимикача	Крива, що відображає максимальні значення I^2t як функцію очікуваної сили струму в зазначених умовах експлуатування	<i>I^2t characteristic of a circuit-breaker</i>

Гранична комутаційна здатність вимикання за короткого замикання	Комутаційна здатність вимикання, для якої запропоновані умови відповідно до зазначеного циклу випробовування не передбачають здатності автоматичного вимикача проводити силу струму, що дорівнює 0,85 від його сили струму нерозчіплювання, протягом умовного проміжку часу	<i>ultimate shortcircuit breaking capacity</i>
Автоматичний вимикач з вбудованим захистом, керованим диференційним струмом (АВДС)	Вимикач, призначений для розмикання контактів в разі, коли значення диференційного струму досягає заданої величини в певних умовах.	
АВДС, функціонально не залежний від напруги джерела живлення	АВДС, для якого функції виявлення, порівняння та вимкнення живлення не залежать від напруги джерела живлення.	
АВДС, функціонально залежний від напруги джерела живлення	АВДС, для якого функції виявлення, порівняння і вимкнення залежать від напруги джерела живлення	
Струм замикання на землю	Струм, що входить в землю внаслідок пошкодження ізоляції.	
Струм витоку	Струм, що проходить в землю або на сторонні провідні частини в електрично непошкоджену колу.	
Диференційний струм (I_{Δ})	Чинне значення векторної суми струмів, що протікають в первинному колі АВДС	
Вимикаючий диференційний струм	Значення диференційного струму, що викликає вимкнення АВДС в заданих умовах експлуатації.	
Невимикаючий диференційний струм	Значення диференційного струму, при якому і нижче якого АВДС в заданих умовах не вимикається.	

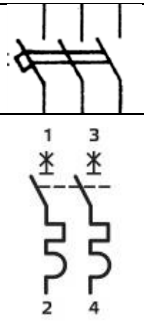
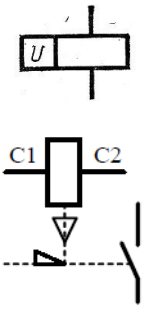
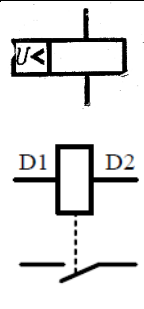
Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Літерні позначення

<i>I</i>	струм
<i>U</i>	напруга

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	QF $T >$ $I >$	Автоматичний вимикач Тепловий розчіплювач Електромагнітний розчіплювач
		Незалежний розчіплювач
		Розчіплювач мінімальної напруги

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.
2. ДСТУ EN 60947-2:2015 (EN 60947-2:2006, IDT). Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 2. Автоматичні вимикачі (IEC 60947-2:2006, IDT)
3. ДСТУ EN 60898-1:2014. Устаткування електричне допоміжне. Автоматичні вимикачі для захисту від надструмів побутового та аналогічного призначення. Частина 1. Вимикачі змінного струму
4. ДСТУ EN 60898-2:2014. Вимикачі автоматичні для захисту від надструмів побутового та аналогічного устаткування. Частина 2. Вимикачі постійного та змінного струму

До відома

EN стандарти (Європейські норми / Євронорми / Єврокоди)

European Committee for Standardization (CEN) Європейський Комітет із Стандартизації був заснований в 1961 р. національними органами із стандартизації Європейського Економічного Співтовариства і країнами Європейської асоціації вільної торгівлі.

Європейський стандарт EN - стандарт, прийнятий CEN, CENELEC або ETSI з правом застосування в якості ідентичного національного стандарту з відміною протирічних національних стандартів (CENELEC — Європейський комітет електротехнічної стандартизації; ETSI — Європейський інститут стандартизації телекомунікацій).

Стандарти, що видаються Європейським комітетом із стандартизації, мають позначення EN. Часто за основу цих стандартів приймають стандарти ІЕС (МЕК) или ISO (ICO) без змін або із незначними змінами. В цьому випадку використовується подвійне позначення, наприклад EN ISO.

Якщо йде мова про Європейський стандарт, країни - учасниці повинні прийняти його в якості національного стандарту, за бажанням перекласти його, але без внесення змін або відхилень від смислу, і додати аббревіатуру EN в національному позначенні, наприклад: DIN EN 1234. Таким чином, номер і технічний зміст стандарту залишаються незмінними на всій території Європи.

В Україні діють гармонізовані національні стандарти ДСТУ EN

3.1 Загальні положення

Автоматичний вимикач - це механічний комутаційний апарат, здатний вмикати, проводити і вимикати струми за нормальних умов кола, вмикати і проводити струми протягом певного проміжку часу і переривати їх за певних аномальних умов кола, наприклад при коротких замиканнях.

До автоматичних вимикачів висуваються наступні вимоги:

- струмовідне коло вимикача повинне пропускати номінальний струм протягом тривалого часу. Струмовідна система автоматичного вимикача може зазнавати впливу великих струмів короткого замикання (КЗ) як при замкнених контактах, так і при увімкненні на існуюче КЗ;
- автоматичний вимикач має забезпечувати багатократне вимкнення граничних струмів КЗ, які можуть сягати сотень кіло- ампер. Після вимкнення цих струмів автоматичний вимикач повинен бути придатним для тривалого пропускання номінального струму;
- для забезпечення електродинамічної і термічної стійкості електроустановок, обмеження руйнувань та інших негативних наслідків, викликаних протіканням струмів короткого замикання, автоматичні вимикачі повинні мати якомога менший час вимкнення, тобто бути швидкодіючими. З метою зменшення габаритних розмірів розподільчого пристрою і підвищення безпеки обслуговування необхідна мінімальна зона викиду нагрітих та іонізованих газів під час гасіння електричної дуги;
- розчіплювачі автоматичного вимикача мають спрацьовувати відповідно до їх часо-струмових характеристик.

3.2 Класифікація автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі класифікують (рис.3.1):

- за категорією застосування: А чи В (див. табл.3.1);
- за середовищем, в якому відбувається вимкнення (рис.3.2 – 3.4):
 - повітряні,
 - вакуумні,
 - газові;
- за конструкцією:
 - відкритого виконання,
 - в оболонці (рис.3.5);
- за способом керування:
 - із залежним ручним керуванням,
 - із незалежним ручним керуванням,
 - із залежним управлінням від джерела енергії,
 - із незалежним управлінням від джерела енергії,

- із накопичувачем енергії;
- за придатністю до роз'єднання:
 - придатні,
 - непридатні;
- за можливістю обслуговування:
 - обслуговувані;
 - не обслуговувані.
- за способом монтажу:
 - стаціонарні,
 - втичні,
 - висувні;
- за ступенем захисту, що забезпечується оболонкою, - згідно з п.7.1.11 МЕК 60947-1.

За категорією застосування	Категорії А і В відповідно до п.4.4 ІЕК 60947-2:2006
За середовищем, в якому проходить вимикання	Повітряні Вакуумні Газові
За конструкцією	Відкритого виконання Виконання в оболонці
За способом керування	- із залежним ручним керуванням - з незалежним ручним керуванням - із залежним керуванням від джерела енергії - з незалежним керуванням від джерела енергії - з накопичувачем енергії
За придатністю до роз'єднання	Придатні Непридатні
За можливістю обслуговування	Обслуговувані Необслуговувані
За способом монтажу	Стаціонарні Втичні Висувні
За ступенем захисту, що забезпечується оболонкою	Відповідно до п.7.11 ІЕС 60947-1

Рисунок 3.1 – Класифікація автоматичних вимикачів (за ДСТУ EN 60947-1:2008 Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Частина 2. Автоматичні вимикачі (ІЕС 60947-2:2004, IDT))

Таблиця 3.1 - Категорії застосування автоматичних вимикачів (п.4.4 ІЕК 60947-2:2006)

Категорія застосування	Область застосування залежно від селективності
A	Вимикачі, не призначені спеціально для забезпечення селективності в умовах короткого замикання відносно інших пристроїв захисту від коротких замикань, послідовно приєднаних з боку навантаження, тобто без заданої короткочасної витримки часу, передбачуваної для забезпечення селективності в умовах короткого замикання, а тому без номінального короткочасно витриманого струму згідно із п.4.3.5.4
B	Вимикачі, спеціально призначені для забезпечення селективності в умовах короткого замикання відносно інших пристроїв захисту від коротких замикань, послідовно приєднаних з боку навантаження, тобто із заданою короткочасною витримкою часу(яка може бути регульованою), передбачуваною з метою селективності в умовах короткого замикання. Такі вимикачі мають номінальний короткочасно витримуваний струм згідно із п.4.3.5.4 Примітка – Селективність забезпечується не обов'язково до гранично найбільшої вимикальної здатності вимикачів(наприклад, у випадку спрацювання розчіплювача миттєвої дії), але у всякому разі до величини, вказаної у табл.3

П.4.3.5.4. Номінальний короткочасно витримуваний струм I_{cw} – значення короткочасно витриманого струму, встановлене для вимикача виробником в умовах випробувань за п.8.3.6.2.

Для змінного струму це діюче значення періодичної складової очікуваного струму короткого замикання, який розглядають як незмінний протягом певного короткого замикання.

Тривалість проходження струму I_{cw} повинна становити принаймні 0,05с.

Кращі значення: 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1 с.

Номінальний короткочасно витримуваний струм повинен бути не нижче вказаного у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Мінімальні значення номінального короткочасно витриманого струму I_{cw}

Номінальний струм I_n , А	Мінімальне значення I_{cw}
До 2500 Понад 2500	12 I_n , або 5кА, що більше 30 кА

Повітряний автоматичний вимикач - вимикач, контакти якого розмикаються і замикаються в повітрі за атмосферного тиску (ДСТУ ІЕС 60947-1:2008)

Повітряний автоматичний вимикач e.acb.2000D.1600, втичний, 3р, 1600А, 65 кА (E.NEXT)	
Модульні автоматичні вимикачі	
Автоматичні вимикачі в литому корпусі	

Рисунок 3. 2 – Повітряні автоматичні вимикачі

Вакуумний автоматичний вимикач - вимикач, контакти якого розмикаються і замикаються в сильно розрідженій атмосфері всередині оболонки (ДСТУ ІЕС 60947-1:2008)



Вакуумний вимикач ВВ/AST-10-20/1000 УХЛ2



Вакуумний вимикач (VCB)

Рисунок 3.3 – Вакуумні вимикачі

Газовий автоматичний вимикач - вимикач, контакти якого розмикаються і замикаються в газовому середовищі, що відрізняється від повітря, за атмосферного або підвищеного тиску (ДСТУ ІЕС 60947-1:2008)



Елегазовий вимикач LF 6, 10 кВ



Рисунок 3.4 – Елегазові вимикачі

Електричний газ (елегаз) – хімічно неактивний, нешкідливий, негорючий газ, який має високу теплопровідність і електричну міцність (при атмосферному тиску $E=89$ кВ/см). До переваг елегазу (SF_6) можна віднести те, що він не потребує, як трансформаторне масло, догляду, не чинить руйнівного впливу на конструкцію апарату (за умови нормальної експлуатації), не старіє і, до того ж, є відносно недорогим.



Автоматичний вимикач АП50Б в литому корпусі на струми від 1,6А до 63А



Вибухозахищений автоматичний вимикач ШГВ-РТЗ

Рисунок 3.5 – Автоматичні вимикачі в оболонці. ДСТУ EN 60898-1:2014 також встановлює **класифікацію автоматичних вимикачів** за кількома критеріями (рис.3.6):

1 Відповідно до кількості полюсів:

- однополюсні автоматичні вимикачі;
- двополюсний автоматичний вимикач з одним захищеним полюсом;

- двополюсний автоматичний вимикач з двома захищеними полюсами;
- триполюсний автоматичний вимикач з трьома захищеними полюсами;
- чотириполюсний автоматичний вимикач з трьома захищеними полюсами;
- чотириполюсний автоматичний вимикач з чотирма захищеними полюсами.

Примітка. Поліус, який є незахищеним полюсом, має бути:

- «незахищений» (див. 3.2.7.2), або
- «вимикальний нейтральний полюс» (див. 3.2.7.3).

2 Відповідно до захисту від впливу зовнішніх чинників:

- закритий тип (не потребує відповідного корпусу);
- незакритий тип (застосовують з відповідним корпусом).

3 Відповідно до способу монтування:

- поверхневий тип;
- утоплений тип;
- панельно-щитовий тип, що називають типом розподільних щитків.

Примітка. Ці типи можуть бути призначені для установлювання на рейках.

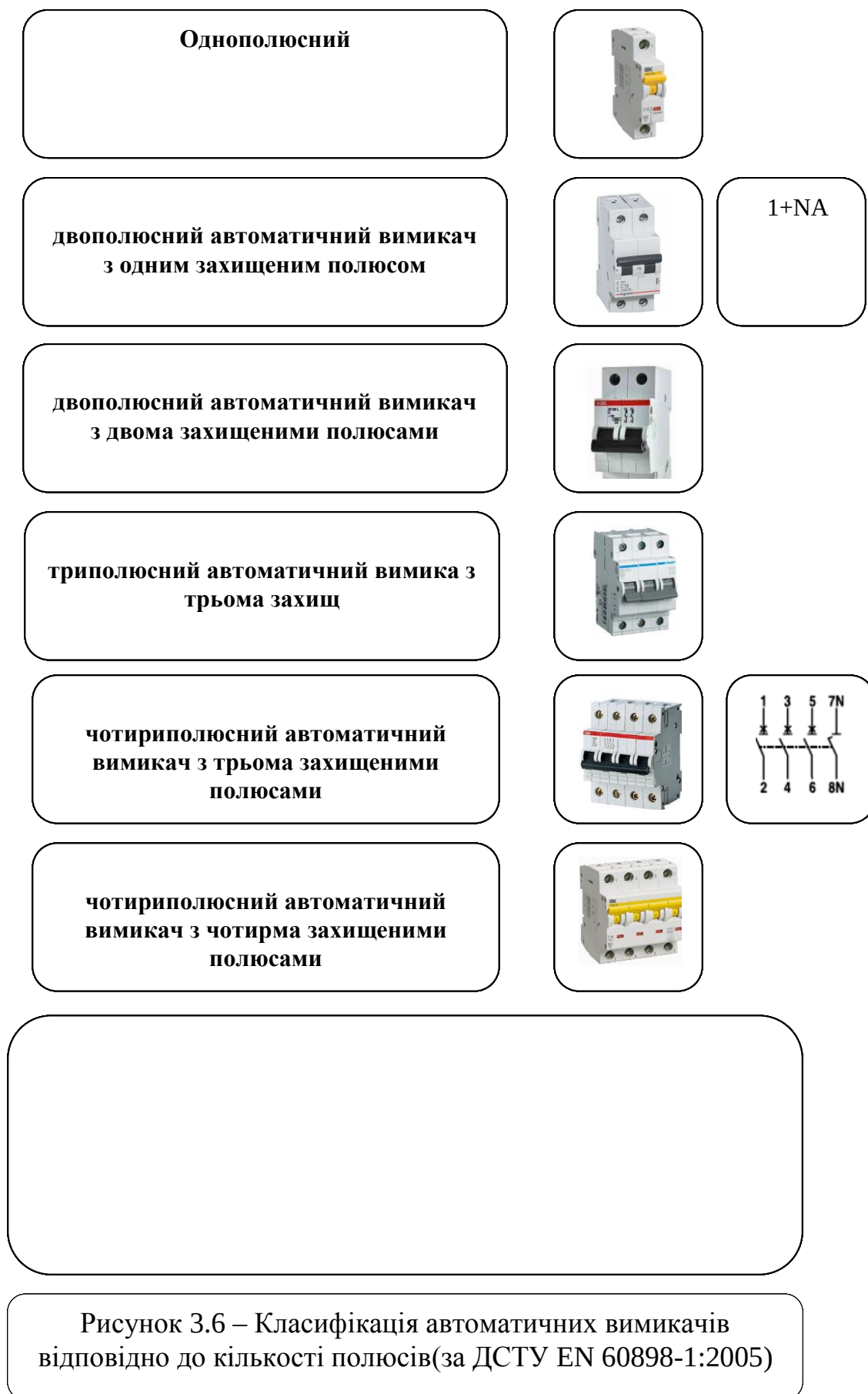
4 Відповідно до способу з'єднування

4.1 Відповідно до системи фіксування:

- автоматичні вимикачі, електричні з'єднання яких не пов'язані з механічним монтажем;
- автоматичні вимикачі, електричні з'єднання яких пов'язані з механічним монтажем.

Примітка. Прикладами цього типу є:

- вставний тип;
- прогоновий тип;
- гвинтовий тип.



Деякі автоматичні вимикачі можуть бути виконані так, що забезпечують вставне та прогонове з'єднання тільки зі сторони вхідних виводів, виводи навантаження є зазвичай придатними для приєднування кіл.

4.2 Відповідно до типу виводів:

- автоматичний вимикач із гвинтовим типом виводів для зовнішніх мідних провідників;
- автоматичні вимикачі з безгвинтовим типом виводів для зовнішніх мідних провідників;

Примітка 1. Вимоги до автоматичних вимикачів, устаткованих цим типом виводів, наведено в додатку J.

— автоматичні вимикачі з плоским швидко з'єднуваним виводом для зовнішніх мідних провідників;

Примітка 2. Вимоги до автоматичних вимикачів, устаткованих цим типом виводів, наведено в додатку K.

— автоматичні вимикачі із гвинтовим типом виводів для зовнішніх алюмінієвих провідників.

Примітка 3. Вимоги до автоматичних вимикачів, устаткованих цим типом виводів, перебувають на розгляді.

5 Відповідно до сили струму миттєвого розчіплювання (див. п.3.4):

- В-тип;
- С-тип;
- D-тип.

Примітка. Вибір конкретного типу може залежати від правил установлювання.

6 Відповідно до I^2t характеристики

Додатково до I^2t характеристики, що забезпечує виробник, автоматичні вимикачі може бути покласифіковано відповідно до їх I^2t характеристики.

Шкала номінальних струмів розчіплювачів автоматичних вимикачів, А

0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15
	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5
	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320
	400	500	630	700	850	1000				

3.3 Будова автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі (рис.3.7; 3.8) складаються з наступних основних елементів: головної контактної системи (головних контактів), дугогасильної системи, приводу, механізму вільного розчеплення, розчіплювачів та допоміжних контактів.

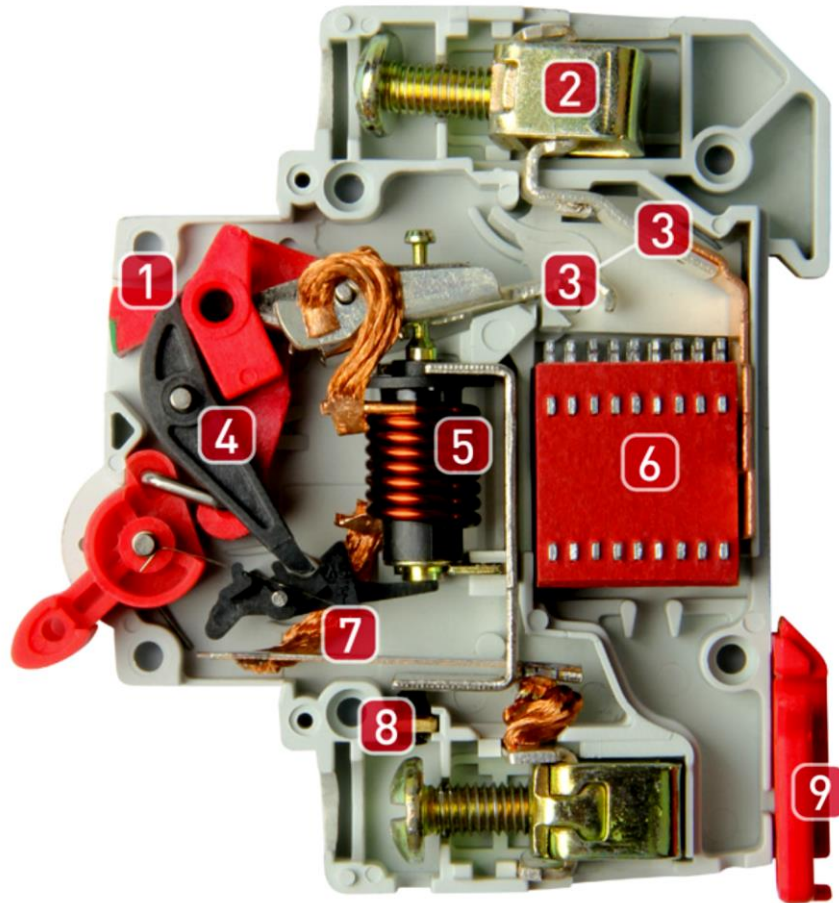
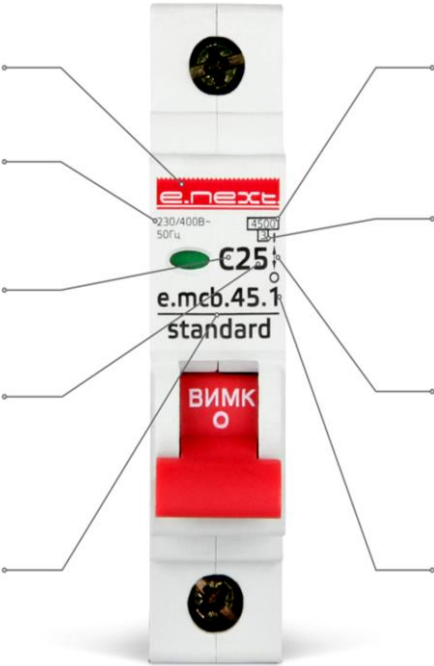


Рисунок 3.7 - Конструкція модульного автоматичного вимикача: 1 – індикатор стану силових контактів; 2 – контактний затискач; 3 – силові контакти; 4 – механізм вільного розчеплення; 5 – електромагнітний розчіплювач; 6 – дугогасильна камера; 7 – тепловий розчіплювач; 8 – юстирувальний(регулювальний) гвинт; 9 – зачіпка на DIN-рейку

Головна контактна система. Є визначальним елементом автоматичного вимикача і повинна задовільняти дві основні вимоги:

1) забезпечувати, не перегріваючись та не окислюючись, тривалий режим роботи при номінальному струмі;

2) бути здатною, не пошкоджуючись, вмикати та вимикати великі струми короткого замикання, що досягають в сучасних промислових установках 75-100 кА, а в окремих енергоємних виробництвах з короткими мережами – 150-200 кА. У зв'язку з цим у вимикачах на середній та великий струм з високою вимикальною здатністю застосовуються багатоступінчасті рівневі системи, які складаються, наприклад, з основних та дугогасильних контактів.

Торгова марка (e.next) Номинальна напруга і частота (230/400В; 50 Гц) Часо-струмова характеристика (C) Номинальний струм, А (25) Найменування і серія (e.mcb.45.1)		Гранична вимикальна здатність, А (4500) Клас Струмообмеження (3) Маркування положення «увімкнено-вимкнено» Кількість полюсів (1)

Приклади, наведені жирним шрифтом, стосуються конкретного автоматичного вимикача **e.mcb.45.1**

Рисунок 3.8 - Маркування і позначення автоматичного вимикача

Використання металокераміки дозволяє в сучасних конструкціях вимикачів на більший струм застосовувати виключно двоступінчасті контактні системи, а у вимикачах на малий та середній (до 630 А) струм – одноступінчасті (місткові, рукояткові).

Контактні системи на середній та високий струм виконуються з компенсацією електродинамічних зусиль. Найбільш ефективним вважають принцип електродинамічної компенсації (див. мал. 4-20, д). Компенсоване зусилля тут (як і електродинамічні сили) зростає пропорційно квадрату струму і систему можна виконати так, що компенсаційна сила буде завжди переважати над відкидною силою. Електромагнітна компенсація (див. мал. 4-20, е) стає неефективною при великому струмі, так як при насиченні (при струмі 10-25 кА) компенсоване зусилля мало зростає зі збільшенням струму, в той час як відкидна сила продовжує зростати пропорційно квадрату струму.

Слід відмітити, що в окремих конструкціях відкидне електродинамічне зусилля в контактах використовується для отримання струмообмежувального ефекту (швидкодії) вимикача.

Кінематика вимикача виконується так, що за час відкидання контакту під дією електродинамічних зусиль відбувається розщеплення контактної системи і контакти розходяться. Повторного замикання контактів не відбувається.

Підвищення номінальних струмів контактних систем можливо за рахунок застосування рідкого, в окремих випадках водяного, охолодження, а підвищення номінальних струмів вимикачів – ще й за рахунок застосування паралельних контактних систем.

Привід. Привід слугує для увімкнення вимикача за будь-якою командою (оператора, системи автоматичного керування та ін.). Виконуються вимикачі з ручним чи рухомим приводом, або з обома. Під рухомим розуміють привід, в якому зусилля створюється будь-яким видом енергії, окрім мускульної енергії оператора, наприклад електромагнітом, електродвигуном, пневматикою, гідравлікою і т.п. Вимкнення вимикача здійснюється пружинами після роз'єднання механізму вільного розчеплення.

Механізм вільного розчеплення призначений для:

- 1) виключення можливості утримувати контакти вимикача в увімкненому положенні (рукояткою, дистанційним приводом) за наявності аномального режиму роботи в захищуваному автоматичним вимикачем електричному колі;
- 2) забезпечення миттєвого вимкнення автоматичного вимикача, тобто незалежного від оператора, виду та маси приводу.

Механізм вільного розчеплення (рис.3.9) являє собою систему шарнірно-з'єднаних важелів, що з'єднують привід увімкнення з системою рухомих контактів, які з'єднані з пружиною вимкнення.

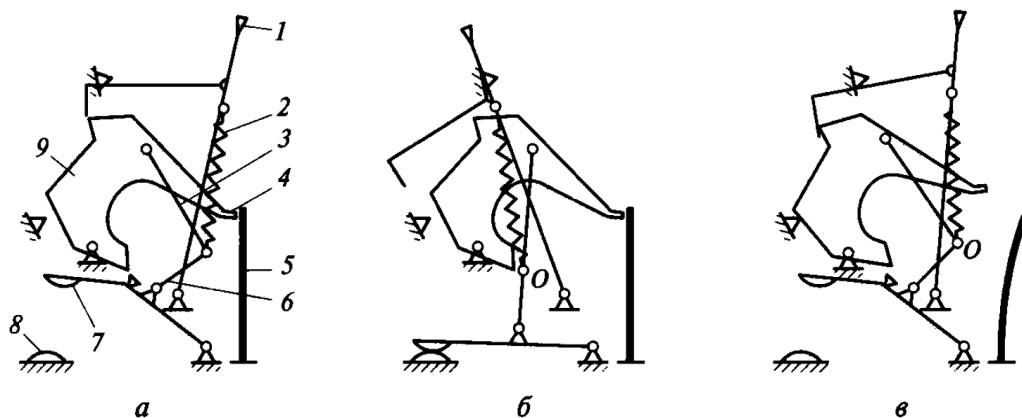


Рисунок 3.9 - Положення механізму вільного розчеплення автоматичного вимикача: а - «зведено», б) - «увімкнено», в) - «вимкнено»

автоматично»; 1 - рукоятка; 2 пружина; 3, 6 - ламкі важелі; 4 - зачеплення; 5 - валик; 7, 8 - контакти; 9 - фігурний важіль.

Схема на рис.3.9, а відповідає положенню «зведено», при цьому контакти 7 і 8 вимикача розімкнені, а фігурний важіль 9 встановлений під защемлення 4 вимикаючого валика 5. Це здійснюється поворотом рукоятки 1 вправо(на рисунку). При повороті рукоятки вліво вимикаюча пружина 2 переведе «зламувані» важелі 3 і 6 через «мертве положення» до упору шарніра 0 у важіль 9. При цьому замикаються контакти 7 і 8, вимикач переходить у положення «увімкнено»(рис.10 - 3, б).

У випадку виникнення аномальних умов роботи у захищуваному автоматичним вимикачем електричному колі відповідний розчіплювач поверне вимикаючий і виведе його із защемлення з фігурним важелем. Під дією вимикаючої пружини фігурний важіль повернеться та іншим своїм кінцем переведе «зламувані» важелі вправо через «мертве положення». Пружина вимкнення «зламає» важелі і розімкне контакти вимикача. Вимикач опиниться в положенні «вимкнено автоматично» (рис.3.8, в). Для повторного увімкнення необхідно відвести рукоятку вправо і ввести в зачеплення фігурний важіль з валиком 5.

Конструкції механізмів вільного розчеплення дуже різноманітні, проте їх дія подібна до описаної.

Слід зазначити одну дуже важливу обставину. Вимикаючі і контактні пружини в автоматичних вимикачах розвивають зусилля в десятки і сотні ньютонів. Система важелів механізму вільного розчеплення будується так, щоб для розчеплення потрібні були незначні зусилля. Це дозволяє мати легкі та високочутливі розчіплювачі.

Розчіплювачі. Ці пристрої контролюють заданий параметр електричного кола, що захищається автоматичним вимикачем, та, впливаючи на механізм вільного розчеплення, вимикають вимикач при відхиленні значення параметра від встановленого. Вони являють собою реле або елементи реле, вбудовані у вимикач з використанням його елементів чи прилаштовані до його конструкції. В теперішній час все більшого застосування знаходять розчіплювачі на принципах або на основі статичних реле і їх елементів. При цьому контролюючі і порівняльні органи розчіплювача виготовляються на напівпровідникових елементах з виходом на незалежний електромагнітний елемент (виконавчий орган), який впливає на механізм розчеплення.

Автоматичні вимикачі, як правило, забезпечуються розчіплювачами максимального струму в зоні струму перенавантаження (тепловими) і струму

короткого замикання(електромагнітними) або тільки струму короткого замикання.

Розчіплювач максимального струму на основі статичних реле складається з напівпровідникового блоку (БНП), вимірювальних елементів, що вбудовані в кожен полюс вимикача, і вихідного електромагнітного елемента. Вимірювальними елементами слугують трансформатори струму на змінному струмі, шунти чи трансформатори постійного струму на постійному струмі. Розчіплювачі можуть бути виготовлені: без витримки часу спрацьовування; із незалежною від струму витримкою часу; з обернено залежною від струму витримкою часу.

Автоматичні вимикачі можуть бути додатково забезпечені розчіплювачами:

- незалежним – для дистанційного вимкнення вимикача при подаванні на розчіплювач відповідної напруги;
- мінімальної чи нульової напруги – для автоматичного вимкнення вимикача при зниженні напруги на входних затискачах нижче відповідного рівня чи при її зникненні.

Схема автоматичного вимикача з розчіплювачем максимального струму миттєвої дії показана на рис.3.10, а.

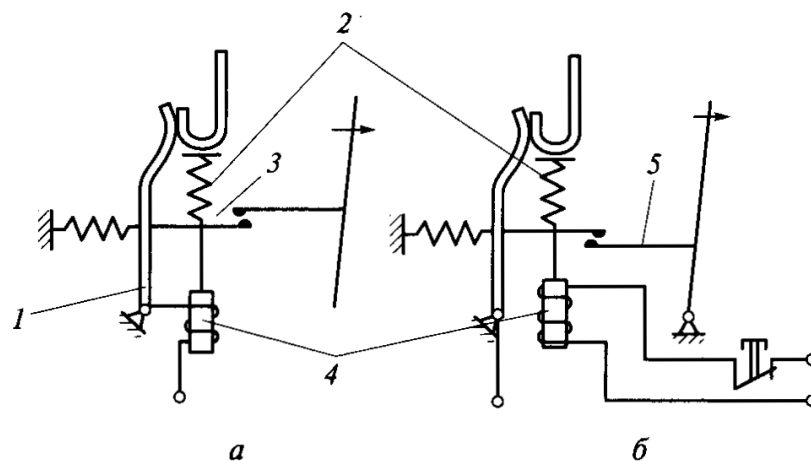


Рисунок 3.10 - Схема розчіплювача максимального струму - (а) і розчіплювача мінімальної напруги (б): 1 - струмовідна шина; 2 - пружина; 3 - механізм вільного розчеплення(показаний спрощено); 4 - якорь; 5 - защіпка

Струмопровідну шину 1 полюса вимикача охоплює магнітопровід, який складається із осердя 2 та якоря 3. Коли струм буде вище встановленого значення, тягове зусилля перевищить зусилля пружини 5, якорь притягнеться і

поверне вимикаючий валик 4. Механізм вільного розчеплення звільниться і вимикач вимкнеться. Регулювання струму спрацювання здійснюється натягом пружини 5.

Розчіплювач мінімальної напруги (рис.3.10, б) містить електромагніт, що складається з осердя 2, якоря 4 та котушки 3, на яку подається контрольована напруга. При нормальних режимах роботи якір притягнутий. При зниженні контрольованої напруги нижче встановленого значення (уставки) якір під дією пружини регулювання (вона ж і пружина вимикання) 5 відпаде тадіючи на механізм вільного розчеплення через заціпку 5 вимкне вимикач. Магнітна система розчіплювача виготовляється так, що магніторушійної сили котушки при нормальній напрузі недостатньо для притягнення якоря, але достатньо для його утримання. Якір притягається при підготовці вимикача до увімкнення за допомогою важелів, з'єднаних з валом вимикача.

Незалежний розчіплювач напруги являє собою електромагніт, який притягує свій якір при увімкненні котушки на відповідну напругу. Своїм кінцем якір діє на механізм вільного розчеплення, що вимикає автоматичний вимикач.

Наведемо додатково описи розчіплювачів модульних автоматичних вимикачів електротехнічної компанії E.NEXT.UKRAINE.

Тепловий розчіплювач автоматичного вимикача (рис.3.11) являє собою консольно закріплену в корпусі біметалеву пластину, вільний кінець якої через важіль взаємодіє з механізмом вільного розчеплення.

Біметалева пластина в модульних автоматичних вимикачах увімкнена послідовно з котушкою електромагнітного розчіплювача (соленоїда) в коло силових контактів.

При перевантаженні за струмом біметалева пластина нагрівається, згинається і тисне на важіль механізму вільного розчеплення.

Через проміжок часу, що регламентується часо-струмовою характеристикою вимикача, пластина, досягнувши граничного вигину, через важіль викликає спрацювання механізму вільного розчеплення і вимкнення автоматичного вимикача.

Тепловий розчіплювач є пристроєм сповільненої дії і не реагує на короткочасні стрибки струму.

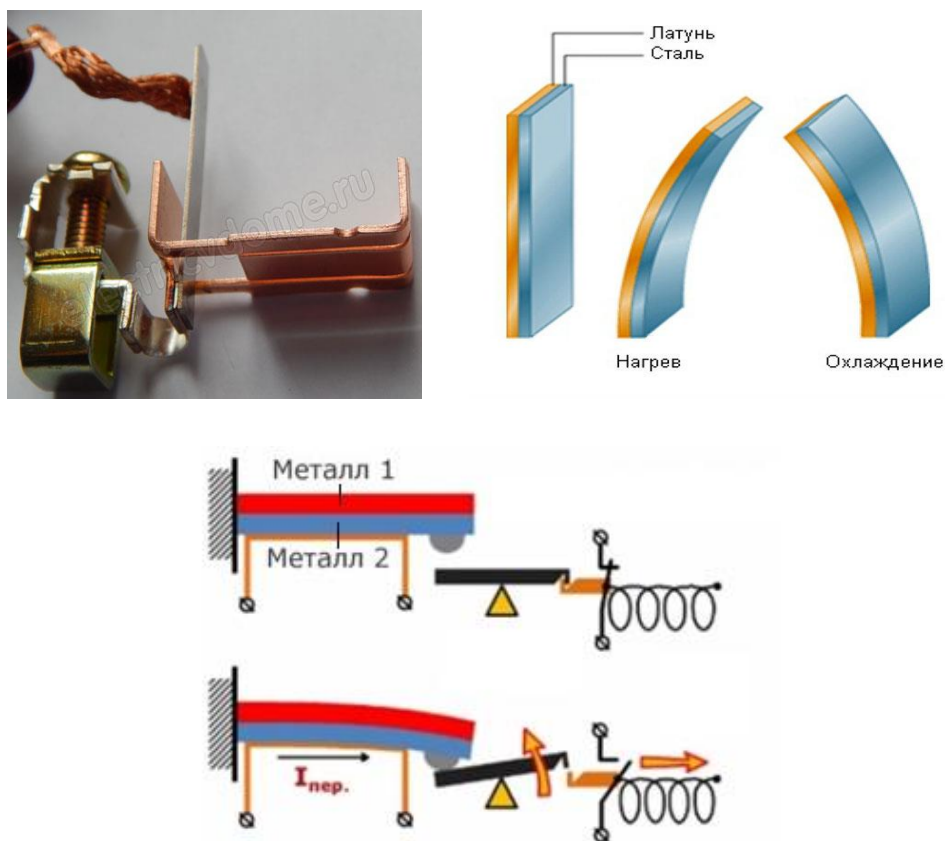


Рисунок 3.11 - Тепловий розчіплювач модульного автоматичного вимикача

Електромагнітний розчіплювач автоматичного вимикача (рис.3.12) являє собою електромагніт (соленоїд) з підпружиненим осердям.

Електрично котушка розчіплювача увімкнена послідовно із тепловим розчіплювачем у коло силових контактів вимикача.

При протіканні номінального струму створюваний ним магнітний потік недостатній для втягування осердя.

При короткому замиканні різке зростання струму приводить до виникнення значного магнітного потоку і відповідно, втягування осердя соленоїда з переборенням зусилля пружини та зрештою вимкнення автоматичного вимикача.

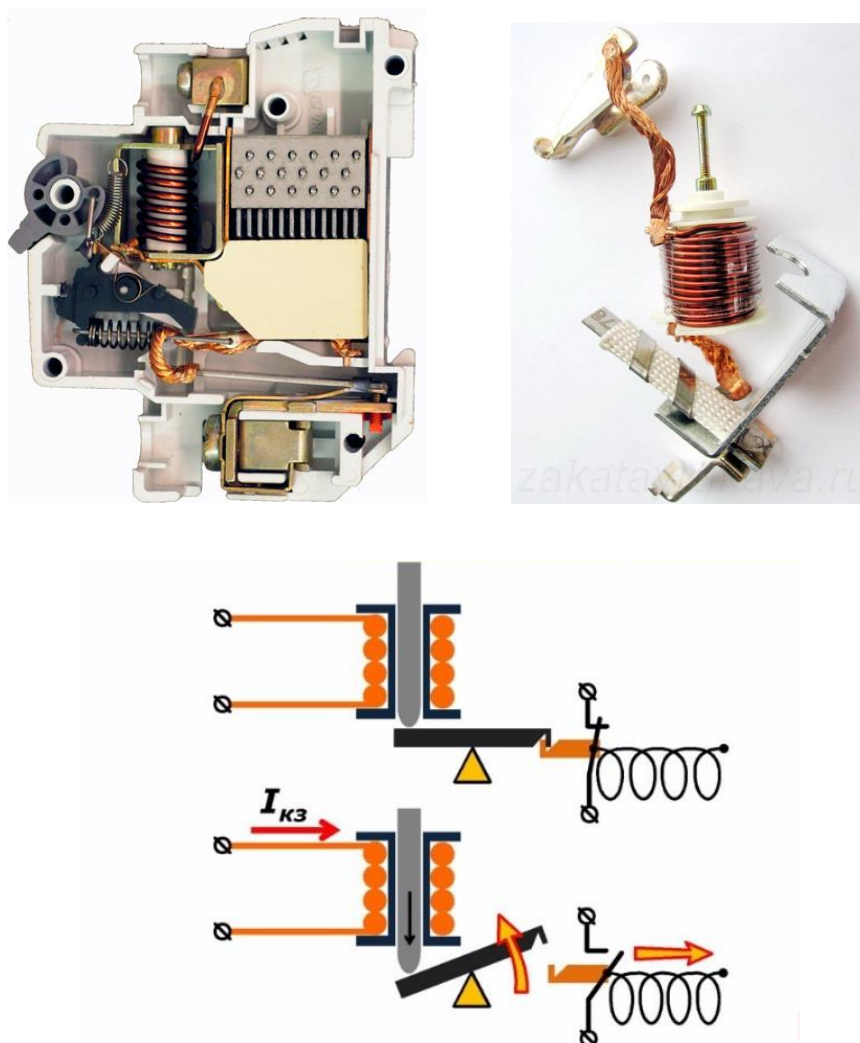


Рисунок 3.12 – Електромагнітний розчіплювач модульного автоматичного вимикача

Незалежний розчіплювач e.mcb.sht (рис.3.13, а) призначений для дистанційного вимкнення автоматичних вимикачів серій e.stand і e.pro подаванням на нього імпульсу керуючої напруги.

Встановлюється з правого боку модульних автоматичних вимикачів і входить в зачеплення штифтами з розчіплювачем і рукояткою керування автоматичного вимикача.

Розчіплювач мінімальної напруги e.industrial.acs.zu.400, 400В (рис.3.13, б) призначений для вимкнення автоматичних вимикачів серії e.industrial при зниженні мережевої напруги нижче рівня $0,8U_{ном}$.

Встановлюється з правого боку модульних автоматичних вимикачів і входить в зачеплення штифтами з розчіплювачем і рукояткою керування автоматичного вимикача.

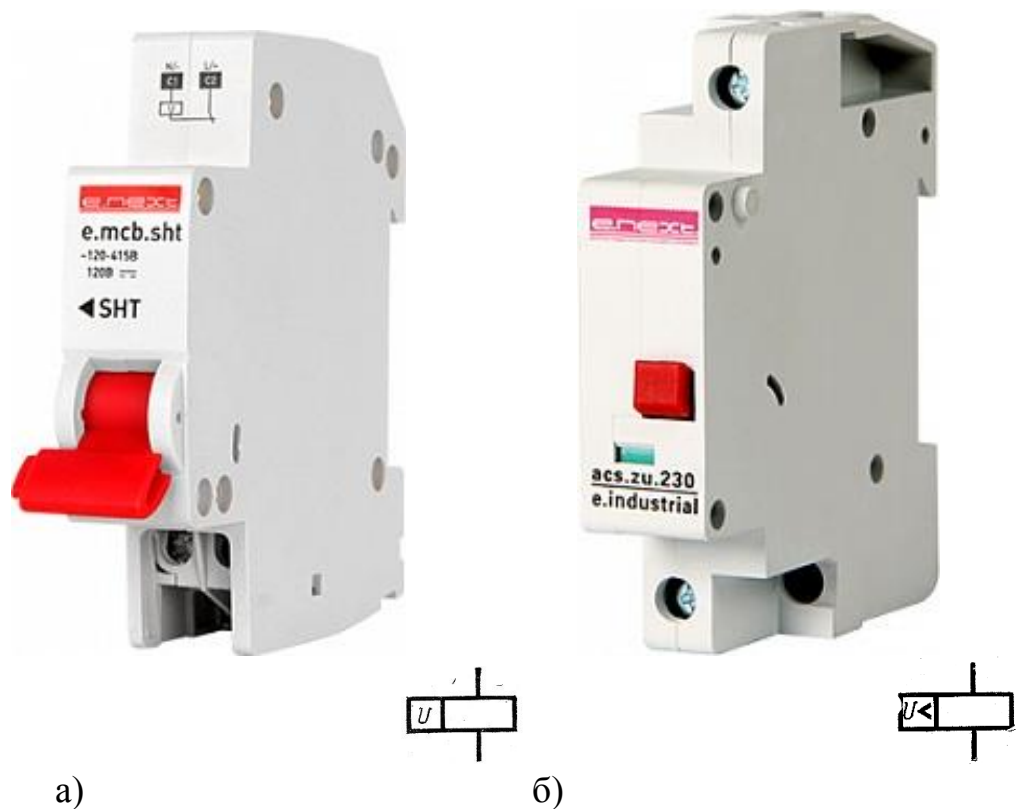


Рисунок 3.13 – Розчіплювачі модульного автоматичного вимикача e.mcb.pro.60.2.C 6 new: а) незалежний; б) мінімальної напруги

Розімкнення контактів автоматичного вимикача при проходженні струму (особливо струму короткого замикання) приводить до утворення електричної дуги, для гасіння якої вимикач оснащується дугогасильними камерами (у кожному полюсі).

Потужність дуги пропорційна струму в комутуваному колі. Чим потужніша дуга, тим більше руйнуються нею силові контакти вимикача і пошкоджуються пластмасові деталі корпусу.

Вимкнення великих струмів короткого замикання в обмеженому об'ємі має забезпечувати система дугогасіння. Під дією виникаючих електродинамічних зусиль дуга швидко розтягується та гасне, але її полум'я займає дуже великий простір. Завдання дугогасильної системи полягає в тому, щоб обмежити розміри дуги та забезпечити її гасіння в малому об'ємі. З цією метою широкого розповсюдження набули дугогасильні камери (рис.3.14) з дугогасильними решітками та камери з вузькими щілинами. В сучасних конструкціях все більшого застосування знаходять дугогасильні решітки, що утворюють такі комбіновані пристрої, як камера з дугогасильною решіткою плюс дугогасильна решітка, камера з дугогасильною решіткою у вузькій щілині плюс дугогасильна решітка і т.д.

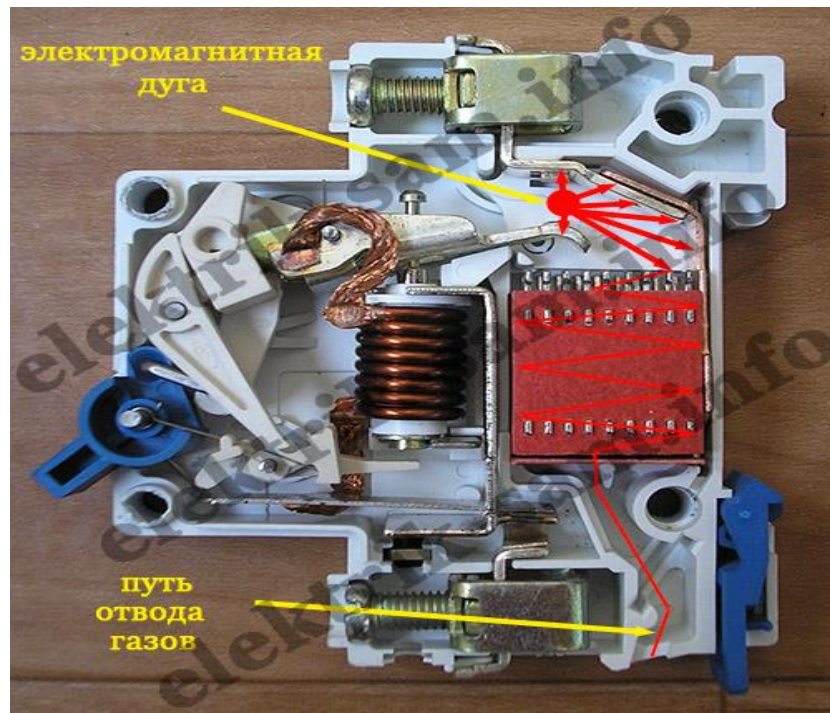


Рисунок 3.14 – Пояснення роботи дугогасильної камери модульного автоматичного вимикача

В автоматичних вимикачах широко використовується деіонна дугогасильна решітка, що складається з металевих пластин (рис.3.15). У колах змінного струму напругою до 690 В подібні пристрої здатні гасити дугу з струмом до 50 кА. У колах постійного струму напругою до 440 В дугогасильні камери зі сталевих пластин успішно гасять дугу з струмом до 55кА. Гасіння дуги відбувається досить спокійно з мінімальним викидом розігрітих іонізованих газів.

Дугогасильна камера, що розташовується в зоні силових контактів, обмежує дію електричної дуги в локальному об'ємі.

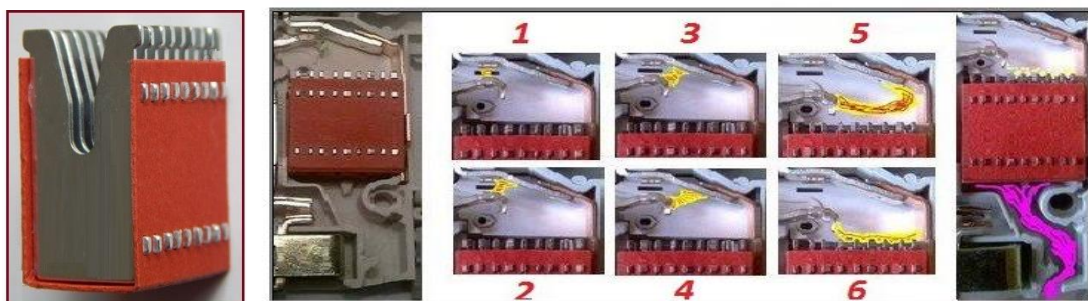


Рисунок 3.15 - Дугогасильна камера автоматичного вимикача, (а) і стадії гасіння електричної дуги в дугогасильній камері (б)

В камері дуга розпадається на дрібні частини, попадаючи на покриті міддю пластини, охолоджується і припиняє своє існування.

Гази, що виділяються при горінні дуги, виводяться через отвори в дні камери і корпусі автоматичного вимикача (рис.3.15).

Гранична комутаційна здатність вимикання за короткого замикання (ultimate shortcircuit breaking capacity) - комутаційна здатність вимикання, для якої запропоновані умови відповідно до зазначеного циклу випробовування не передбачають здатності автоматичного вимикача проводити силу струму, що дорівнює 0,85 від його сили струму нерозчіплювання, протягом умовного проміжку часу (за ДСТУ ІЕС 60898-1:2005).

В основному використовуються автоматичні вимикачі з граничною вимикальною здатністю 4500 А, 6000 А і 10000 А, які вказуються на корпусі вимикача в прямокутнику (рис.3.16,а).

Клас струмообмеження визначається часом від моменту початку розмикання силових контактів автоматичного вимикача до моменту повного гасіння електричної дуги в дугогасильній камері.

Є три класи струмообмеження за часом гасіння електричної дуги: 1 – 2,5...6 мс; 2 – 6...10 мс; 3 – понад 10 мс. Клас струмообмеження вказується під значенням граничної вимикальної здатності в чорному квадраті (рис.3.16,б). Автоматичні вимикачі з 1-м класом струмообмеження не маркуються.

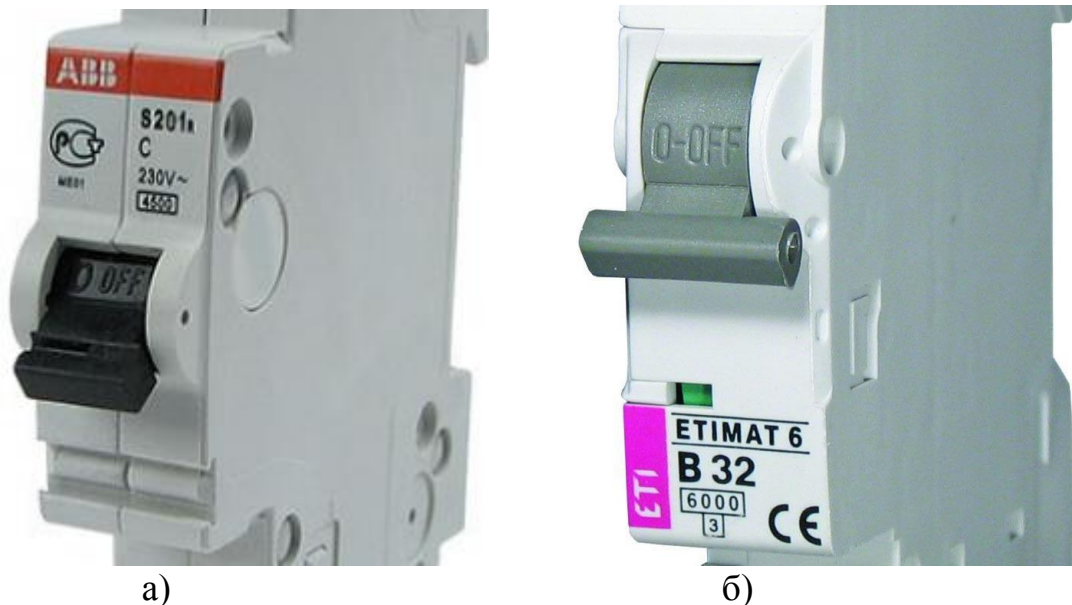


Рисунок 3.16 - Позначення граничної комутаційної здатності (4500) і класу струмообмеження (3) автоматичного вимикача

3.4 Характеристики автоматичних вимикачів

ДСТУ EN 60898-1:2014 Устаткування електричне допоміжне. Автоматичні вимикачі для захисту від надструмів побутового та аналогічного призначення. Частина 1. Вимикачі змінного струму містить наступний перелік характеристик(текст за стандартом):

5.1 Перелік характеристик

Потрібно зазначати такі характеристики автоматичних вимикачів:

- кількість полюсів
- захист від впливу зовнішніх чинників
- спосіб монтування і спосіб з'єднування;
- значення номінальної робочої напруги
- значення номінальної сили струму;
- значення номінальної частоти;
- діапазон сили струму миттєвого розчіплювання;
- значення номінальної комутаційної здатності за короткого замикання;
- I^2t характеристика;
- I^2t класифікація.

5.2 Номінальні значення

5.2.1 Номінальні напруги

5.2.1.1 Номінальна робоча напруга (U_e)

Номінальна робоча напруга (далі — номінальна напруга) автоматичного вимикача — це значення напруги, яке установив виробник, пов'язане з його функціонуванням (особливо за короткого замикання).

Примітка. Для того самого автоматичного вимикача може бути встановлено кілька номінальних напруг і пов'язаних значень номінальної комутаційної здатності за короткого замикання.

5.2.1.2 Номінальна напруга ізоляції (U_i)

Номінальна напруга ізоляції автоматичного вимикача — це значення напруги, яке установив виробник, за якого визначають випробувальні напруги діелектрика та довжину шляху струму спливу.

Якщо інше не зазначено, то значення номінальної напруги ізоляції — це максимальне значення номінальної напруги автоматичного вимикача. Значення максимальної номінальної напруги не повинно перевищувати значення номінальної напруги ізоляції.

5.2.1.3 Номінальна імпульсна витримувана напруга (U_{imp})

Номінальна імпульсна витримувана напруга автоматичного вимикача дорівнює стандартному значенню номінальної імпульсної витримуваної напруги чи вище, що зазначено в таблиці 3.

5.2.2 Номінальна сила струму (I_n)

Сила струму, яку зазначив виробник, — це сила струму, яку автоматичний вимикач може проводити в безперервному режимі роботи за визначеної контрольної температури навколишнього повітря.

Стандартна контрольна температура навколишнього повітря становить 30°C. Якщо для автоматичного вимикача застосовують іншу контрольну температуру навколишнього повітря, то необхідно брати до уваги її вплив на захист кабелів від перевантаження, бо згідно з правилами монтування, воно також ґрунтується на контрольній температурі навколишнього повітря 30°C.

Примітка. Для довідки, контрольну температуру навколишнього повітря 25°C для захисту від перевантаження кабелів було встановлено згідно з IEC 60364.

5.2.3 Номінальна частота

Номінальна частота автоматичного вимикача — це промислова частота, на яку автоматичний вимикач розроблено та якому відповідають значення інших характеристик.

Той самий автоматичний вимикач може бути призначено для кількох значень номінальної частоти.

5.2.4 Номінальна комутаційна здатність за короткого замикання (I_{cn})

Номінальна комутаційна здатність за короткого замикання — це значення максимальної комутаційної здатності за короткого замикання (див.3.5.5.1), яке встановив виробник на автоматичний вимикач.

Примітка. Цій номінальній комутаційній здатності за короткого замикання автоматичного вимикача відповідає робоча комутаційна здатність за короткого замикання (I_{cs}) (див. таблицю 18).

5.3 Стандартні та переважні значення

5.3.1 Переважні значення номінальної напруги

Переважні значення номінальної напруги наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Автоматичний вимикач	Коло живлення автоматичного вимикача	Номінальна напруга автоматичного вимикача застосовувана в системах 230 В, 230/400В, 400В	Номінальна напруга автоматичного вимикача застосовувана в системах 120/240В, 240В
Однополюсний	Однофазний (фаза — нейтраль або фаза — фаза)	230	—
	Трифазний — чотирипровідний	230	—
	Однофазний (фаза — заземлений середній провідник або фаза — нейтраль)	—	120
	Однофазний (фаза — нейтраль) або трифазний, використовують три однополюсних автоматичних вимикача (трипровідний або чотирипровідний)	230/400	
Двополюсний	Однофазний (фаза — нейтраль або фаза — фаза)	230	—
	Однофазний (фаза — фаза)	400	240
	Однофазний (фаза — фаза, трипровідний)	—	
	Трифазний (чотирипровідний)	230	—
Триполюсний	Трифазний (три провідний або чотирипровідний)	400	240
Чотирипровідний	Трифазний (чотирипровідний)	400	—

Примітка 1. И ІЕС 60038 значення напруги мережі електроживлення 230/400 В стандартизовані. Це значення має поступово замінити значення 220/380 В та 240/415 В.

Примітка 2. Скрізь, де в цьому стандарті є осилання на 230 В або 400 В, їх можна розуміти, як 220 В або 240 В, 380 або 415 В, відповідно.

Примітка 3. Скрізь, де в цьому стандарті є посилення на 120 В або 120/240 В, їх можна розуміти, як 100 В або 100/200 В, відповідно.

3.5 Часо-струмові характеристики автоматичних вимикачів

На корпусах модульних автоматичних вимикачів зображені латинські букви: В, С або D (рис.3.17), які позначають тип часо-струмової захисної характеристики вимикача.

Згідно з ГОСТ Р 50345-99, п.3.5.17 - це найменша величина струму, при якому автоматичні вимикачівний вимикач спрацює (відключиться) без витримки часу, тобто його електромагнітний захист.



Рисунок 3.17 – Модульний автоматичний вимикач (часо-струмові характеристики С і D відповідно)

ГОСТ Р 50345-99, п.5.3.5. встановлює три стандартні характеристики (типи миттєвого розчеплення):

- **В** - від $3 \cdot I_n$ до $5 \cdot I_n$;
- **С** - від $5 \cdot I_n$ до $10 \cdot I_n$;
- **Д** - від $10 \cdot I_n$ до $20 \cdot I_n$ (зустрічаються від $10 \cdot I_n$ до $50 \cdot I_n$)

I_n - номінальний струм автоматичного вимикача.

На наведених графіках часо-струмових захисних характеристик показана залежність часу вимкнення автоматичного вимикача ВА47-29(для прикладу) від струму, що протікає через нього.

По осі Х відкладена кратність струму в колі до номінального струму автоматичного вимикача (I / I_n), а по осі Y - час спрацьовування, в секундах.

Графік часо-струмової захисної характеристики розділений двома лініями, які визначають розкид часу спрацьовування теплового та електромагнітного розчіплювачів автоматичного вимикача. Нижня лінія - це гарячий стан автоматичного вимикача (після спрацьовування), а верхня лінія - це холодний стан.

Примітка. Характеристики практично всіх автоматичних вимикачів зображуються при температурі $+30^{\circ}\text{C}$.

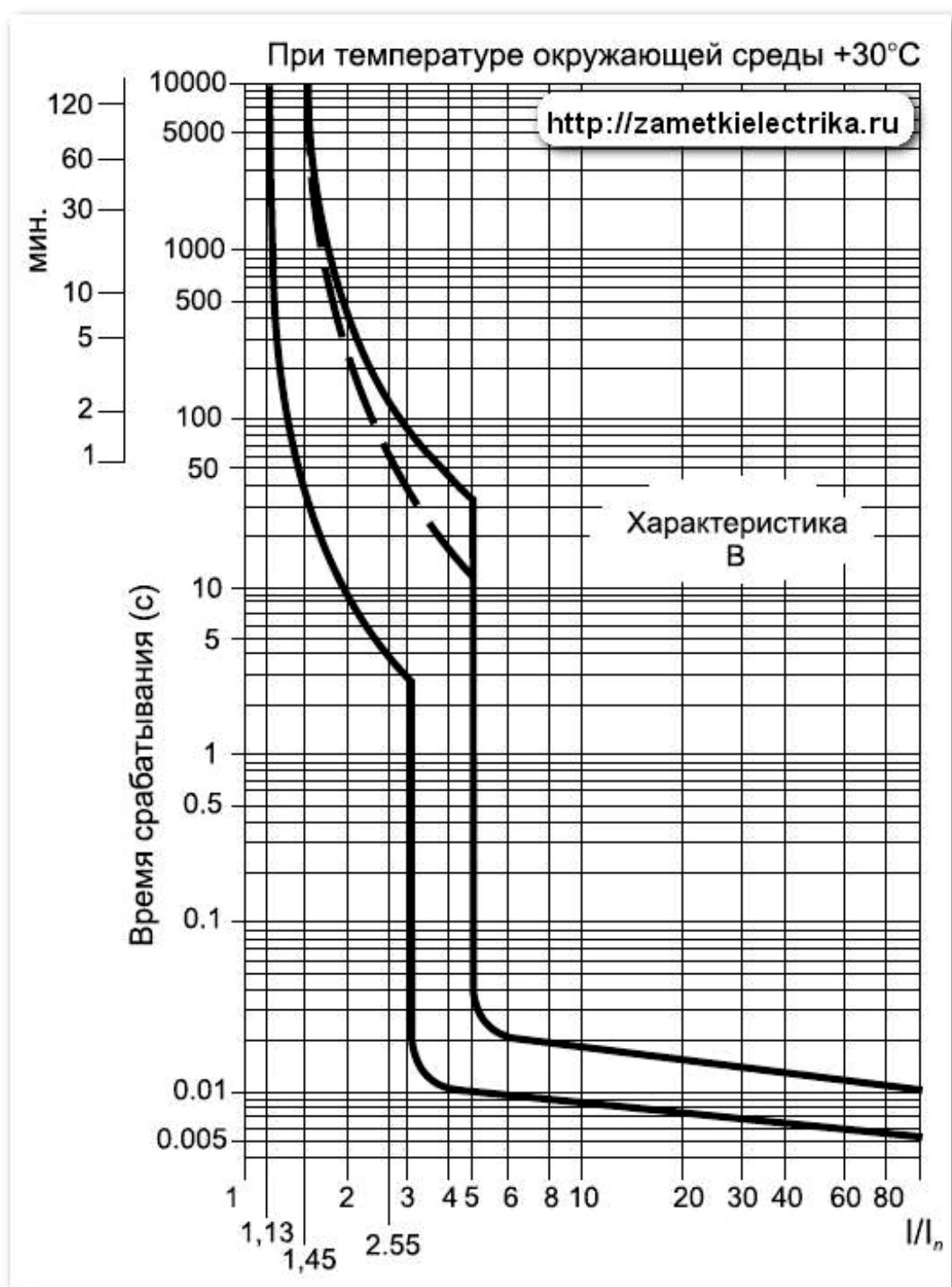
На представлених часо-струмових характеристиках (скорочено, ЧСХ) пунктирна лінія - це верхня межа (межа) для автоматичних вимикачів з номінальним струмом менше 32 (А).

Часо-струмова захисна характеристика типу В (рис.3.18, а)

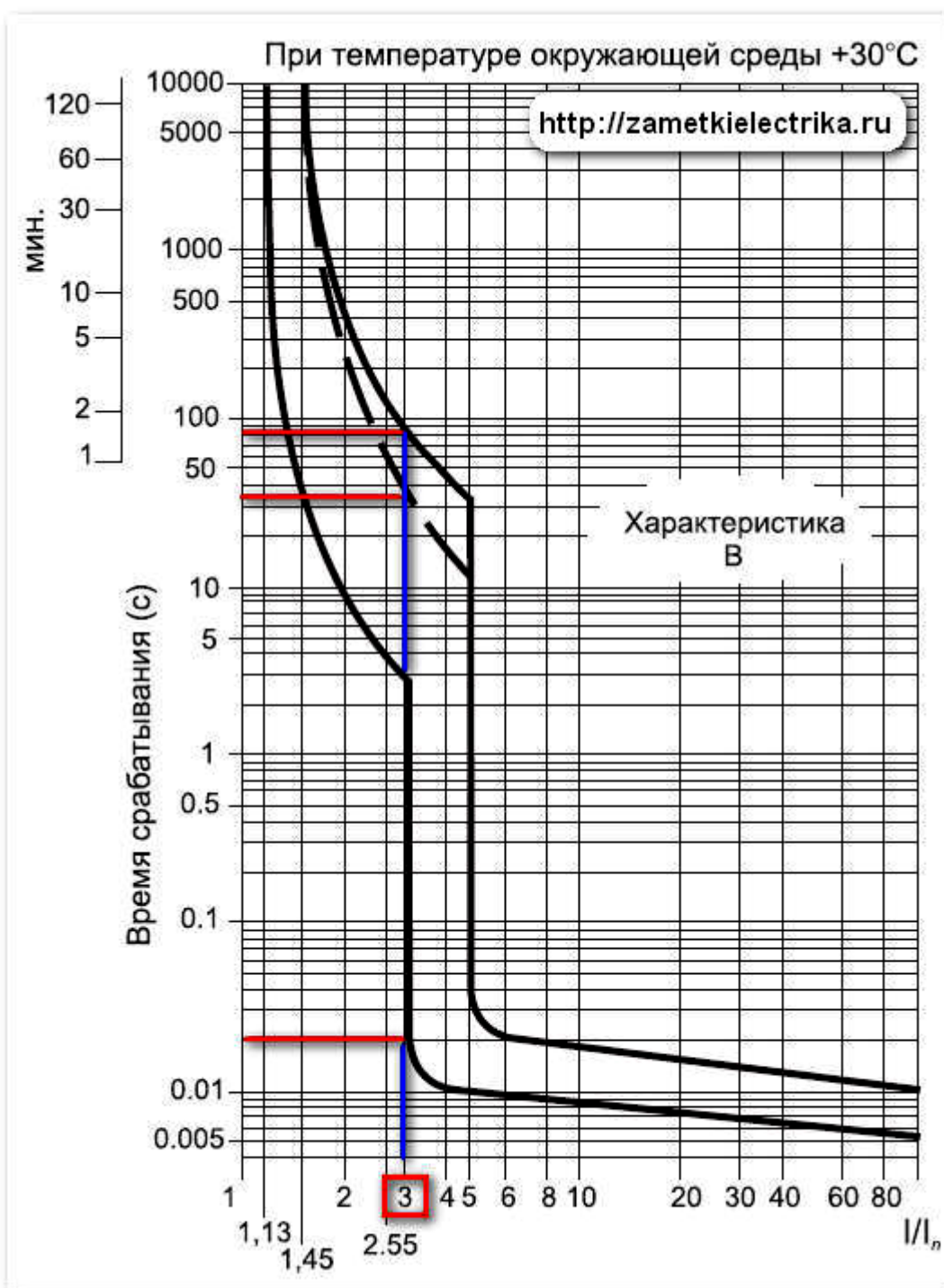
На графіку видно:

- 1) якщо через автоматичний вимикач буде проходити струм, рівний $3I_n$ (3.18, б), то він повинен відключитися за час 0,02 с в гарячому стані і за час до 35 с в холодному стані (для автоматичних вимикачів номінальним струмом менш 32А) та до 80 с в холодному стані (для автоматичних вимикачів номінальним струмом більш 32А);
- 2) якщо через автоматичний вимикач буде проходити струм, рівний $5I_n$ (3.18, в), то він повинен відключитися за 0,01 с в гарячому стані або за 0,04 с в холодному.

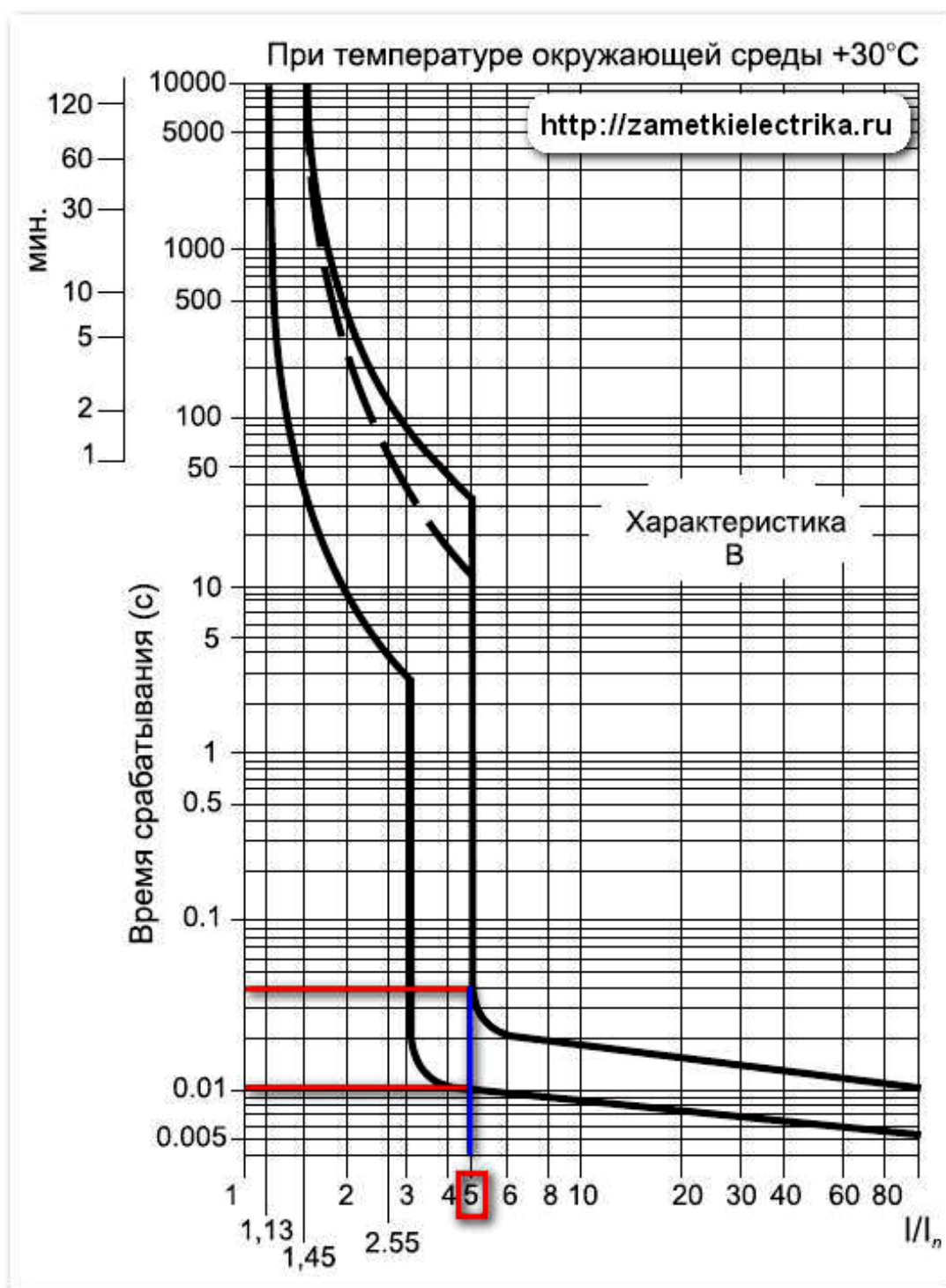
Автоматичні вимикачі з характеристикою В застосовуються в основному для захисту струмоприймачів з переважно активним навантаженням, наприклад, електричні печі, електричні обігрівачі, кола освітлення.



a)



б)



в)

Рисунок 3.18 – Часо-струмовая характеристика типу В

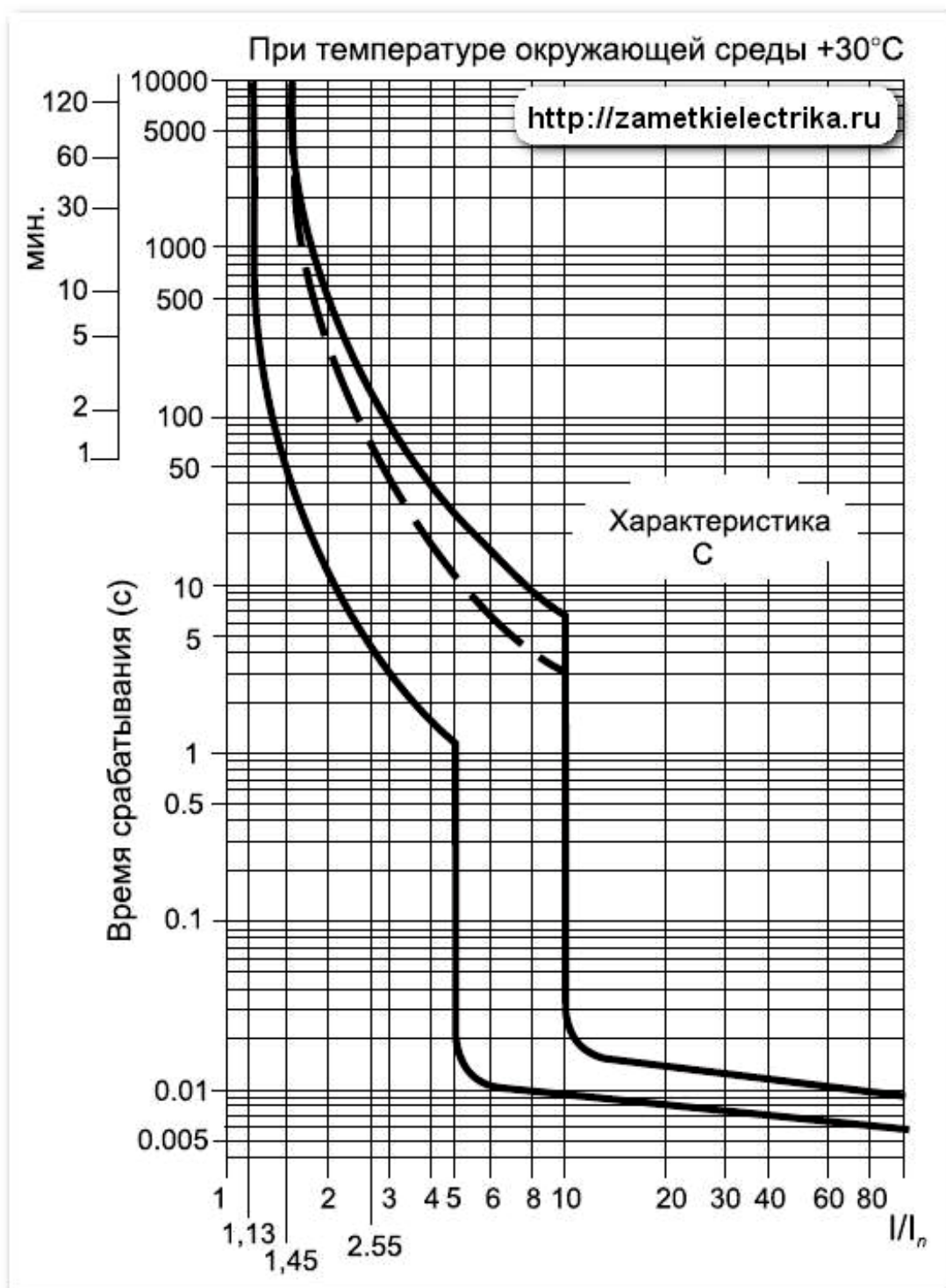
Часострумова захисна характеристика типу С (рис.3.19, а)

На графіку видно:

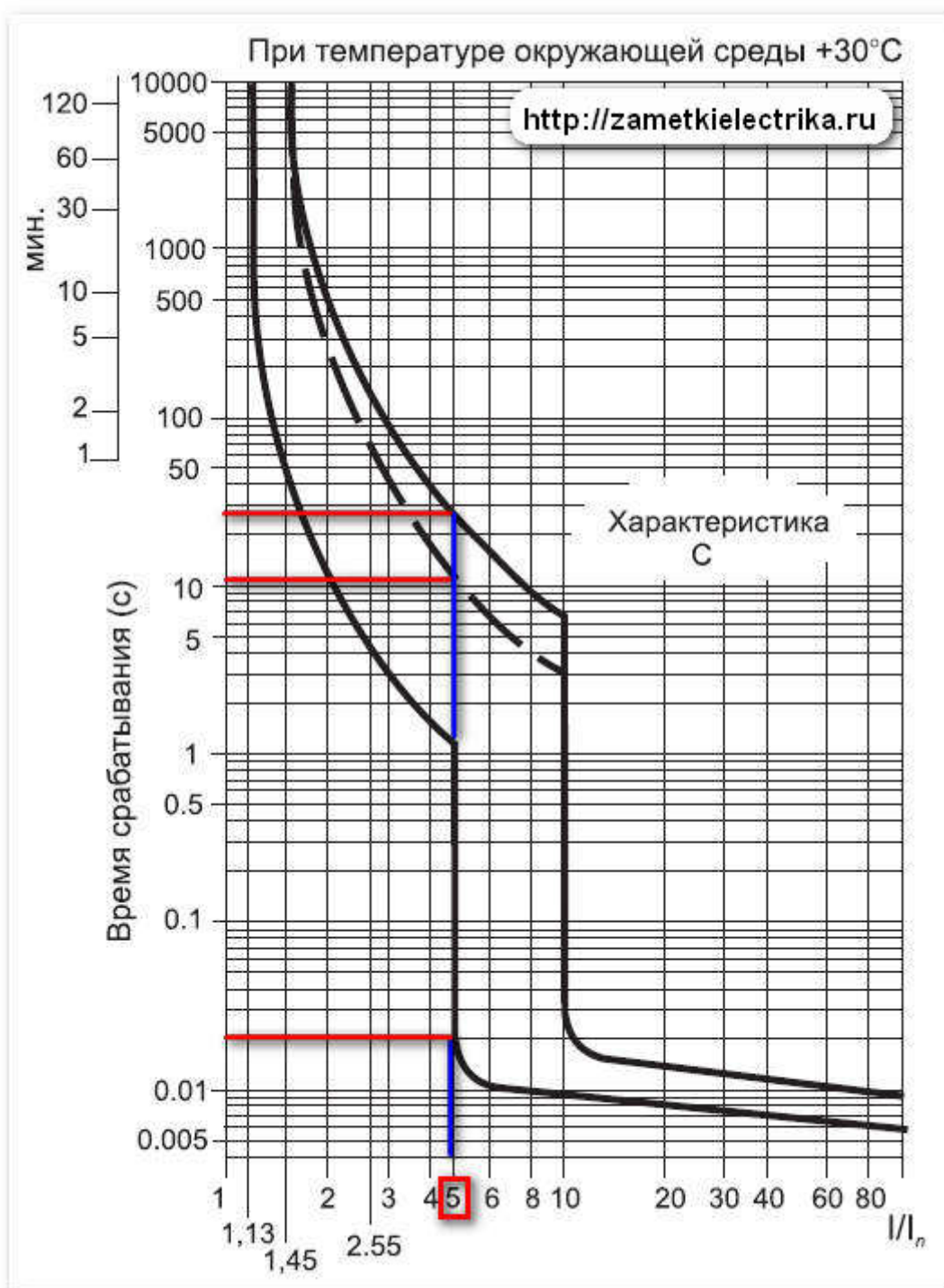
1) якщо через автоматичний вимикач буде проходити струм, рівний $5I_n$ (рис.3.19, б), то він повинен відключитися за час 0,02 с в гарячому стані, до 11 с в холодному стані (для автоматичних вимикачів номінальним струмом менш 32А) і до 25 с в холодному стані (для автоматичних вимикачів номінальним струмом більш 32А);

2) якщо через автоматичні вимикачівний вимикач буде проходити струм, рівний $10I_n$ (рис.3.19, в), то він повинен відключитися за 0,01 с в гарячому стані або за 0,03 с в холодному.

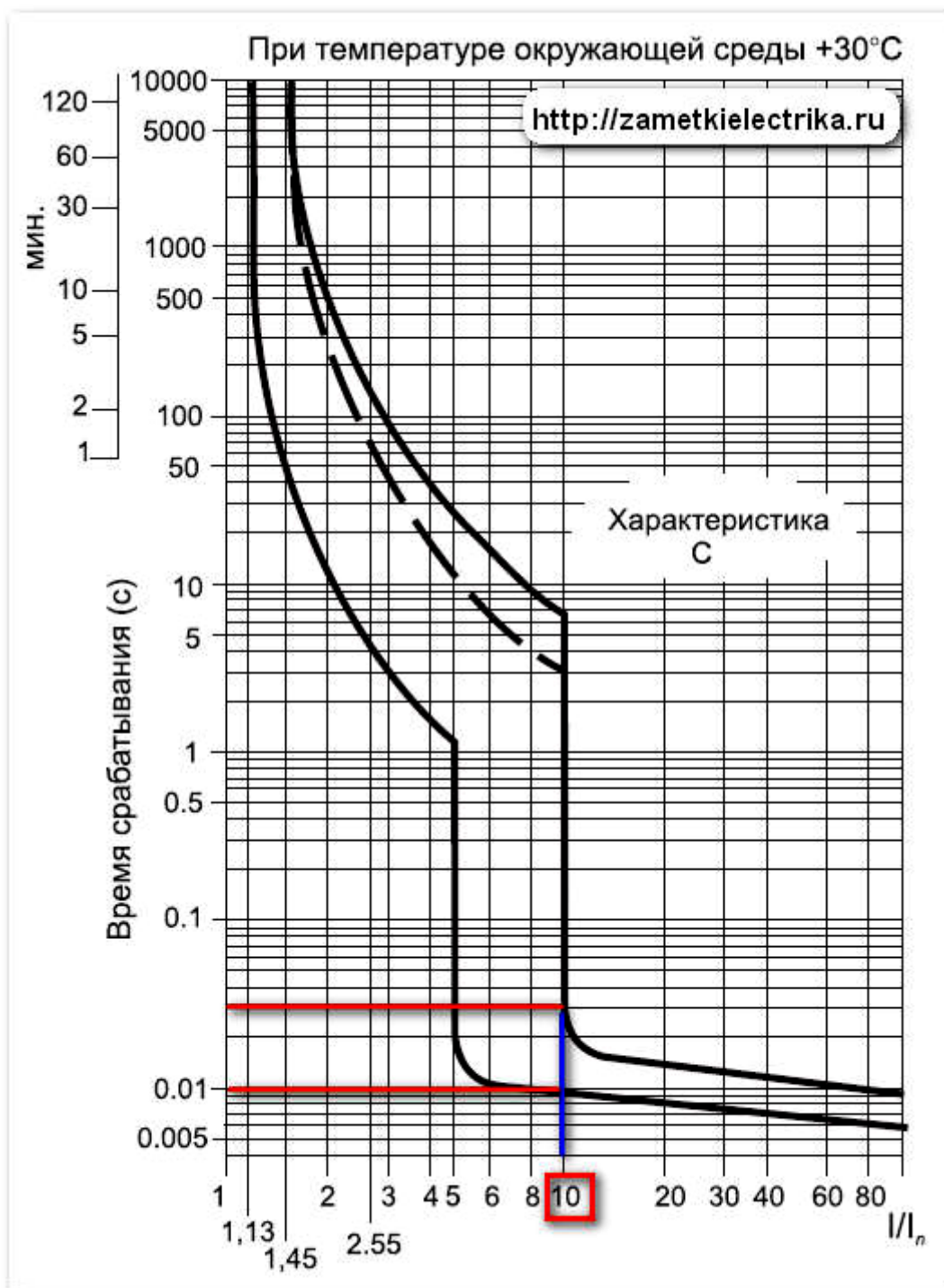
Автоматичні вимикачі з характеристикою С застосовуються в основному для захисту трансформаторів і двигунів з малими пусковими струмами. Також їх можна використовувати для живлення ланцюгів освітлення. Знайшли вони досить широке поширення в житловому фонді, хоча свою думку про це я висловив трохи вище.



a)



б)



в)

Рисунок 3.19 – Часо-струмовая характеристика типу С

Часострумова захисна характеристика типу D (рис.3.20, а)

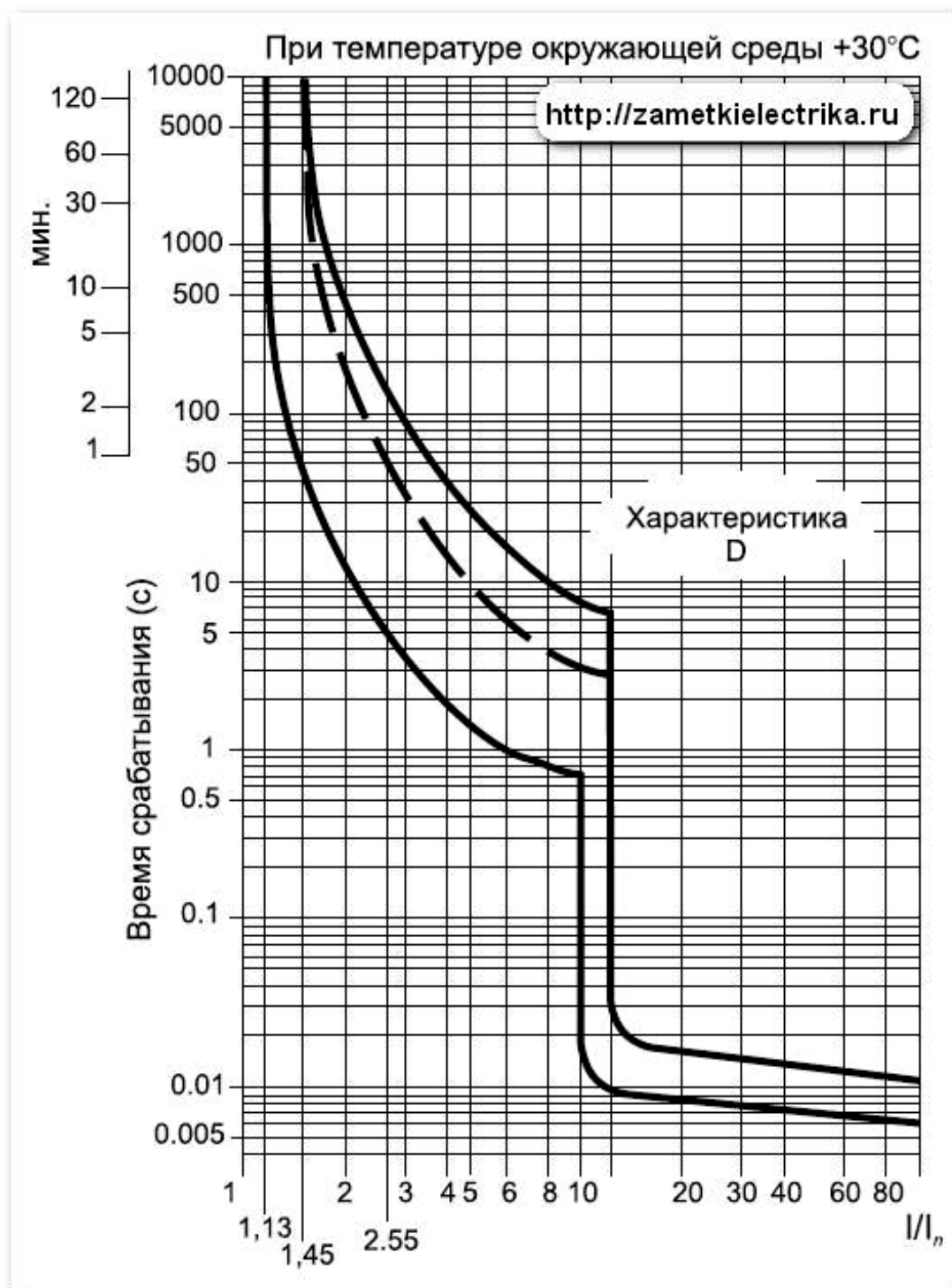
На графіку видно:

1) якщо через автоматичний вимикач буде проходити струм, рівний $10 \cdot I_n$ (рис.3.20, б), то він повинен відключитися за час 0,02 с в гарячому стані, до 3 с в холодному стані (для автоматичних вимикачів номінальним струмом менш 32А) і до 7 с в холодному стані (для автоматичних вимикачів номінальним струмом більш 32А);

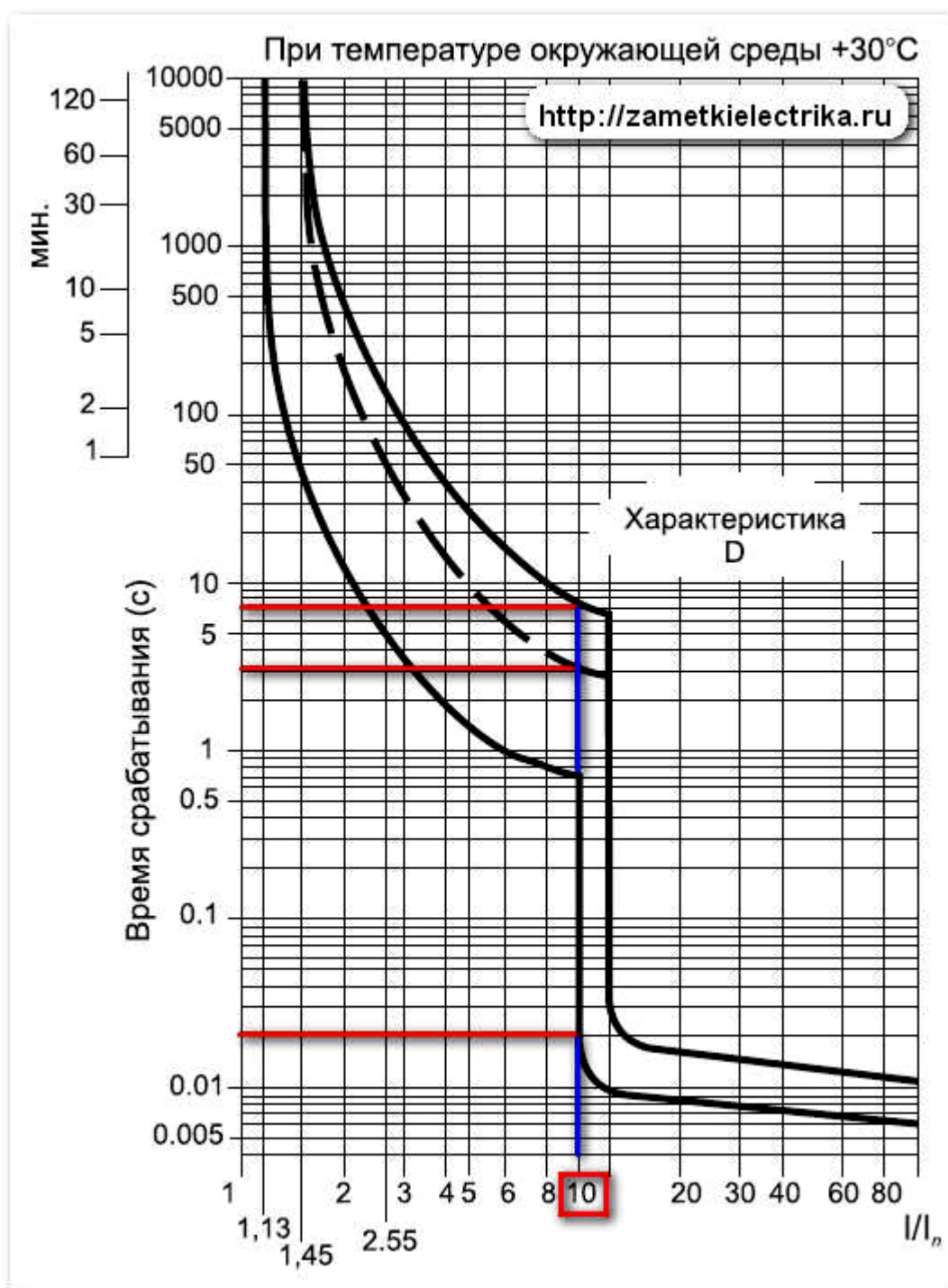
2) якщо через автоматичний вимикач буде проходити струм, рівний $20 \cdot I_n$ (рис.3.20, в), то він повинен відключитися за 0,009 с в гарячому стані або за 0,02 с в холодному.

Автоматичні вимикачі з характеристикою D застосовуються в основному для захисту електричних двигунів з частими пусками або значними пусковими струмами (важкий пуск).

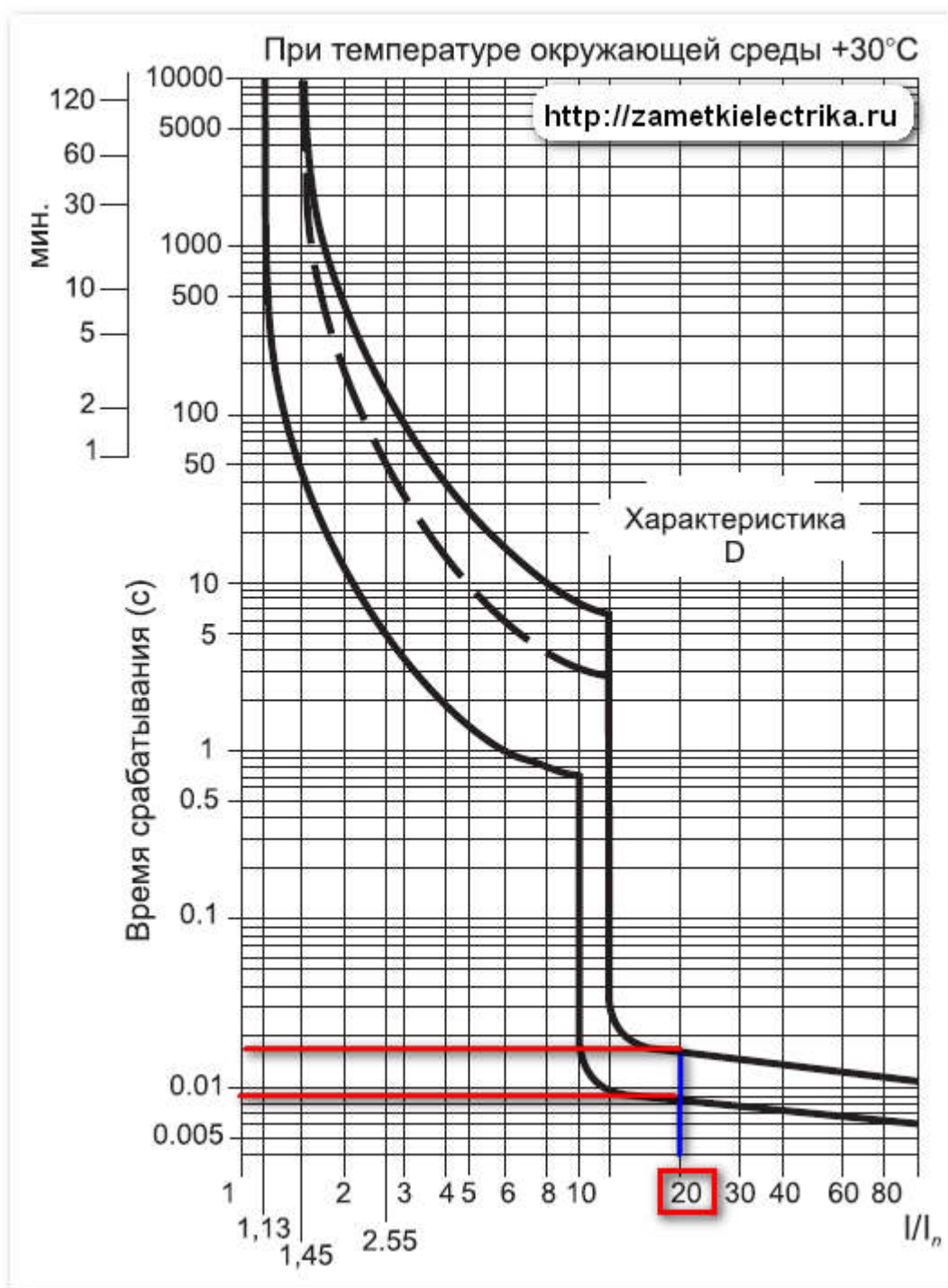
Окрім характеристик типу В, С і D, існують ще характеристики А((2-3) I_n), К((8-18) I_n) і Z((2-4,5) I_n).



a)



б)



в)

Рисунок 3.20 – Часо-струмовая характеристика типу D

Зміна часо-струмових захисних характеристик автоматичних вимикачів

Оскільки всі часо-струмові захисні характеристики зображуються при температурі навколишнього повітря $+30^{\circ}\text{C}$, то щоб визначити час вимкнення автоматичних вимикачів при інших значеннях температури навколишнього середовища, необхідно враховувати наступні поправочні коефіцієнти:

1) температурний коефіцієнт навколишнього повітря – K_t (рис.3.21). Чим нижча температура повітря, тим значення коефіцієнта більше, а значить і збільшується номінальний струм автоматичного вимикача, іншими словами, його навантажувальна здатність. Або, навпаки, чим жаркіше, тим навантажувальна здатність автоматичного вимикача стає меншою. Адже не дарма, в жарких приміщеннях або літню спеку багато помічають часті вимкнення автоматичних вимикачів, хоча навантаження зовсім не змінювалася.

2)

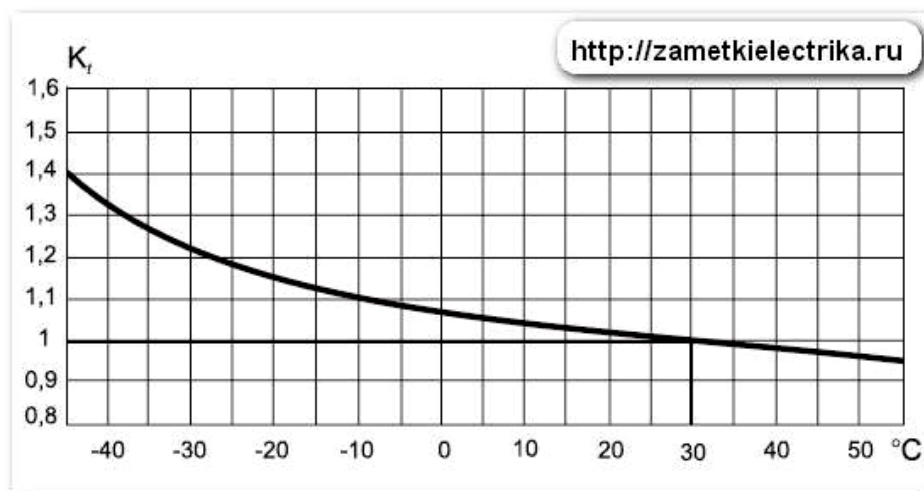


Рисунок 3.21 – Графік залежності поправочного коефіцієнта K_t від температури навколишнього середовища

3) коефіцієнт, що враховує кількість поряд встановлених автоматичних вимикачів – K_n .

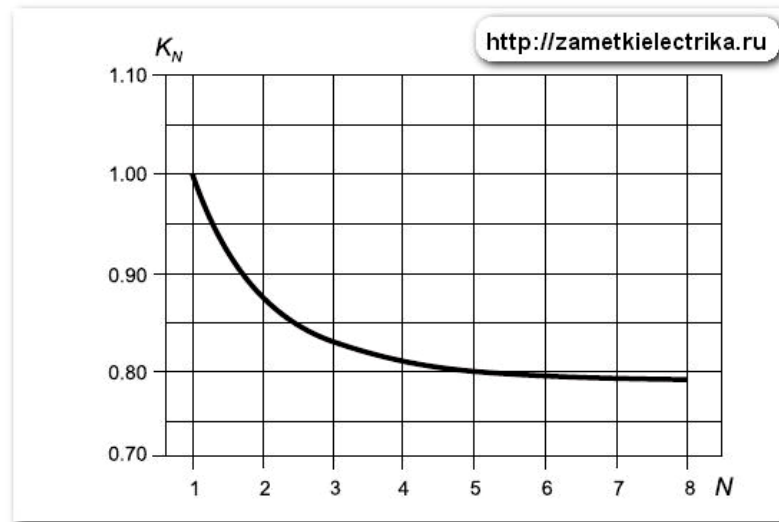


Рисунок 3.22 – Графік залежності поправочного коефіцієнта K_n від кількості рядів встановлених автоматичних вимикачів

Коли в одному ряду встановлено кілька автоматичних вимикачів, то вони передають своє тепло встановленим поруч вимикачам. Графік (рис.3.21) враховує конвекцію тепла і видає коригуючий коефіцієнт, що враховує цей фактор.

Очевидно, що чим більше встановлено в одному ряду автоматичних вимикачів, тим більше зменшується їх навантажувальна здатність.

Далі необхідно знайти струм, приведений до умов реального навколишнього середовища та монтажу вимикачів:

$$I_n^* = I_n \cdot K_t \cdot K_n$$

Приклад. Розподільчий щиток встановлений на вулиці, в ньому встановлені 4 автоматичні вимикачі - один ввідний (ВА47-29 С40) і три групових (ВА47-29 С16). Температура навколишнього повітря становить мінус 10°C.

Поправочні коефіцієнти для групового автоматичного вимикача ВА47-29 С16 становлять $K_t = 1,1$; $K_n = 0,82$.

Струм, приведений до реальних умов:

$$I_n^* = I_n \cdot K_t \cdot K_n = 16 \cdot 1,1 \cdot 0,82 = 14,43 \text{ (A)}$$

Таким чином, при визначенні часу спрацьовування автоматичного вимикача із струмочасовою захисною характеристикою С кратність струму потрібно брати не як відношення I / I_n ($I / 16$), а як I / I_n^* ($I / 14,43$).

Поняття «умовного струму невимкнення» і «умовного струму вимкнення»

У кожного автоматичного вимикача є таке поняття, як «умовний струм невимкнення» і він завжди дорівнює **1,13 In**. За часо-струмовою захисною характеристикою це чітко видно (рис.3.23), тобто при такому струмі автоматичний вимикач взагалі не вимкнеться.

Приклад. При протіканні через автоматичний вимикач ВА47-29 С16 струму $1,13 \cdot I_n = 18,08 \text{ (A)}$ він взагалі ніколи не вимкнеться.

Ось ще кілька прикладів для автоматичних вимикачів з номінальними струмами 10; 20; 25; 32 і 40 А:

10 (А) - 11,3 (А)

20 (А) - 22,6 (А)

25 (А) - 28,25 (А)

32 (А) - 36,16 (А)

40 (А) - 45,2 (А)

Існує також «умовний струм вимкнення» автоматичного вимикача і він завжди дорівнює **1,45In**. При такому струмі автоматичний вимикач в холодному стані вимкнеться за час близько 60 хвилин (1:00).

Приклад. При протіканні через автоматичний вимикач ВА47-29 С16 струму $1,45 \cdot I_n = 23,2 \text{ (A)}$ він відключиться через 50 с в гарячому стані і приблизно через годину в холодному стані.

Таким чином автоматичний вимикач з номінальним струмом 16 (А) протягом години може тримати навантаження близько 23 (А). За цей час трижильний кабель з перерізом мідної струмовідної жили $1,5 \text{ мм}^2$, прокладений в трубі, (тривало допустимий струм нагріву становить 15 А) надмірно нагріється, що може призвести до пожежі або короткого замикання. Подібний кабель із мідними струмовідними жилами перерізом $2,5 \text{ мм}^2$ в такій ситуації відчутно нагріється, але з ладу не вийде (тривало допустимий струм нагріву становить 21 А).

Про це не варто забувати при виборі перерізу струмовідних жил проводів та кабелів електропроводки.

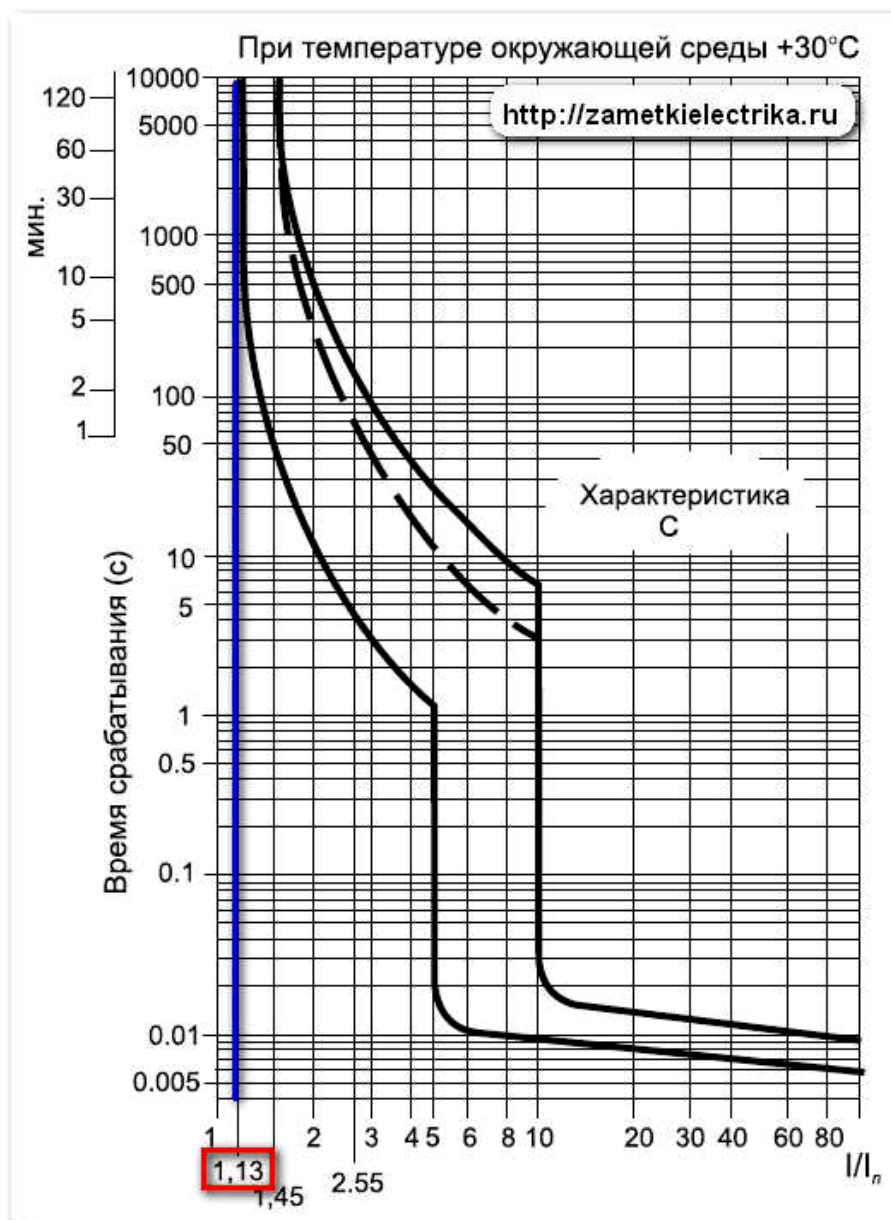


Рисунок 3.23 – «Умовний струм не вимкнення» і «умовний струм вимкнення» на часо-струмовій характеристиці автоматичного вимикача

Ще приклади «умовних струмів вимкнення» для поширених номіналів модульних автоматичних вимикачів:

- 10 (A) - 14,5 (A)
- 20 (A) - 29 (A)
- 25 (A) - 36,25 (A)
- 32 (A) - 46,4 (A)
- 40 (A) - 58 (A)

3.6 Селективність автоматичних вимикачів(захистів)

Поняття селективність за надструмів (*over-current discrimination*) визначене стандартом (ДСТУ EN 60898-1:2014 Устаткування електричне допоміжне. Автоматичні вимикачі для захисту від надструмів побутового та аналогічного призначення. Частина 1. Вимикачі змінного струму. П. 3.5.14.2) наступним чином:

- таке координування спрацьовування двох або більше пристроїв захисту від надструмів, за якого в разі виникнення надструмів у заданих межах, пристрій, призначений для спрацьовування в цих межах, спрацьовує, в той час, як інший пристрій (інші пристрої) залишається (залишаються) без пошкоджень.

Інший стандарт (ДСТУ EN 60947-2:2015/Зміна № 1:2015 (EN 60947-2:2006/A1:2009, IDT). Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 2. Автоматичні вимикачі) встановлює наступні поняття (п.п. 2.17.1 – 2.17.4):

- **повна селективність** – селективність за надструмами, коли при послідовному з'єднанні двох апаратів захисту від надструмів апарат з боку навантаження здійснює захист без спрацювання другого захисного апарату

- **часткова селективність** – селективність за надструмами, коли при послідовному з'єднанні двох апаратів захисту від надструмів апарат з боку навантаження здійснює захист до певного рівня надструму без спрацювання другого захисного апарату

- **граничний струм селективності (I_s)** – струмова координата точки перетину повної часо-струмової характеристики захисного апарату з боку навантаження і переддугової(для плавких запобіжників) часо-струмової характеристики або часо-струмової характеристики розчеплення другого захисного апарату.

Граничний струм селективності - це граничне значення струму:

- нижче якого при послідовному з'єднанні двох апаратів захисту від надструмів захисний апарат з боку навантаження завершує операцію вимкнення, щоб перешкодити початку дії другого захисного апарату(тобто забезпечується селективність);

- вище якого при послідовному з'єднанні двох апаратів захисту від надструмів захисний апарат з боку навантаження може не встигнути своєчасно завершити операцію вимкнення, щоб перешкодити початку дії другого захисного апарату (тобто забезпечується селективність не забезпечується).

Надструм – всякий струм, що перевищує номінальний.

Принцип **селективності**, який ще називають вибірковістю, полягає у реалізації функції вибору або визначення місця виникнення пошкодження, яке необхідно відключити.

Види селективності

Селективність (вибірковість) електричних захистів (зокрема автоматичних вимикачів) формується під час проектування електроустановок і підтримується під час експлуатації таким чином, щоб своєчасно виявити місце виникнення несправності в електрообладнанні і відокремити його від діючої схеми з найменшими втратами для неї.

При цьому селективність поділяють на:

- 1) абсолютну;
- 2) відносну.

За абсолютної селективності захисний апарат(захист) повністю контролює свою робочу ділянку і усуває пошкодження тільки в ній. За цією закономірністю працюють вбудовані в електроприлади запобіжники.

Пристрої, що реалізують відносну селективність, виконують більше функцій. Вони вимикають несправності всередині своєї зони і в сусідніх, але тоді, коли в них не спрацювали захисти, що реалізують абсолютну селективність.

Якісно налаштований захист визначає:

- 1) місце і вид пошкодження;
- 2) відмінності аномального, але допустимого режиму від ситуації, яка може завдати дуже серйозні пошкодження обладнанню електроустановки всередині контрольованої зони.

Пристрої, налаштовані тільки на першу дію, працюють зазвичай в невідповідальних мережах напругою до 1000 В.

Для електроустановок високої напруги намагаються впровадити обидва принципи. З цією метою до складу захисту вводять:

- схеми взаємних блокувань;
- точні вимірювальні органи;
- системи обміну інформацією;
- спеціальні логічні алгоритми.

Між двома послідовно увімкненими автоматичними вимикачами виконується захист від надструмів, що перевищують номінальні значення навантаження з будь-якої причини. При цьому ближній до споживача з пошкодженням вимикач повинен розмиканням знеструмити ділянку з несправністю, а дальній - продовжувати подавати напругу на своїй ділянці.

В цьому випадку розглядаються два види селективності (як уже зазначалося):

- 1) **повна;**
- 2) **часткова.**

Якщо ближній до несправності вимикач здатен повністю ліквідувати пошкодження на всьому діапазоні уставок без задіяння віддаленого вимикача, то селективність вважають повною.

Часткова селективність властива ближнім захистам, налаштованим на спрацювання до якогось граничного струму селективності I_s . Якщо він перевищений, то вступає в роботу віддалений вимикач.

Межі струмів, визначені для спрацювання захистів, поділяють на дві зони:

- 1) зону перевантажень за струмом;
- 2) зону коротких замикань.

Стосовно автоматичних вимикачів:

1) **зона перевантаження** - діапазон надструму, в якому за спрацювання автоматичного вимикача відповідає тепловий розчіплювач;

2) **зона коротких замикань** - діапазон надструму, в якому за спрацювання автоматичного вимикача відповідає електромагнітний розчіплювач.

Для зони перевантажень за струмом створюються захисти, що працюють за принципом часо-струмової селективності.

Зона коротких замикань формується на основі селективностей:

- 1) струмової;
- 2) часової;
- 3) енергетичної;
- 4) зонної

Часова селективність створюється за рахунок вибору різних витримок часу для спрацювання захисту (автоматичного вимикача). Цей спосіб може бути застосований навіть до апаратів захисту з однією уставкою струму, але різним встановлюваним часом спрацювання.

Наприклад, найближчий до обладнання захист №1 налагоджується на спрацювання при короткому замиканні з часом, близьким до 0,02 с, а його роботу страхує більш віддалений захист №2 з налаштуванням на 0,5 с.

Найвіддаленіший захист з часом вимкнення в 1с резервує роботу попередніх пристроїв у разі їх можливої відмови.

Струмова селективність налагоджується для спрацювання за перевищенням допустимих навантажень.

Наприклад три захисти послідовно контролюють струм КЗ і налаштовані на вимкнення з часом 0,02 с, але з різними струмовими уставками в 10, 15 і 20 А. За рахунок цього обладнання буде відключатися спочатку від захисного пристрою №1, а захисти №2 і №3 будуть вибірково його страхувати.

Реалізація часової або струмової селективності в чистому вигляді вимагає використання чутливих датчиків або реле струму і часу. При цьому створюється досить складна електрична схема, яка на практиці зазвичай об'єднує обидва розглянуті принципи, а не застосовується в чистому вигляді.

Часострумова селективність визначає спосіб спрацьовування вимикача, налаштованого на більш швидке спрацьовування при розташуванні ближче до споживача електроенергії, а не з боку джерела живлення(генератора чи трансформатора).

Для захисту електроустановок з напругою до 1000 В застосовують автоматичні вимикачі, які мають об'єднану часо-струмову характеристику. Розглянемо цей принцип на прикладі двох послідовно увімкнених автоматичних вимикачів, рознесених по обидва кінці лінії - з боку навантаження і живлення (відповідно А і В).

На лівому графіку (рис.3.24) показаний випадок найбільшого часу вимкнення захисту В з боку навантаження(верхня крива), а на правому - найменшого часу вимкнення захисту А з боку підведення живлення(нижня крива). Це дозволяє більш детально аналізувати прояв селективності захистів.

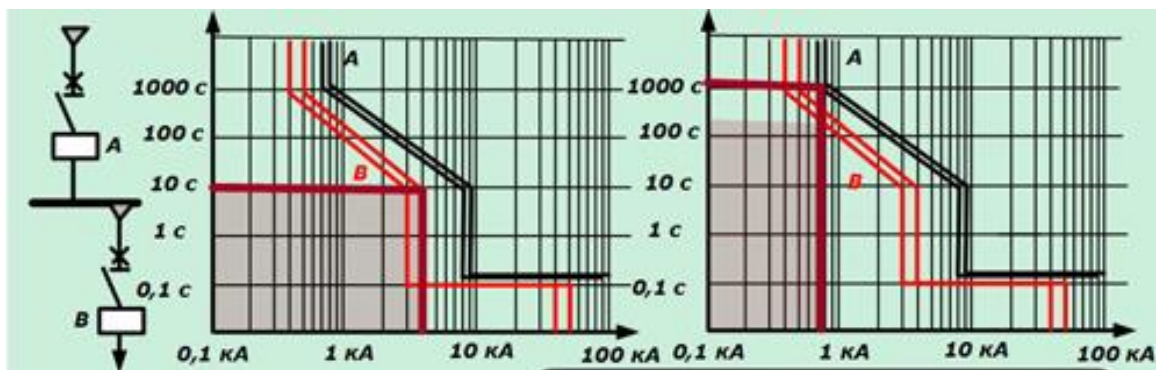


Рисунок 3.24 – Пояснення часо-струмової селективності автоматичних вимикачів

Вимикач «В», розташований ближче до електрообладнання, за рахунок застосування часострумової селективності спрацює раніше і швидше, а вимикач «А» резервує його в разі відмови.

Енергетична селективність забезпечується при використанні спеціальних нових видів автоматичних вимикачів, виконаних в литому корпусі і здатних максимально швидко спрацювати, коли струми коротких замикань ще навіть не встигли досягти своїх максимальних значень.

Подібні швидкодіючі автоматичні вимикачі спрацювають протягом кількох мілісекунд, коли ще діють аперіодичні складові перехідних процесів. В таких умовах через високу динамічність протікання навантажень складно узгодити реально діючі часо-струмові характеристики захистів.

Кінцевий користувач практично не може відстежити характеристики енергетичної селективності. Їх надає виробник у вигляді графіків, програм розрахунку або таблиць.

При цьому способі для термомагнітного і електронного розчіплювачів, розташованих з боку живлення, необхідно врахувати специфічні умови роботи.

Зонна селективність є різновидом часової селективності. Для роботи захисту використовуються вимірювальні пристрої струму з кожного боку, між якими постійно відбувається обмін інформацією і порівняння векторів струмів.

Зонна селективність може бути сформована двома способами:

- 1) до логічного пристрою контролю захисту надходять одночасно сигнали з обох кінців контрольованої ділянки. Пристрій порівнює значення струмів, що надійшли, і визначає вимикач, який повинен бути вимкнений;
- 2) відомості про завищені значення векторів струму від обох сторін надходять у вигляді блокувального сигналу на логічну частину захисту вищого рівня ієрархії з боку живлення. Якщо на ній присутній блокувальний сигнал знизу, то вимикається нижчорозташований вимикач. Коли заборони на вимкнення знизу не надійшло, то спрацює вищерозташований захист.

При цих способах вимкнення відбувається набагато швидше, ніж при часовій селективності. Це забезпечує менші пошкодження електрообладнання, зниження динамічних і теплових навантажень всередині системи.

Однак, спосіб зонного розподілу селективності вимагає створення додаткових складних технічних систем вимірювання, логіки і обміну інформацією, що здорожує вартість обладнання. З цих причин такі методи, засновані на високочастотному блокуванні, застосовуються на високовольтних лініях електропередавання і підстанціях, що передають великі потоки потужності електроенергії в безперервному режимі.

Для цього використовуються швидкодіючі повітряні, масляні або елегазові вимикачі, здатні комутувати величезні струмові навантаження.

3.7 Автоматичні вимикачі з вбудованими захисними пристроями, керованими диференційним струмом

Пристрої, керовані диференціальним струмом, використовують для захисту від ураження електричним струмом.

Такі пристрої часто використовують у поєднанні або в якості невід'ємної частини автоматичного вимикача (АВДС; рис.3.25; 3.26), виконуючи при цьому подвійну функцію, а саме:

- забезпечення захисту електрообладнання від перевантажень і струмів короткого замикання;
- забезпечення захисту персоналу від непрямого дотику, тобто при небезпечному збільшенні потенціалу землі внаслідок пошкодження ізоляції.

Пристрої, керовані диференційним струмом, можуть також забезпечувати додатковий захист від пожеж або ураження електричним струмом, що виникають внаслідок тривалого протікання струму пошкодження без спрацьовування пристрою захисту від надструмів.

Пристрої диференційного струму, що мають номінальний вимиканий диференційний струм не більше 30 мА, можуть бути також використані в якості засобу додаткового захисту від ураження електричним струмом при прямому контакті, в разі виходу з ладу відповідних захисних засобів.



Рисунок 3.25 - Автоматичні вимикачі із вбудованим захистом, керованим диференційним струмом (АВДС)

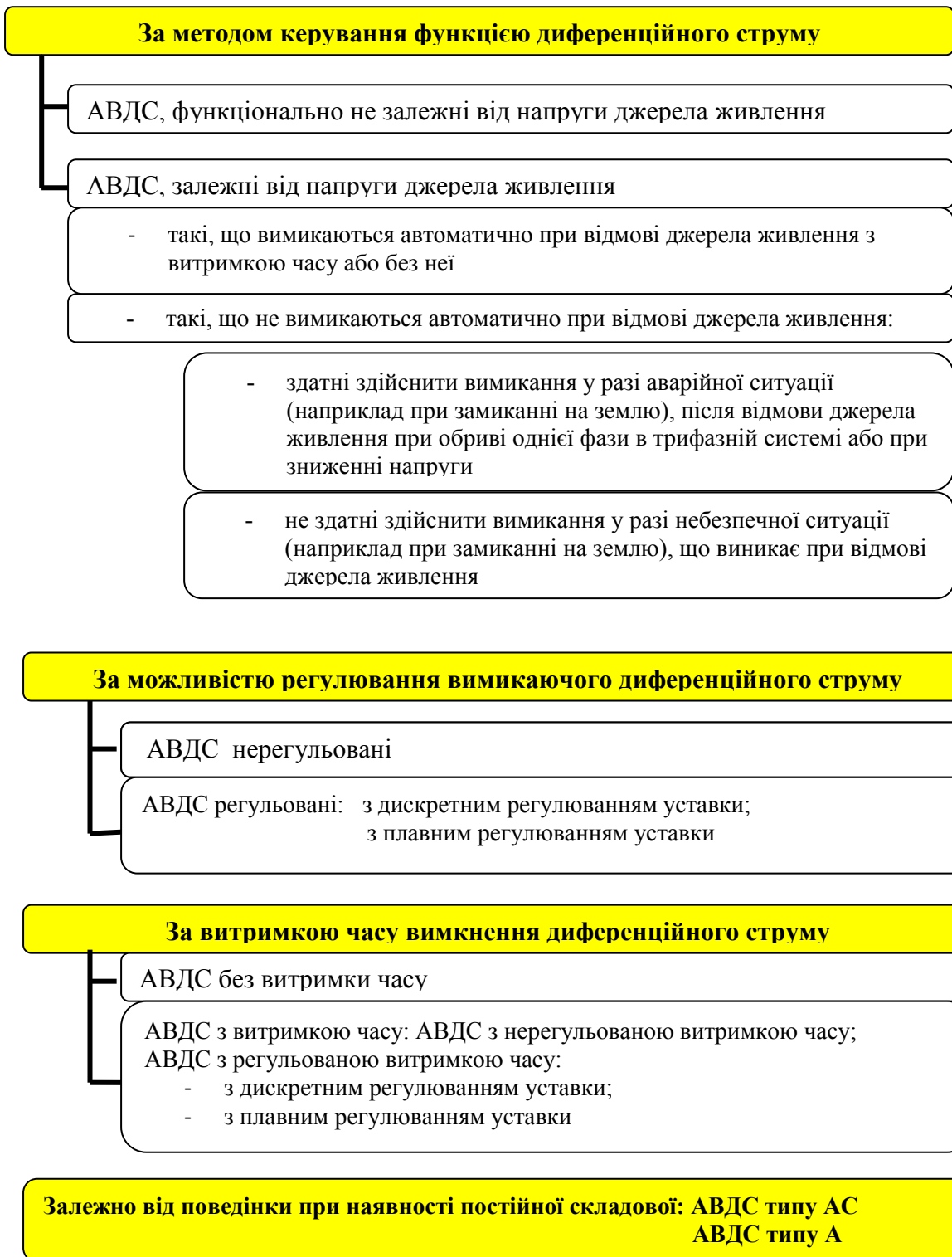


Рисунок 3.26 – Класифікація автоматичних вимикачів із вбудованими захисними пристроями, керованими диференційним струмом (АВДС)

Питання для самоконтролю і завдання

1. Поясніть функції автоматичного вимикача. У чому полягає ефект струмообмеження?
2. Опишіть будову та принцип дії автоматичного вимикача за допомогою його принципової схеми. Розчеплювачі яких типів застосовуються в автоматичних вимикачах?
3. Опишіть призначення і пристрій механізму вільного розчеплення.
4. Опишіть будову та принцип дії автоматичного вимикача. Чим відрізняються за своєю будовою струмообмежувальні і селективні автоматичні вимикачі?
5. Які функції виконують автоматичні вимикачі низької напруги в електричних колах?
6. Який елемент в конструкції автоматичного вимикача контролює стан кола і видає команду на вимкнення за наявності ненормальних режимів?
7. Що являє собою струмо-часова характеристика автоматичного вимикача?
8. Як здійснюється струмообмеження в автоматичних вимикачах після розмикання контактів апарату?
9. Який розчіплювач автоматичного вимикача виконує функції захисту електричних кіл від перевантажень за струмом?
10. Який розчіплювач автоматичного вимикача виконує функції захисту електричних кіл від струму короткого замикання?
11. Який розчіплювач автоматичного вимикача здійснює його дистанційне вимкнення?
12. Який розчіплювач автоматичного вимикача здійснює захист електричних кіл від недопустимого зниження напруги?
13. Яким чином здійснюється гасіння електричної дуги при розмиканні головних контактів автоматичного вимикача?
14. Що характеризує гранична комутаційна здатність автоматичного вимикача?
15. Чим визначається клас струмообмеження автоматичного вимикача?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.

2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.-Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

Додаток А

Випробовування автоматичних вимикачів

(ДСТУ EN 60898-1:2014 Устаткування електричне допоміжне. Автоматичні вимикачі для захисту від надструмів побутового та аналогічного призначення. Частина 1. Вимикачі змінного струму)

9.10.1 Перевіряння часо-струмових характеристик

Це випробовування виконують, щоб перевірити відповідність автоматичного вимикача вимогам 8.6.1.

9.10.1.1 Через усі полюси, починаючи з холодного стану (див. таблицю 7), протягом умовного проміжку часу (див. 8.6.1 та 8.6.2.1) пропускають струм, сила якого становить **1,13 In** (умовна сила струму нерозчіплювання).

Автоматичний вимикач не повинен розчіплюватись.

Після цього поступово збільшують силу струму протягом 5 с до **1,45 In** (умовна сила струму розчіплювання).

Автоматичний вимикач має розчіплюватися протягом умовного проміжку часу.

9.10.1.2 Через усі полюси, починаючи з холодного стану, пропускають струм, сила якого становить **2,55 In**.

Тривалість розмикання має становити не менше ніж 1 с та не більше ніж

- 60 с за номінальної сили струму до 32 А включно;
- 120 с за номінальної сили струму понад 32 А.

9.10.2 Перевіряння миттєвого розчіплювання та надійного розмикання контактів

9.10.2.1 Загальні умови випробовування

За нижчих значень сили випробувального струму згідно з 9.10.2.2, 9.10.2.3 та 9.10.2.4, відповідно, випробовують лише один раз за будь-якої умовної напруги.

За вищих значень сили випробувального струму випробовують з номінальною напругою U_n (між фазою та нейтраллю) з коефіцієнтом потужності від 0,95 до 1,00.

Послідовність операцій O—t—O—t—CO—t—CO, проміжок часу t, як визначено в 9.12.11.1.

Вимірюють тривалість розчіплювання операції O.

Після кожної операції засоби індикування мають вказувати, що контакти розімкнуто.

9.10.2.2 Автоматичні вимикачі типу В

Через усі полюси, починаючи з холодного стану, пропускають струм, сила якого становить **3 In**.

Тривалість розмикання має становити не менше ніж 0,1 с.

Після цього через усі полюси, знов починаючи з холодного стану, пропускають струм, сила якого становить **5 In**.

Автоматичний вимикач має розчіплюватися за час менший ніж 0,1 с.

9.10.2.3 Автоматичні вимикачі типу C

Через усі полюси, починаючи з холодного стану, пропускають струм, сила якого становить **5 In**.

Тривалість розмикання має становити не менше ніж 0,1 с.

Після цього через усі полюси, знов починаючи з холодного стану, пропускають струм, сила якого становить **10 In**.

Автоматичний вимикач має розчіплюватися за час менший ніж 0,1 с.

9.10.2.4 Автоматичні вимикачі типу D

Через усі полюси, починаючи з холодного стану, пропускають струм, сила якого становить **10 In**.

Тривалість розмикання має становити не менше ніж 0,1 с.

Після цього через усі полюси, знов починаючи з холодного стану, пропускають струм, сила якого становить **20In** чи максимальній силі струму миттєвого розчіплювання (див. розділ 6, пункт j).

9.10.3 Вплив однополюсного навантаження на характеристику розчіплювання багатополюсних автоматичних вимикачів

Відповідність перевіряють випробовуваннями автоматичного вимикача, приєднаного відповідно до 9.2, за умов, зазначених у 8.6.3.1.

Автоматичний вимикач має розчіплюватися за умовний проміжок часу (див. 8.6.2.1).

9.10.4 Перевіряння впливу навколишньої температури на характеристику розчіплювання

Відповідність перевіряють такими випробуваннями:

а) Автоматичний вимикач поміщають у навколишнє повітря з температурою, що на (35 ± 2) К нижче від контрольної температури навколишнього повітря, доки не буде досягнуто усталеного температурного режиму.

Через усі полюси протягом умовного проміжку часу пропускають струм, сила якого становить **1,13 In** (умовна сила струму нерозчіплювання). Після цього протягом 5 с силу струму збільшують до **1,9 In**.

Автоматичний вимикач має розчіплюватися за умовний проміжок часу.

б) Автоматичний вимикач поміщають у навколишнє повітря з температурою, що на (10 ± 2) К вище від контрольної температури навколишнього повітря, доки не досягнуто усталеного температурного режиму.

Через усі полюси пропускають струм, сила якого становить **In**.

Автоматичний вимикач не повинен розчіплюватися за умовний проміжок часу.

8.6 Автоматична робота

8.6.1 Нормальна часо-струмова зона

Характеристика розчіплення автоматичних вимикачів має гарантувати ефективний захист кола без дочасного спрацьовування.

Зона часо-струмової характеристики (характеристики розчіплення) автоматичного вимикача визначена умовами та значеннями, зазначеними в таблиці 7.

Таблиця 7 стосується автоматичного вимикача, встановленого відповідно до еталонних умов (див. 9.2), що працює за контрольної температури калібрування 30°C з допустимим відхилом $+5-0^{\circ}\text{C}$.

Відповідність перевіряють випробовуваннями за 9.10.

Випробовувати можна за будь-якої придатної температури, результати співвідносять з температурою 30°C , використовуючи інформацію, яку надав виробник.

У будь-якому разі коливання сили випробувального струму за таблицею 7 не повинне перевищувати 1,2 % на 1 К від коливання температури калібрування.

Якщо автоматичні вимикачі промарковано температурою калібрування, що відрізняється від 30°C , то їх випробовують за цієї іншої температури.

Виробник повинен надавати інформацію щодо змін характеристик розчіплювання для температур калібрування, які відрізняються від контрольного значення.

Таблиця 7 — Часо-струмові робочі характеристики

Випробування	Тип	Сила випробувального струму	Початковий стан	Межі часу розчіплювання чи нерозчіплювання	Отриманий результат	Примітка
A	B, C, D	$1,13 I_n$	Холодний ^{a)}	$t \leq 1$ год (для $I_n \leq 63$ A) $t \leq 2$ год (для $I_n > 63$ A)	Не розчіплено	
B	B, C, D	$1,45 I_n$	Відразу після випробування ^{a)}	$t < 1$ год (для $I_n \leq 63$ A) $t < 2$ год (для $I_n > 63$ A)	Розчіплено	Неперервне наростання сили струму протягом 5 с
C	B, C, D	$2,55 I_n$	Холодний ^{a)}	$1 \text{ с} < t < 60 \text{ с}$ (для $I_n \leq 32$ A) $1 \text{ с} < t < 120 \text{ с}$ (для $I_n > 32$ A)	Розчіплено	
D	B, C, D	$3 I_n$ $5 I_n$ $10 I_n$	Холодний ^{a)}	$t \leq 0,1 \text{ с}$	Не розчіплено	Струм установлюють після замкнення допоміжних контактів
E	B, C, D	$5 I_n$ $10 I_n$ $20 I_n$ ^{b)}	Холодний ^{a)}	$t \leq 0,1 \text{ с}$	Розчіплено	Струм установлюють після замкнення допоміжних контактів

Примітка. Для автоматичних вимикачів типу D розглядають можливість додаткового випробування, проміжного між **c** та **d**.

a) Термін «холодне» означає без попереднього навантаження за вихідної температури калібрування.

b) $50 I_n$ у спеціальних випадках.

4. ПРИСТРОЇ ЗАХИСНОГО ВИМКНЕННЯ (ВІДМИКАЧІ, КЕРОВАНІ РІЗНИЦЕВИМ СТРУМОМ)

4.1 Загальні відомості

4.2 Будова і принцип дії пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ)

4.3 Класифікація та загальні технічні вимоги до ПЗВ

4.4 Особливості монтажу і налагоджування пристроїв захисного вимкнення

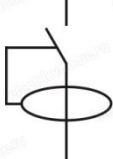
Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Електрична мережа із заземленою нейтраллю	Електрична мережа з обладнанням, нейтралі якого, усі чи частина з них, з'єднані із заземлювальними пристроями безпосередньо або через пристрої малого опору порівняно з опором нульової послідовності мережі	<i>earthed neutral system</i>
Електричне коло	Сукупність електротехнічних пристроїв та природних об'єктів, які утворюють шляхи для електричних струмів і електромагнітні процеси у яких можна описати за допомогою понять електрорушійної сили, струму та напруги	<i>electric circuit</i>
Симетрична багатофазна система електричних струмів	Багатофазна система електричних струмів, у якій окремі електричні струми рівні за амплітудою і зміщені за фазою один відносно одного на кути, що дорівнюють $K=2\pi/m$, де m - число фаз, K -довільне число	<i>symmetrical polyphase system of electric currents</i>
Симетрична система нульової послідовності струмів	Симетрична багатофазна система електричних струмів, які мають однакові фази	<i>symmetrical system of zero sequence currents</i>
Струм спливу (витоку)	Струм, зумовлений недосконалістю ізоляції	<i>leakage current;</i>
	Захисний пристрій по різницевому (диференційному) струму	<i>residual current protective device - RCD.</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	Пристрій захисного вимкнення (однолінійне зображення)
	Диференційний вимикач(однолінійне зображення)

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.
2. ДСТУ EN 61008-1:2015 (EN 61008-1:2004, IDT). Автоматичні вимикачі диференційного струму без вмонтованого захисту від надструмів для побутового та аналогічного призначення (RCCBs). Частина 1. Загальні правила
3. ДСТУ EN 61009-1:2015 (EN 61009-1:2004, IDT). Автоматичні вимикачі диференційного струму з вмонтованим захистом від надструмів для побутового та аналогічного призначення (RCCBs). Частина 1. Загальні правила
4. ДСТУ EN 62423:2015. Вимикачі електричних кіл типу F та типу В, керовані різницею струмом із вбудованим захистом від надструмів і без нього для побутової та аналогічної призначеності (EN 62423:2012, IDT)
5. ДСТУ HD 62640:2016 (HD 62640:2015, IDT). Пристрої захисного відключення з максимальним струмовим захистом чи без нього для штепсельних розеток побутового та аналогічного застосування

4.1 Загальні відомості

Захисне вимкнення є електрозахисним заходом, що базується на застосуванні швидкодіючих комутаційних апаратів, які вимикають живлення електроустановки при виникненні в ній струму витoku на землю або на захисний провідник, яке могло бути викликане ненавмисним включенням людини в електричне коло.

Пристрої, що реалізують захисне вимкнення за чинним державним стандартом називаються пристроями захисного вимкнення – ПЗВ.

Згідно з ПУЕ-2017⁹ ПЗВ - це «пристрій захисного автоматичного вимкнення живлення, який реагує на диференційний струм¹⁰».

Термін «пристрій захисного вимкнення – ПЗВ», прийнятий у вітчизняній спеціальній літературі, найточніше визначає призначення даного пристрою і його відмінність від інших комутаційних електричних апаратів - автоматичних вимикачів, вимикачів навантаження, магнітних пускачів тощо.

На рис.4.1 зображений один із перших ПЗВ серійного виробництва фірми Spinnennetz (в даний час Schupa AG).



Рисунок 4.1 – Чотирьохполюсний пристрій захисного вимкнення «Spinnennetz» FIB 25/4 (1953 р.) $I_{ном} = 25$ А; $I_{\Delta ном} = 1$ А.

У основі дії захисного вимкнення, як електрозахисного засобу, лежить принцип обмеження (за рахунок швидкого вимикання) тривалості протікання

⁹ Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х.:Видавництво «Форт», 2017. Глава 1.7. Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом

¹⁰ Диференційний струм - векторна сума струмів, які проходять через пристрій захисного вимкнення.

струму через тіло людини при ненавмисному дотику його до елементів електроустановки, що знаходяться під напругою.

На рисунку 4.2 наведений розроблений Міжнародною електротехнічною комісією - МЕК графік зон фізіологічної дії на людину змінного струму.

Пристрої захисного вимкнення (ПЗВ), що реагують на диференціальний струм, разом з пристроями захисту від надструму, відносяться до додаткових видів захисту людини від ураження електричним струмом при непрямому дотику, що забезпечуються шляхом автоматичного вимкнення живлення.

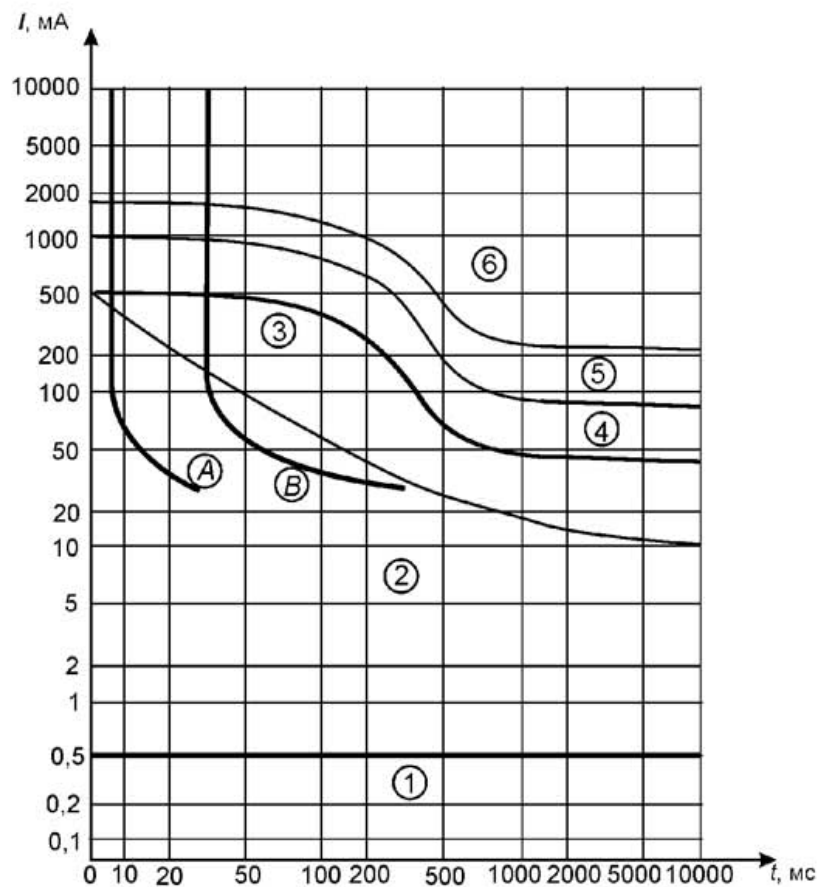


Рисунок 4.2 - Графік областей фізіологічної дії на людину змінного струму (50-60 Гц) за МЕК 479-94 і часо-струмові характеристики пристроїв захисного вимкнення: 1 - невідчутні струми; 2 - відчутні, але такі, що не викликають фізіологічних порушень; 3 - відчутні, але такі, що не викликають небезпеку фібриляції серця; 4 - відчутні, такі, що викликають небезпеку фібриляції серця (вірогідність < 5%); 5 - відчутні, такі, що викликають небезпеку фібриляції серця (вірогідність < 50%); 6 - відчутні, такі, що викликають небезпеку фібриляції серця (вірогідність > 50%).

Часо-струмові характеристики ПЗВ, як видно на рисунку, розташовані значно нижче навіть зони 3 - відчутних, але таких, що не викликають небезпеки фібриляції серця струмів. Це свідчить, що ПЗВ забезпечує надійний захист людини від ураження електричним струмом.

Статистичні дані по електротравматизму, отримані за майже 30-річний період з початку широкого впровадження ПЗВ, підтверджують високу ефективність даного електрозахисного засобу - кількість смертельних травм знизилася майже в 100 разів.

А і В - часо-струмові характеристики ПЗВ, А - реального пристрою типу АСТРО*УЗО ($I_{\Delta n}=30$ мА) і В - визначувана ГОСТ Р 51326.1- 99.

4.2 Будова і принцип дії ПЗВ

У основі дії ПЗВ, як електрозахисного засобу, лежить принцип обмеження (за рахунок швидкого вимикання) тривалості протікання струму через тіло людини при ненавмисному дотику його до елементів електроустановки, що знаходяться під напругою.

Функціонально ПЗВ можна визначити як швидкодіючий захисний вимикач, що реагує на різницю струмів (диференційний струм) в провідниках, які підводять електроенергію до захищуваної електроустановки.

Порівняння поточних значень двох- і більше (у чотириполюсних ПЗВ - чотирьох) за струмом по амплітуді і фазі найефективніше, тобто з мінімальною похибкою, здійснюється електромагнітним шляхом - за допомогою диференційного трансформатора струму (рис.4.3), що являє собою електромагнітний векторний суматор струмів.

Сумарний магнітний потік в осерді Φ_{Σ} , пропорційний різниці струмів i_L і i_N в провідниках, що є первинними обмотками трансформатора, наводить в його вторинній обмотці відповідну електрорушійну силу, під дією якої в колі вторинної обмотки протікає струм i_d , також пропорційний різниці первинних струмів.

До магнітопроводу трансформатора струму електромеханічного ПЗВ висуваються надзвичайно високі вимоги за якістю: висока чутливість, лінійність характеристики намагнічування, температурна і тимчасова стабільність та ін. З цієї причини для виготовлення магнітопроводів трансформаторів струму, вживаних при виробництві ПЗВ, використовується спеціальне високоякісне аморфне (некристалічне) залізо.

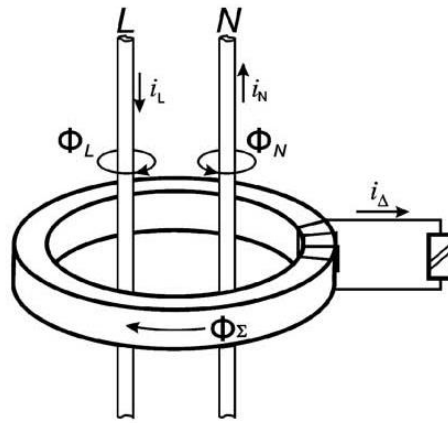


Рисунок 4.3 - Диференційний трансформатор струму

Основні блоки ПЗВ представлені на структурній схемі (рис.4.4), а його будову пояснює рис.4.5.

Найважливішим функціональним блоком пристрою є диференційний трансформатор струму 1. У абсолютній більшості ПЗВ, вироблюваних і експлуатованих в даний час у всьому світі, як датчик диференційного струму використовується саме трансформатор струму. У літературі з питань конструювання і застосування ПЗВ цей трансформатор іноді називають трансформатором струму нульової послідовності (ТСНП), хоча поняття «нульова послідовність» застосовується тільки до трифазних кіл і використовується при розрахунках несиметричних режимів багатофазних кіл.

Пусковий орган (пороговий елемент) 2 виконується, як правило, на чутливих магнітоелектричних реле прямої дії або електронних компонентах. Виконавчий механізм 3 включає силову контактну групу з пружинним механізмом приводу.

У нормальному режимі, за відсутності диференційного струму - струму витоку, в силовому колі по провідниках, що проходять крізь вікно магнітопроводу і створюють зустрічно увімкнені первинні обмотки диференційного трансформатора струму 1, протікає робочий струм навантаження $i_1 = i_2$. При цьому i_1 - струм, що протікає у напрямку до навантаження, i_2 - від навантаження.

Рівні струми в зустрічно увімкнених обмотках наводять в магнітному сердечнику трансформатора струму рівні по значенню, але протилежно направлені магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 . Результируючий магнітний потік виявляється рівним нулю, отже, струм у вторинній обмотці диференційного трансформатора також буде відсутній. При цьому пусковий орган 2 знаходиться в стані спокою.

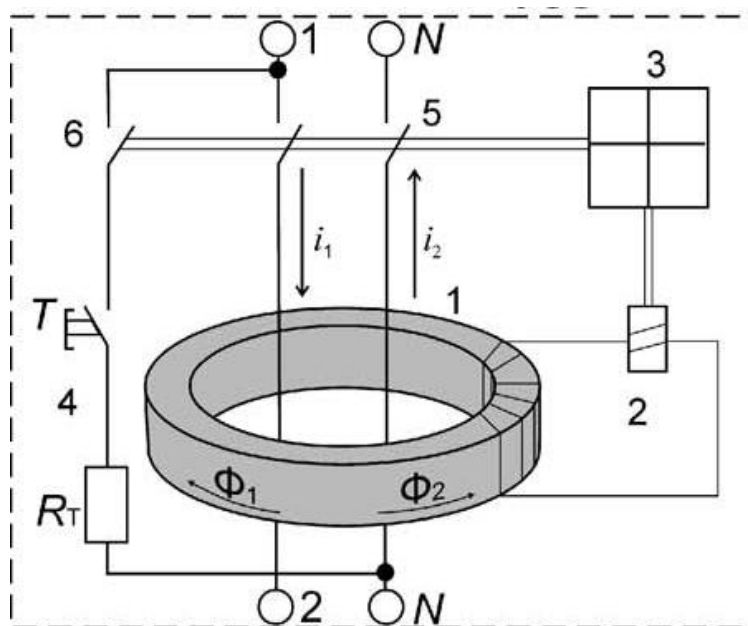


Рисунок 4.4 - Структурна схема пристрою захисного вимкнення: 1 - диференційний трансформатор струму; 2 - пороговий елемент; 3 - виконавчий механізм; 4 - коло тестування; 5 - силові контакти; 6 - захисний контакт кола тестування; Т - кнопка «Тест»; R_T - тестовий резистор; 1, 2, N - клеми пристрою захисного вимикання.

Принцип дії ПЗВ пояснюється на прикладі електричного кола (жирний пункт), представленого на рис.4.6.

При дотику людини до відкритих струмовідних частин або до корпусу електроприймача, який в результаті пробоя ізоляції опинився під напругою, по фазному провідникові через ПЗВ окрім струму навантаження i_1 потече додатковий струм i_d (струм витоку), що є для трансформатора струму диференційним (різницеvim).

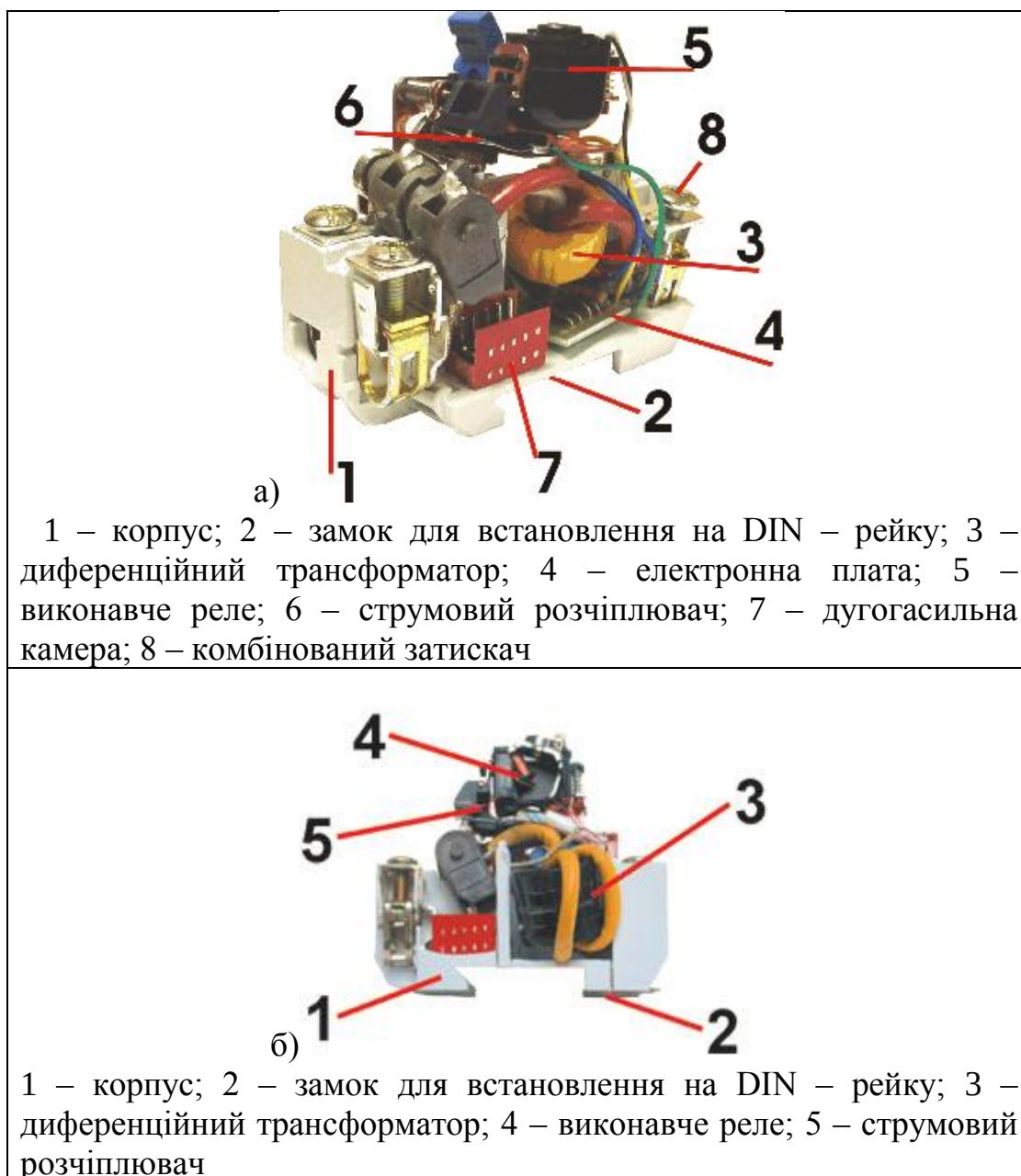


Рисунок 4.5 – Будова пристроїв захисного вимикання: а) електронного УкрЕМ ПЗВ-2001; б) електромеханічного УкрЕМ ПЗВ-2001

Нерівність струмів в первинних обмотках диференційного трансформатора: $i_1 + i_A$ у фазному провіднику та $i_2 = i_1$ в нульовому робочому провіднику - викликає небаланс магнітних потоків і, як наслідок, виникнення у вторинній обмотці трансформованого диференційного струму.

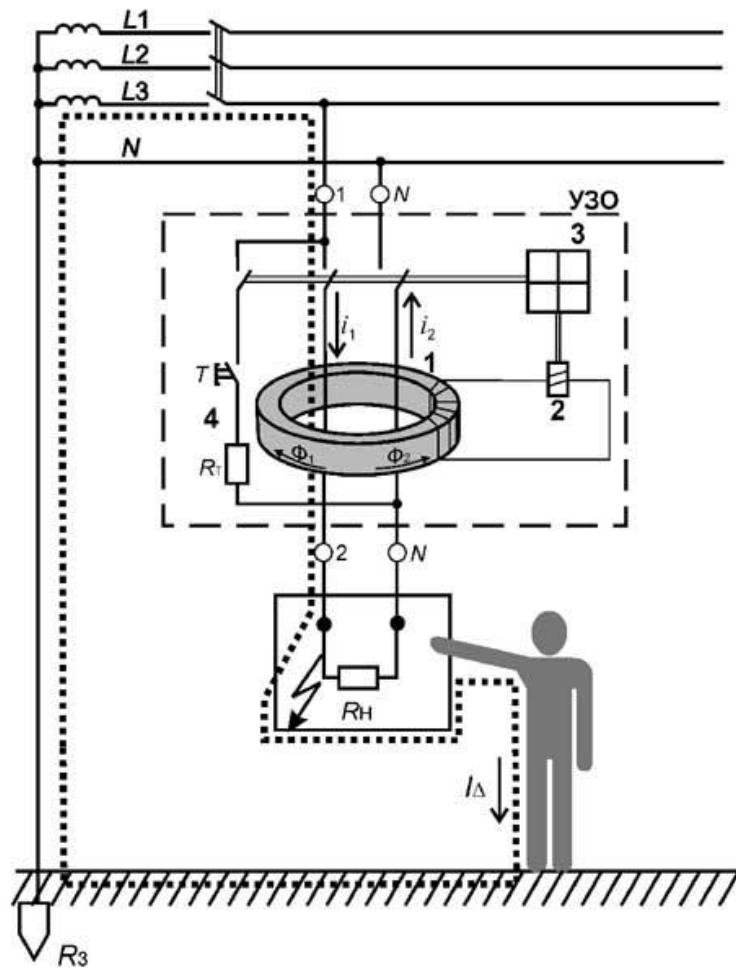


Рисунок 4. 6 - Схема, що ілюструє принцип дії пристрою захисного вимикання

Якщо цей струм перевищує задане значення струму порогового елемента пускового органу 2, останній спрацьовує і впливає на виконавчий механізм 3. Виконавчий механізм, що зазвичай складається з пружинного приводу, спускового механізму і групи силових контактів, розмикає електричне коло і електроустановка, що захищається ПЗВ, знеструмлюється.

Для здійснення періодичного контролю справності (роботоздатності) ПЗВ передбачене коло тестування 4. При натисненні кнопки «Т» («ТЕСТ») штучно створюється коло протікання вимикаючого диференційного струму. Спрацьовування ПЗВ в цьому випадку означає, що пристрій в цілому справний.

Застосування ПЗВ доцільне і виправдане з соціальних і економічних причин в електроустановках всіх можливих видів і самого різного призначення.

Витрати на встановлення ПЗВ несумірно менші можливого збитку - загибелі і травм людей (і сільськогосподарських тварин) від ураження

електричним струмом, спалахування, пожеж і їх наслідків, подій із-за несправностей електропроводки і електроустаткування. Якщо врахувати, що вартість одного ПЗВ не перевищує вартості простого побутового електроприладу, а можливий збиток, який можна було уникнути, якби ПЗВ був встановлений, обчислюється величезними сумами, то стає абсолютно очевидним і таким, що не вимагає додаткових доказів необхідність швидкого і найширшого впровадження ПЗВ нового покоління у всіх електроустановках.

Виняток становлять електроустановки, що не допускають з технологічних причин перерви в електропостачанні. У таких установках для захисту людей від ураження електричним струмом повинні застосовуватися інші електрозахисні заходи - контроль ізоляції, розділові трансформатори та інше.

4.3 Класифікація та вимоги до пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ)

Класифікацію та загальні технічні вимоги до пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) встановлює ГОСТ 12.4.155-85 «Устройства защитного отключения. Классификация. Общие технические требования».

Стандарт класифікує ПЗВ за такими ознаками залежно від характеристик електроустановок, для яких вони призначені:

- 1) режим нейтралі джерела живлення електроустановки;
- 2) рід та частота струму;
- 3) напруга;
- 4) число фаз (полюсів);
- 5) мобільність електроустановок.

ПЗВ класифіковані стандартом за видом вхідного сигналу (рис.11.7) на такі, що реагують:

- на струм нульової послідовності;
- на напругу нульової послідовності;
- на суму, різницю, фазові співвідношення між струмом і напругою нульової послідовності (чи виділених гармонік напруги і струму), а також між струмом і напругою нульової послідовності та фазовими напругами мережі;
- на струм витоку (спливу);
- на напругу корпусу обладнання відносно землі;
- на оперативний струм (постійний, змінний непромислової частоти), що накладається на робочий струм електроустановки;

- на два або більше із перелічених факторів.

Стосовно можливості регульованих уставок виділені ПЗВ з регульованими і нерегульованими уставками, а серед регульованих - з плавним дискретним чи комбінованим регулюванням.

Поряд з цим ПЗВ класифіковані за наявністю ручного контролю чи самоконтролю, за селективністю, а також щодо особливостей монтажу – автономні і вбудовані та способу приєднання – безпосереднього і непрямого вмикання (через трансформатори струму або напруги). пзв можуть використовуватися разом із захисним заземленням, зануленням, автоматичним закорочуванням на землю пошкодженої фази, компенсацією струму витоку.

Найбільшого поширення набули пристрої захисного вимкнення, що реагують на струм витоку¹¹, уставки якого визначені стандартом і для мережі з глухозаземленою нейтраллю становлять (ряд): 0,002; 0,006; 0,01; 0,02; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 А.

Класифікація пристроїв захисного вимкнення, керованих диференційним струмом, наведена також в ГОСТ Р 50807-95 (ІЕК 755-83) «Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний».

За цим документом ПЗВ - Д класифікують:

за способом дії:

1) ПЗВ - Д без допоміжного джерела живлення (функціонально не залежні від напруги); джерелом енергії, необхідної для функціонування, - виконання захисних функцій, включаючи операцію вимкнення, для пристрою є сам сигнал - диференційний струм, на який він реагує;

2) ПЗВ - Д з допоміжним джерелом живлення (функціонально залежні від напруги):

- пристрої, що виконують автоматичне вимкнення при відмові допоміжного джерела з витримкою часу і без неї :

- пристрої, що проводять автоматичне повторне увімкнення при відновленні роботи допоміжного джерела;

- пристрої, що не проводять автоматичне повторне увімкнення при відновленні роботи допоміжного джерела;

- пристрої, що не проводять автоматичне вимкнення при відмові допоміжного джерела:

¹¹ Струм витоку – небажаний струм, який стікає із струмовідних частин у землю або неізольовані від землі провідні частини в разі відсутності пошкоджень у електричному колі (ПУЕ_2017. Глава 1.7)

- пристрої, здатні провести вимкнення при виникненні небезпечної ситуації після відмови допоміжного джерела;
- пристрої, не здатні провести вимкнення при виникненні небезпечної ситуації після відмови допоміжного джерела.

Механізм ПЗВ - Д з допоміжним джерелом живлення для виконання операції вимкнення потребує енергії, що отримується або від контрольованої мережі, або від зовнішнього джерела.

Застосування пристроїв, функціонально залежних від напруги живлення, не дивлячись на їх відносну дешевизну, більш обмежене через їх меншу надійність (вірогідність виходу з ладу якого-небудь з великої кількості електронних компонентів досить висока), більшій схильності електронних схем до дії зовнішніх чинників та ін.

Проте основною причиною меншого розповсюдження таких пристроїв є їх нероботоздатність у разі виникнення (доволі частого) найбільш небезпечної за умовами вірогідності ураження струмом несправності електроустановки, а саме - при обриві нульового провідника в колі до ПЗВ у напрямку до джерела живлення. В цьому випадку «електронний» ПЗВ, не маючи живлення, не функціонує, а на електроустановку по фазному провідникові виноситься небезпечний для життя людини (сільськогосподарської тварини) потенціал.

за способом встановлення:

- стаціонарні пристрої з монтажем стаціонарною електропроводкою;
- переносні пристрої з монтажем гнучкими проводами з подовжувачами;

за числом полюсів:

- однополюсні двопровідні;
- двополюсні;
- двополюсні трипровідні;
- триполюсні;
- триполюсні чотирипровідні;
- чотириполюсні;

за видом захисту від надструмів і перевантажень за струмом:

- без вбудованого захисту від надструмів (типів **B**; **C**; **D**);
- із вбудованим захистом від надструмів;
- із вбудованим захистом від перевантаження;
- із вбудованим захистом від коротких замикань;
- за втратою чутливості у разі подвійного заземлення нульового робочого провідника.

На стадії розгляду (перспективні конструкції ПЗВ):

- за можливістю регулювання вимикаючого диференційного струму:
 - нерегульовані;
 - регульовані:
 - а) з дискретним регулюванням;
 - б) з плавним регулюванням;
 - за стійкістю при імпульсній напрузі;
 - пристрої, що допускають можливість вимкнення при імпульсній напрузі;
 - пристрої, стійкі при імпульсній напрузі;
 - за характеристиками наявності постійної складової диференційного струму:
 - ПЗВ - Д типу **АС**, що реагують на синусоїдальний змінний диференційний струм, поволі наростаючий, або струм, що виникає стрибком;
 - ПЗВ - Д типу **А**, що реагують як на синусоїдальний змінний диференційний струм, так і на пульсуючий постійний диференційний струм, поволі наростаючі, або струми, що виникають стрибком;
 - ПЗВ - Д типу **В**, що реагують на синусоїдальний змінний, пульсуючий постійний і постійний диференціальні струми.

Джерелом пульсуючого струму є, наприклад, пральні машини з регуляторами швидкості, регульовані джерела світла, телевізори, персональні комп'ютери.

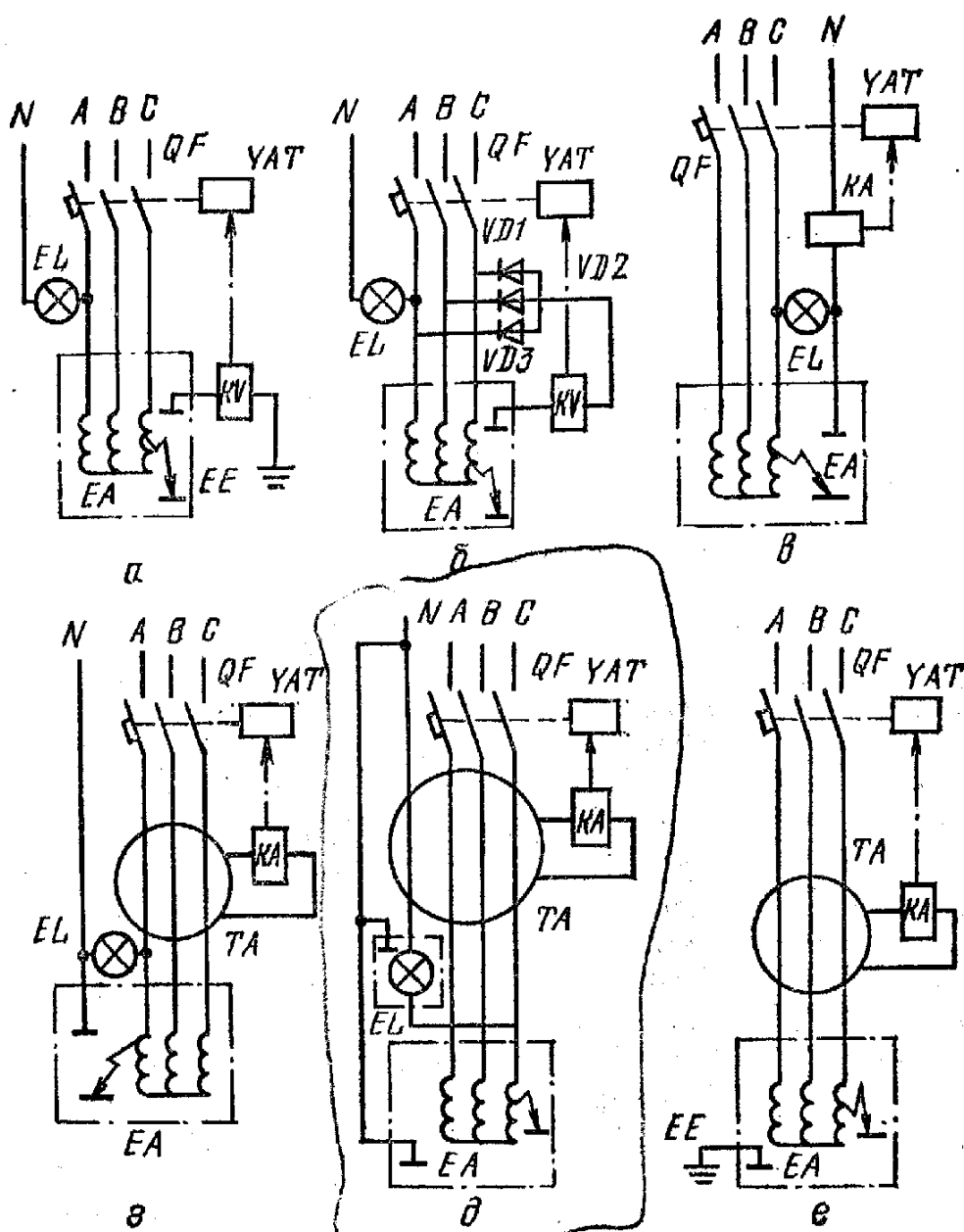


Рисунок 4.7 - Функціональні схеми пристроїв захисного вимкнення: а і б – що реагують на напругу на корпусі електроприймача; в і г - що реагують на струм нульової послідовності; д і е – що реагують на струм витоку через ізоляцію (д – у випадку трифазно-однофазного навантаження з нульовим робочим і окремим нульовим захисним провідниками; е – у трипровідній силовій мережі).

4.4 Номенклатура пристроїв захисного вимкнення

На ринку електротехнічної продукції набули поширення пристрої захисного вимикання як вітчизняних, так і зарубіжних виробників (рис.4.8 – 4.11).

Для споживача важливими є технічні параметри пристроїв захисного вимкнення.

За ГОСТ Р 50807-95 нормуються наступні параметри ПЗВ:

- номінальна напруга (U_n) – діюче значення напруги, при якій забезпечується роботоздатність ПЗВ; $U_n = 220, 380$ В.
- номінальний струм навантаження (I_n) - значення струму, яке ПЗВ може пропускати в тривалому режимі роботи. $I_n = 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125$ А;
- номінальний вимикаючий диференційний струм ($I_{\Delta n}$) - значення диференційного струму, яке викликає вимкнення ПЗВ за заданих умов експлуатації. $I_{\Delta n} = 0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5$ А;
- номінальний невимикаючий диференційний струм ($I_{\Delta n0}$) - значення диференційного струму, яке не викликає вимкнення ПЗВ за заданих умов експлуатації. $I_{\Delta n0} = 0,5 I_{\Delta n}$;
- граничне значення невимикаючого надструму (I_{nm}) - мінімальне значення невимикаючого надструму при симетричному навантаженні дво- і чотириполюсних ПЗВ або несиметричному навантаженні чотириполюсних ПЗВ. $I_{nm} = 6 I_n$;
- надструм - будь-який струм, який перевищує номінальний струм навантаження;
- номінальна вмикаюча і вимикаюча здатність (комутаційна здатність) (I_m) – діюче значення очікуваного струму, який ПЗВ здатен увімкнути, пропускати протягом свого часу розмикання і вимкнути за заданих умов експлуатації без порушення його роботоздатності. Мінімальне значення $I_m = 10 I_n$ або 500 А (вибирається більше значення);
- номінальна вмикаюча і вимикаюча здатність за диференційним струмом ($I_{\Delta m}$) – діюче значення очікуваного диференційного струму, яке ПЗВ здатен увімкнути, пропускати протягом свого часу розмикання і вимкнути за заданих умов експлуатації без порушення його роботоздатності. Мінімальне значення $I_{\Delta m} = 10 I_n$ або 500 А (вибирається більше значення);
- номінальний умовний струм короткого замикання (I_{nc}) – діюче значення очікуваного струму, яке здатен витримати ПЗВ, що захищається пристроєм захисту від коротких замикань, за заданих умов експлуатації, без необоротних змін, що порушують його роботоздатність. $I_{nc} = 3000; 4500; 6000; 10\,000$ А.;
- номінальний умовний диференційний струм короткого замикання ($I_{\Delta c}$) – діюче значення очікуваного диференційного струму, яке здатен витримати ПЗВ, що захищається пристроєм захисту від коротких замикань за

заданих умов експлуатації без необоротних змін, що порушують його роботоздатність.

- $I_{Ac} = 3000; 4500; 6000; 10\,000\text{ А}$.

У ГОСТ Р 51326.1-99 міститься вимога: "Виробник повинен повідомити витримувані ПЗВ значення інтеграла Джоуля (I^2t) і пікового струму, (I_p).

- номінальний час вимкнення T_n - проміжок часу між моментом раптового виникнення вимикаючого диференційного струму і моментом гасіння дуги на всіх полюсах.

Стандартні значення максимально допустимого часу вимкнення ПЗВ типу АС при будь-якому номінальному струмі навантаження і заданих нормами значеннях диференційного струму не повинні перевищувати наведених нижче.

Час вимкнення T_n , с			
I_{An}	$2 I_{An}$	$5 I_{An}$	500 мА
0,3	0,15	0,04	0,04

Вказаний максимальний час вимкнення, розповсюджується також на ПЗВ типу А. При цьому випробування ПЗВ типу А проводять при значеннях струмів I_{An} , $2I_{An}$, $5I_{An}$ і 500 А з коефіцієнтом 1,4 (при $I_{An} > 0,01\text{ А}$) і з коефіцієнтом 2 (при $I_{An} = <0,01\text{ А}$).

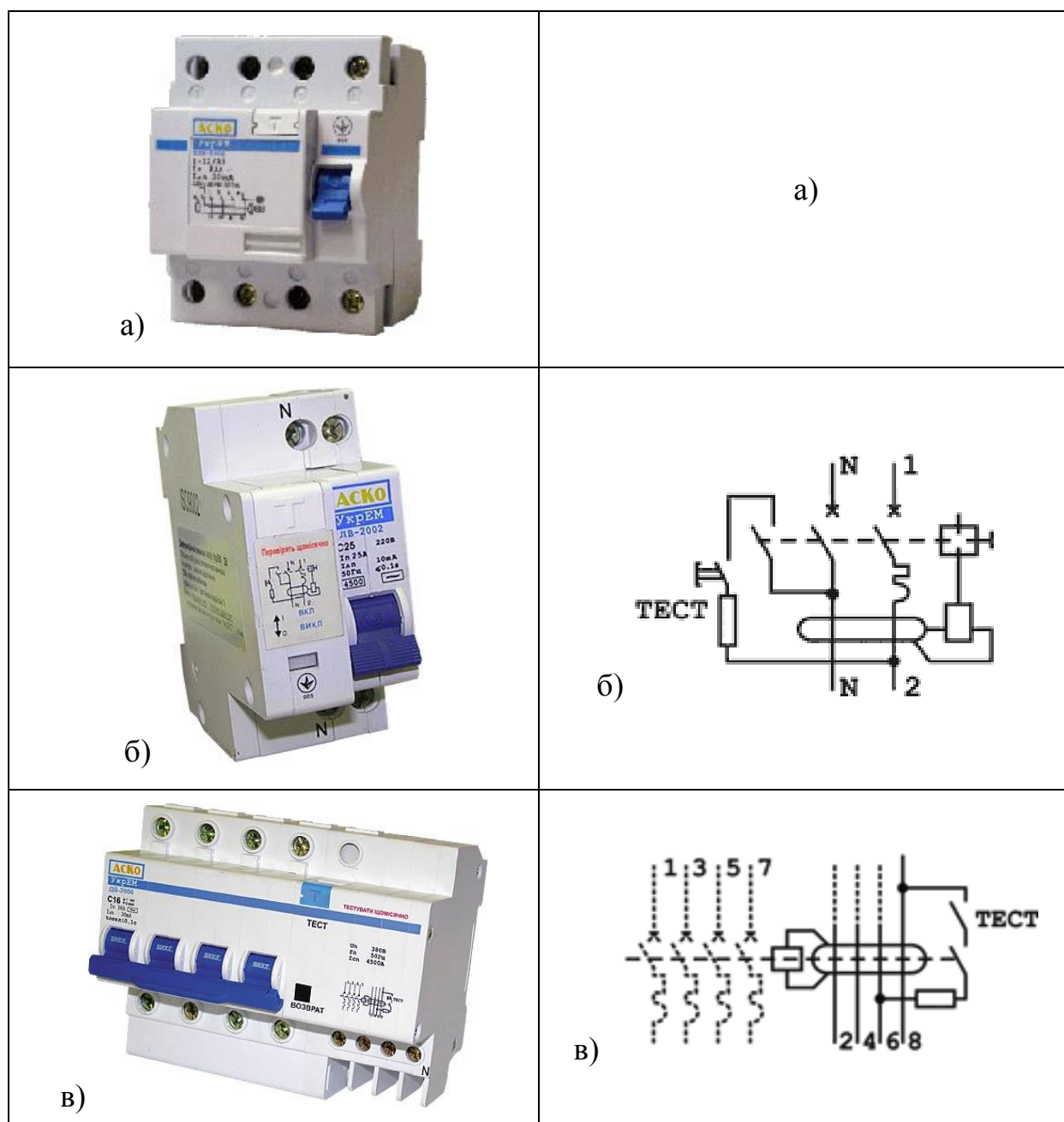


Рисунок 4.8 – Пристрої захисного вимкнення: а) УкрЕМ ПЗВ-2001; УкрЕМ ПЗВ-2002; б) диференційний вимикач УкрЕМ ДВ-2002; в) диференційний вимикач УкрЕМ ДВ-2006



Рисунок 4.9 – Пристрої захисного вимкнення для використання зі штепсельними розетками (корпорація АсКо-УкрЕМ): а) вилка з пристроєм захисного вимкнення УЗО-ДПВ-16; б) адаптер з пристроєм захисного вимкнення УЗО-ДПА-16; в) адаптер з пристроєм захисного вимкнення УЗО-ДПА-16В з кришкою

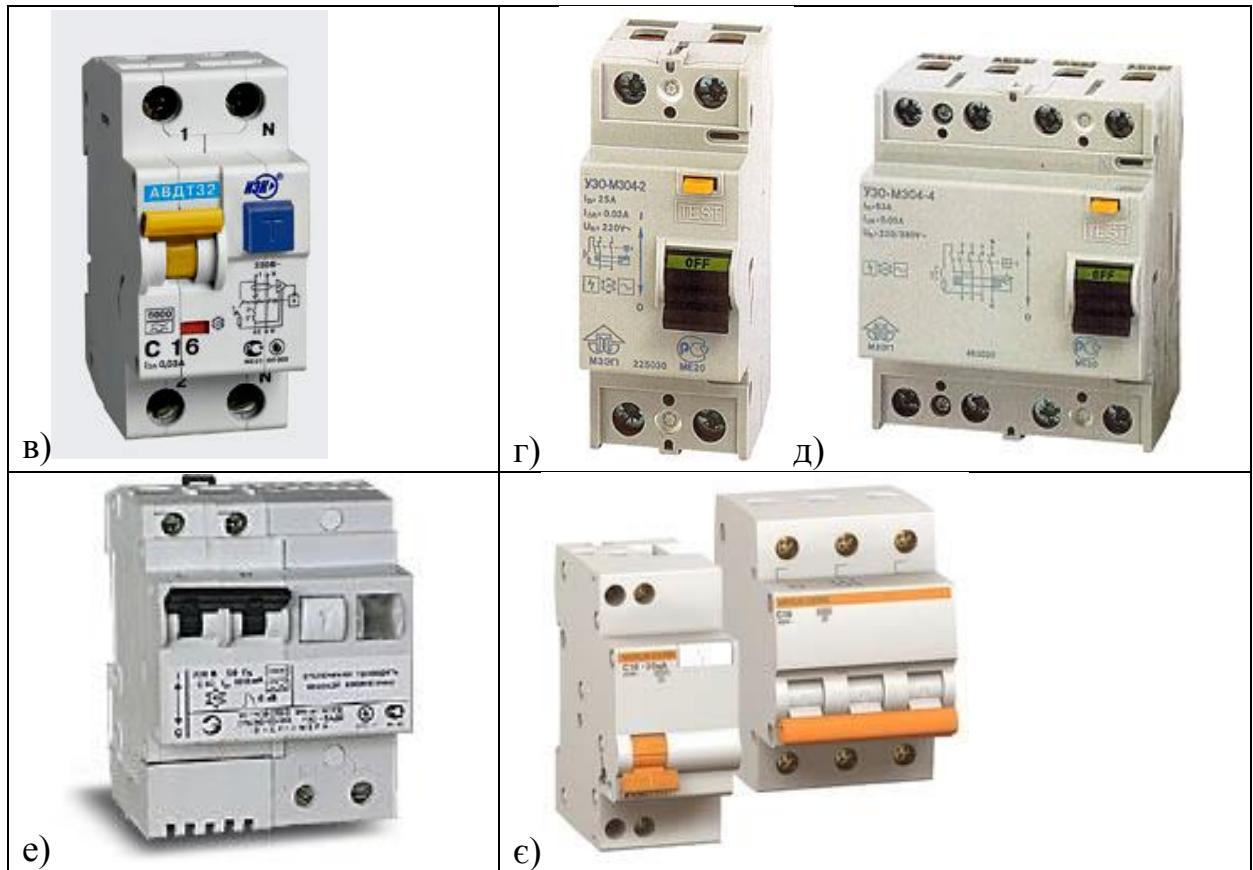


Рисунок 4.10 – Пристрої захисного вимкнення: а) диференційний автомат ВД1-63; б) диференціальні автомати АД12, АД 14; в) автоматичний вимикач диференційного струму АВДТ 32 (компанія ІЕК); г) і д) відповідно пристрій захисного вимкнення однофазний М304-2 і М304-4; е) УЗО-ВАД2 (концерн «Энергомера»; є) ПЗВ «Домовой» (Schneider Electric)

Стандартні значення допустимого часу вимкнення і невимкнення для ПЗВ типу S при будь-якому номінальному струмі навантаження понад 25 А і значеннях номінального диференційного струму понад 0,03 А не повинні перевищувати наведених нижче.

Диференційний струм	$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	500 мА
Максимальний час вимкнення	0,5	0,2	0,15	0,15
Мінімальний час невимкнення	0,13	0,06	0,05	0,04

До конструкції та електричних параметрів ПЗВ через його особливе призначення - захист життя і майна людини, висуваються надзвичайно високі вимоги до надійності, перешкодостійкості, термічної і електродинамічної стійкості, матеріалів і виконання конструкції. Цими особливими вимогами,

частково пояснюється порівняно висока вартість сучасних пристроїв захисного вимкнення.

За конструкцією ПЗВ повинен мати механізм вільного розчіплення, необхідний для того, щоб рухомі контакти могли знаходитися в стані спокою тільки в замкнутому або розімкненому положенні, навіть коли органи керування знаходяться в якому-небудь проміжному положенні.

Рухомі контакти всіх полюсів чотириполюсного ПЗВ повинні бути сполучені між собою механічно так, щоб всі полюси, за винятком того, що комутує нульовий робочий провідник, вмикалися і вимикалися практично одночасно, незалежно від того, яким чином здійснюється операція - вручну або автоматично. Контакти полюса, що комутує нульовий робочий провідник, повинні замикатися раніше і вимикатися пізніше за контакти інших полюсів ($\Delta T = 3-4$ мс).

Конструкція ПЗВ повинна забезпечувати його пожежну безпеку і роботоздатність, як в нормальному режимі роботи, так і при виникненні можливих несправностей та порушенні правил експлуатації.

Матеріали, з яких виготовлені зовнішні частини ПЗВ (окрім декоративних елементів), а також використовувані в конструкції електричних з'єднань для підтримання струмовідних частин в певному положенні, повинні витримувати випробування тиском кульки.

Матеріали, з яких виготовлені частини ПЗВ, повинні бути стійкими до дії полум'я пальника.

Ізоляційні матеріали, які підтримують конструкції гвинтових контактних з'єднань, повинні бути стійкими до дії теплової енергії, що виділяється в перехідному опорі дефектного контактного з'єднання, а також стійкими до дії нагрітого дроту (960°C).

Матеріали, через які можливе утворення провідного містка між частинами різної полярності і різного потенціалу, повинні бути трекінгостійкими.

Конструкція ПЗВ повинна виключати появу в процесі експлуатації і випробувань на пожежну небезпеку полум'я, диму, розм'якшення і оплавлення конструкційних матеріалів.

Режим роботи ПЗВ - безперервний, тривалий.

Пристрій захисного вимкнення повинен вимикати ділянку мережі, що захищається, при появі в ній синусоїдального змінного або пульсуючого постійного (залежно від модифікації) струму витоку, рівного вимикаючому диференціальному струму пристрою (вимикаючий диференційний струм ПЗВ згідно з вимогами стандарту може мати значення в інтервалі від 0,5 до номінального значення, вказаного заводом-виробником).

ПЗВ, функціонально не залежний від напруги живлення, не повинен спрацьовувати при знятті і повторному увімкненні напруги мережі. ПЗВ не повинен проводити автоматичне повторне увімкнення.

ПЗВ, функціонально незалежний від напруги живлення, не повинен залежати від наявності напруги в контрольованій мережі, повинен зберігати роботоздатність при обриві нульового або фазного проводів.

ПЗВ повинен спрацьовувати при натисненні вбудованої кнопки «Тест».

Роботоздатність контрольного експлуатаційного пристрою (кнопка «Тест») повинна зберігатися при зниженні напруги мережі до значення $0,85U_n$.

Конструкція контрольного експлуатаційного пристрою повинна виключати можливість попадання мережевої напруги в коло, підключене до вихідних виводів ПЗВ при натисненні кнопки «Тест», коли ПЗВ знаходиться в розімкненому стані. Це означає, що тестове коло має бути підключене до вхідних виводів ПЗВ через контакт, що блокується з силовою контактною групою.

ПЗВ повинен бути захищений від струмів короткого замикання послідовним захисним пристроєм (ПЗП): автоматичним вимикачем або запобіжником, що відповідають вимогам відповідних стандартів. При цьому номінальний струм ПЗП не повинен перевищувати номінальний робочий струм ПЗВ.

ПЗВ повинен бути стійким до небажаного спрацьовування при кидках струму на землю, викликаних увімкненням ємнісного навантаження.

Випробування ПЗВ за цим параметром проводяться імпульсом струму з піковим значенням 200 А з тривалістю фронту 0,5 мкс.

ПЗВ повинен бути стійким до імпульсів перенапруг.

Випробування проводяться:

- прикладанням до фазного і нейтрального (фазного, сполученого разом із нейтральним) виводів ПЗВ пакету імпульсної напруги 6 кВ тривалістю не менше 10 с;
- прикладанням до струмовідних частин і основи ПЗВ (ПЗВ закріплюється на металевій основі) імпульсної напруги 8 кВ протягом часу не меншого 10 с;

Імпульсну напругу отримують за допомогою генератора, що дає позитивні і негативні імпульси тривалістю фронту 1,2 мкс.

Опір ізоляції електричних кіл ПЗВ в нормальних кліматичних умовах повинен бути не меншим 10 Мом.

Ізоляція електричних кіл ПЗВ повинна витримувати протягом 1 хв без пробою і поверхневого перекриття дію випробувальної напруги 2200 В (діюче значення) змінного струму частотою 50 Гц.

Згідно з ГОСТ Р 51326.1-99 виробник повинен гарантувати надійну роботу ПЗВ протягом не менше 5 років з моменту введення в експлуатацію.

Перевищення температури частин ПЗВ не повинне перевершувати граничних значень, наведених нижче.

Частини ПЗВ	Перевищення температури, °С
Виводи для зовнішніх з'єднань	65
Зовнішні частини, до яких доводиться торкатися під час ручного керування ПЗВ, включаючи органи керування, виконані з ізоляційного матеріалу, і металеві зв'язки для з'єднання між собою ізольованих органів керування декількох полюсів	40
Зовнішні металеві частини органів керування	25
Інші зовнішні частини, включаючи поверхню ПЗВ, яка безпосередньо дотикається до монтажної поверхні	60

На кожному ПЗВ має бути стійке маркування із зазначенням всіх або, при малих розмірах пристрою, частини наступних даних.

1. Найменування або торговий знак (марка) виробника;
2. Позначення типу, номера за каталогом або номера серії пристрою;
3. Номінальна напруга U_n ;
4. Номінальна частота, якщо ПЗВ розроблений для частоти, відмінної від 50 і (або) 60 Гц.;
5. Номінальний струм навантаження I_n , А;
6. Номінальний вимикаючий диференційний струм $I_{\Delta n}$, мА.;
7. Номінальна найбільша вмикальна і вимикальна комутаційна здатність I_m ;
8. Номінальний умовний струм короткого замикання I_{nc} ;
9. Ступінь захисту (тільки у разі її відмінності від IP20);
10. Символ [S] для пристроїв типу S, [G] для пристроїв типу G;
11. Вказівки, що ПЗВ функціонально залежить від напруги мережі, якщо це має місце;
12. Позначення органу керування контрольним пристроєм - кнопки «Тест» - буквою Т;

13. Схема підключення пристрою;

14. Робоча характеристика: тип АС - символ ; тип А - символ 

Маркування за пп. 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 14 має бути розташоване так, щоб бути видимим після монтажу ПЗВ.

Інформація про пристрій за п.п. 1, 7, 13 може бути нанесене на бічній або задній поверхні пристрою, видимих тільки до встановлення виробу.

Інформація про пристрій за пп. 4, 9, 11, а також значення інтеграла Джоуля I^2t і пікового струму I_p повинні бути приведені в експлуатаційній документації.

Виводи, призначені виключно для з'єднання кола нульового робочого провідника, повинні бути позначені буквою "N".

4.4 Особливості монтажу і налагоджування пристроїв захисного вимкнення

Монтаж ПЗВ має здійснюватися, зважаючи на їх виконання за способом монтажу:

- ПЗВ поверхневого монтажу;
- ПЗВ утопленого монтажу;
- ПЗВ панельно - щитового монтажу.

Виходячи із високої чутливості ПЗВ (10; 30 мА) довжина проводки від нього до електроприймачів має бути за можливості меншою, аби запобігти хибним спрацюванням.

Обладнання електроустановки пристроєм захисного вимикання потребує ретельної перевірки ізоляції та у разі необхідності її підсилення.

Найбільш поширеною помилкою при монтажі ПЗВ є підключення до нього навантаження, в колі якого є з'єднання нульового робочого провідника N з відкритими провідними частинами електроустановки або з'єднання з нульовим захисним провідником РЕ (рис.4.11, а). В цьому випадку досить висока вірогідність «помилкового» спрацювання пристрою захисного вимикання.

При монтажі ПЗВ або модернізації розподільних щитків із застосуванням ПЗВ можливі наступні помилки:

- об'єднання нульових робочих провідників N різних ПЗВ в зоні їх захисту (при цьому струм навантаження є диференційним для обох ПЗВ і одне з них або обидва спрацювають (рис.4.11, б);
- підключення навантаження до нульового робочого провідника N до ПЗВ (в цьому випадку струм навантаження буде диференційним для ПЗВ і він спрацює) (рис. 4.11, в);

- підключення навантаження до нульового робочого провідника N іншого ПЗВ (при цьому струм навантаження є диференційним для обох ПЗВ і одне з них або обидва спрацювують) (рис.4.11, г);

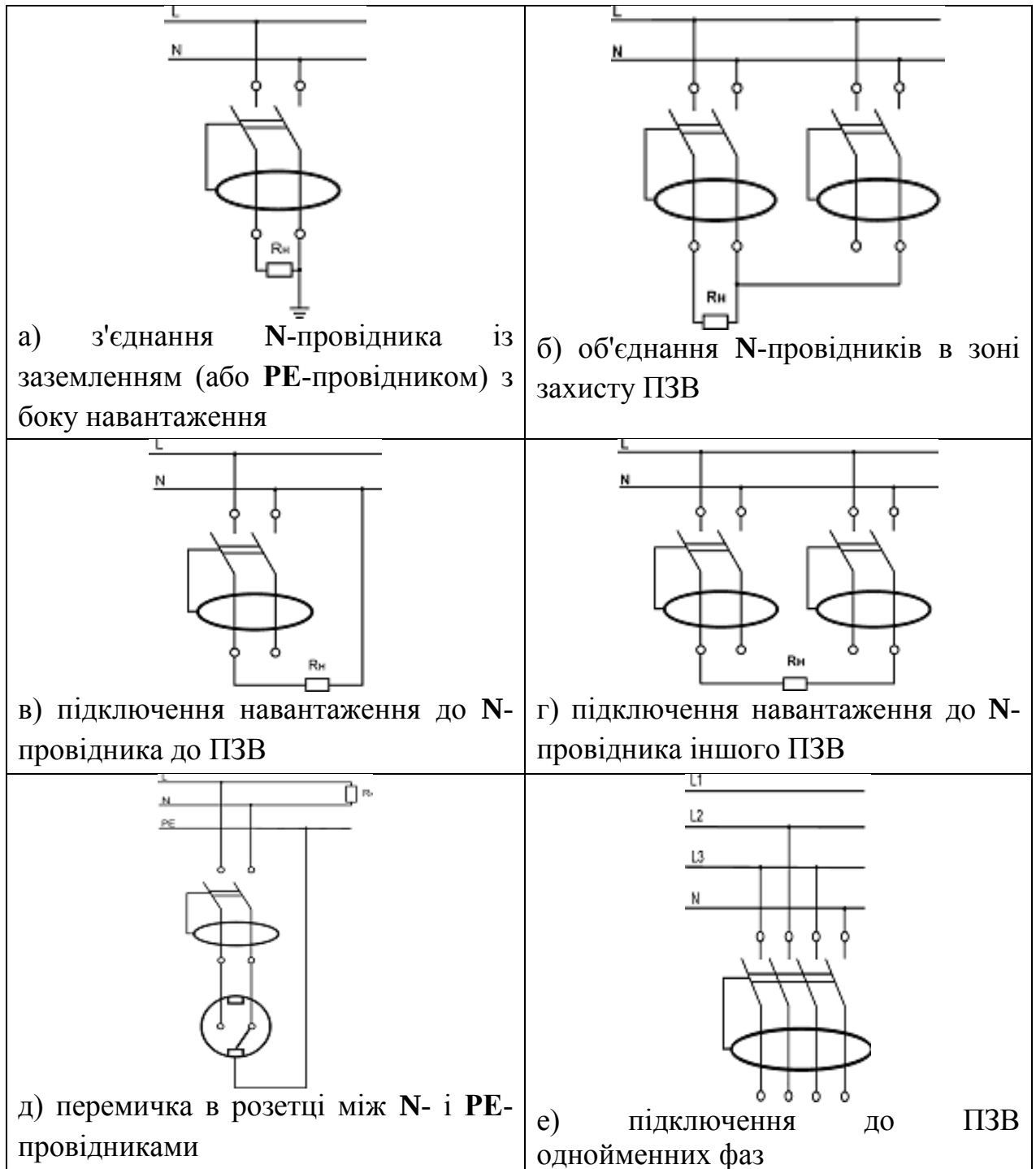


Рисунок 4.11 - Типові помилки при монтажі пристроїв захисного вимкнення

- з'єднання нульового робочого провідника N із захисним провідником PE при монтажі розеток або розгалужувальних коробок в зоні захисту ПЗВ викликає спрацювання УЗО (рис.4.11, д):

- при підключенні навантаження до розетки;
- при підключенні будь-якого навантаження поза зоною захисту ПЗВ (по перемичці тече диференційний струм).

При підключенні чотириполюсних ПЗВ можливе помилкове підключення на його клеми однойменних фаз (це не впливає на роботу однофазних споживачів) (рис.4.11, е). В цьому випадку перевірка роботоздатності ПЗВ за допомогою кнопки «Тест» недостовірна, оскільки неспрацьовування ПЗВ не означає, що він нероботоздатний.

При підключенні чотириполюсних ПЗВ в однофазну мережу в деяких випадках, коли не приймається до уваги схема внутрішніх з'єднань пристрою також можливе неспрацьовування пристрою при натисненні кнопки «Тест».

На рис. 4.12 та 4.13 наведені схеми групових розподільних щитків із пристроями захисного вимикання.

Перевірка правильності монтажу ПЗВ включає:

- перевірку відповідності монтажу затвердженій схемі електроустановки;
- перевірку фазування і маркування підключених до ПЗВ провідників (фазних і нульового);
- перевірку відсутності з'єднання нульового робочого провідника N в зоні захисту ПЗВ з нульовим захисним провідником PE, а також із заземленими корпусами електроустаткування і повторним заземленням;
- контроль надійності затягування контактних затискачів ПЗВ і апаратів захисту від надструмів.

Особливу увагу слід звернути на те, що в старих електроустановках з системою заземлення TN-C (що мають на вводі в будівлю PEN-провідник), захисний провідник PE, додатково прокладений в електроустановці, підключається у ввідному розподільному пристрої або в груповому щитку до суміщеного PEN-провідника (перед головним пристроєм захисного вимикання).

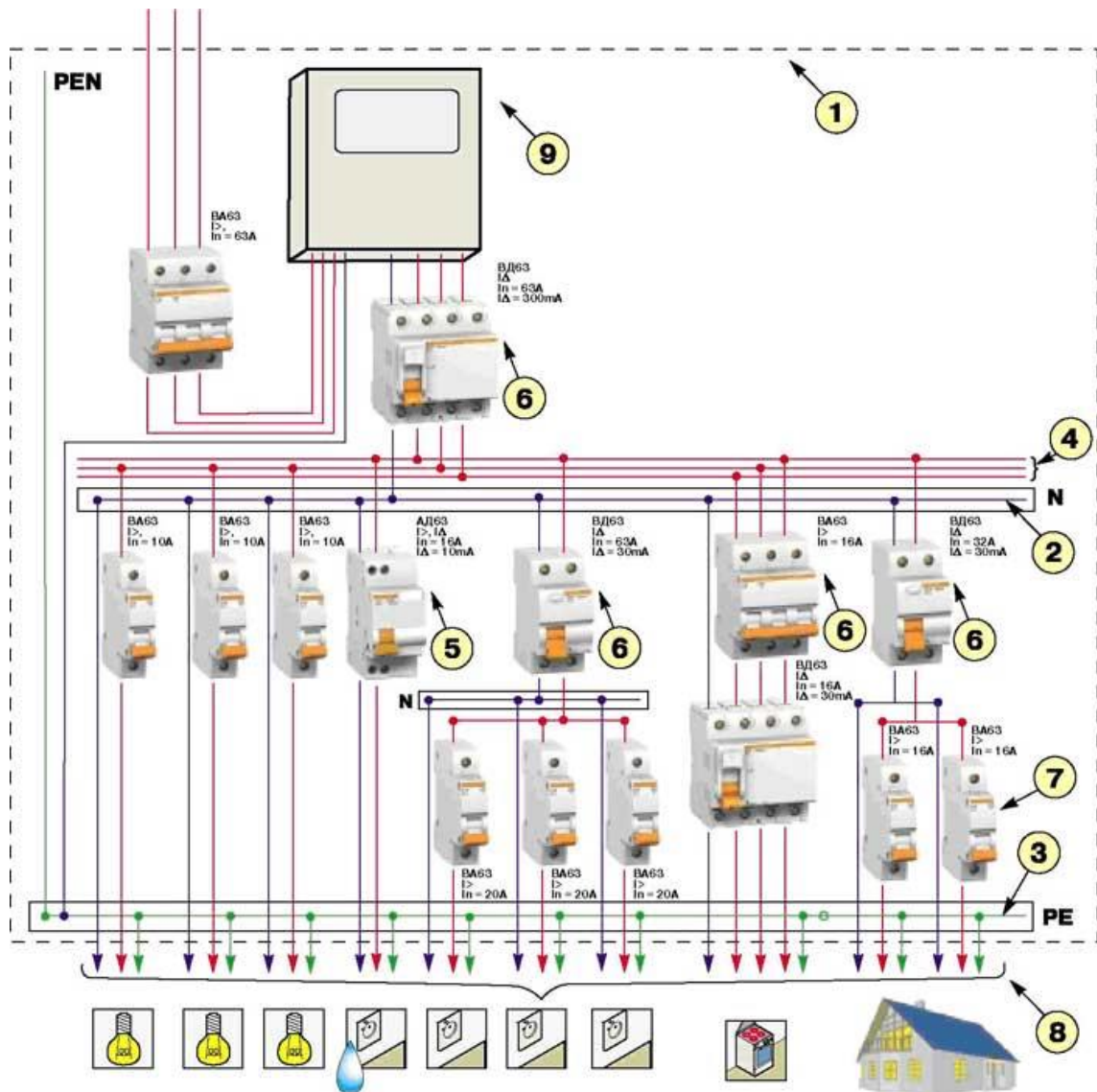


Рисунок 4.13 - Схема групового розподільного щита для індивідуальної будівлі відповідно до ГОСТ Р 51628-2000: 1- пластиковий корпус щита; 2 - сполучні елементи нульових робочих провідників; 3 - сполучний елемент затискачів нульових захисних провідників, а також провідника зрівнювання потенціалів; 4 - сполучний елемент входних затискачів захисних апаратів групових кіл; 5 - автоматичний вимикач диференційного струму ; 6 - вимикач диференційного струму; 7 - автоматичні вимикачі; 8 - лінії групових кіл

Питання для самоконтролю і завдання

1. До яких видів захисту людини від ураження електричним струмом відносяться пристрої захисного вимкнення?
2. На чому базується дія захисного вимкнення, як електрозахисного засобу?
3. Чи здійснює ПЗВ захист від спалахування і пожеж в електроустановках?
4. Що собою являє функціонально пристрій захисного вимкнення?
5. Що є основним елементом функціональним блоком ПЗВ диференційного типу?
6. Які ще функціональні блоки входять до складу ПЗВ диференційного типу?
7. Що передбачено конструкцією ПЗВ для періодичного контролю його справності (роботоздатності)?
8. Назвіть типи ПЗВ за умовами функціонування.
9. Назвіть типи ПЗВ за способом технічної реалізації.
10. В чому полягають переваги електромеханічних ПЗВ над електронними?
11. В чому полягають особливості «комбінованих» ПЗВ або диференційних автоматичних вимикачів?
12. Що собою являє номінальний вимикаючий диференційний струм ПЗВ?
13. Що собою являє номінальний невимикаючий диференційний струм ПЗВ?
14. Що являють собою номінальна вимикаюча і вимикаюча здатність (комутаційна здатність) ПЗВ?
15. Що являють собою номінальна вмикаюча і вимикаюча здатність за диференціальним струмом ПЗВ?
16. Що являє собою номінальний час вимикання ПЗВ?
17. Якою є умова вибору ПЗВ за сумарним струмом витоку захищуваного кола електроустановки?
18. Як визначити мінімальне значення диференційного (різницевого) струму I_{Amin} спрацювання ПЗВ?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с. Безпека праці в сільських електроустановках: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / [Лут М. Т., Радько І. П., Тракай В. Г., Чміль А. І.]. – К. : Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. – 430 с.
6. Безпека праці в сільських електроустановках: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / [Лут М. Т., Радько І. П., Тракай В. Г., Чміль А. І.]. – К. : Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. – 430 с.
7. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х.:Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказ Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 №4. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10.02.98 за № 93/2533.
9. Кунин Р.З., Прудников Н.И. Защитное отключение электроустановок. – .: Колос. Ленингр. Отделение, 1984.– 63 с.
10. Кораблев В.П. Устройства электробезопасности. –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 88 с.
11. Штепан. Ф. Устройства защитного отключения управления дифференциальным током. Руководство по обучению. – In – el., Praha, 2001. - 81с.
12. Мозырский. В. И. Автоматическое отключение питания и защитное заземления в электроустановках зданий (в свете требований новых стандартов по электробезопасности). – Киев: ДИА, 2001. – 120 с.

5. РЕЛЕ

5.1 Загальні відомості

5.2 Класифікація, характеристика, вимоги умовні позначення реле

5.3 Поляризовані реле

5.4 Герконові реле

5.5 Реле часу

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Електричне реле	апарат (прилад), призначений для стрибкоподібних заданих видозмін в одному чи декількох вихідних електричних колах при дотриманні певних умов у вхідних електричних колах	<i>electrical) relay</i>
Контакт електричного реле	Сукупність контактних елементів з їх ізоляцією, які внаслідок їх відносного переміщення забезпечують замкнення чи розімкнення кола контакту електричного реле	<i>contact assembly of a relay</i>
Контакт-деталь електричного реле	Частина контактного елемента електричного реле, за допомогою якої відбувається замкнення чи розімкнення контакту	<i>contact tip of a relay, contact point of a relay</i>
Котушка	Сукупність витків, переважно коаксіальних, з'єднаних послідовно	<i>coil</i>
Електричне реле напруги	Вимірювальне електричне реле, для якого характеристичною величиною є електрична напруга	<i>voltage relay</i>
Електричне реле струму	Вимірювальне електричне реле, для якого характеристичною величиною є електричний струм	<i>current relay</i>
Електричне реле часу	Логічне електричне реле з нормованою витримкою часу	<i>time relay</i>
Поляризоване електричне реле	Електричне реле постійного струму, зміна стану якого залежить від полярності його вхідної діючої величини	<i>polarized relay</i>

Двостабільне електричне реле	Електричне реле, яке після зміни свого стану під дією вхідної діючої або характеристичної величини після припинення впливу не змінює свого стану до прикладення іншої необхідної діючої або характеристичної величини	<i>bistable relay</i>
Вказівне електричне реле	Логічне електричне реле, яке призначене для вказування на спрацювання чи повернення інших комутаційних апаратів	<i>indicating relay</i>
Вторинне електричне реле	Електричне реле, що збуджується струмом або напругою за допомогою вимірювального трансформатора чи іншого перетворювача	<i>secondary relay</i>
Вимірювальне електричне реле	Електричне реле, призначене для спрацювання з певною точністю за визначеного значення чи значень характеристичної величини	<i>measuring relay</i>
Діюча величина електричного реле	Електрична величина, яка одна чи в поєднанні з іншими електричними величинами має бути прикладена до електричного реле за заданих умов для досягнення очікуваного функціонування	<i>energizing quantity of a relay</i>
Впливна величина електричного реле	Будь-яка величина, здатна змінити одну із заданих характеристик електричного реле	<i>influencing quantity of a relay</i>
Впливний чинник електричного реле	Будь-який чинник, здатний змінити одну із заданих характеристик електричного реле	<i>influencing factor of a relay</i>
Збудження електричного реле	Прикладання однієї чи декількох діючих величин до електричного реле	<i>excitation of a relay</i>
Вхідне коло електричного реле	Сукупність електричних провідних частин електричного реле, приєднаних до виводів, до яких прикладена діюча величина	<i>input circuit of a relay</i>

Вихідне коло електричного реле	Сукупність провідних частин електричного реле, приєднаних до виводів, між якими виконується передбачена стрибкоподібна зміна	<i>output circuit of a relay</i>
Замикальне вихідне коло електричного реле	Вихідне коло електричного реле, яке розімкнене контактом або перебуває в непровідному стані, коли реле знаходиться у початковому стані, чи яке замкнене контактом або перебуває у провідному стані, коли реле знаходиться в кінцевому стані чи стані закінченого спрацювання	<i>output-make circuit of a relay</i>
Допоміжне коло електричного реле	Сукупність електричних провідних частин електричного реле, приєднаних до виводів, до яких прикладена допоміжна діюча величина	<i>auxiliary circuit of a relay</i>
Коло контакту електричного реле	Вихідне коло електричного реле, реалізоване за допомогою контакту електричного реле	<i>contact circuit of a relay</i>
Зміна стану електричного реле	Спрацювання чи повернення електричного реле	<i>change of state of a relay</i>
Значення величини спрацювання електричного реле	Значення вхідної діючої чи характеристичної величини електричного реле, за якого воно спрацює в заданих умовах	<i>operative value of a relay</i>
Значення величини повернення електричного реле	Значення вхідної діючої чи характеристичної величини електричного реле, за якого воно повертається в заданих умовах	<i>return value of a relay</i>
Час замикання замикального контакту електричного реле	Час від моменту, коли вхідна діюча величина електричного реле, яке перебуває у початковому стані, приймає за заданих умов відповідне значення, до моменту, коли замкнеться вперше замикальний контакт	<i>closing time of a make contact of a relay</i>

Час замикання розмикального контакту електричного реле	Час від моменту, коли вхідна діюча величина електричного реле, що перебуває в кінцевому стані чи стані закінченого спрацьовування, знімається за заданих умов, до моменту, коли замкнеться вперше розмикальний контакт	<i>closing time of a break contact of a relay</i>
Час розмикання замикального контакту електричного реле	Час від моменту, коли вхідна діюча величина електричного реле, яке перебуває у кінцевому стані чи стані закінченого спрацьовування, знімається за заданих умов, до моменту, коли розімкнеться вперше замикальний контакт	<i>opening time of a make contact of a relay</i>
Час розмикання розмикального контакту електричного реле	Час від моменту, коли вхідна діюча величина електричного реле, яке перебуває у початковому стані, приймає за заданих умов відповідне значення, до моменту, коли розімкнеться вперше розмикальний контакт	<i>opening time of a break contact of a relay</i>
Час спрацьовування електричного реле	Час від моменту, коли вхідна діюча чи характеристична величина електричного реле, яке перебуває в початковому чи вихідному стані, приймає за заданих умов певне значення, до моменту, коли реле завершує спрацьовування	<i>operating time of a relay</i>
Час деренчання контакту електричного реле	Інтервал часу між моментом, коли контакт електричного реле в перший раз замикається чи розмикається, і моментом, коли коло контакту остаточно замкнеться або розімкнеться	<i>bounce time of a relay</i>
Електромагнітне поле	Вид матерії, що визначається в усіх точках двома векторними величинами, які характеризують дві його сторони, що називаються відповідно «електричне поле» та «магнітне поле», які чинять силовий вплив на заряджені частинки, що залежить від їх швидкості та величини їх заряду	<i>electromagnetic field</i>

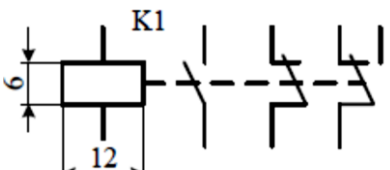
Електромагнітна енергія	Енергія електромагнітного поля, яка є сумою енергій електричного та магнітного полів	<i>electromagnetic energy</i>
Електромагнітна індукція	Явище збудження електрорушійної сили у провідному контурі	<i>electromagnetic induction</i>
Магнітна індукція	Векторна величина, якою характеризують інтенсивність магнітного поля за величиною сили, що діє на рухому заряджену частинку з боку магнітного поля	<i>magnetic induction, magnetic flux density</i>
Магнітне коло	Сукупність пристроїв, що створюють замкнені шляхи для магнітних потоків, електромагнітні процеси в яких можуть бути описані за допомогою понять магніторушійної сили, магнітного потоку та різниці магнітних потенціалів	<i>magnetic circuit</i>
Магніторушійна сила, МРС	Скалярна величина, що дорівнює лінійному інтегралу напруженості магнітного поля вздовж замкненого контура	<i>magnetomotive force, mmf</i>
Магнітний опір	Скалярна величина, яка дорівнює відношенню різниці магнітних потенціалів на ділянці даного магнітного кола до магнітного потоку у цій ділянці	<i>reluctance</i>
Магнітний потік	Потік вектора магнітної індукції крізь поверхню, скалярна величина, що зображує магнітне поле у вигляді замкненого вихрового матеріального потоку, швидкість зміни якого у часі (похідна у часі від магнітного потоку) дорівнює електрорушійній силі контура, що охоплює цей потік	<i>magnetic flux</i>
Магнітне осердя	Феромагнітна деталь, на якій розміщуються обмотки електромагнітного пристрою	<i>magnetic core</i>
Магнітний екран	Феромагнітний екран, призначений для зменшення проникнення магнітного поля в певну ділянку	<i>magnetic screen</i>

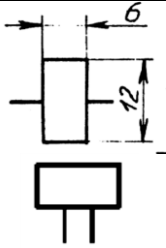
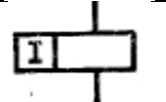
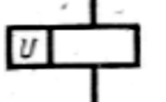
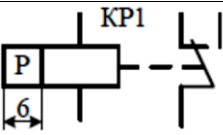
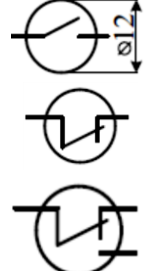
Магнітоелектричне реле	Електромеханічне реле, робота якого ґрунтується на взаємодії магнітних полів нерухомого постійного магніту та рухомої обмотки, що збуджується струмом	<i>magnetoelectric relay</i>
Магнітопровід електротехнічного пристрою	Магнітна система електротехнічного пристрою чи сукупність декількох її частин у вигляді окремої конструктивної одиниці	<i>magnetic circuit of an electrical device</i>
Електромагнітне реле	Електромеханічне реле, робота якого ґрунтується на впливі магнітного поля нерухомої обмотки на рухомий феромагнітний елемент (якір)	<i>electromagnetic relay</i>
Електромеханічне реле	Електричне реле, робота якого ґрунтується на використанні відносного переміщення його механічних елементів під дією електричного струму, що проходить у входних колах реле	<i>electromechanical relay</i>
Герконове реле	Електромагнітне реле з герметизованим магнітокерованим контактом	<i>reed relay</i>
Відхилення уставки комутаційного апарата	Відхилення величини спрацьовування чи неспрацьовування комутаційного апарата від уставки під дією різних чинників	<i>setting deviation of a switching device</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	Реле

	<i>K</i>	Реле, контактори, пускачі (катушка)
		Реле, контактори, пускачі (контакти) замикаючий контакт перемикаючий контакт розмикаючий контакт
	<i>KA</i>	Реле струмове
	<i>KM</i>	Реле напруги
	<i>KT</i>	Реле часу
	<i>KH</i>	Реле вказівне
	<i>KP</i>	Поляризоване реле
	<i>SF</i>	Геркон

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.
2. ДСТУ 2936-94. Реле електричні. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1996

5.1 Загальні відомості

Реле — електричний комутаційний апарат, який автоматично виконує певні перемикання контрольованого ним електричного кола.

Реле — це пристрій, у якому за досягнення певного значення вхідної величини X , вихідна величина Y змінюється стрибкоподібно та приймає скінченне число значень. Найчастіше, це автоматичний пристрій, який реагує на зміни параметру (температури, тиску, освітленості тощо) і який, у разі досягнення параметром заданої величини, замикає або розмикає електричне коло.

Реле застосовуються там, де потрібно контролювати електричне коло за допомогою сигналу з низьким енергоспоживанням з повною гальванічною розв'язкою, або де кілька схем повинні контролюватися одним сигналом. Реле широко використовувалися на телефонних станціях й перших комп'ютерах для виконання логічних операцій.

За допомогою реле, без безпосередньої участі людини, здійснюється керування, контроль режимів роботи і захист різних електроустановок. Реле при цьому забезпечують функціональний взаємозв'язок між різними фізичними процесами.

Електромагнітне реле являє собою електричний апарат, який приводить в дію один або кілька керованих електричних кіл при впливі на нього певних електричних сигналів, що подаються з керуючих кіл. Вони призначені для комутації кіл керування більш потужних електричних апаратів, підсумовування і розмноження електричних сигналів, сигналізації, захисту та інших цілей.

Релейним називається таке керування, при якому деяка зміна контрольованого вхідного параметра перетворюється в стрибкоподібну зміну вихідного параметра. Ця залежність називається характеристикою керування, або характеристикою «вхід - вихід». Типові приклади таких залежностей показані на рис.5.1.

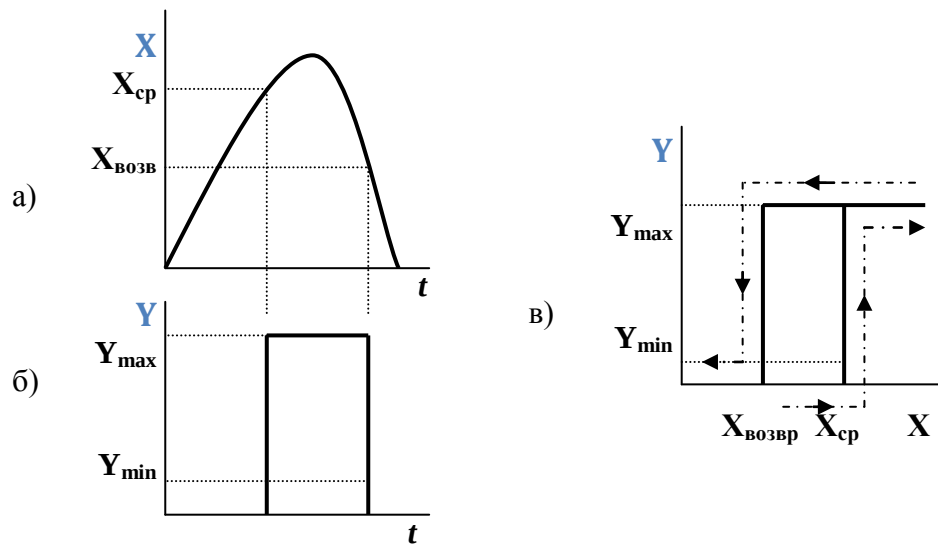


Рисунок 5.1 – Перетворення вхідного і вихідного параметрів реле

Спрацьовуванням реле називається виконання належної йому функції, а поверненням (відпусканням) - перехід в початковий стан, що мало місце до спрацьовування. Спрацьовування реле може відбуватися під дією електричних і неелектричних сигналів: напруги, струму, часу, температури та інших.

Нехай деякий параметр X пов'язаний з параметром t безперервної залежністю $X = f(t)$ (рис.5.1, а). При зростанні вхідного параметра X від нуля до значення $X_{\text{ср}}$, при якому відбувається спрацьовування реле, вихідний параметр Y стрибкоподібно змінює своє значення від нуля або Y_{min} до Y_{max} , яке залишається незмінним при подальшому збільшенні X (рис.5.1, б). Якщо потім відбувається зменшення вхідного параметра, вихідний параметр змінить своє значення на нуль або Y_{min} при іншому значенні $X_{\text{поверн}}$, яке називається параметром повернення. Таким чином, безперервна функціональна залежність $X = f(t)$ перетворюється в **релейну характеристику** $Y = f(X)$, (рис. 5.1, в).

Відношення параметра повернення до параметра спрацьовування називається коефіцієнтом повернення:

$$K = X_{\text{поверн}}/X_{\text{ср}} \quad (5.1)$$

Серед реле прийнято виділяти дві великі групи: вимірювальні та логічні.

5.2 Класифікація, характеристики, вимоги і умовні позначення реле

Електромагнітні реле складаються з магнітної системи з котушкою, розташованої на її нерухомій частині, та якоря, механічно зв'язаного з замикаючими або розмикаючими контактами. При увімкненні котушки на напругу живлення якір притягається і впливає на контакти, змушуючи їх замикатися або розмикатися.

В **електромеханічних реле** джерелом руху є невеликий виконавчий двигун, зв'язаний через редуктор з групами контактів. При увімкненні двигуна редуктор приводить в обертання барабан з розташованими на них рухомими контактами, які і забезпечують за певною програмою замикання або розмикання керованих кіл.

Геркони (герметизовані магнітокеровані контакти) являють собою, як правило, запаяні в герметизований балон контакти, які можуть замикатися або розмикатися під впливом зовнішнього магнітного поля.

Електронні реле є безконтактними пристроями і являють собою електронні схеми, в яких роль контактів виконують напівпровідникові прилади, що працюють в ключовому режимі - транзистори, тиристори та ін.

Комбіновані реле - це сукупність електронної схеми керування і електромагнітного або електромеханічного реле в якості виконавчого елемента.

Реле зазвичай містить три основних функціональних елементи: *сприймаючий, проміжний і виконавчий*.

Сприймаючий (контролюючий) елемент сприймаючий контрольовану величину X і перетворює її в фізичну величину, необхідну для роботи реле. У реле, що має рухомі частини, сприймаючим елементом є рухомий орган. У контактних реле контрольована величина перетворюється сприймаючим елементом, як правило, в механічне зусилля.

Проміжний елемент (у контактних реле - пружина) порівнює значення перетвореної впливаючої величини з еталоном (заданим значенням) і при перевищенні контрольованим параметром заданого значення дозволяє реле спрацювати, тобто передає первинний вплив виконавчому елементу.

Виконавчий елемент впливає на кероване коло, змінюючи параметр Y . У реле з рухомими частинами (контактні реле) виконавчим елементом є рухома контактна система.

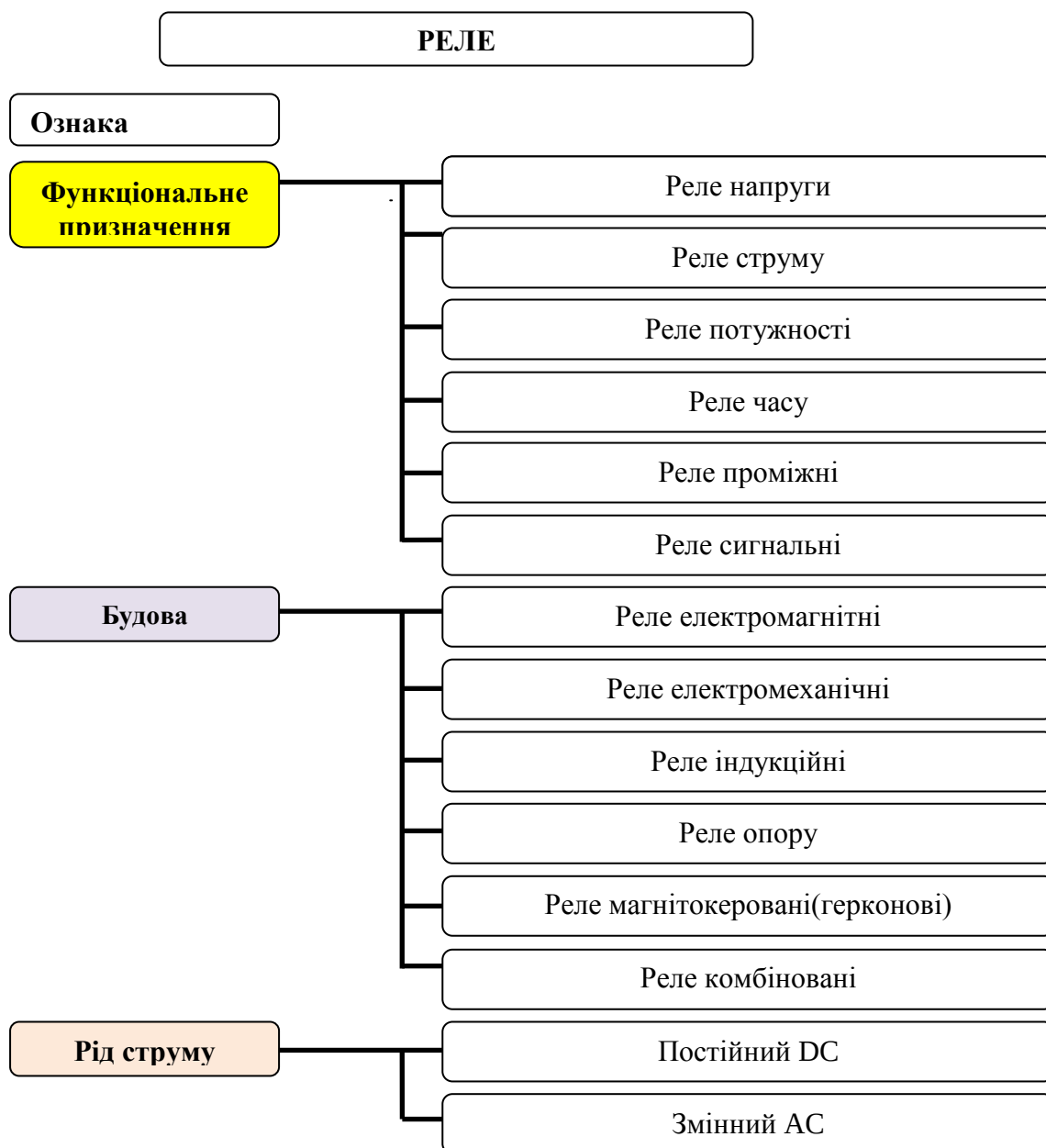


Рисунок 5.2 – Класифікація реле

Реле можуть мати ще четвертий елемент - елемент, який створює витримку часу між моментом часу, коли сприймаючий елемент повинен привести реле в дію, і моментом спрацьовування виконавчого елемента. Витримка часу може створюватися електромагнітним, механічним та іншими способами.

Сприймаючий елемент (рухома частина) реле може бути влаштований певним способом, визначеним головним чином величиною, на яку реле має реагувати.

Наприклад, у струмового реле це буде якийсь електромагніт, в реле тиску - мембрана або сільфон, у реле рівня - поплавки і т. д.

Сприймаючий елемент електричних реле, які будуть розглянуті нижче, може бути виконаний на електромагнітному, індукційному, електродинамічному, магнітоелектричному, електронно-іонному, резонансному, тепловому або іншому принципі. Відповідно до цього розрізняють і реле, що мають одне і те ж призначення.

Наприклад, реле струму електромагнітне, реле струму індукційне, реле часу електронне і т. п.

За способом увімкнення сприймаючого елемента розрізняють реле первинні, вторинні і проміжні. Сприймаючий елемент первинних реле вмикається безпосередньо в контрольовані кола. У вторинних реле сприймаючий елемент вмикається в контрольовані кола через вимірювальні трансформатори. Проміжні реле працюють від виконавчих органів інших реле і призначаються для підсилення сигналу, розмноження сигналу і в точному значенні слова не є реле (за принципом роботи вони ближче до контакторів).

За принципом дії виконавчого елемента розрізняють реле контактні і реле з використанням безконтактної технології. Контактні реле впливають на кероване коло шляхом замикання або розмикання його за допомогою своїх контактів. Безконтактні реле здійснюють керування шляхом стрибкоподібної (релейної) зміни параметрів (індуктивності, ємності і т. п.) свого виконавчого елемента, увімкненого в кероване коло.

За способом впливу виконавчого елемента на керований об'єкт розрізняють реле прямої дії - виконавчий елемент реле безпосередньо управляє контрольованим колом, і непрямої дії - виконавчий елемент впливає на контрольоване коло через інші апарати.

За призначенням реле можна розділити на три групи:

1) реле захисту. Виконуються головним чином як вторинні реле побічної дії. Їх сприймаючі і виконавчі органи розраховуються на порівняно малі струми. У низьковольтних мережах реле захисту виконуються як первинні реле також побічної дії;

2) реле керування електроприводами. Виконуються зазвичай як первинні реле прямої дії. Їх сприймаючі органи можуть бути розраховані на струми до декількох тисяч ампер, а виконавчі органи - на десятки ампер;

3) реле автоматики і електрозв'язку. Виконуються і як первинні, і як вторинні, прямої і непрямої дії. Сприймаючі і виконавчі органи розраховуються на струми, вимірювані міліамперами, рідко - одиницями ампер.

Основні характеристики реле. Розрізняють такі основні характеристики реле:

Значення параметра спрацювання $X_{спр}$ - значення впливаючої величини, при якому реле вмикається (якір притягається).

Значення параметра відпускання $X_{відп}$ - значення впливаючої величини, при якому реле вимикається (якір відпадає).

Коефіцієнт повернення $K_{пов}$ - відношення параметра відпускання до параметра спрацювання:

$$K_{пов} = X_{відп} / X_{спр} < 1 \quad (5.2)$$

Коефіцієнт повернення в електричних реле завжди менше одиниці і коливається в межах від 0,2 до 0,99. Він залежить від характеру і співвідношення тягової і механічної характеристик реле.

Робоче значення впливаючої величини X_p - максимальне значення цієї величини, під впливом якої сприймаючий елемент може тривалий час перебувати, не перегріваючись (не руйнуючись) понад допустиму температуру.

Коефіцієнт запасу по спрацюванню $K_{зап}$ - відношення робочого значення впливаючої величини до значення параметра спрацювання:

$$K_{зап} = X_p / X_{спр} > 1 \quad (5.3)$$

Потужність спрацювання $P_{спр}$ - потужність, відповідна $X_{спр}$, тбто потужність, яку реле споживає при спрацюванні.

Потужність керування $P_{керув}$ - електрична потужність вихідного кола, що відповідає Y_{max} . Це потужність, яку виконавчий елемент тривало може пропускати, а в контактних реле ще й та потужність, яку контакти можуть вмикати і вимикати при даній напрузі.

Коефіцієнт підсилення $K_{підс}$ - відношення потужності керування до потужності спрацювання:

$$K_{підс} = P_{керув} / P_{спр}. \quad (5.4)$$

Допустима частота спрацювання - кількість спрацювань в одиницю часу. Розрізняють три основні групи реле:

- реле з малою частотою спрацювання, що спрацювають відносно рідко (реле захисту) - до одного спрацювання за хвилину;
- реле із середньою частотою спрацювання, що спрацювають від одного разу за хвилину до десяти разів протягом секунди;

- реле з великою частотою спрацювання, що спрацювають більше десяти разів за секунду (вібраційні реле).
- час спрацювання - проміжок часу t_{cnp} (рис. 2) від моменту появи сигналу на сприймаючому елементі до моменту появи сигналу в керованому колі;
- параметр відпускання $X_{відп}$ - значення впливаючої величини, при якому реле вимикається (якір відпадає);
- коефіцієнт повернення $K_{нов}$ - відношення параметра відпускання до параметра спрацювання:

$$K_{нов} = X_{відп} / X_{cnp} < 1 \quad (5.5)$$

- коефіцієнт повернення в електричних реле завжди менше одиниці і коливається в межах від 0,2 до 0,99. Він залежить від характеру і співвідношення тягової і механічної характеристик реле;
- робоче значення впливаючої величини X_p - максимальне значення цієї величини, під впливом якої сприймаючий елемент може тривалий час перебувати, не перегріваючись (не руйнуючись) понад допустиму температуру;
- коефіцієнт запасу за спрацюванням $K_{зан}$ - відношення робочого значення впливаючої величини до параметра спрацювання:

$$K_{зан} = X_p / X_{cnp} > 1 \quad (5.6)$$

- потужність спрацювання P_{cnp} - потужність, відповідна X_{cnp} , тобто потужність, яку реле споживає при спрацюванні;
- потужність керування $P_{керув}$ - електрична потужність вихідного кола, відповідна Y_{max} . Це потужність, яку виконавчий елемент тривало може пропускати, а в контактних реле ще й та потужність, яку контакти можуть вмикати і вимикати при даній напрузі.
- коефіцієнт підсилення $K_{нідс}$ - відношення потужності керування до потужності спрацювання:

$$K_{нідс} = P_{керув} / P_{cnp} \quad (5.7)$$

- допустима частота спрацювання - кількість спрацювань в одиницю часу. Розрізняють три основні групи реле:
- з малою частотою спрацювання реле, що спрацювають відносно рідко (реле захисту) - до одного спрацювання за хвилину;

- із середньою частотою спрацьовування - реле, що спрацьовують від одного разу за хвилину до десяти разів за секунду;
- з великою частотою спрацьовування реле, що спрацьовують більше десяти разів за секунду (вібраційні реле).
- час спрацьовування - проміжок часу t_{cnp} від моменту появи сигналу на сприймаючому елементі до моменту появи сигналу в керованому колі. За часом спрацьовування реле діляться на безінерційні ($t_{cnp} < 0,001$ с), швидкодіючі ($t_{cnp} < 0,05$ с), нормальні ($t_{cnp} = 0,05 - 0,25$ с), реле часу (уповільненої дії) - $t_{cnp} (t_{vidn}) > 0,25$ с.
- час відпускання - проміжок часу t_{vidn} від моменту зняття сигналу із сприймаючого елементу до моменту припинення дії виконавчого органу на кероване коло (час горіння дуги при вимкненні до власного часу реле не входить).
- термін служби - допустима кількість спрацьовувань. Залежно від допустимої частоти спрацьовування від реле вимагається кількість спрацьовувань від декількох тисяч до декількох десятків мільйонів.

Вимоги, що висуваються до реле.

Реле має бути надійним в роботі - ця вимога висувається до всіх реле без винятку.

До реле захисту висуваються підвищені вимоги по термічній і динамічній стійкості. Вони повинні мати достатній коефіцієнт запасу по спрацьовуванню, оскільки робоче значення вхідної величини може у багато разів перевершувати величину спрацьовування.

Наприклад, уставка за струмом спрацьовування реле може бути (4 - 5) $I_{ном}$, а струм короткого замикання (30 - 50) $I_{ном}$.

До реле керування і автоматики підвищені вимоги висуваються щодо комутаційної і механічної зносостійкості. Найбільш слабким елементом контактних реле є контактна система. Комутаційна зносостійкість зазвичай набагато нижча механічної, тому спостерігається тенденція в системах з великою частотою роботи замінити контактні реле на реле з використанням безконтактної технології, а при застосуванні контактних реле - створити реле зі штепсельним приєднанням, щоб забезпечити швидку заміну апарату, що вийшов з ладу, спростити огляд і перевірку,

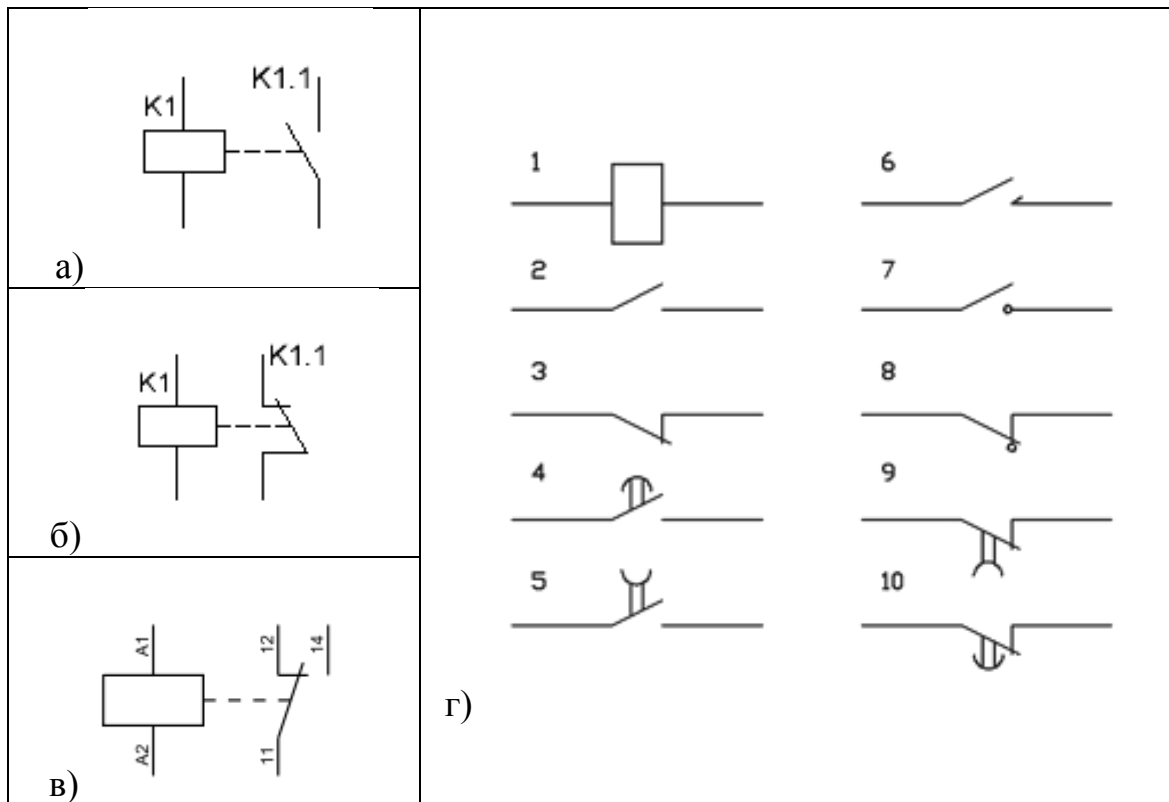


Рисунок 5.3 - Умовні позначення електромагнітного реле (а, б, в) та його контактів (г) (за ГОСТ 2.755 і ГОСТ 2.756): 1 — обмотка реле (A1, A2 - керуюче коло); 2 - замикаючий контакт; 3 - розмикаючий контакт; 4 - замикаючий контакт із сповільненням при спрацюванні; 5 - замикаючий контакт із сповільненням при поверненні; 6 – імпульсний замикаючий контакт; 7 – замикаючий контакт без самоповернення; 8 - розмикаючий контакт без самоповернення; 9 – розмикаючий контакт із сповільненням при спрацюванні; 10 - розмикаючий контакт із сповільненням при поверненні; на фрагменті а рисунку: 11 - загальний контакт, 11-12 – розмикаючий контакт; 11-14 – замикаючий контакт

5.3 Поляризовані реле

Різновидом електромагнітних реле є поляризовані електромагнітні реле. Їх принципова відмінність від нейтральних реле полягає у здатності реагувати на полярність керуючого сигналу.

Поляризоване електромагнітне реле являє собою комутаційний пристрій з трьома положеннями, який відрізняється від нейтрального реле наявністю постійного магніта. У реле функціонують два магнітних потоки: робочий, створюваний обмотками, по яких протікає струм, і поляризуючий, створюваний постійним магнітом.

Поляризоване реле (рис.5.4) складається із сталевого осердя (ярма) з двома котушками, рухомого сталевго якоря, що має контакти ліворуч і праворуч, двох рухомих контактів і постійного магніту.

Залежно від стану контактів за відсутності струму в котушках поляризовані реле поділяються на:

- двопозиційні - контакти лишаються в стані, який був встановлений останньою подачею сигналу перемикаання на одну з котушок реле;
- трипозиційні - контакти реле роз'єднуються після зняття сигналу перемикаання з котушок реле.

Якір цього реле може займати два (у двопозиційного реле) або три (у трипозиційного реле) положення:

- якщо струму в обмотках реле немає, якір знаходиться в нейтральному, середньому положенні; оскільки це положення нестійке, якір утримується в ньому спеціальними пружинами. Якщо зняти пружини, то реле перетвориться в двопозиційне;
- при проходженні постійного струму визначеного напрямку магнітний потік електромагніту в одній частині осердя буде складатися з магнітним потоком постійного магніту, а в іншій — відніматися від нього, якір притягується до полюса, в якому магнітний потік більший.

Поляризовані реле мають високу чутливість, великий коефіцієнт підсилення і малий час спрацьовування, тому їх застосовують у схемах малопотужної автоматики у випадках, коли потрібна велика чутливість або швидкодія.

Поляризовані реле є найбільш чутливими з усіх типів реле. Вони застосовуються там же, де і нейтральні електромагнітні реле - для комутації невеликих навантажень в колах керування, для підсилення і розмноження сигналів. Поляризовані реле живляться постійним струмом. На роботу поляризованих реле впливає полярність напруги живлення. Постійний магніт або електромагніт має спеціальну обмотку (обмотку збудження).



Рисунок 5.4 – Поляризоване електромагнітне реле

Якщо сталевий поворотний якір розташувати між двома постійними магнітами, на яких є обмотки збудження постійного струму, і утримувати його пружинами в нейтральному положенні, то магнітний потік, створюваний в повітряних зазорах, буде залежати від напрямку струму в обмотках.

В одному із зазорів магнітні потоки постійного магніту і обмотки віднімаються, а в іншому додаються. В результаті цього якір буде притягатися до полюса з великим магнітним потоком. Таким чином, напрямок переміщення якоря залежить від полярності вхідного сигналу.

Досить дуже невеликого узгодженого або протилежно спрямованого магнітного потоку, щоб якір реле притягнувся до одного з контактів. Чутливість поляризованого реле тому надзвичайно велика. Для роботи реле потрібно дуже невеликий струм, а час спрацьовування його дуже малий.

Наприклад, у найбільш поширених поляризованих реле типу РП-4 або РП-5 струм спрацьовування складає всього кілька десятків мікроампер.

Обидва реле (РП-4 і РП-5) мають контакти, розраховані на розривний струм в 0,2 А при напрузі 24 В. Термін служби цих реле не менше 10 млн. спрацьовувань.

Нерухомі контакти поляризованих реле можуть мати різне настроювання. Буває нейтральне настроювання контактів, настроювання контактів з переважанням і трипозиційне настроювання.

Нейтральне настроювання контактів - симетричне відносно нейтральної осі положення нерухомих контактів. При включенні поляризованих реле, що мають нейтральне настроювання контактів, якір реле переміщається з одного крайнього положення в інше і при відключенні реле

не повертається у вихідне положення. Для повернення реле необхідно подати на обмотку збудження напругу зворотної полярності.

До реле, які мають нейтральне настроювання контактів, відносяться реле РП-4.

Настроювання контактів з переважанням - це таке взаємне положення контактів, при якому вони розташовані по один бік від нейтралі. При такому настроюванні лівий зазор між якорем і полюсами магніту завжди менший правого зазору, а отже, магнітний потік в лівому зазорі більше магнітного потоку в правому зазорі. Тому при відключенні обмотки збудження якір реле повертається у вихідне положення. Настроювання контактів з переважанням мають реле РП-7.

Трипозиційним настроюванням контактів називають таке настроювання, при якому контакти реле розташовані симетрично щодо якоря, утримуваного пружинами в нейтральному положенні. Залежно від полярності вхідної напруги якір реле замикає правий або лівий контакти. При відключенні вхідного сигналу якір під дією пружин повертається у вихідне положення. Трипозиційне настроювання мають поляризовані реле РП-5.

Для підвищення надійності і чутливості поляризованих реле їх магнітну систему виконують з пермалою, що має малі втрати на перемагнічування.

Для одержання в електромагнітному механізмі знакозмінної залежності зусилля тяжіння від напрямку вхідного сигналу необхідна наявність двох магнітних потоків: потоку, що створюється струмом в обмотці реле, і постійного, незмінного за величиною і напрямком, що створюється зазвичай постійним магнітом. Таким чином, при одному напрямку струму в обмотці реле магнітні потоки будуть додаватись, а при іншому напрямку струму – відніматись. Отже, модифікація напрямку струму призведе до модифікації абсолютної величини магнітного потоку, чого не було в електромагнітних нейтральних реле.

Чутливість до напрямку (поляризація) здійснюється за рахунок постійного магнітного потоку. Всі поляризовані реле базуються на використанні в електромагнітному механізмі двох потоків. За конструктивною схемою магнітного кола розрізняють поляризовані реле, що побудовані за диференційною і мостовою схемами. За кількістю стійких положень якоря розрізняють двопозиційні і трипозиційні поляризовані реле.

У поляризованих реле, крім основного потоку, створюваного обмоткою електромагніту Φ_p , діє додатковий поляризовуючий магнітний потік, створюваний постійним магнітом Φ_n . Завдяки поляризовуючому потоку

напрямок електромагнітного зусилля, що діє на якір, змінюється залежно від напрямку струму в обмотці реле.

На рис.5.5 показані магнітні кола поляризованих реле. Послідовне магнітне коло застосовується рідко через наступні недоліки:

- 1) потрібне підвищене значення магніторухливної сили (МРС) робочої обмотки через малу магнітну проникність постійного магніту;
- 2) постійний магніт піддається дії робочого потоку і розмагнічується при зустрічному напрямку робочого і поляризуючого потоків.

Результуюча сила, що діє на якір, дорівнює різниці сил, створених в зазорах δ_1 і δ_2 :

$$F_{\text{рез}} = F_{\delta_1} - F_{\delta_2} = \left(\Phi_{\Pi}' - \Phi_p \right)^2 - \left(\Phi_{\Pi}'' + \Phi_p \right)^2 2\mu_0 S_{\Pi} \quad (5.8)$$

Якщо значення δ_1 і δ_2 близькі, то намагнічуюче зусилля спрацьовування реле мале. Завдяки цьому потужність спрацьовування таких реле знижується до 10 Вт. Зусилля контактного натискання визначається різницею значень δ_1 і δ_2 . Чим ближчі ці значення, тим менше контактна натискання, яке зазвичай не перевищує $(1-5) \cdot 10^{-2}$ Н.

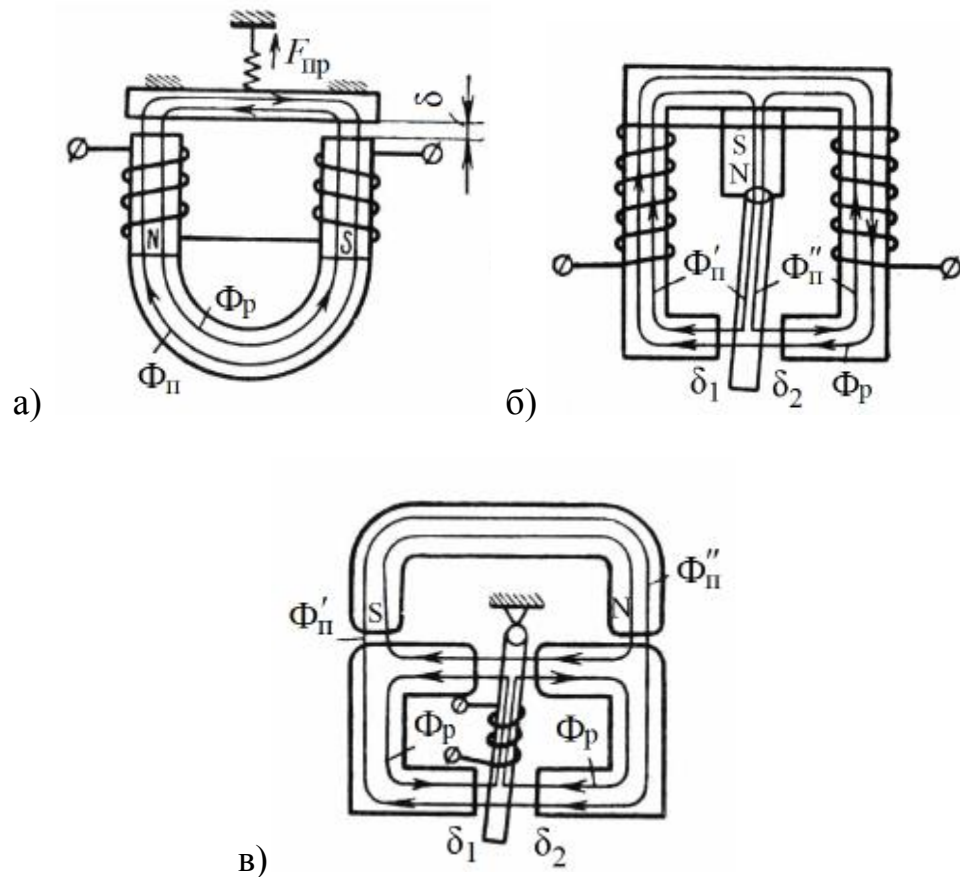


Рисунок 5.5 - Магнітні системи поляризованих реле: а - послідовна; б - паралельна; в - мостова

Контактні системи поляризованих реле можуть мати різне виконання (рис.5.6).

При двопозиційному виконанні з переважанням, за відсутності струму в обмотці реле, якір завжди знаходиться в одному положенні (рис.5.6, а). Переміщення якоря може відбуватися тільки при певному напрямку струму в обмотці. При вимкненні струму якір повертається у вихідне положення.

При двопозиційному виконанні без переважання за відсутності струму в робочій обмотці, якір займає положення біля одного або іншого полюса електр-магніту, залежно від попереднього напрямку струму в обмотці (рис.5.6, б). Переміщення якоря відбувається при напрямку струму в робочій обмотці, протилежному напрямку, який мав місце при попередньому увімкненні. Після вимкнення струму якір залишається в положенні, яке він займав у процесі спрацювання.

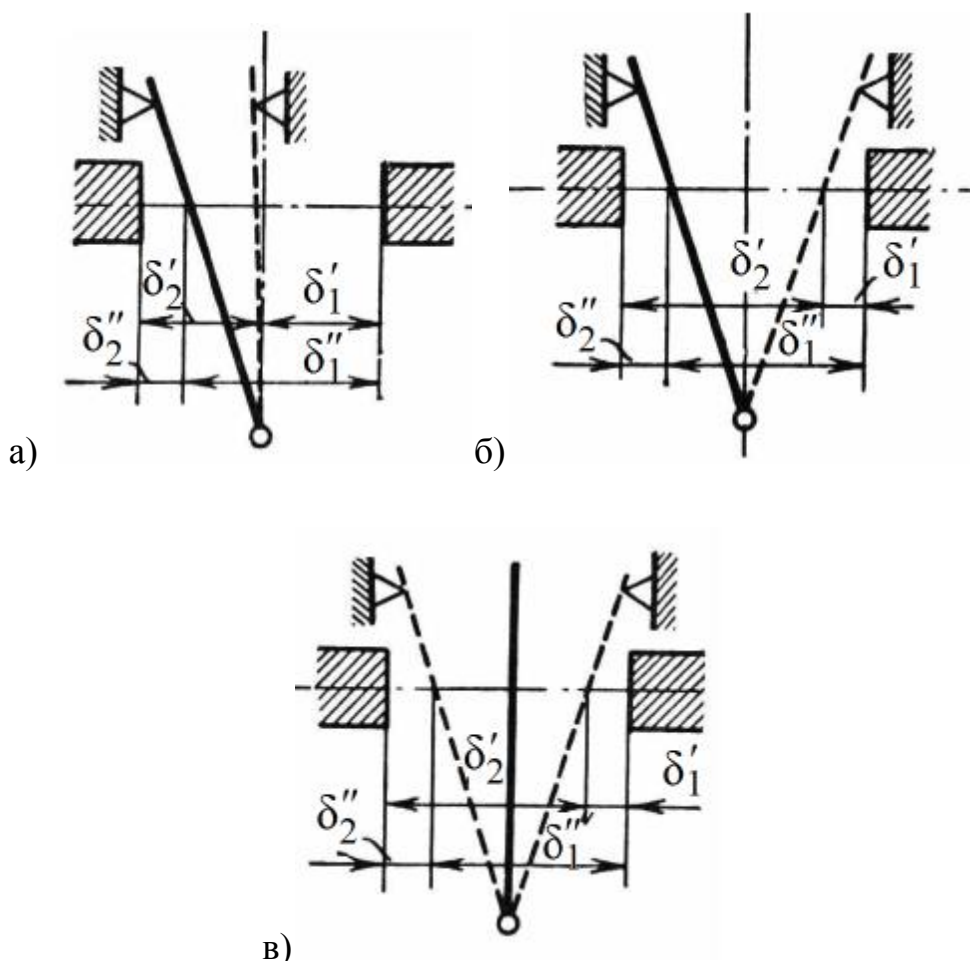


Рисунок 5.6 - Налаштування поляризованих реле

Існує також контактна система поляризованого реле з три позиційним налаштуванням. У такому випадку положення контактів залежить від

полярності попереднього імпульсу струму. Якір, закріплений на плоскій пружині, при знеструмленій обмотці реле знаходиться в нейтральному (середньому) положенні. Залежно від полярності струму в обмотці замикається лівий або правий контакт реле. Після вимкнення струму якір повертається в нейтральне положення (рис.5.6, в).

Поляризовані електромагнітні реле забезпечують широкі функціональні можливості (стан контактної системи залежить від полярності керуючого імпульсу), можливість керування ними короткочасними імпульсами (замкнений стан зберігається після зняття сигналу), високу швидкодію (кілька мілісекунд), економічність (після спрацьовування не споживається потужність), високу чутливість (потужність спрацьовування - 0,01-0,001 Вт) і коефіцієнт підсилення, можливість реалізації різних налаштувань.

5.4 Герконові реле

Геркони і герконові реле.

Найменш надійним вузлом електромагнітного реле є контактна система. Істотним недоліком також є наявність тертя металевих деталей, зношення яких призводить до зниження працездатності реле.

Перераховані недоліки привели до створення герметичних магнітно керованих контактів, які мають назву **геркони**.

Принцип дії герконів базується на використанні сил взаємодії, що виникають в магнітному полі між феромагнітними тілами. При цьому зусилля викликають деформацію і переміщення феромагнітних струмопроводів-електродів. Під дією постійного магнітного поля гнучкі феромагнітні контакти взаємно притягаються і торкаються один одного. Коли дія магнітного поля припиняється, контакти повертаються в початкове положення.

Таким чином магнітокерований контакт (геркон) являє собою електричний апарат, що змінює стан електричного кола за допомогою механічного розмикання або замикання його при впливі керуючого магнітного поля на його елементи, що поєднують функції контактів, пружин і ділянок електричного і магнітного кіл.

Геркон (рис.13) являє собою герметичну скляну колбу, в якій знаходяться дві (або більше) металеві контактні пластини. В середині колби контакти гнучкі, бо обидва виконані у формі тонкої пластини, котра має довжину трохи більшу за половину довжини колби. Ці пластини розташовані у паралельних площинах на малій відстані один від одного. Також

випускаються геркони з перекидним контактом. У таких герконах центральний контакт виходить з одного боку колби та два інших з протилежного. Гнучким є тільки центральний контакт, який за наявності магнітного поля замикає один контакт або другий контакт при відсутності поля.

Параметри геркона:

- **магніторушійна сила спрацьовування** – значення напруженості магнітного поля, при якому спрацьовують контакти геркона;
- **магніторушійна сила відпускання** - значення напруженості магнітного поля, при якому контакти геркона повертаються в початкове положення;
- **опір ізоляції** - електричний опір зазору між контактами геркона в розімкненому стані;
- **опір контактного переходу** - опір контактної області, яка утворюється при замиканні контактів.
- **пробивна напруга** - напруга, при якій відбувається пробій контактної проміжки геркона;
- **час спрацювання** - час між моментом прикладення керуючого магнітного поля і моментом першого фізичного замикання електричного кола герконом;
- **час відпускання** - час між моментом зняття прикладеного до геркона магнітного поля, і моментом останнього фізичного розмикання електричного кола герконом;
- **ємність** - електрична ємність між виводами геркона в розімкненому стані;
- **максимальне число спрацьовувань** - число спрацьовувань, до якого всі основні параметри геркона залишаються в допустимих межах;
- **максимальна комутована потужність** - максимальна потужність, комутована герконом, при якій не відбувається погіршення його експлуатаційних характеристик;
- **максимальна комутована напруга** - максимальна напруга, комутована герконом, при якій не відбувається погіршення його експлуатаційних характеристик;
- **максимальний комутований струм** – максимальний струм, комутований герконом, при якому не відбувається погіршення його експлуатаційних характеристик.

Геркон є складовою частиною **герконового реле**. У парі з магнітом геркон використовується як безконтактний **перемикач** або датчик положення. Може бути датчиком струму при розміщенні всередині **соленоїду** чи у

магнітному зазорі **дроселю**. Значення комутованого струму контактів геркону зазвичай лежить у діапазоні 0.1 мА — 400мА. Фізичні розміри лежать у межах: довжина — 10–120 мм; діаметр — 3–10 мм.

В даний час на базі герконів створена велика кількість герконових реле, кнопок, тумблерів, перемикачів, розподільників сигналів, датчиків, регуляторів, сигналізаторів і т. д. У багатьох галузях техніки для контролю положення рухомих деталей доцільно використовувати герконові датчики та лічильники готової продукції.

Найпростіше герконове реле із замикаючими контактами складається з двох контактних осердь з високою магнітною проникністю (пермалой), розміщених в скляному герметичному балоні, заповненому або інертним газом, або чистим азотом, або поєднанням азоту з воднем. Тиск всередині балона становить $0.4 - 0.6 \cdot 10^5$ Па.

Інертне середовище запобігає окисленню контактних осердь. Скляний балон встановлюється всередині обмотки керування, що живиться постійним струмом. При подачі струму в обмотку виникає магнітне поле, яке проходить за контактними номерами осердь через робочий зазор між ними і замикається по повітрю навколо котушки керування. Створюваний при цьому магнітний потік при проходженні через робочий зазор утворює тягове електромагнітне зусилля, яке, долаючи пружність контактних сердечників, з'єднує їх між собою.

На **електричних схемах** геркон позначається як обведений колом вимикач, поруч з яким зображено позначку магніта (рис.5.7).

Для створення мінімального перехідного опору контактів, поверхні торкання герконів покривають золотом, радієм, паладієм або сріблом.

При відключенні струму в обмотці електромагніта зусилля зникає, і під дією сил пружності контакти розмикаються.

У герконових реле відсутні деталі, що піддаються тертю, а контакти осердь багатофункціональні, оскільки при цьому виконують одночасно функцію магнітопроводу, пружини і струмопроводу.

Для зменшення розмірів намагнічуючої котушки збільшують допустиму щільність струму, використовуючи для намотування теплостійкий емальований провід. Всі деталі виготовляються штампуванням, а з'єднуються зварюванням або паянням. Для зменшення зони включеного стану в герконах застосовуються магнітні екрани.

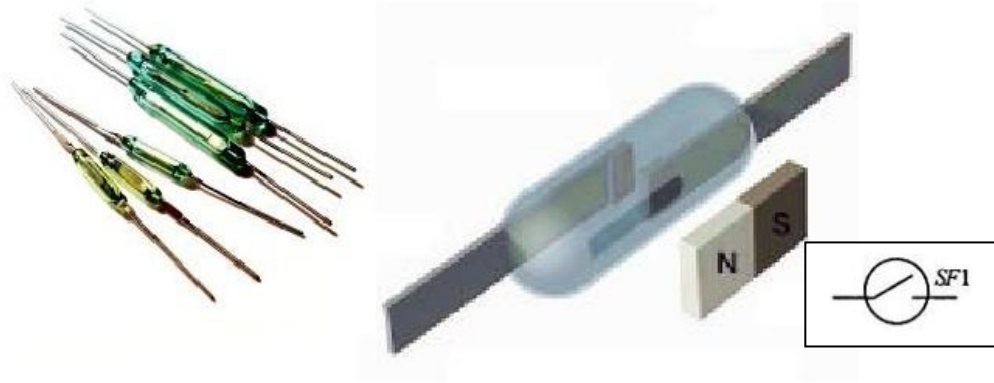


Рисунок 5.7 – Загальний вигляд геркона

Пружини герконів не мають попередніх натягів, тому включення їх контактів відбувається без періоду зрушення.

Якщо в герконах поряд з електромагнітом використовується постійний магніт, то геркони з нейтральних стають поляризованими.

На відміну від електромагнітних реле звичайного типу, у яких контактне натискання залежить від параметрів контактних пружин, контактне натискання герконових реле залежить від магніторушійної сили (МРС) обмотки і збільшується з її ростом.

Через технологічні похибки коефіцієнта повернення герконові реле мають великий розкид від 0,3 до 0,9. З метою збільшення комутаційного струму і номінальної потужності герконові реле мають додаткові дугогасні контакти. Такі реле носять назву герметичні силові контакти або **герсикони**. Промисловістю випускаються герсикони на струм від 6,3 до 180 А, а їх частота включень сягає 1200 в годину.

За допомогою герсиконів здійснюється пуск асинхронних електродвигунів потужністю до 3 кВт.

Особливий клас герконів - реле на ферритах, які мають властивість пам'яті. У таких реле для перемикання в котушку необхідно подати імпульс струму зворотної полярності з метою розмагнічування ферритного осердя. Вони називаються **герметизовані запам'ятовуючі контакти або гезакони**.

До переваг герконових реле слід віднести:

- повну герметизацію контакту, що дозволяє використовувати герконові реле в різних умовах вологості, запиленості і т. д.;
- простоту конструкції, малу масу і габарити;
- високу швидкодію, що дає змогу використовувати герконові реле при високій частоті комутацій;
- висока електрична міцність міжконтактного проміжку;
- гальванічну розв'язку комутуваних кіл і кіл керування;

- розширені функціональні можливості застосування;
- надійну роботу в широкому діапазоні температур (від мінус 60 до плюс 120°C).

Недоліки герконових реле:

- низька чутливість у МРС керування;
- сприйнятливність до зовнішніх магнітних полів, що вимагає спеціальних заходів щодо захисту від зовнішніх впливів;
- крихкість балону реле, чутливість до ударів;
- мала потужність комутованих кіл у герконів і герсиконів;
- можливість самовільного розмикання контактів при великих струмах;
- неприпустиме замикання і розмикання контактів при живленні змінним напругою низької частоти.

Проте геркони (і герконові реле) мають ряд недоліків:

- сприйнятливність до зовнішніх магнітних полів (необхіден захист);
- крихкість скляного балона, чутливість до ударів і вібрацій (необхідна амортизація місць встановлення);
- значний час вібрації контактів;
- мала потужність комутованих кіл;
- можливість мимовільного розмикання контактів при великих струмах;
- значний технологічний розкид параметрів.

5.5 Реле часу

У схемах захисту та автоматики часто потрібно витримка часу між спрацьовуваннями двох або декількох апаратів. Для створення витримки часу служать електричні апарати, звані реле часу.

До реле часу пред'являються наступні загальні вимоги:

- стабільність витримки часу при коливаннях величини і частоти напруги живлення, температури навколишнього середовища і дії інших факторів;
- малі споживана потужність, маса і габарити.

Умовні графічні позначення контактів реле часу наведені на рис.5.8.

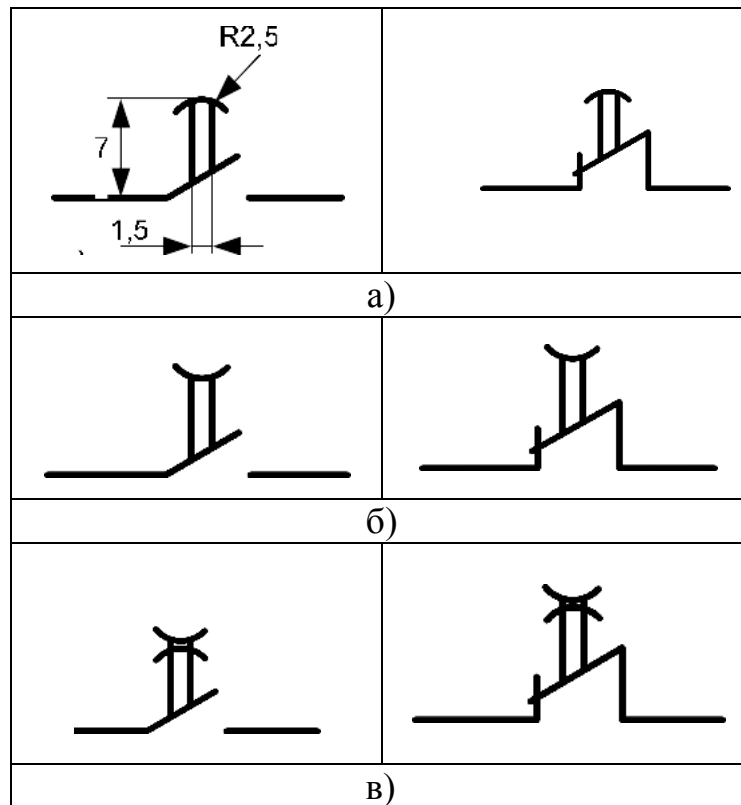


Рисунок 5.8 – Умовні графічні позначення контактів реле часу: а) контакти із уповільнювачем, що діє при спрацюванні реле; б) контакти із уповільнювачем, що діє при поверненні реле; в) контакти із уповільнювачем, що діє при спрацюванні і поверненні реле

Залежно від галузі застосування до реле часу висуваються різні специфічні вимоги. Для схем автоматичного керування електроприводом при великій частоті включень потрібні реле з високою механічною зносостійкістю - до $(5-10) \cdot 10^6$ спрацьовувань. Необхідні витримки часу знаходяться в межах 0,25-10 с. До цих реле не висуваються вимоги високої стабільності витримки часу. Розкид часу спрацьовування може досягати 10%. Реле повинні працювати у виробничих умовах при наявності інтенсивних механічних впливів. Реле для захисту енергосистем повинні мати більшу точність витримки часу. Ці реле працюють відносно рідко, тому до них не висуваються особливі вимоги щодо зносостійкості. Зносостійкість реле часу захисту сягає $(5-10) \cdot 10^3$ спрацьовувань, а витримки часу таких реле часу складають 0,1-20 с. Для автоматизації технологічних процесів необхідні реле з великою витримкою часу - від декількох хвилин до декількох годин. В даний час створені напівпровідникові реле, що задовольняють зазначеним вимогам.

Електромеханічні реле часу.

Таймер електронно-механічний ТЕМ181

Добовий 1-канальний таймер ТЕМ181 (рис.5.9) призначений для відліку інтервалів часу, автоматичного увімкнення/вимкнення електротехнічного обладнання через заданий проміжок часу протягом доби та керування різними технологічними процесами. Таймер має 1 перемикаючий контакт.

Таймер містить електронну схему керування, частота імпульсів якої стабілізована кварцевим резонатором. Схема керування призначена для керування рухом мініатюрного крокового двигуна, що приводить в обертання через зубчасту передачу внутрішній і зовнішній лімби. Під прозорою кришкою розташовані два установлювальні лімби (рис. 3):

- внутрішній лімб 8, розділений на 48 секторів з інтервалом по 0.5 години, що відповідає одній добі і обертається зі швидкістю один оберт за годину;
- зовнішній лімб 7, розділений на 12 секторів з інтервалом по 5 хвилин, що відповідає одній годині і обертається зі швидкістю один оберт за добу. Зовнішній лімб забезпечений 48 рухомими секторами 9, якими здійснюється набір добової програми керування технологічним процесом. За допомогою секторів 9 вплив передається на групу контактів. Установлення часових інтервалів програми здійснюють перемиканням необхідної кількості секторів 9 до зовнішнього лімбу. Поточний час встановлюється обертанням за годинниковою стрілкою рифленої ручки 5, розташованої в центрі внутрішнього лімба.



Рисунок 5.9 - Таймер електронно-механічний ТЭМ181

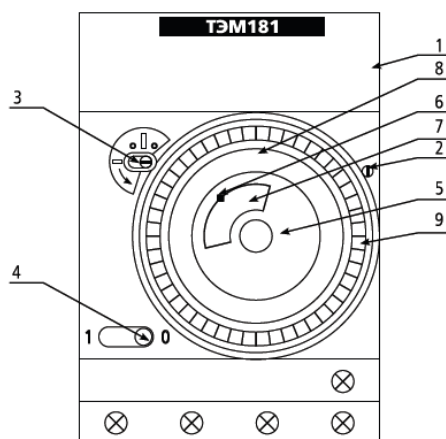


Рисунок 5.10 - Таймер електронно-механічний ТЭМ181. Органи керування

Для усунення впливу перерв у живленні таймера на задану програму роботи електронна схема керування укомплектована автономним підзаряджуваним джерелом живлення - герметичним акумулятором, який забезпечує роботу схеми протягом не менше 3-х діб. Технічні характеристики таймера наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Технічні характеристики електронно-механічного таймера ТЭМ181

Показник	Значення показника
1	2
1 Номінальна робоча напруга, В	230
2 Діапазон робочої напруги, В	180 ... 264
3 Номінальна частота струму мережі, Гц	50
4 Кількість програм увімкнення / вимкнення	24
5 Мінімальний інтервал установлення часу роботи програми, хв	30
6 Максимальний струм контактів, А	16
7 Резервне джерело живлення	Акумулятор
8 Точність ходу	± 5 секунд на добу при $+20^{\circ}\text{C}$
9 Ступінь захисту від впливу навколишнього середовища	IP 20
10 Кліматичне виконання і категорія розміщення таймера	У4 за ГОСТ 15150-69
11 Резерв ходу, годин	72
12 Механічна зносостійкість, циклів ВО, не менше	107

Продовження таблиці 5.1

1	2
13 Електрична зносостійкість, циклів ВО, не менше	105
14 Споживана потужність, Вт, не більше	1
15 Маса, кг	0.150
16 Габаритні розміри, мм	54x110x69

Спосіб встановлення таймера - монтаж з фіксацією на DIN-рейку 35 мм.

При встановленні таймера ТЭМ181 на монтажну рейку разом із іншими захисними, комутаційними і регулювальними апаратами, необхідно вжити заходів до обмеження амплітуди і спектру завад, розповсюджуваних цими апаратами.

Умови експлуатації таймера:

- діапазон робочих температур - від мінус 10 до плюс 40°C при відносній вологості 98%;
- висота над рівнем моря не більше 2000 м;
- навколишнє середовище вибухобезпечне, не містить пилу в кількості, яка порушує роботу таймера, а також агресивних газів і пари в концентраціях, що руйнують метали і ізоляцію.

Електронні реле часу.

Електрична структурна схема аналогового реле часу зображена на рис.5.11. В цьому випадку для уповільнення перемикання використовується час перехідного процесу заряджання конденсатора C від джерела живлення E через резистор R . При замиканні контакту 1 напруга на конденсаторі зростає за експоненціальним законом з постійною часу $T=RC$. Пороговий елемент порівнює цю напругу із заданим значенням і при їх рівності видає сигнал на перемикання вихідного елемента SW . Як вихідний ключовий елемент може бути використаний транзистор, тиристор або електромагнітне реле. Можливе використання і процесу розряджання конденсатора (при замиканні контакту 2). Витримку часу можна регулювати змінюючи опір R або ємність конденсатора C . Гранична витримка часу аналогових реле - близько 10 с. При великих витримках часу експоненціальна крива заряджання (розряджання) стає пологою, і похибка реле зростає. Підвищення точності можливе, якщо заряджати конденсатор від джерела струму.

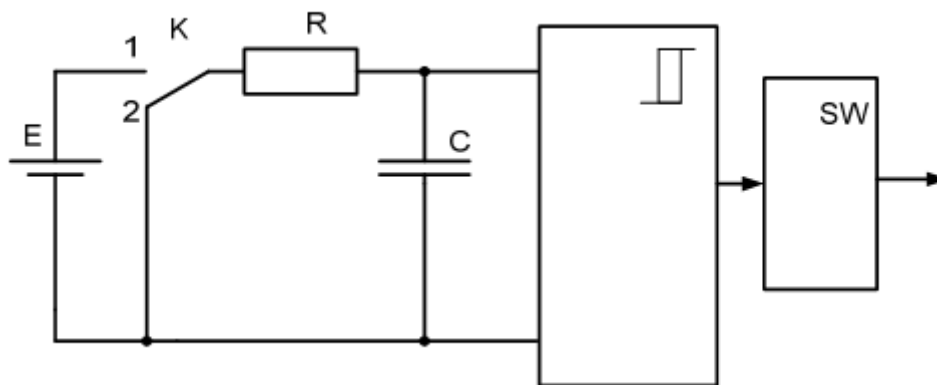


Рисунок 5.10 - Структурна схема аналогового реле часу

Перевагами електронних реле часу є висока надійність і точність (приведена похибка цифрових реле не перевищує 5%), малі габарити і маса, при цьому є можливість отримання витримок часу від часток секунди до декількох годин і навіть діб.

Реле часу ВЛ-40

Реле часу ВЛ-40 (рис.5.11) призначене для комутації електричних кіл з певними, попередньо встановленими витримками часу і застосовуються в схемах автоматики як комплектуючі вироби.



Рисунок 5.11 - Зовнішній вигляд реле ВЛ-40

Технічні характеристики реле часу наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики реле часу ВЛ-40

Параметр	Значення	
1 Номінальна напруга живлення змінного струму частотою 50 Гц, В	220	
2 Максимальне відхилення напруги живлення від номінального значення, %	+10 -15	
3 Діапазон тривалостей імпульсу і паузи (за виконаннями)	Імпульс	Пауза
	1-10 с	3-10 с
	1-10 с	3-30 с
	1-10 с	10-100 с
	3-30 с	3-30 с
	3-30 с	10-100 с
	3-30 с	30-300 с
	6-60 с	6-60 с
	10-100 с	10-100 с
	30-300 с	30-300 с
	0,1-1 год	1-10 год
	1-10 год	3-30 год
4 Клас точності		2/1,5
5 Приведена похибка,% , не більше		3,5
6 Кількість виконавчих перемикаючих контактів		1
7 Напруга, комутована вихідним контактом, В: - постійного струму - змінного струму		24-220 24-380
8 Мінімальна сила струму, комутованого вихідними контактами реле,А		0,01
9 Тривало допустима сила струму вихідних контактів,А		4
10 Потужність, споживана реле з мережі, В*А, не більше		5,5
11 Механічна зносостійкість, циклів, не менше		16x10 ⁴
12 Ступінь захисту від впливу навколишнього середовища: - оболонки / клемника		IP40/IP10
13 Маса реле,кг, не більше		0,55
14 Габаритні розміри реле, мм		92x70x132
Показники надійності		
1 Ймовірність безвідмовної роботи за 5000 годин роботи при довірчій ймовірності 0,8		0,8
2 Гамма-процентний (90%) ресурс за комутаційною зносостійкістю, циклів, не менше		4x10 ⁶

Реле часу ВЛ-68.

Реле часу ВЛ-68 (рис.5.13) призначене для комутації електричних кіл з певними, попередньо встановленими витримками часу і застосовується в схемах автоматики як комплектуючий виріб.

Реле повинні забезпечувати тривалий режим роботи при зміні напруги мережі в межах від 0,85 до 1,1Ун. При цьому додаткова похибка від зміни напруги живлення не повинна перевищувати 0,3 середньої основної похибки.

Додаткова похибка від зміни температури навколишнього повітря в допустимих межах не перевищує 0,1% на 1°C.

Додаткова похибка, викликана перебуванням реле в умовах максимально допустимої відносної вологості, не повинна перевищувати двократного значення середньої основної похибки для виконань реле ТЗ і О4 і значення середньої основної похибки для виконання УЗ.



Рисунок 5.13 – Реле часу ВЛ-68

Реле повинні забезпечувати тривалий режим роботи при зміні напруги мережі в межах від 0,85 до 1,1Ун. При цьому додаткова похибка від зміни напруги живлення не повинна перевищувати 0,3 середньої основної похибки.

Додаткова похибка від зміни температури навколишнього повітря в допустимих межах не перевищує 0,1% на 1°C.

Додаткова похибка, викликана перебуванням реле в умовах максимально допустимої відносної вологості, не повинна перевищувати двократного значення середньої основної похибки для виконань реле ТЗ і О4 і значення середньої основної похибки для виконання УЗ.

Технічні характеристики реле наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5. 3 - Технічні характеристики реле часу ВЛ-68

Параметр	Значення
1 Кліматичне виконання	УХЛ; О4
2 Нижня і верхня межі уставок (за виконаннями)	(0,1-99,9) с, хв, г; (1-999) с, хв.
3 Регулювання витримки часу	ступінчасте
4 Кількість поділок шкали з числовими відмітками	-
5 Дискретність перемикавання уставок, %	0,1
6 Клас точності	1/0,02
7 Час повторної готовності, с, не менше	0,3
8 Час повернення, с, не більше	0,2
9 Кількість і вид контактів	1 ЗК і 1 РК
10 Механічна зносостійкість, циклів, не менше	$20 \cdot 10^6$
11 Номінальна напруга живлення, В: - постійного струму - змінного струму частотою 50/60 Гц	24; 27; 110; 220 110; 220; 230; 240
12 Межі допустимих відхилень напруги живлення, %, не більше	+10; -15
13 Споживана потужність, Вт ($B \cdot A$), не більше	4,5(4,5)
14 Тривало допустима сила струму вихідного кола, А	4
15 Маса, кг, не більше	0,28
Габаритні розміри, мм	45x75x119

Комутаційна здатність реле з контактним виходом наведена в таблиці 5.4.

Ізоляція реле витримує протягом 1 хв без пробою і перекриття випробувальну напругу 2000 В змінного струму частоти 50 Гц, прикладену між струмопровідними, електрично не пов'язаними, частинами реле, а також між ними і металевими частинами корпусу реле.

Опір ізоляції реле між незалежними струмовідними колами повинен бути не менше:

- 20 МОм в холодному стані в нормальних кліматичних умовах;
- 6 МОм в нагрітому стані при верхньому значенні температури навколишнього середовища;
- 0,5 МОм в умовах впливу верхнього значення відносної вологості.

Вимоги щодо надійності реле:

- ймовірність безвідмовної роботи реле за напрацювання 10000 год або при комутації навантажень, зазначених у таблиці 3, повинна бути не менше 0,9;
- призначений термін служби реле в режимах і умовах, обумовлених виробником, становить 8 років, при цьому сумарний час знаходження реле під напругою не повинен перевищувати 10000 год, а кількість циклів комутації не повинна перевищувати значень, зазначених у таблиці 5. 3.

Таблиця 5. 4 – Комутаційна здатність реле часу ВЛ-68

Сила комутованого струму, А при напрузі ~220В, 50Гц $\cos\varphi$ увімкн. $\geq 0,7$; $\cos\varphi$ вимкн. $\geq 0,4$		Частота комутацій, 1/х, не більше	Кількість циклів, не менше
увімкнення	вимкнення		
5	1,8	50	$0,5 \cdot 10^6$
5	1,2	50	$1 \cdot 10^6$
5	1	100	$2,5 \cdot 10^6$
5	0,8	300	$4 \cdot 10^6$
3	0,5	1000	$6,3 \cdot 10^6$

Схема реле виконана на напівпровідникових елементах із застосуванням мікросхем і містить генератор імпульсів високої частоти, лічильник з коефіцієнтом лічби імпульсів, що перемикається, вузол встановлення початкового стану, підсилювач з релейним виходом і блок живлення.

Блок живлення служить для зменшення вхідної напруги до величини, необхідної для роботи схеми. Генератор забезпечує отримання прямокутних імпульсів стабільної частоти і виконаний на трьох інвертора із часозадавальним RC-колом.

Необхідні діапазони витримок часу реле вибираються шляхом зміни коефіцієнта лічби імпульсів на заводі-виробнику.

У реле ВЛ-68 витримку часу встановлюють за допомогою трьох перемикачів, якими змінюється коефіцієнт лічби імпульсів. Схема підключення реле наведена на рис.5.14.

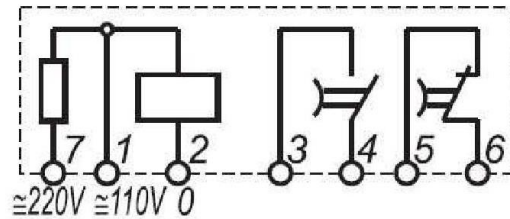
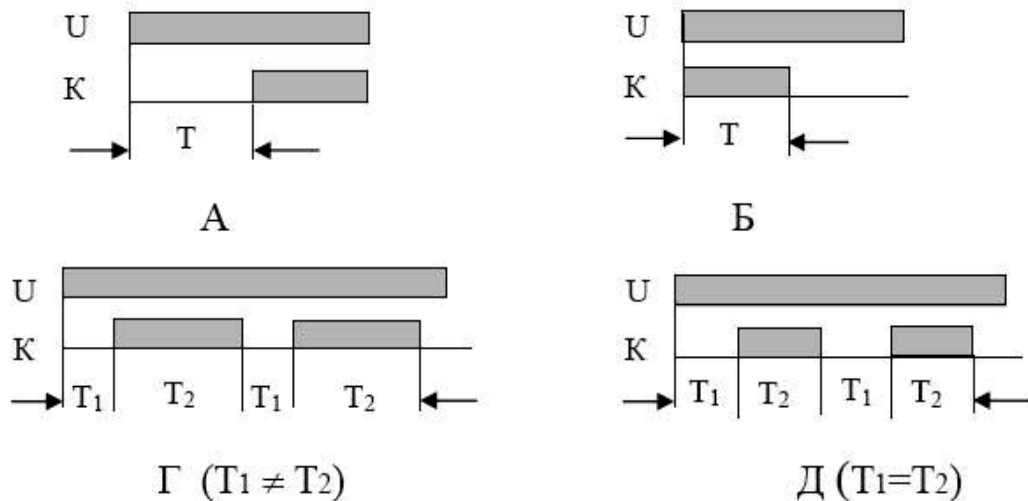


Рисунок 5.14 – Схема підключення реле ВЛ-68 до мережі змінного струму напругою 220В

Напруга живлення 24 і 110 В подається на клемі 1-2, а напруга 220 В - на клемі 2-7 через гасильні резистори.

Принцип дії реле можна пояснити за функціональними діаграмами, представленими на рисунку 5.15.



U – напруга живлення; T – час; К – стан виходу реле

Рисунок 5. 15 – Функціональні діаграми реле часу ВЛ-68

У реле ВЛ-68 вихідний сигнал з'являється через заданий час після подачі напруги живлення (функція «А»), тобто вихідне реле спрацьовує через встановлену витримку часу.

Приставка витримки часу ПВЛ у комплекті з електро-магнітним пускатчем ПМЛ (проміжним реле РПЛ).

Приставки витримки часу ПВЛ (рис.5.16, а) для встановлення на контактори і електромагнітні пускачі ПМЛ на струми 10, 16, 25, 40, 63, 80 і 100А застосовуються в якості комплектуючих виробів в стаціонарних установках, в основному в схемах керування електроприводами при напрузі

до 440В постійного і до 660В змінного струму частотою 50 і 60Гц. Пневмоприставка призначена для створення витримки часу при увімкненні або вимкненні контактора, пускача. Приставки механічно з'єднуються з контактором, пускачем (рис.5.16, б) і фіксуються за допомогою защіпки. Спосіб кріплення забезпечує жорсткий і надійний зв'язок між приставкою витримки часу і контактором, пускачем. Пневматичні приставки ПВЛ випускаються зі ступенем захисту IP00 з 1р + 1з контактом. Для збільшення кількості допоміжних контактів кола керування контактора, пускача (при встановленій приставці ПВЛ) застосовується приставка бічного кріплення серії ПКБ.

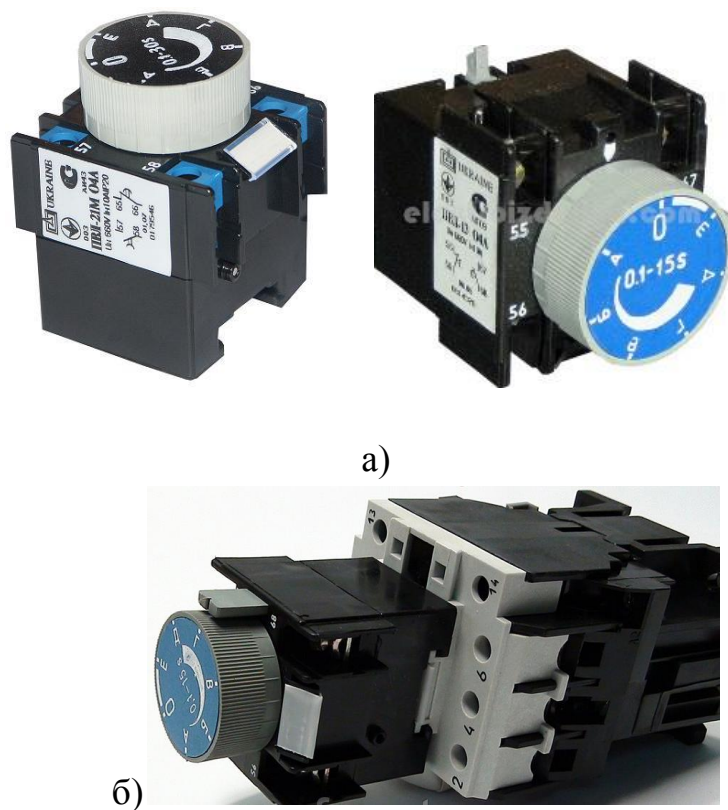


Рисунок 5.16 - Приставка витримки часу ПВЛ (а) і електромагнітний пускач ПМЛ із встановленою приставкою витримки часу ПВЛ (б)

Виготовляються приставки наступних типів:

ПВЛ-11, 13; ПМЛ-11М, 13М;

ПВЛ-12, 14; ПВЛ-12М, 14М;

ПВЛ-21, 23; ПВЛ-21М, 23М;

ПВЛ-22, 24; ПВЛ-22М, 24М

Буква М - виконання приставки зі ступенем захисту IP20

Відсутність букви означає приставку зі ступенем захисту IP00

Перша цифра в позначенні:

1 - витримка часу при включенні; 2 -видержка часу при відключенні.

Друга цифра позначає діапазон витримки часу для ПВЛ-1:

1-від 0,1 до 30с.

2 від 10 до 180с.

3 від 0,1 до 15с.

4 від 10 до 100с.

Друга цифра позначає діапазон витримки часу для ПВЛ-2:

1 - від 0,1 до 30с;

2 - від 10 до 180с;

3 - від 0,1 до 15с;

4 - від 10 до 100с.

Габаритні розміри, мм - 44x47x57

Маса, кг - 0,08

Приставки ПВЛ (М) - на морські судна не поставляються.

Виконання по комутаційної зносостійкості в режимі нормальних комутацій: А-3,0 млн.циклів.

Таймер електронний тижневий e.control.t08.

Таймер (рис.5.17) призначений для автоматичного вмикання і вимикання електрообладнання через встановлені проміжки часу протягом тижня в колах автоматики і керування різноманітними технологічними процесами.



Рисунок 5.17 - Таймер електронний тижневий e.control.t08

Технічні характеристики таймера e.control.t08

1. Номінальна напруга кола живлення, В.....	230
2. Номінальна частота струму, Гц	50
3. Максимальний комутований струм контактів (1 C/O), А:	
- при $\cos \varphi = 1$	16
- при $\cos \varphi = 0,7$	10
4. Максимальна комутована потужність: 4000ВА(AC); 384 Вт(DC)	
5. Максимальна кількість програм.....	40
6. Мінімальний час встановлення часу роботи, хвилин	1
7. Час роботи від акумулятора, років, не менше.....	3
8. Споживана потужність, ВА, не більше.....	1
9. Ступінь захисту від впливу навколишнього середовища.....	IP20
10. Кліматичне виконання.....	УХЛ4
11. Діапазон робочих температур, °С.....	від мінус 20 до плюс .55
10 . Маса, кг, не більше.....	0,15

Таймер e.control.t08 має модульне виконання з шириною корпусу 36 мм (2 модулі). Корпус виробу виконаний із АВС-пластику, що не підтримує горіння.

На лицьовій панелі таймера під прозорою кришкою, що має можливість пломбування, розташовані: кнопки настроювання поточного часу і програмування таймера та рідкокристалічний дисплей.

Вбудований літєвий акумулятор забезпечує збереження програм таймера при зникненні напруги живлення протягом 3-х років.

Мікропроцесор таймера забезпечує виконання тижневої програми керування з кількістю циклів увімкнено/вимкнено до 40 і виконання програми на вибір по днях тижня. В даному режимі таймер буде вмикатися і вимикатися відповідно до встановленої програми.

У разі необхідності таймер можна перевести в режим «Вихідний», під час якого не буде виконуватися встановлена програма. При цьому програма буде збережена, а перекидний контакт таймера буде постійно перебувати в початковому стані: 15-16 -замкнений, 15-18 - розімкнений.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Перерахуйте основні типи реле з різними принципами дії і види реле залежно від характеру сигналу, що надходить до вимірювального органу. Перерахуйте найважливіші параметри реле.

2. Від чого залежить струм спрацювання, струм відпускання і коефіцієнт повернення електромагнітного реле? Як здійснюється регулювання струму спрацювання і як при цьому змінюється коефіцієнт повернення?
3. Опишіть конструкцію реле струму РТ-40. Чому в цьому реле обмотка розділена на дві секції? Чому якор реле виконаний з одного тонкого листа сталі, а сердечник - у вигляді пакету листів?
4. Що таке уставка струму? За допомогою формул поясніть зв'язок між струмом спрацювання і уставкою струму реле максимального струму типу РТ-40.
5. Опишіть конструкцію і принцип дії реле часу з електронним уповільненням. Наведіть необхідні формули і графіки.
6. Опишіть принцип дії геркона, методи керування герконом, його переваги і недоліки. Зобразіть схематично і опишіть основні види конструкцій герконових реле.
7. Дайте опис роботи поляризованого реле і трьох варіантів налаштування реле залежновід положення якоря.
8. Зобразіть схематично конструкції поляризованих реле з послідовним, паралельним і мостовим магнітним колом. Дайте їм коротку характеристику.
9. Для чого застосовується електромагнітне реле часу, за яким принципом воно діє?
10. Якими є принцип дії і сфера застосування таймера ТМ-181?
11. В чому полягає принцип дії і якою є сфера застосування електронного реле часу ВЛ-40?
12. Якими є принцип дії і сфера застосування електронного реле часу ВЛ-68?
13. Якими є принцип дії і сфера застосування приставки витримки часу ПВЛ?
14. Як можна регулювати витримку часу електронного аналогового реле часу?
15. Як можна регулювати витримку часу електронного цифрового реле часу?
16. Яке призначення електронного тижневого таймера e.control.t08?
17. Яку кількість програм здатен реалізувати електронний тижневий таймер e.control.t08 ?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

6. КОНТАКТОРИ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПУСКАЧІ

6.1 Загальні відомості

6.2 Будова і принцип дії контактора

6.3 Електромагнітні пускачі

6.4 Електромагнітні пускачі серій ПМЛ, ПМА, КМИ

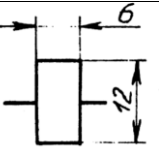
Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Контактор	Двопозиційний контактний апарат із самоповерненням, призначений для частих комутацій струмів, що не перевищують передбачених струмів перевантаження, який приводиться в дію двигунним (неручним) приводом	<i>contactor</i>
Пускач	Комутаційний апарат чи комбінація апаратів, призначені для пуску, зупинки та захисту електродвигунів при струмі перевантаження	<i>starter</i>
Котушка магнітного дуття комутаційного апарата	Котушка комутаційного апарата, яка створює магнітне поле для переміщення дуги в дугогасній камері	<i>magnetic blow-out coil of a switching device</i>
Магнітопровід електротехнічного пристрою	Магнітна система електротехнічного пристрою чи сукупність декількох її частин у вигляді окремої конструктивної одиниці	<i>magnetic circuit of an electrical device</i>
Поліус комутаційного апарата	Частина контактного апарата, з'єднана лише з однією електрично незалежною частиною головного кола цього апарата і в яку не входять частини, призначені для спільного монтажу та оперування всіма полюсами	<i>pole of a switching device</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	<i>K</i>	Реле, контактори, пускачі
	<i>KM</i>	Контакт з дугогасильною камерою магнітного пускача

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.
2. ІЕС 60947-41 Коммутационная аппаратура и аппаратура управления низковольтная комплектная – Часть 4: Контактторы и пускатели электродвигателей – Раздел 1: Электромеханические контакторы и пускатели электродвигателей (NFC 63001) I
3. ДСТУ EN 60947-4-1:2014. Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 4-1. Електромагнітні контактори та пускачі електродвигунів (EN 60947-4-1:2010 EN 60947-4-1:2010/A1:2012, IDT)

6.1 Загальні відомості

Контактор являє собою двопозиційний апарат із самоповерненням, призначений для частих комутацій струмів, які перевищують струми перевантаження, і приводиться в дію приводом. Цей апарат має два комутаційних положення, що відповідають увімкненому та вимкненому його станам. У контакторах найбільш широко застосовується електромагнітний привід. Повернення контактора у вимкнений стан (самоповернення) відбувається під дією поворотної пружини, маси рухомої системи або при спільній дії цих факторів.

Електромагнітний пускач є комутаційним апаратом, який призначений для пуску, зупинки і захисту електродвигунів без виведення і введення в їх кола резисторів. Пускачі здійснюють захист електродвигунів від струмів перевантаження. Поширеним елементом такого захисту є струмове електротеплове реле, вбудоване в пускач.

Струми перевантаження для контакторів і пускачів не перевищують (8-20) - кратних перевантажень по відношенню до номінального струму електродвигуна. Для режиму пуску двигунів з фазовим ротором і гальмування протиструмом характерні (2,5 - 4) -кратні струми перевантаження. Пускові струми електродвигунів з короткозамкненим ротором досягають (6-10) - кратних перевантажень в порівнянні з номінальним струмом.

Електромагнітний привід контакторів і електромагнітних пускачів при відповідному виборі параметрів може здійснювати функції захисту електрообладнання від зниження напруги. Якщо електромагнітне зусилля, що розвивається приводом, при зниженні напруги в мережі виявиться недостатнім для утримання апарату в увімкненому стані, то він мимоволі вимкнеться і здійснить таким чином захист від зниження напруги. Як відомо, зниження напруги в мережі живлення викликає протікання струмів перевантаження в обмотках електродвигуна, якщо механічне навантаження на його валу буде залишатися незмінним.

Контактори призначені для комутації силових кіл електродвигунів та інших потужних струмоприймачів. Залежно від роду комутуваного струму головного кола розрізняють контактори постійного і змінного струму. Вони мають головні контакти, забезпечені системою дугогасіння, електромагнітний привід і допоміжні контакти. Як правило, рід струму в колі керування, яке живить електромагнітний привід, збігається з родом струму головного кола. Однак відомі випадки, коли котушки контакторів змінного струму отримують живлення від джерела постійного струму.

Вимоги, що висуваються до контакторів, і умови їх роботи визначені стандартами (рис.6.1).

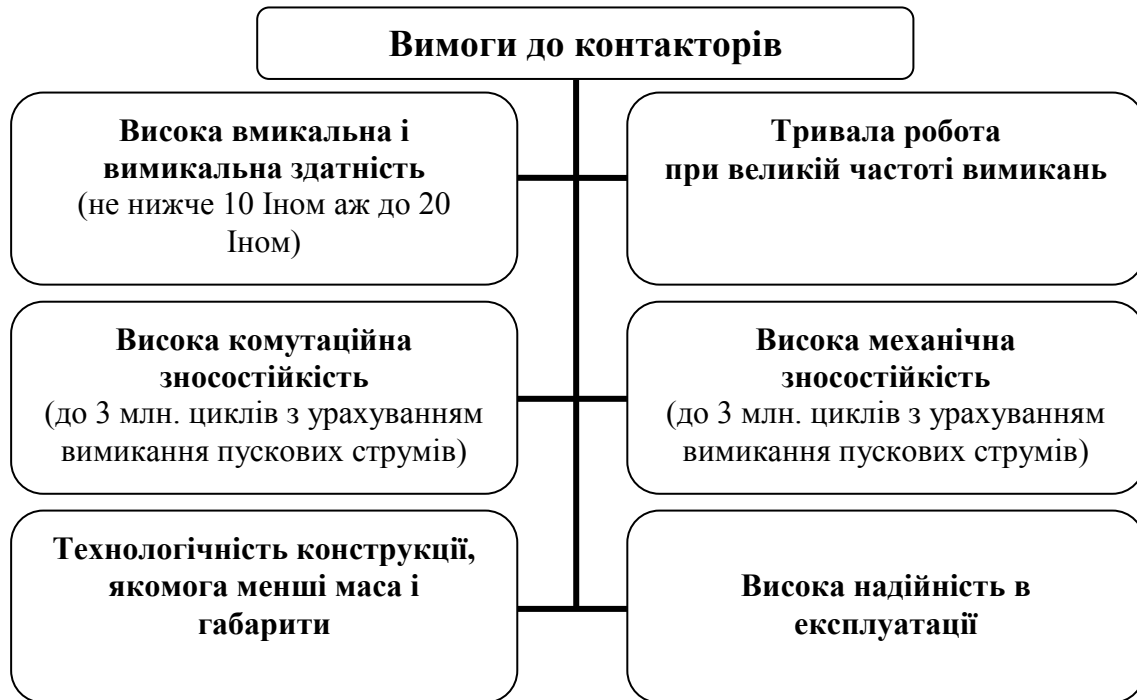


Рисунок 6.1 – Вимоги до контакторів

Залежно від роду приводу контактної системи розрізняють контактори електромагнітні, пневматичні і гідравлічні. Пневматичні і гідравлічні контактори, де відкривання і закривання повітря або рідини здійснюються електромагнітом або будь-яким іншим дистанційним способом, тут не розглядаються. Загальні описи контактних систем, дугогасильних пристроїв, кінематики механізмів і інших деталей, які наведені нижче стосовно до електромагнітних контакторів, справедливі також і для цих контакторів.

Електромагнітні контактори набули широкого поширення і є основними силовими апаратами сучасних схем автоматизованого електроприводу. Вони будуються для роботи в мережах:

- 1) постійного струму - контактори постійного струму силові і прискорення;
- 2) змінного струму промислової частоти (50 - 60 Гц) - контактори змінного струму;
- 3) змінного струму підвищеної частоти (до 10 кГц) - контактори змінного струму на підвищену частоту.

Магнітна система (привід) контактора може за родом струму відрізнятися від мережі (головних контактів).

Наприклад, вона може бути постійного струму у контакторів змінного струму, змінного струму промислової частоти або постійного струму у контакторів на підвищену частоту.

Основними технічними даними контакторів є: номінальний струм головних контактів, граничний вимикуваний струм, номінальна напруга комутованого кола, механічна комутаційна зносостійкість, допустима кількість увімкнень в годину, власний час увімкнення і вимкнення.

Номінальний струм головних контактів I_n становить 3...4000 А, комутований струм досягає (6...10) I_n (наприклад, пускові струми асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором). Для режиму пуску двигунів з фазним ротором і гальмування протиувімкненням характерні 2,5...4 - кратні струми перевантаження. Номінальні напруги комутованих кіл - 220, 440, 750 В при постійному струмі; 380, 660 В - при змінному струмі.

Механічна зносостійкість контактора визначається кількістю циклів увімкнення-вимкнення без заміни його вузлів і деталей (струм кола при цьому дорівнює нулю) і становить $(10...20) \cdot 10^6$ операцій.

Відповідно до стандарту розрізняють п'ять класів механічної зносостійкості.

Комутаційна зносостійкість визначається такою кількістю увімкнень і вимкнень кола зі струмом, після якого потрібно заміна контактів. Сучасні контактори повинні мати комутаційну зносостійкість порядку $(2...3) \cdot 10^6$ операцій.

Власний час спрацьовування (час від моменту подачі живлення на котушку до моменту торкання контактів) при увімкненні відбувається у-ит з часу наростання потоку до значення потоку зрушення і часу руху якоря. У контакторів постійного струму більша частина часу витрачається на наростання потоку (0,15-0,25 с). Для контакторів змінного струму час спрацьовування складає 0,03-0,05 с (перехід-ний процес при увімкненні протікає протягом 1/4 періоду).

Власний час вимкнення (відпускання) - час від моменту зняття напруги з котушки до моменту розмикання контактів. Для контакторів постійного струму час відпускання становить 0,07...0,2 с, для контакторів змінного струму - 0,02 с.

Категорії застосування контакторів обумовлені різними режимами вимкнення електричних кіл контакторами.

Стандартами регламентовані наступні категорії застосування контакторів змінного струму:

АС-1 - активне або малоіндуктивне навантаження;

АС-2 - пуск електродвигунів з фазним ротором, гальмування протиувімкненням;

АС-3 - пуск електродвигунів з короткозамкненим ротором. Вимкнення двигунів, що обертаються, при номінальному навантаженні;

АС-4 - пуск електродвигунів з короткозамкненим ротором. Вимкнення двигунів, що не обертаються або повільно обертаються. Гальмування протиувімкненням.

Для контакторів постійного струму існують такі категорії застосування:

ДС-1 - активне або малоіндуктивне навантаження;

ДС-2 - пуск електродвигунів постійного струму з паралельним збудженням і їх вимкнення при номінальній частоті обертання;

ДС-3 - пуск електродвигунів постійного струму з паралельним збудженням і їх вимкнення при нерухомому роторі або роторі, що повільно обертається;

ДС-4 - пуск електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням і їх вимкнення при номінальній частоті обертання;

ДС-5 - пуск електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням і їх вимкнення при нерухомому роторі або роторі, що повільно обертається, гальмування протиувімкненням.

Умови вимкнення електричного кола контакторами багато в чому визначаються відношенням індуктивності L навантаження до його активного опору R (L/R); чим вище цей показник, тим важчі умови вимкнення. Легкі умови спостерігаються при вимкненні електричних печей опору, а найбільш важкі - при вимкненні загальмованих електродвигунів. Так, категорії застосування АС1 відповідає режим вимкнення кола із слабоіндуктивним навантаженням, коли кут зсуву фаз між струмом і напругою кола близький до нуля. У цих умовах миттєве значення зростаючої напруги промислової частоти (тобто напруга джерела при переході через нуль) невелика і швидкість відновлення напруги за переходом струму через нуль мала, процес вимкнення кола змінного струму виявляється для контактора дуже легким.

6.2 Будова і принцип дії контактора

Контактор має наступні основні вузли: контактну систему, дугогасний пристрій, привід, систему додаткових слабкострумових контактів (блок-контактів), призначених для узгодження роботи контактора з іншими пристроями.

Протягом терміну служби зношені контакти можуть кілька разів замінюватися новими.

На рис. 6.2 наведені зовнішній вигляд і умовна схема контакторів.

Головні контакти контактора увімкнені в силове коло електродвигуна M , обмотка контактора - в коло керування, що містить кнопки «Пуск» і «Стоп».

При вимкненні силового кола напруга з обмотки 16, розміщеній на осерді 15, знімається і рухома система під дією поворотної пружини 11 приходить в нормальний стан.

Дуга D , що виникає при розходженні головних контактів гаситься в дугогасній камері 5, яка має ізоляційні перегородки 4, що сприяють розтягуванню дуги, збільшенню її довжини і опору. На виході камери встановлені металеві пластини 3 решітки для гасіння полум'я. Ці пластини розсіюють залишковий стовп дуги. Решітка для гасіння полум'я перешкоджає виходу іонізованих газів за межі камери. Швидкий вихід дуги з контактів у камеру забезпечується системою магнітного дуття.

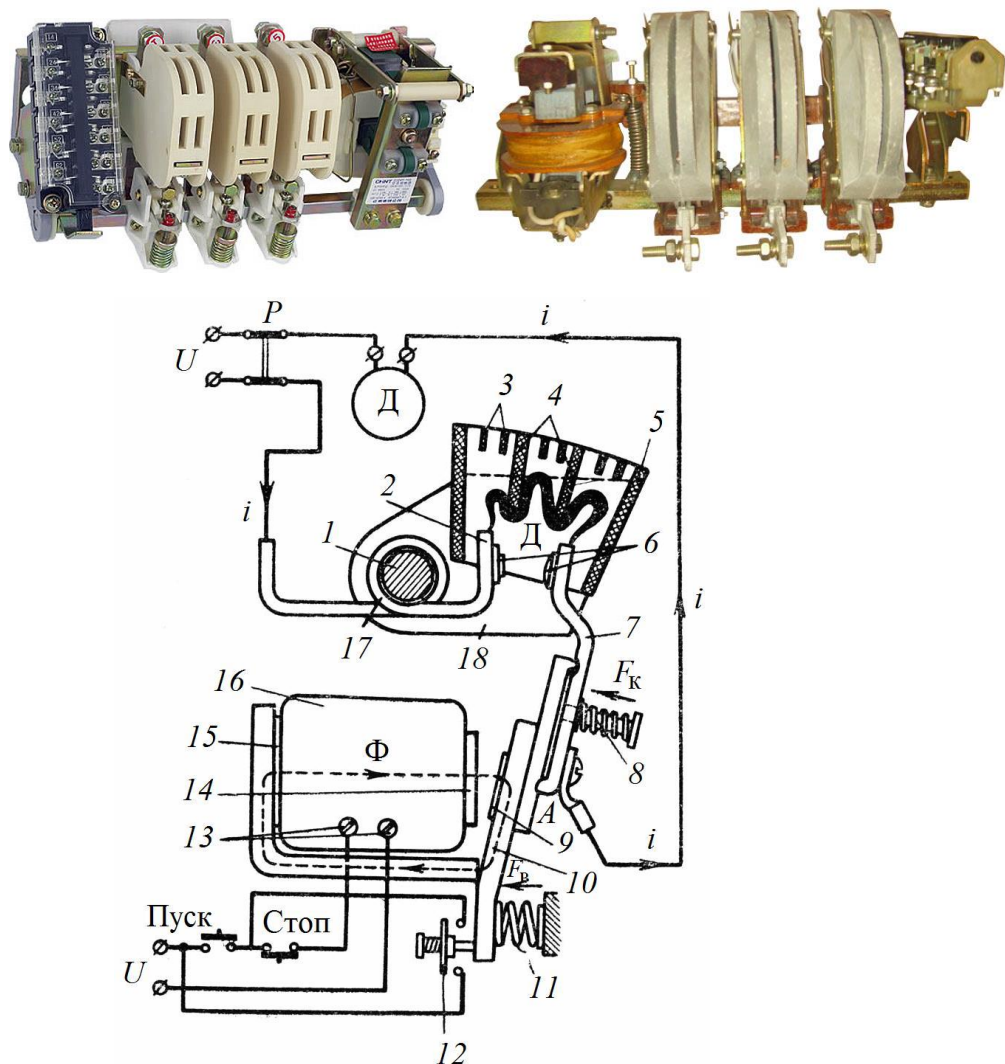


Рисунок 6.2 – Контактори: а) CJ24 (CHINT), б) KT 6053 630A, в) умовна схема контактора

Обмотка цієї системи 17 увімкнена послідовно в коло головного струму і розміщена на сталевому осерді 1. Дві сталеві пластини - полюси 18, розміщені з боків осердя 1, підводять створюване обмоткою 17 магнітне поле до зони горіння дуги в камері. Дугогасні камери 5 виготовляються з дугостійкого ізоляційного матеріалу (наприклад, кераміка).

Увімкнення контактора відбудеться, якщо подати напругу на за-тикачі 13 обмотки 16 приводного електромагніту. Це забезпечується натисканням кнопки «Пуск». Якір 10 електромагніту притягнеться до осердя, подолавши зусилля протидії поворотній 11 і контактній 8 пружинам. При увімкненні контактора кнопка «Пуск» виявиться зашунтована блок-контактами 12 контактора. При її відпусканні коло живлення обмотки(котушки) 16 не буде розірване, а контактор залишиться в увімкненому стані.

Встановлення полюсного наконечника 14 на осердя електромагніту досягається збільшення електромагнітного зусилля і зміна його тягової характеристики. Немагнітна прокладка (наприклад, латунна) 9 на якорі призначена для зменшення зусилля, обумовленого залишковою індукцією, і запобігання залипанню якоря при знятій напрузі з обмотки.

Взаємодія контактів 7 і 2 відбувається раніше, ніж якір електромагніта повністю притягнеться до полюса. З рухом якоря рухомий контакт «провалюється», впираючись своєю верхньою частиною в нерухомий контакт 2. Він повернеться на деякий кут і викличе додаткове натискання контактної пружини 8. Виникає так званий провал контактів - зміщення рухомого контакту на рівні точки його дотикання з нерухомим в разі, якщо нерухомий контакт буде видалений. Провал контактів забезпечує надійне замикання комутованого кола, коли товщина контактів зменшується внаслідок вигорання їх матеріалу під дією електричної дуги. Величина провалу визначає запас матеріалу контактів на зношення в процесі роботи контактора. Величина провалу становить 1...10 мм для пальцевих (важільних) контактів.

Після дотикання контактів відбувається перекочування рухомого контакту 7 по нерухомому 2. Контактна пружина створює певне натискання в контактах, тому під час перекочування відбувається руйнування окисних плівок та інших хімічних сполук. Під час перекочування точки дотику контактів переходять на нові місця контактної поверхні, що не піддавалися впливу дуги і є тому чистими. Все це зменшує перехідний опір контактів і покращує умови їх роботи, проте підвищує механічне зношення контактів.

Завдяки попередньому натягу контактної пружини 8 в момент дотикання рухомий контакт тисне на нерухомий. Внаслідок цього перехідний опір контактів в момент їх дотикання буде невеликим і контактний

майданчик не розігріється при увімкненні контактора до значної температури. Попередній натяг контактної пружини 8 дозволяє знизити вібрацію рухомого контакту при ударі його об нерухомий, що запобігає приварюванню контактів при увімкненні контактора.

Контактні накладки 6, виконані зі спеціального матеріалу (наприклад срібла), призначені для поліпшення умов тривалого проходження струму через замкнені контакти в увімкненому стані. В інших випадках застосовуються контактні накладки з дугостійкого матеріалу (наприклад металокераміки) для зменшення зношення контактів під впливом електричної дуги при частих вимиканнях кола.

Удосконалення конструкцій контакторів і магнітних пускачів має на меті підвищення зносостійкості, досягнення простоти і зручності при монтажі та експлуатації і зниження собівартості.

Контактори постійного і змінного струму мають в основному одні й ті ж конструкційні вузли.

Кількість контактів у контакторів змінного струму може бути від 1 до 5, а найбільшого поширення набули триполюсні контактори (вони є базовими для магнітних пускачів). Дугогасний пристрій за способом гасіння дуги відрізняється від аналогічних пристроїв контакторів постійного струму тим, що у контакторів змінного струму гасіння дуги здійснюється за допомогою коротких дуг, в той час як у контакторів постійного струму дуга гаситься за допомогою магнітного дуття.

Втягувальна котушка контакторів змінного струму відрізняється тим, що основним параметром (величиною електричного опору є індуктивний опір, а не активний, як у котушки контакторів постійного струму). За таких обставин кількість витків втягувальної котушки на змінному струмі приблизно в 10 разів менша, ніж на постійному.

Магнітна система контакторів змінного струму виконується шихтованою з листової електротехнічної сталі. Магнітні системи зазвичай П-, Ш-подібні і соленоїдні.

Для збільшення зносостійкості і надійності застосовують гібридні контактори, що містять напівпровідниковий блок, призначений для шунтування головних контактів.

У гібридних контакторах дуга повністю не усувається, але вона існує на контактах протягом короткого часу переходу струму з контактів в напівпровідниковий блок. Перехід струму починається з моменту досягнення напругою дуги значення, рівного пороговій напрузі тиристора. Зношення основних контактів від цієї короткочасної дуги невеликий і їх комутаційна зносостійкість порівнянна з механічною.

Існують також герметизовані (вакуумні, герсиконові) контактори. Контактна система герметизованих контакторів працює в середовищі інертних газів (або в вакуумі). Вакуумні контактори є різновидом герметизованих контакторів, вони мають високу дугогасну здатність і високу електричну міцність.

6.3 Електромагнітні пускачі

Електромагнітний пускач є комутаційним апаратом, відноситься до сімейства електромагнітних контакторів, що дозволяє комутувати потужні навантаження постійного і змінного струму, і призначений для частих увімкнень і вимкнень силових електричних кіл. Електромагнітні пускачі застосовуються в основному для пуску, зупинки і реверсування трифазних асинхронних електродвигунів, однак, через свою невибагливість вони прекрасно працюють в схемах дистанційного керування освітленням, в схемах керування компресорами, насосами, кран-балками, тепловими печами, кондиціонерами, стрічковими конвеєрами і т.д.

Електромагнітний пускач складається з верхньої і нижньої частин (рис.6.3).



Рисунок 6.3 – Будова електромагнітного пускача

У верхній частині (рис.7.4) знаходиться рухома контактна система, дугогасильні камери і рухома половинка електромагніту, яка механічно зв'язана з групою силових контактів рухомої контактної системи

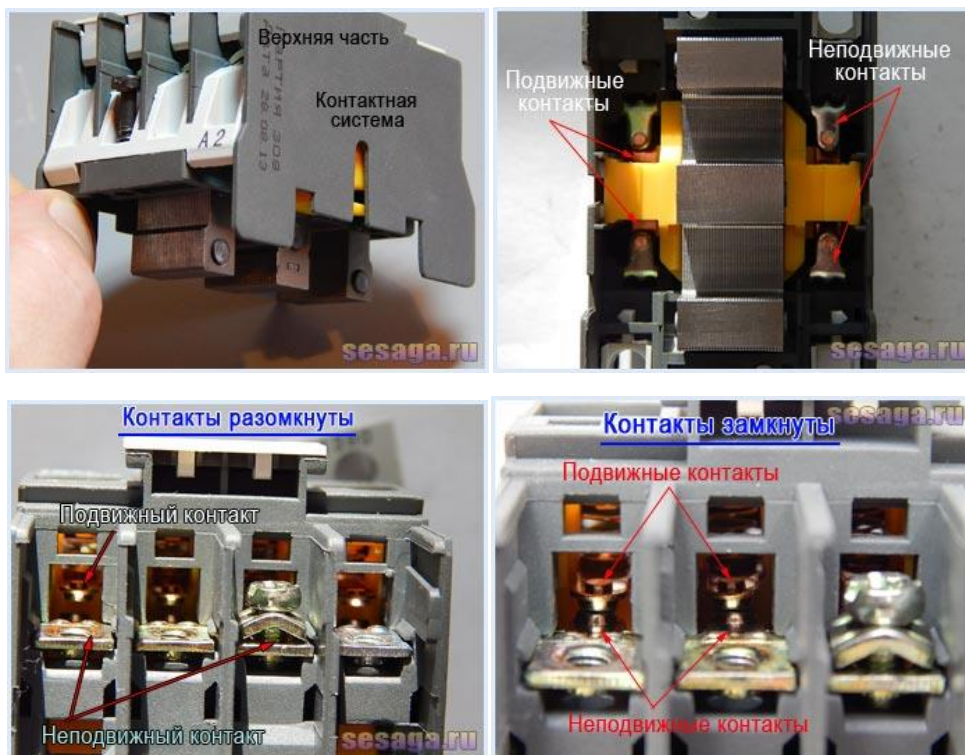


Рисунок 6.4 – Верхняя часть электромагнитного пускателя

Нижняя часть пускателя (рис.6.5) складается из катушки, поворотной пружины і другої половинки электромагниту.



Рисунок 6.5 - Нижняя часть электромагнитного пускателя

Поворотная пружина поворачивает верхнюю половинку в начальное положение після припинення подачі живлення на катушку, тим самим, розриваючи силові контакти пускателя.

Обидві половинки електромагніту набрані з Ш-подібних пластин, виготовлених з електротехнічної сталі. Це наочно видно, якщо витягнути нижню половинку електромагніту (рис.6.6).

Котушка пускача намотана мідним дротом, і містить певну кількість витків, розрахованих на підключення певної напруги живлення рівної 24, 36, 110, 220 або 380 В.

При подачі напруги живлення в котушці виникає магнітне поле і обидві половинки прагнуть з'єднатися, утворюючи замкнутий магнітопровід. Як тільки живлення вимикається, магнітне поле зникає, і верхня частина повертається поворотною пружиною у вихідне положення.

На бічній стінці пускача, так само, як і у контактної приставки, нанесена інформація про електричні параметри пускача, яка для зручності умовно розділена на три сектори (рис.6.7).

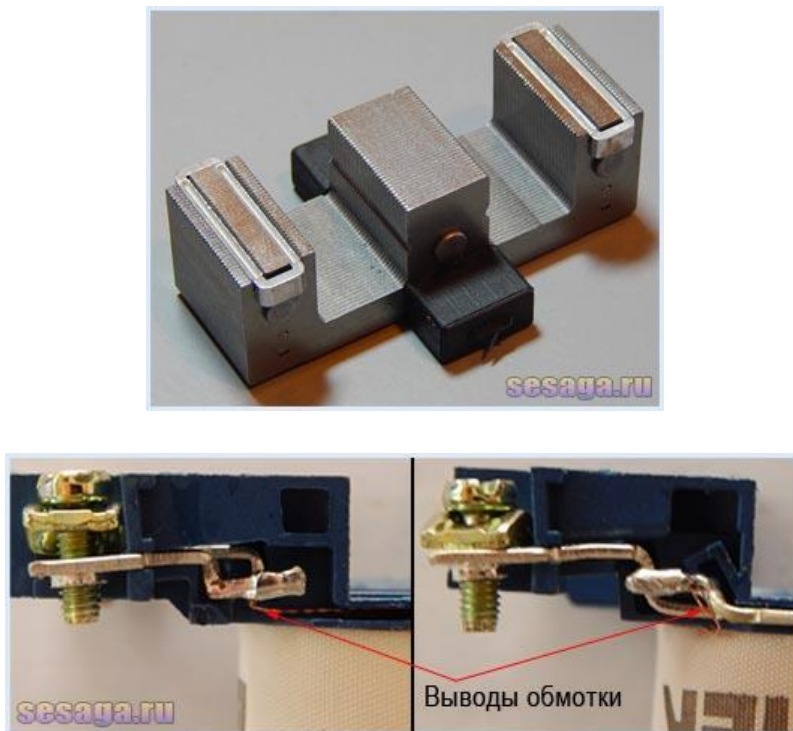


Рисунок 6.6 – Електромагніт і виводи котушки електромагнітного пускача



Рисунок 6.7 - Бічна стінка електромагнітного пускача з нанесеною інформацією

КМИ-10910	
50 Гц	
AC-3, I_e 9 A	
AC-1, I_{th} 25 A	
U_e , В~	AC-3, кВт
230	2,2
400	4
660	5,5

Рисунок 6.8 – Перший і другий сектори бічної стінки електромагнітного пускача з нанесеною інформацією

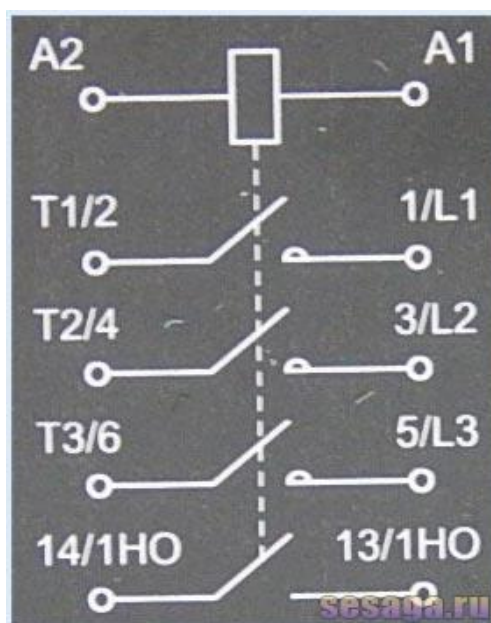


Рисунок 6.9 – Третій сектор бічної стінки електромагнітного пускача з нанесеною інформацією

У першому секторі (рис.6.8) наведена загальна інформація про пускач і його область застосування:

50Гц - номінальна частота змінного струму, при якій можлива безперебійна робота пускача;

Категорія застосування **АС-3** – керування асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором: пуск, вимкнення без попередньої зупинки.

Цей пускач можна використовувати для пуску і зупинки асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, використовуваних в ліфтах, ескаляторах, стрічкових конвеєрах, елеваторах, компресорах, насосах, кондиціонерах і т.д.

Для характеристики комутаційної здатності контакторів і пускачів змінного струму встановлені чотири категорії застосування, які є стандартними: АС1, АС2, АС3, АС4. Кожна категорія застосування характеризується значеннями струмів, напруг, коефіцієнтів потужності або постійних часу, умовами випробувань та інших параметрів встановлених ГОСТ Р 50030.4.1-2002.

I_e 9А - номінальний робочий струм. Це струм навантаження, який в нормальному режимі роботи може проходити через силові контакти пускача. У нашому прикладі цей струм становить 9 А.

Категорія застосування АС-1 - неіндуктивні або слабо індуктивні навантаження, печі опору, лампи розжарювання, ТЕНи.

I_{th} 25А - умовний тепловий струм ($\Theta^{\circ} \leq 40^{\circ}\text{C}$). Це максимальний струм, який контактор або пускач може проводити у 8-годинному режимі так, щоб перевищення температури його різних частин не виходило за межі 40°C.

У другому секторі (рис.6.8) вказана номінальна потужність навантаження, яку можуть комутувати силові контакти пускача, і яка характеризується категорією застосування АС3 та вимірюється в кВт.

Наприклад, контакти пускача можуть комутувати навантаження потужністю 2,2 кВт, що живиться напругою змінного струму не більше 230 В.

В третьому секторі (рис.6.9) зображена електрична схема пускача: котушка і чотири пари замикаючих контактів - три силових (робочих) і один допоміжний. Від котушки через усі контакти проходить пунктирна лінія, яка вказує, що всі чотири контакти замикаються і розмикаються одночасно.

Напруга живлення 220В подається на котушку пускача через затискачі, позначені як А1 і А2 (рис.6.10).

Сучасні електромагнітні пускачі випускають з двома однотипними контактами від одного із виводів котушки. Їх виводять з протилежних сторін

пускатча, маркують однаковими літерно-цифровими позначеннями, і з'єднують між собою перемичкою. У нашому випадку це виводи з маркуванням А2. Все це зроблено для зручності монтажу схеми. І якщо доведеться збирати схеми з електромагнітним пускатчем, слід використовувати обидва ці контакти.



Рисунок 6.10 - Катушка електромагнітного пускатча і її затискачі

Силовими контактами (рис.6.11) є три пари: 1L1-2T1; 3L2-4T2; 5L3-6T3 - до них підключається навантаження, яке живиться через магнітний пускач або контактор. Причому контакти 1L1; 3L2; 5L3 є входними - до них

підводиться напруга живлення, а 2Т1; 4Т2; 6Т3 є вихідними - до них підключається навантаження.

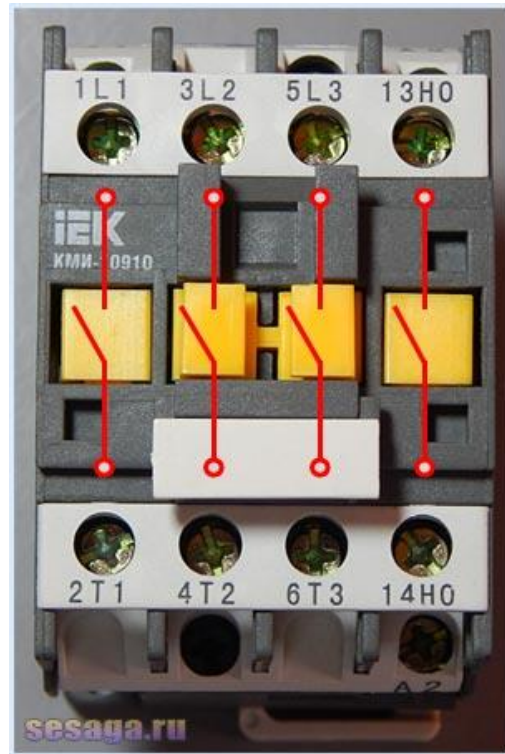


Рисунок 6.11 – Силкові контакти пускача

Остання пара контактів 13НО -14НО є допоміжною і використовується для реалізації в схемі самопідхоплення (самоблокування) пускача (достатньо однократного натиснення кнопки «Пуск»).

Слід зазначити, що сучасні електромагнітні пускачі, автоматичні вимикачі та ПЗВ тепер можна розміщувати в одному ящику і на одну DIN-рейку¹².

Електромагнітні пускачі серії ПМЛ (рис.6.12) використовуються для дистанційного пуску шляхом безпосереднього увімкнення до мережі, вимкнення і реверсування трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором.

За наявності електротеплових реле, пускачі виконують функцію захисту двигунів від перевантажень недопустимої тривалості, у тому числі тих, що виникають при випаданні однієї з фаз.

¹² DIN-рейка - стандартна металева [рейка](#) шириною 35 мм спеціального профілю. Використовується для кріплення модульного електрообладнання ([автоматичних вимикачів](#), [ПЗВ](#), електромагнітних пускачів, стандартних за розмірами (кратних [юніту](#))) в стандартних стійках серверного і комутаційного обладнання та [електричних щитах](#).

Пускачі першої величини:

ПМЛ-1100

ПМЛ-1110

ПМЛ-1210

ПМЛ-1220

Пускачі другої величини:

ПМЛ-2100

ПМЛ-2110

ПМЛ-2210

ПМЛ-2230

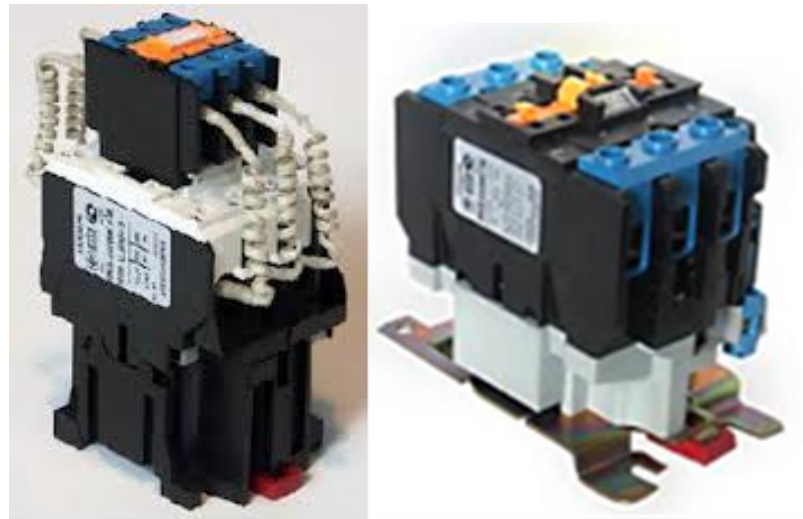


Рисунок 6.12 - Електромагнітні пускачі серії ПМЛ

Структура умовного позначення електромагнітних пускачів серії ПМЛ:
ПМЛ X1 X2 X3 X4, де:

X1 - величина пускача за номінальним струмом:

1 - 10А;

2 - 25А.

X2 – за режимом роботи електродвигуна і наявністю теплового реле:

1 - нереверсивний без теплового реле;

2 - нереверсивний з тепловим реле;

5 - реверсивний з тепловим реле і механічним блокуванням;

6 - реверсивний з тепловим реле з електричним і механічним блокуваннями.

X3 - ступінь захисту і наявність елементів керування:

0 - IP00;

1 - IP54 без кнопок;

2 - IP54 з кнопками "Пуском" і "Стоп";

3 - IP54 з кнопками "Пуском", "Стоп" і сигнальною лампою.

X4 - поєднання контактів і рід струму допоміжного кола:

0 - 1"з";

1 - 1 "р".

Електромагнітні пускачі серії ПМА (рис.6.13) використовуються для дистанційного пуску шляхом безпосереднього увімкнення до мережі і вимкнення трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Додатково пускачі ПМА можуть здійснювати реверсування електродвигунів, за наявності електротеплових реле - захист двигунів від перевантажень, у тому числі тих, що виникають при випаданні однієї з фаз, а також змінювати схеми увімкнення обмоток (пуск електродвигуна перемиканням із «зірка» на «трикутник».



Рисунок 6.13 - Електромагнітний пускач серії ПМА

Величини пускача		
ПМА-4100	ПМА-5100	ПМА-6100
ПМА-4110	ПМА-5200	ПМА-6200
ПМА-4130		
ПМА-4200		
ПМА-4210		
ПМА-4500		
ПМА-4510		
ПМА-4600		
ПМА-4610		

Структура умовного позначення пускачів ПМА:

ПМА - **X1 X2 X3 X4**, де

X1 - величина пускача залежно від номінального струму:

3 - 40А;

4 - 63А.

X2 - виконання пускача за призначенням і наявності теплового реле:

1 - без реле, нереверсивний;

- 2 - з реле, нереверсивний;
- 3 - без реле, реверсивний;
- 4 - з реле, реверсивний;
- 5 - без реле, реверсивний з механічним блокуванням;
- 6 - з реле, реверсивний з механічним блокуванням.

ХЗ - виконання пускача по мірі захисту:

- 0 - IP00;
- 1 - IP40 без кнопок;
- 2 - IP54 без кнопок;
- 3,4 - IP54 з кнопками керування;
- 5 - IP40 з кнопками керування і сигнальними лампами;
- 6 - IP54 з кнопками керування і сигнальними лампами.

Х4 - виконання пускача за родом струму кола керування, напругою головного кола:

- 0 - змінний, 380В;
- 2 - змінний, 660В.

Малогабаритні контактори змінного струму загальнопромислового застосування **КМИ** (рис.6.14) на струм навантаження від 9 до 95 А призначені для пуску, зупинки і реверсування асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором на напругу до 660 В (категорія застосування АС-3) в електроприводах вентиляторів, насосів, кран-балок, верстатів, а також для дистанційного керування колами освітлення, нагрівальними пристроями і різними малоіндуктивними навантаженнями (категорія застосування АС-1). Можуть застосовуватися в системах автоматичного введення резерву (АВР).

Всі виконання контакторів на струм навантаження до 40 А мають одну групу замикаючих або розмикаючих додаткових контактів, а виконання на струм навантаження понад 40 А - дві групи (замикаючі і розмикаючі).

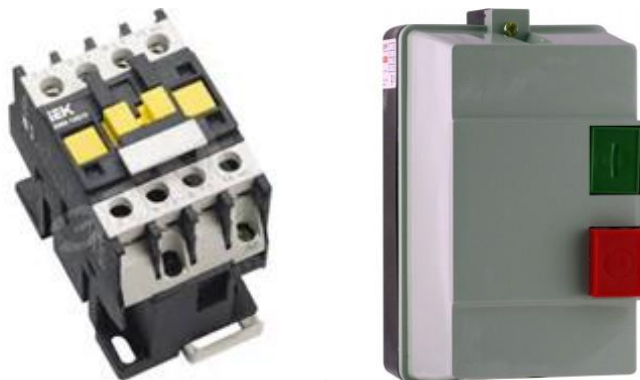


Рисунок 6.14 - Електромагнітні пускачі серії КМИ

Сфера застосування малогабаритних контакторів серії КМИ - керування вентиляторами, насосами, тепловими завісами, печами, кран-балками, верстатами, освітленням, в системах автоматичного введення резерву (АВР).

Діапазон робочих температур, °С - від мінус 40 до плюс 50

Категорія застосування - АС1, АС3, АС4

Робоче положення - вертикальне з відхиленням ± 30

Ступінь захисту за ГОСТ 14254-96 - І Р20

Додаткові аксесуари:

- контактні приставки ПКІ;
- приставки витримки часу ПВІ;
- механізм блокування (для виключення одночасного увімкнення контакторів у схемі реверсивного пускача);
- теплові реле РТІ;
- котушки керування.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Наведіть класифікацію контакторів.
2. Виберіть один тип контактора постійного струму і опишіть його будову, вкажіть призначення основних вузлів.
3. У чому полягають особливості будови електромагніту контактора змінного струму?
4. Опишіть спеціальні типи контакторів.
5. Опишіть принцип дії дугогасильних пристроїв, що використовуються в контакторах. Вкажіть, в яких випадках застосовуються ті чи інші дугогасильні пристрої.
6. Зобразіть і опишіть будову магнітного пускача серії ПМЛ.
7. Наведіть і поясніть схему нереверсивного магнітного пускача
8. Наведіть і поясніть схему реверсивного магнітного пускача.
9. Для чого призначені малогабаритні контактори змінного струму?
10. Якими є додаткові можливості малогабаритних контакторів змінного струму?
11. В чому полягають конструкційні особливості магнітної системи малогабаритних контакторів змінного струму?
12. Для чого призначені електромагнітні пускачі?
13. Які апарати і пристрої окрім малогабаритного контактора змінного струму можуть входити до складу електромагнітних пускачів?
14. Якими можуть бути виконання електромагнітних пускачів?
15. Які види блокування передбачені конструкцією реверсивного електромагнітного пускача?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

7. СТРУМОВІ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВІ РЕЛЕ

7.1 Загальні відомості

7.2 Будова і принцип дії струмового електротеплового реле

7.3 Триполюсні електротеплові реле серії РТЛ .

7.4 Триполюсне струмове електротеплове реле серії РТТ

7.5 Триполюсне струмове електротеплове реле серії РТИ

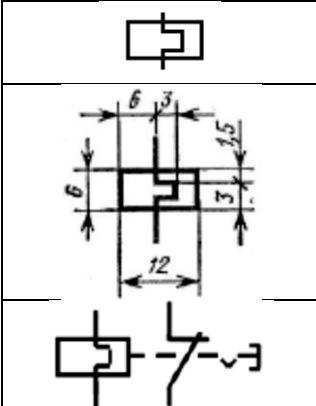
Терміни та визначення понять

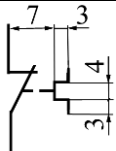
Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Електротеплове реле	Електричне реле, робота якого ґрунтується на тепловій дії електричного струму	<i>thermal electrical relay</i>
Значення величини спрацьовування електричного реле	Значення вхідної діючої чи характеристичної величини електричного реле, за якого воно спрацьовує в заданих умовах	<i>operative value of a relay</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	KK	Реле електротеплове струмове (сприймаюча частина)
		Суміщене зображення сприймаючої частини і контакту реле

	Розмикаючий контакт струмового електротеплового реле

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.
2. ГОСТ 16308-84 Реле електротеплові струмові. Загальні технічні умови

7.1 Загальні відомості

Довговічність електричного обладнання та електродвигунів значною мірою залежить від перевантажень, яким вони піддаються під час роботи.

Для захисту асинхронних електродвигунів від тривалих перевантажень значного поширення набули струмові електротеплові реле (рис.7.1; 7.2) з трьома біметалевими елементами на базі пластин з різними коефіцієнтами лінійного розширення при нагріванні (α). Пластини жорстко з'єднуються одна з одною шляхом прокату в гарячому стані, або контактним зварюванням.



Рисунок 7.1 – Струмові електротеплові реле

У струмових електротеплових реле використовують біметалеві елементи з таких матеріалів, як інвар, що має мале значення α , і хромонікелева сталь, що має велике значення α .

Струмові електротеплові реле	
За родом струму	- змінного струму; - постійного струму
За кількістю полюсів	- 1-полюсні; - 2-полюсні; - 3-полюсні
За видом контактів допоміжного кола	- з одним розмикаючим контактом(1р); - з одним замикаючим контактом(1з); - 1з + 1р; - з перемикаючим контактом
За способом повернення	- з ручним поверненням (самоповернення не можливе); - з само поверненням та пристроєм для прискорення повернення вручну чи без нього; - з самоповерненням , що допускає перевід самоповернення на ручне повернення без можливості самоповернення
За наявністю вільного розчеплення контактів	- з вільним розчепленням контактів; - без вільного розчеплення контактів
За наявністю чи відсутністю компенсації впливу температури навколишнього середовища на струм неспрацьовування	- з температурною компенсацією; - без температурної
За наявністю чи відсутністю змінності нагрівних елементів	- зі змінними нагрівальними елементами; - з незмінними нагрівальними елементами
За наявністю чи відсутністю регулювання струму неспрацьовування	- з регулюванням струму неспрацьовування
За наявністю чи відсутністю прискореного спрацьовування при відсутності струму в одному із полюсів реле	- реле без прискореного спрацьовування; - реле з прискореним спрацьовуванням
За стійкістю проти зношування	- з нормальною комутаційною зносостійкістю; - з підвищеною комутаційною зносостійкістю
За герметичністю	- негерметичні - герметичні

Рисунок 7.2 - Класифікація електротеплових струмових реле (за ГОСТ 16308-84 Реле електротеплові струмові. Загальні технічні умови)

Якщо біметалевий елемент закріпити з одного боку і нагріти, то він згинається в бік матеріалу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення. Це явище якраз і використовується в електротеплових реле. Згинаючись, біметалева пластина діє на засувку утримувального механізму і відбувається перемикання контактів реле.

У схемах захисту асинхронних електродвигунів використовуються розмикаючі контакти електротеплового реле, що діють на вимкнення контактором електродвигуна з мережі, та замикаючі контакти, що діють на сигнал.

Нагрівання біметалевого елемента реле відбувається за рахунок тепла, що виділяється струмом навантаження в самій пластині або в спеціальному нагрівному елементі. Основною характеристикою теплового реле є залежність часу спрацьовування $t_{сnp}$ від струму навантаження I , яка називається струмочасовою захисною характеристикою $t_{сnp}=f(I)$. Через інерційність теплового процесу електротеплові реле, які мають біметалеві елементи, непридатні для захисту електричних кіл від струму короткого замикання і самі потребують такого захисту аби запобігти перегоранню нагрівних елементів до спрацьовування реле. Тому захист електродвигуна тепловими реле повинен бути доповнений плавкими запобіжниками або автоматичними вимикачами

Струмові електротеплові реле типів РТЛ, РТТ, РТИ, що вбудовуються в електромагнітні пускачі, являють собою реле непрямої дії, оскільки їх контакти вмикаються в коло втягувальної котушки контактора (електромагнітного пускача). Захистом прямої дії є теплові розчіплювачі автоматичних вимикачів.

За способом нагрівання біметалевої пластини електротеплові реле бувають з прямим, непрямим і комбінованим нагріванням. Реле з непрямим і комбінованим нагріванням мають спеціальні нагрівні елементи у вигляді спіралі, яка намотується на пластину через теплостійку ізоляцію (рис.7.3). Можливість регулювання місця і площі контакту нагрівного елемента з біметалевою пластиною істотно підвищує точність настроювання електротеплового реле. Кількість витків спіралі, а також переріз проводу вибирається залежно від значення струму, на який розраховане електротеплове реле. При великих значеннях струму як нагрівний елемент може використовуватися і сама біметалева пластина.

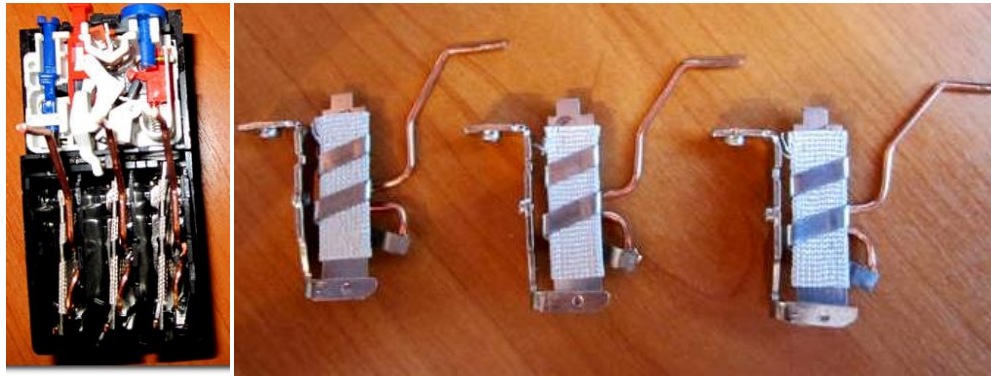


Рисунок 7.3 – Нагрівні елементи із біметалевими пластинами струмового електротеплового реле

Основна вимога, що висувається до теплового захисту, полягає в тому, що він повинен спрацьовувати при перевантаженнях електродвигуна вище 20% протягом не більше 20 хв від моменту досягнення електротепловим реле усталеної температури в результаті нагрівання номінальним струмом.

Такий захист має величезне значення, тому що теплові перевантаження викликають, передусім, прискорені старіння і руйнування ізоляції електродвигуна, що може призвести до короткого замикання, тобто до серйозної аварії і передчасного виходу двигуна з ладу.

На відміну від запобіжників і електромагнітних розчіплювачів, які застосовуються для захисту електрообладнання від струмів коротких замикань, електротеплові реле призначені для захисту від перевантаження в основному електродвигунів. Це пояснюється тим, що для нагрівання біметалевої пластини до температури, при якій відбувається вимкнення потрібно значно більше часу, ніж для спрацьовування запобіжника, і обладнання, що захищається, може вийти з ладу.

Струмові електротеплові реле виготовляються і застосовуються як окремі електроустановочні вироби, а також у складі електромагнітних пускачів. Розроблені і випускаються виконання реле з самоповерненням після спрацьовування і з ручним поверненням в вихідне положення.

Вибір електротеплового реле (рис.7.4) залежить від струму, споживаного електродвигуном. Можливості зміни струму спрацьовування реле за допомогою регулювання невелика, тому для різних електродвигунів потрібно підбирати теплові реле на струм, що не менший номінального струму електродвигуна і якомога ближчий до нього.

Як відомо, при пуску електродвигуна пусковий струм приблизно в 5-7 разів перевищує номінальний робочий. Але електротеплове реле при цьому не спрацьовує через уповільнений нагрів біметалевих пластин.

Рекомендоване перевищення струму спрацьовування теплового захисту становить 5% - 20% від номінального струму електродвигуна. Найкраще відразу вибирати комплект для конкретного електродвигуна, що складається із пускача і електротеплового реле, користуючись каталогами виробників та довідковою літературою.

Більшість електротеплових реле мають два види регулювання струму неспрацьовування. Ближче до кінця рухомої частини біметалевої пластини знаходиться регулювальний гвинт, який служить для того, щоб регулювати відстань від пластини до поверхні розчілювача, на яку цей гвинт натискає для спрацьовування реле. Це регулювання недоступне користувачам без розбирання реле. Другий вид регулювання призначений для підстроювання струму неспрацьовування обслуговуючим персоналом. Для цього використовують виведений на лицьову сторону регулювальний гвинт під викрутку або спеціальний важіль-поводок.

При правильному настроюванні струму спрацьовування забезпечується захист електродвигуна від тривалого перевантаження внаслідок надмірного збільшення механічного навантаження на валу, при зупинці двигуна від заклинювання ротора та при затяжному пуску. Сучасні електротеплові реле забезпечують також захист електродвигуна від перекосу або обриву фази за зростанням струму в інших фазах.

Застосування електротеплових реле, а також їх обслуговування має свої особливості. Схема захисту двигуна побудована так, що струм, споживаний електродвигуном, проходить через нагрівні елементи теплового реле, а його розмикаючий контакт розриває коло керування електромагнітним пускачем двигуна. Тому потрібно мати

на увазі, що при залипанні двох або більше контактів пускача (контактора), реле не забезпечить вимкнення електродвигуна.

Електротеплові реле мають розкид по спрацьовуванню, що передусім пов'язано з сезонними та добовими змінами температури навколишнього повітря. Час спрацювання залежить також від того, чи було до цього струмове реле під навантаженням. Якщо реле було під навантаженням і прогріте, то час спрацьовування зменшується.

Спрацьовування теплового реле зазвичай сигналізує про наявність погано помітної несправності. Навіть нетривалий огляд обладнання допоможе своєчасно виявити приховані несправності електрообладнання і дозволить запобігти виходу його з ладу.

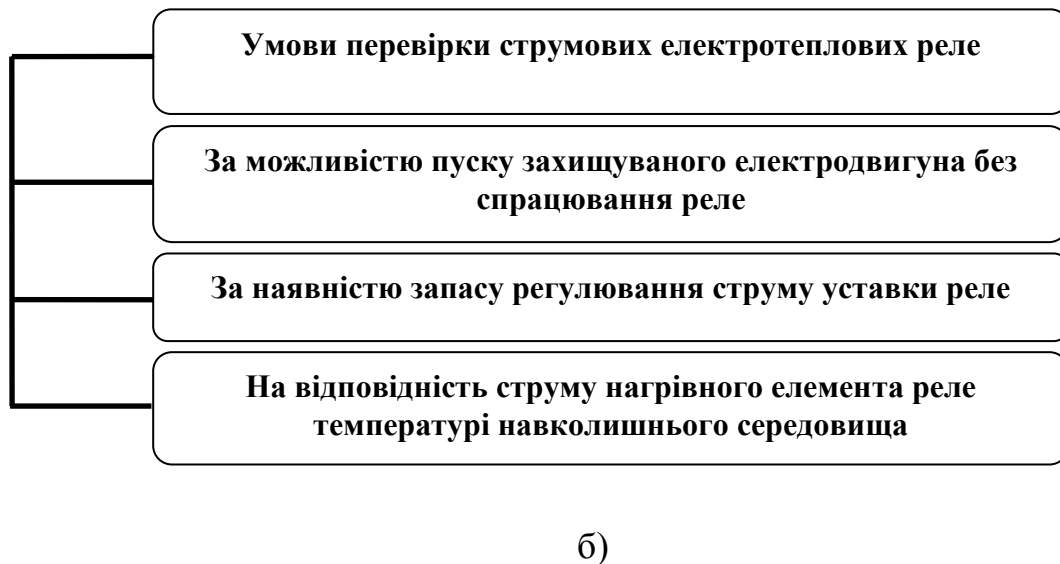
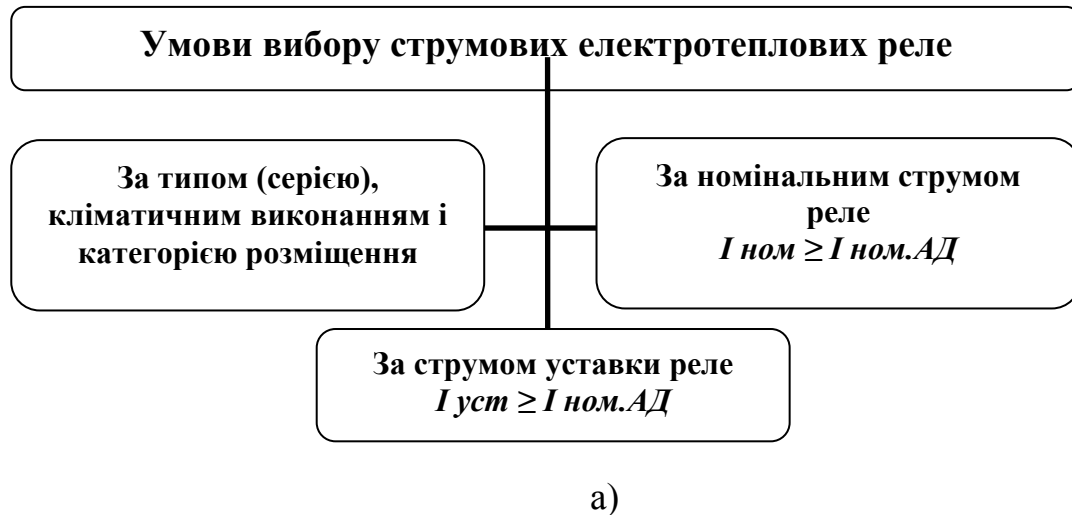


Рисунок 7.4 – Умови вибору (а) і перевірки (б) струмових електротеплових реле

Після спрацювання теплового реле потрібен певний час для охолодження біметалевої пластини (пластин) і тільки після цього можливе його повторне увімкнення. Перед повторним увімкненням бажано перевірити на дотик температуру електродвигуна. Якщо температура підвищена, то потрібно дати час для його охолодження і перевірити двигун. Час охолодження електродвигуна істотно більший, ніж час, необхідний для охолодження і повторного увімкнення електротеплового реле.

7.2 Будова і принцип дії струмового електротеплового реле

Теплове реле спрацьовує при певній температурі нагріву чутливого елемента, який є біметалевою пластиною. Нагрівання елемента може бути безпосереднім (за рахунок тепла, що виділяється струмом навантаження, який проходить через біметалеву пластину) і непрямим (за рахунок тепла нагрівального елемента, який нагріває пластину) і комбінованим.

Біметалева пластина складається з двох пластин металу (з різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення α_1 і α_2), з'єднаних зварюванням або прокатуванням в гарячому стані. При виготовленні біметалевих пластин електротеплових реле застосовуються: як термореактивний матеріал (з більшим значенням α) залізонікелевий сплав - інвар, а як термоактивний матеріал (з меншим значенням α) - хромонікелеві, молібденонікелеві сталі.

Якщо біметалеву пластину закріпити нерухомо і нагріти, то вона вигнеться в бік матеріалу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення. Механічне зусилля, що витрачається на подолання зусиль, які протидіють вигину, використовується для дії на виконавчі елементи реле - контакти.

У реле, схематично зображеному на рис.7.5, відбувається миттєве перекидання контактів з одного положення в інше, і натискання на контакти не залежить від зусилля, що розвивається біметалевою пластиною.

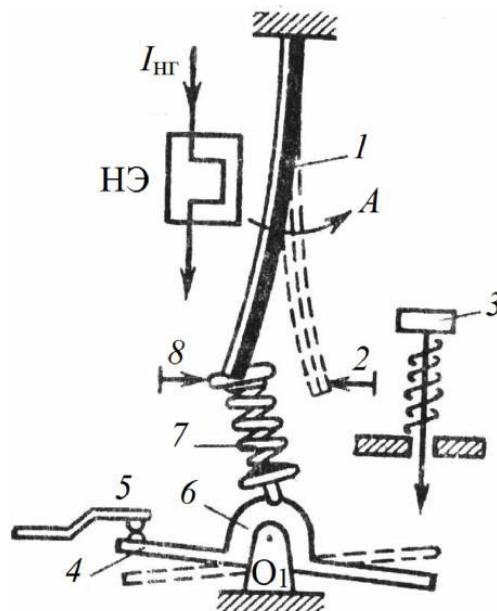


Рисунок 7.5 – Будова електротеплового реле: 1 і 2 – біметалева пластина до нагрівання і після; 3 – кнопка ручного повернення реле у вихідний стан; 4 і 5 – контакти; 6 – пластмасова колодка; 7 – пружина; 8 – упор

Максимальний механічний прогин вільного кінця елемента можна визначити за формулою:

$$X_{max} = 3/4 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot (l_2 \tau) / \delta \quad (7.1)$$

де α_1 - температурний коефіцієнт розширення термоактивного матеріалу біметалевої пластини;

α_2 - температурний коефіцієнт розширення термореактивного матеріалу біметалевої пластини;

δ - сумарна товщина біметалевої пластини;

l_2 - довжина біметалевої пластини;

τ - перевищення температури біметалевої пластини над температурою навколишнього середовища.

Зусилля, що розвивається на вигнутому кінці біметалевої пластини, дорівнює

$$F = 3 \cdot 16 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot b \cdot \delta^2 \cdot E \cdot \tau \quad (7.2)$$

де b - ширина елемента;

$E = (E_1 + E_2) / 2$ - середній модуль пружності матеріалів біметалевої пластини.

Час спрацювання реле з моменту появи перевантаження захищуваного електродвигуна залежить від початкової температури навколишнього середовища, значення струму і конструкції реле.

Однією з основних характеристик електротеплових реле є часо-струмова характеристика, що виражає залежність часу спрацювання реле від струму, що протікає через нього. Для здійснення надійного захисту необхідно узгодити струмочасову характеристику реле з перевантажувальною характеристикою двигуна. В експлуатаційних умовах узгодження характеристик реле і електродвигуна досягається вибором реле з номінальним струмом, рівним номінальному струму двигуна. В цьому випадку зазвичай забезпечується спрацювання реле приблизно при (1,2-1,3) I_n .

Реле забезпечуються регулятором уставок струму неспрацювання.

Істотним недоліком електротеплових реле є залежність часу дії від температури навколишнього середовища. Така залежність призводить до того, що, наприклад, при температурі +80-90°C реле може спрацювати навіть за відсутності струму. Тому для отримання сприятливої захисної характеристики необхідно, щоб температура навколишнього середовища для об'єкта, що захищається, і реле збігалася або щоб біметалева пластина працювала при більш високих температурах.

Струмові електротеплові реле не забезпечують захист від струмів короткого замикання, оскільки постійна часу спрацювання реле значно більше тривалості процесу короткого замикання.

7.3 Триполюсні електротеплові реле серії РТЛ

Струмові електротеплові реле серії РТЛ (рис.7.6; 7.7) призначені для використання у схемах керування електроприводами на номінальні струми в діапазоні 0,1 - 200 А при напрузі до 660В змінного струму частотою 50 і 60Гц.

Монтуються вони як окремо, так і в комплекті з електромагнітними пускачами серії ПМЛ. Реле мають затискачі для приєднання до пускача, позначені 1Л1, 3Л2, 5Л3 і затискачі 2С1, 4С2, 6С3 для підключення асинхронного електродвигуна.

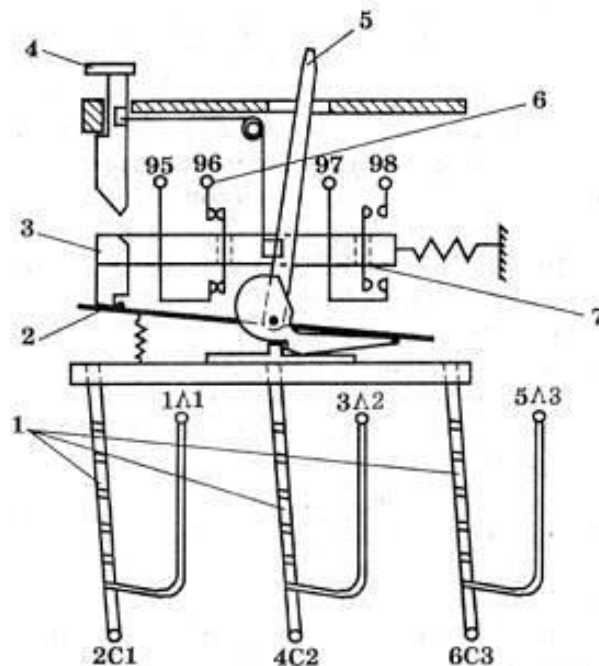


Рисунок 7.6 – Будова струмового електротеплового реле серії РТЛ: 1 - термобіметалеві елементи, встановлені в кожному полюсі (фазі); 2 - пружина-засувка; 3 - пристрій повернення контактів; 4 - кнопка ручного повернення рухомих контактів; 5 - регулятор уставок струму; 6 - нерухомі контакти; 7 - рухомі контакти.

Триполюсні електротеплові реле серії РТЛ з переднім приєднанням провідників, мають постійні нагрівні елементи, температурний компенсатор, механізм для прискореного спрацювання при обриві однієї фази, регулятор струму неспрацювання, один розмикаючий або замикаючий і розмикаючий контакти та ручне їх повернення у вихідний стан.

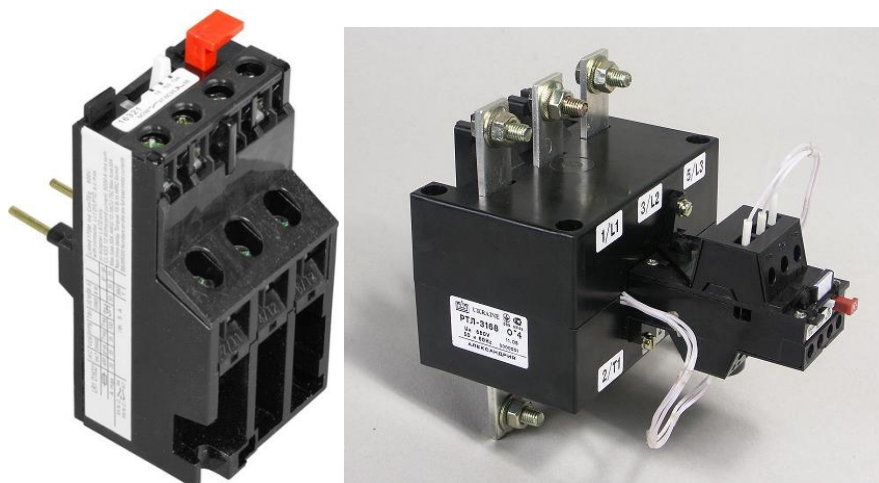


Рисунок 7.7 – Загальний вигляд струмових електротеплових реле серії РТЛ

Часо-струмові захисні характеристики струмових електротеплових реле серії РТЛ зображені на рис.7.8.

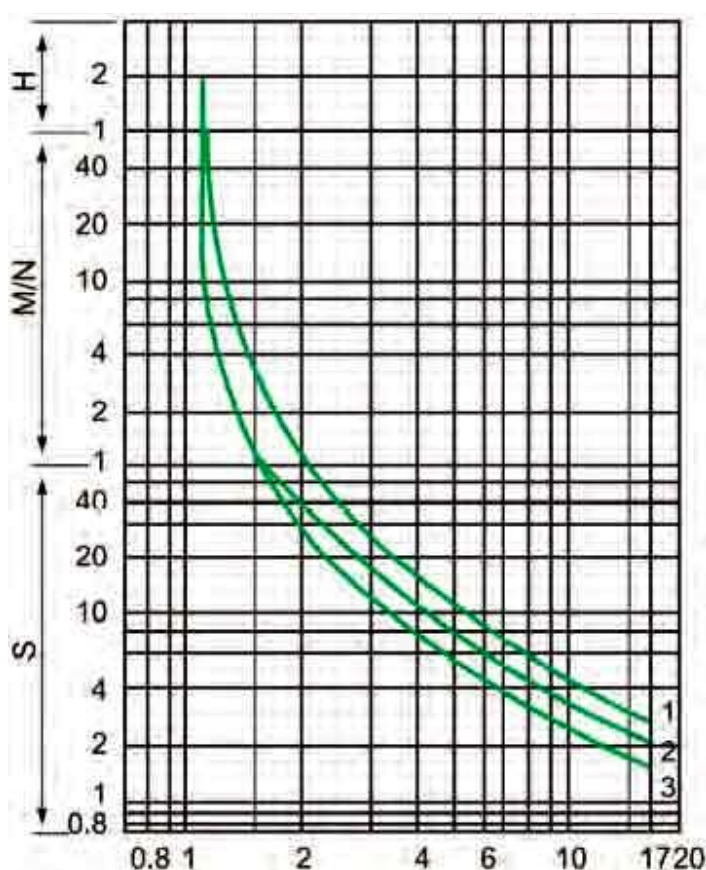


Рисунок 7.8 – Часо-струмові захисні характеристики струмових електротеплових реле серії РТЛ: 1 – трифазний симетричний режим з холодного стану; 2 - трифазний симетричний режим з гарячого стану; 3 - двофазний симетричний режим з холодного стану

Розшифровка умовного позначення реле

РТЛ – Х ХХХ 04 С

РТЛ – реле теплове ліцензійне (серія)

Х – позначення величини номінальної сили струму реле:

1 – 25А; 2 – 80А; 3 – 200А;

ХХХ – виконання за силою струму не спрацювання

(від 001 до 200

від 0,1А до 200А)

04 – кліматичне виконання та категорія розміщення

С – виконання за контактами. **С** – один розмикаючий;

Відсутність букви означає виконання реле з 1р+1з контактами

Діапазон значень номінальних струмів неспрацювання реле, А

РТЛ-1000-25А 0,1...25 А (14 виконань)

РТЛ-2000-80А 23...86 А (6 виконань)

РТЛ-3000-200А 75...200 А (4 виконання)

Робоче положення – монтаж на вертикальній площині з відхиленням до 15 градусів у той чи інший бік

Група умов експлуатації М7

Температура навколишнього середовища –40...+60°C

Реле з незмінними нагрівними елементами, мають температурну компенсацію, механізм прискореного спрацювання при обриві фази, розмикаючий чи замикаючий контакти або один розмикаючий, ручне повернення у вихідне положення.

Теплові реле з номінальним струмом 25 та 80А встановлюються безпосередньо на магнітних пусках ПМЛ або ж індивідуально у комплектних пристроях з використанням клемників КРЛ-104 (реле на 25А), КРЛ-204 (реле на 80А). Реле РТЛ-3000 встановлюються лише індивідуально

6.4 Триполюсні струмові електротеплові реле серії РТТ

Реле (рис.7.9) складаються з пластмасового корпусу, розділеного на чотири чарунки. У трьох з них розміщені нагрівні елементи і біметалеві пластини. У четвертій чарунці (справа) змонтовано контактну групу з механізмом розчеплення, регулятором струму неспрацювання і термокомпенсатором. Контактна група складається з нерухомих розмикаючого і замикаючого контактів та рухомого контакту, який

обертається навколо своєї осі. Механізм розчеплення складається зі штовхача, складеного важеля, заціпки, двох пружин. Для регулювання струму неспрацювання реле передбачено регулювальний гвинт та ексцентрик. Повернення контактів у вихідне положення здійснюється за допомогою спеціальної кнопки.

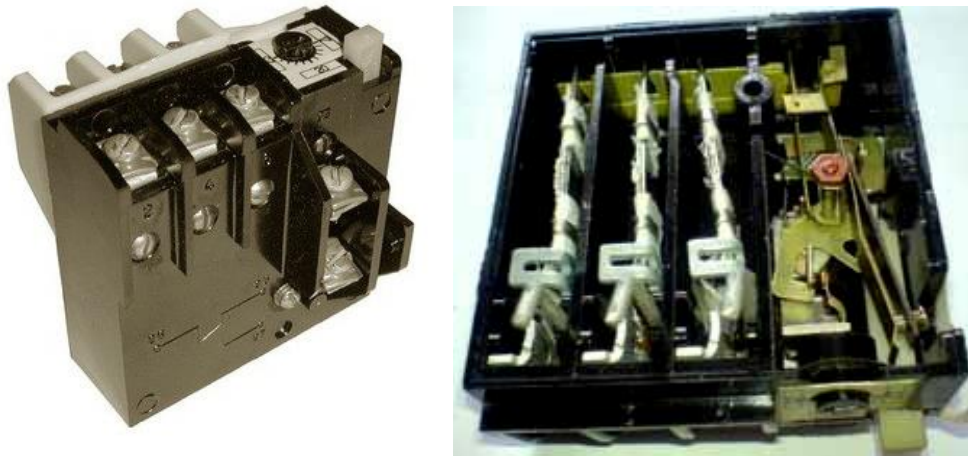


Рисунок 7.9 – Загальний вигляд струмового електротеплового реле серії РТТ

Випускаються реле у виконаннях для монтажу на металевих та ізоляційних панелях, рейках комплектного пристрою та у спеціальному виконанні для установки з магнітними пускатими серії ПМА

Розшифровка умовного позначення реле

РТТ – X X X X XX

РТТ – реле теплове струмове

X - виконання за величиною номінального струму:

1-25А; 2-80А; 3-160А

X - спосіб установки реле:

1 – виконання на всі струми не спрацювання для індивідуальної установки і для комплектації реле виконання на 80А з пускатими ПМА3000

2 – виконання на струми 80А і 160А для комплектації з пускатими ПМА4000; ПМА5000; ПМА6000

4 – виконання для втичного під'єднання реле до пускача

X – виконання реле за величиною інерційності: буква П – пониженої інерційності, не має букви – підвищеної інерційності.

XX - кліматичне виконання та категорія розміщення: УХЛ4; 04

Реле триполюсні із надійними нагрівними елементами, мають механізми прискореного спрацювання при обриві фази

$U_{ном}, В. \sim 50 Гц, 660 В \geq 440 В$

Термостійкість реле при однократному навантаженні струмом $I_{ном}$:

- реле на струми до 10А.....0,5с
- реле на струми 10..160А.....1с

Часострумові захисні характеристики струмових електротеплових реле РТТ-0, РТТ-1, РТТ-2 зображені на рис.7.10 і 7.11.

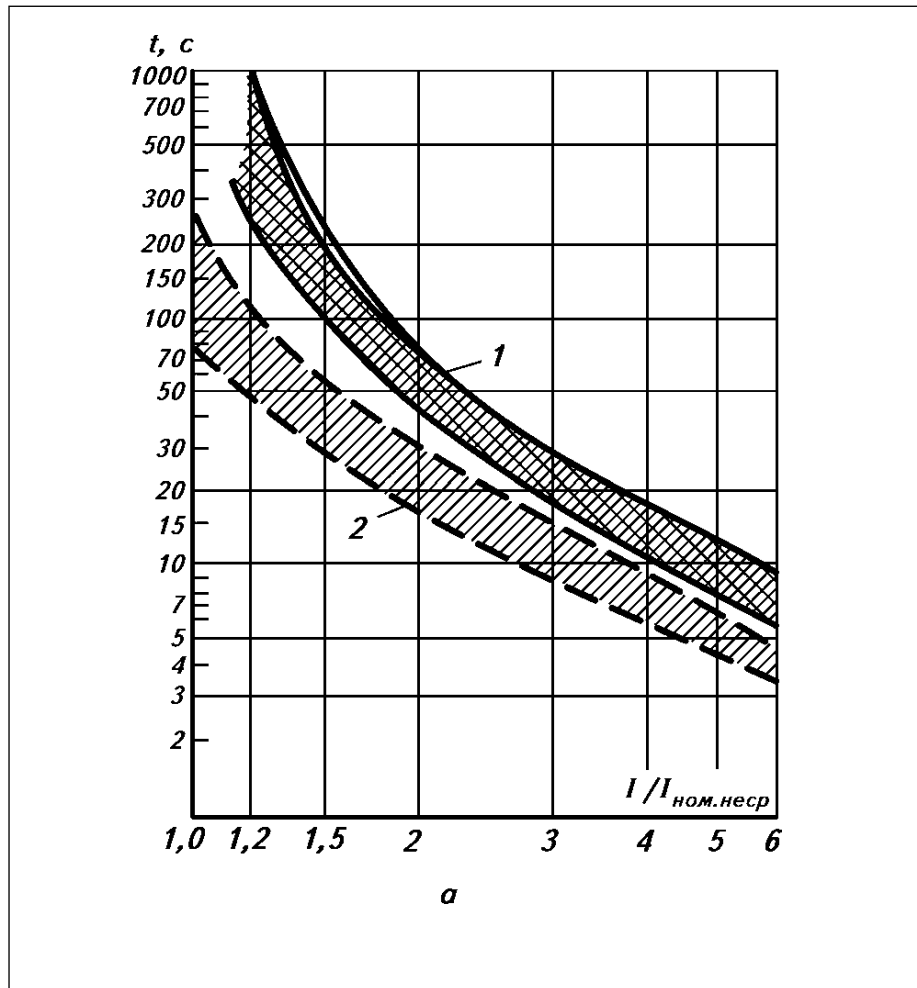


Рисунок 7.10 – Часо-струмові захисні характеристики струмових електротеплових реле серії РТТ1 і РТТ2: 1 - зона спрацювання реле при трифазному режимі роботи; 2 - зона спрацювання реле при двофазному режимі роботи (у разі обриву фази). Верхні значення зони відповідають нижньому положенню регулятора уставки, нижні значення зони відповідають верхньому положенню регулятора уставки реле.

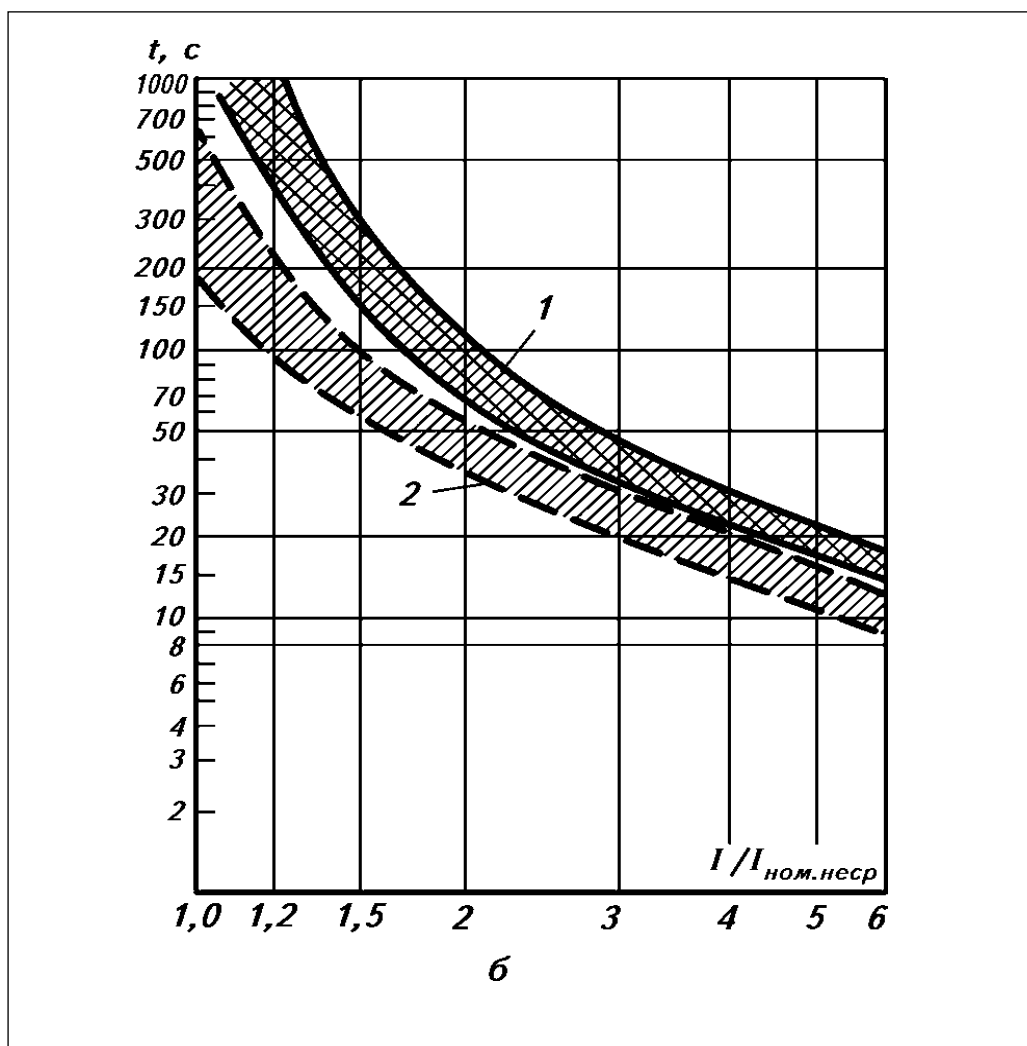


Рисунок 7.11 – Часо-струмові захисні характеристики струмових електротеплових реле серії РТТЗ: 1 - зона спрацювання реле при трифазному режимі роботи; 2 - зона спрацювання реле при двофазному режимі роботи (у разі обриву фази). Верхні значення зони відповідають нижньому положенню регулятора уставки, нижні значення зони відповідають верхньому положенню регулятора уставки реле.

7.5 Триполюсні струмові електротеплові реле серії РТИ

Струмові електротеплові реле серії РТИ (рис.7.12) призначені для захисту електродвигунів від перевантаження, викликаного асиметрією фаз, затяжним пуском, заклинюванням ротора.

Реле чутливі до випадання фази, що забезпечує швидке спрацювання і захист від перевантаження, яке виникає в такому разі.

Таблиця 7.1 – Технічні характеристики електротеплових реле серії РТИ

Найменування	Діапазон регулювання струму неспрацювання, А	Типовиконання контакторів, з якими використовується реле	Маса реле, кг
РТИ-1301	0,1-0,16	КМИ-10910, КМИ-109911, КМИ-11210, КМИ-11211, КМИ-11810, КМИ-11811, КМИ-22510, КМИ 22511	0,165
РТИ-1302	0,16-0,25		
РТИ-1303	0,25-0,4		
РТИ-1304	0,4-0,63		
РТИ-1305	0,63-1		
РТИ-1306	1-1,6		
РТИ-1307	1,6-2,5		
РТИ-13010	2,5-4		
РТИ-13012	5,5-8		
РТИ-13014	7-10		
РТИ-13016	9 – 13	КМИ-11210, КМИ-11211, КМИ-11810, КМИ-11811, КМИ-22510, КМИ 22511	0,165
РТИ-1321	12-18	КМИ-11810, КМИ-11811, КМИ-22510, КМИ 22511	
РТИ-1322	17-25	КМИ-22510, КМИ 22511	
РТИ-2355	28-36	КМИ-34012, КМИ-35012, КМИ-46512, КМИ-48012, КМИ-49512	0,32
РТИ-3353	23-32	КМИ-34012, КМИ-35012, КМИ-46512, КМИ-48012, КМИ-49512	0,51
РТИ-3355	30-40	КМИ-35012, КМИ-46512, КМИ-48012, КМИ-49512	
РТИ-3357	37-50	КМИ-46512, КМИ-48012, КМИ-49512	
РТИ-3359	48-65	КМИ-46512, КМИ-48012, КМИ-49512	
РТИ-3361	55-70	КМИ-48012, КМИ-49512	
РТИ-3363	63-80	КМИ-49512	
РТИ-3365	80-93	КМИ-49512	

Реле мають розмикаючий контакт для відключення контактора і замикаючий контакт для сигналізації спрацювання.

Реле встановлюються безпосередньо на контакторі КМИ; реле придатні для роботи в широкому діапазоні робочих температур від мінус 40° до плюс 50°С.

Принцип дії струмового електротеплового реле РТИ базується на деформації біметалевої пластини при нагріванні струмом, споживаним електродвигуном. При нагріванні такої пластини, розташованої в головному колі реле (у кожному із трьох полюсів), кожен метал (сплав) розширюється, виходячи із власного коефіцієнту теплового розширення, і пластина згинається в бік металу (сплаву) з меншим коефіцієнтом теплового розширення. Відповідно, чим більший струм буде протікати через головні кола реле, тим швидше будуть нагріватися пластини і тим швидше буде спрацьовувати реле.

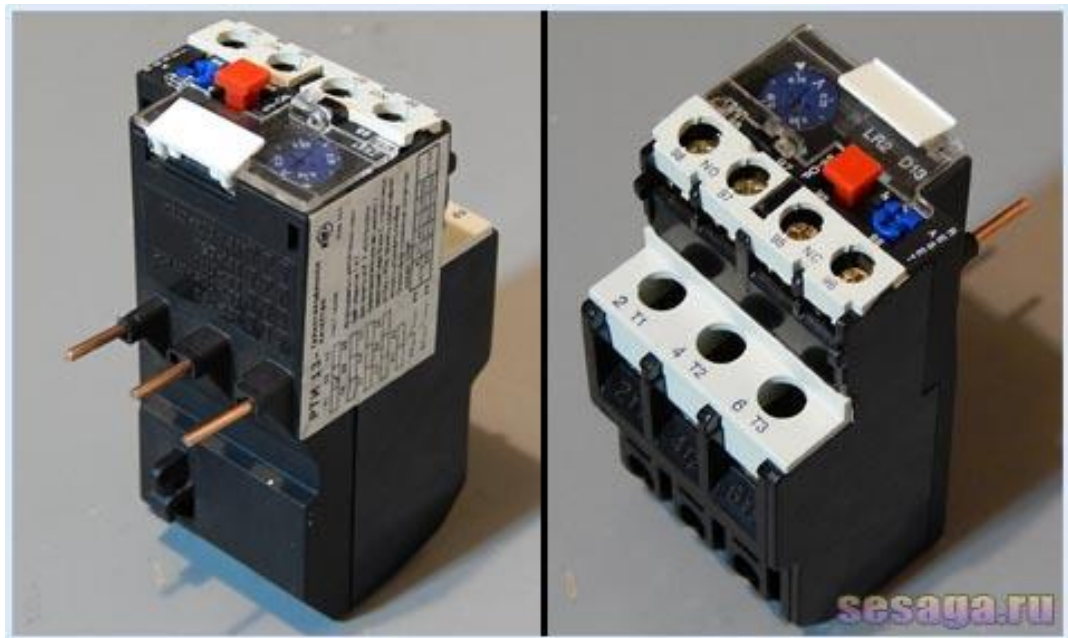


Рисунок 7.12 – Загальний вигляд струмового електротеплового реле серії РТИ

Також відомо, що теплові реле РТИ не тільки не забезпечують захист електродвигуна від короткого замикання, а й самі потребують такого захисту. Справа в тому, що при проходженні струму короткого замикання, нагрівний елемент реле згорить швидше, ніж нагріються біметалеві пластини, і реле вимкне електродвигун. Тому при монтажі теплових реле в колі захисту обов'язково повинен розташовуватися апарат захисту від короткого замикання, наприклад, автоматичний вимикач, плавкий запобіжник та ін.

На рис.7.13 наведені електрична і конструкційна схеми струмового електротеплового реле серії РТИ. Послідовність налаштування струмового

електротеплового реле РТИ наведена на рис.6.14, а на рис.6.14 – його органи регулювання та індикації.

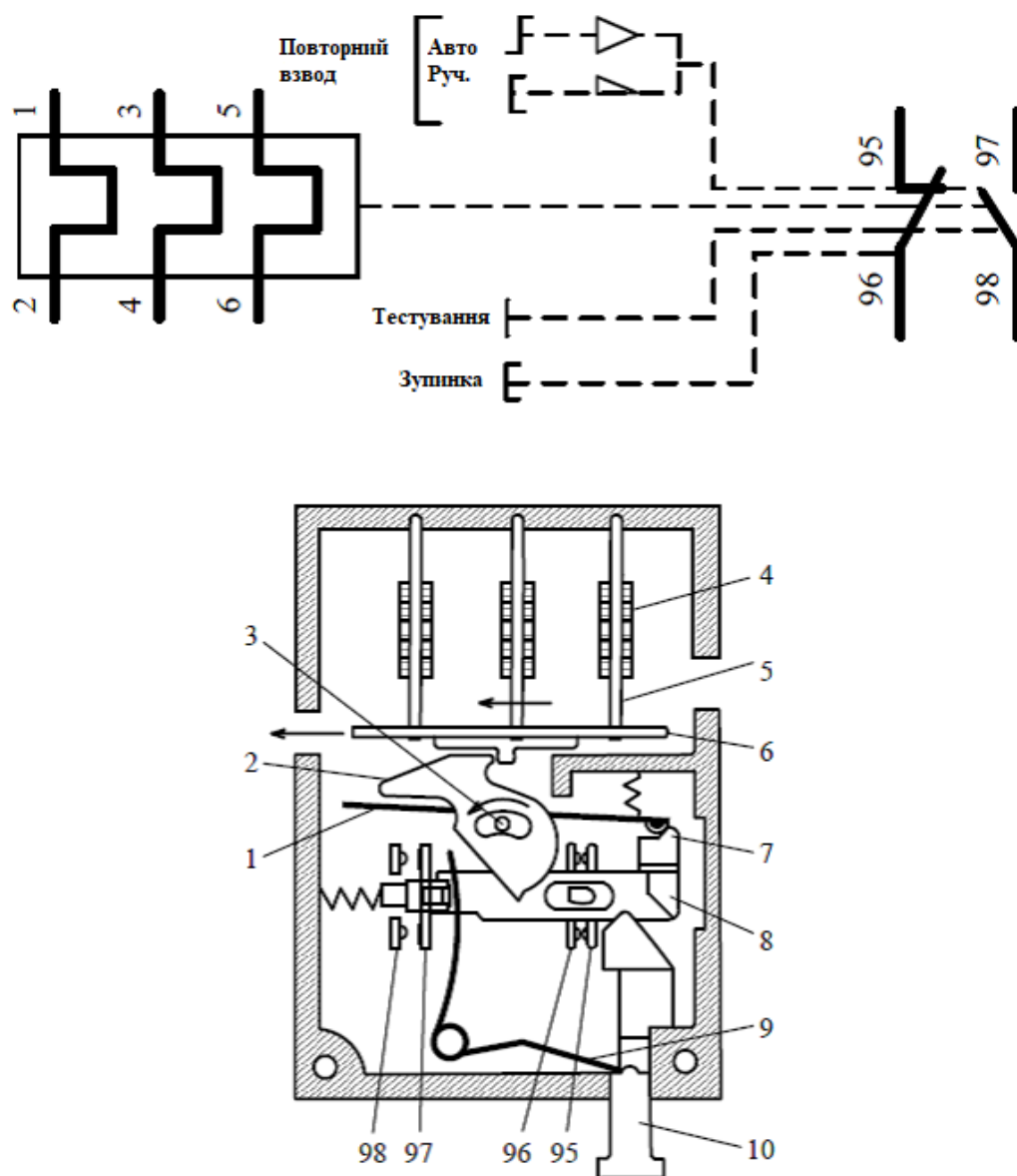


Рисунок 7.13 - Електрична і конструкційна схеми струмового електротеплового реле (РТИ): 1 – важіль; 2 – фіксуючий кулачок; 3 – вісь обертання важеля 1 і кулачка 2; 4 – додатковий нагрівний елемент; 5 – біметалевий елемент; 6 – ізоляційна рамка; 7 – заціпка; 8 – рухома система з контактами; 9 – вимикаюча пружина; 10 – кнопка взведення механізму реле в робочий стан; 95 -96 і 97 -98 - відповідно розмикаючий і замикаючий контакти реле

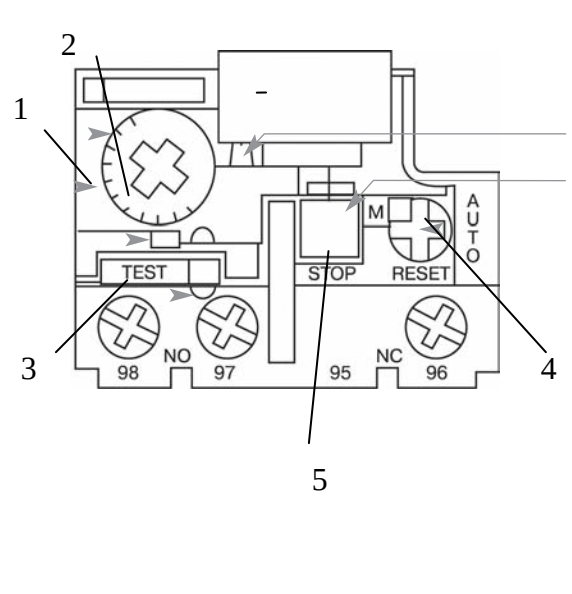
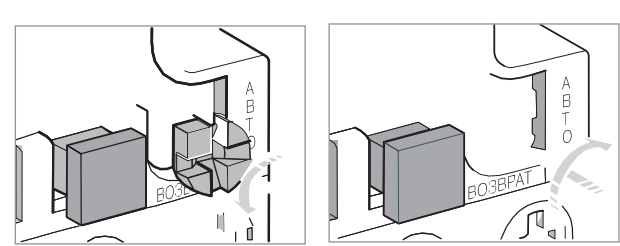
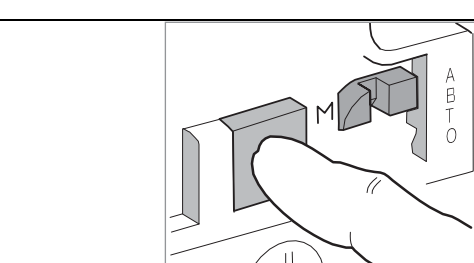
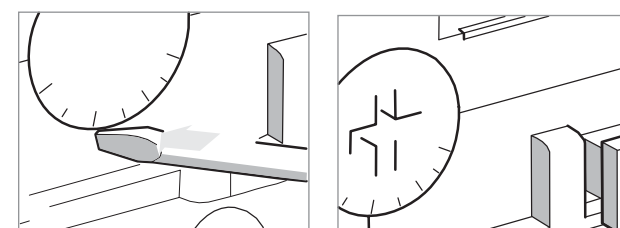
		Конструкція електротеплових реле допускає можливість регулювання уставки (струму неспрацьовування). Для цього необхідно відкрити прозору кришку (1) над диском регулювання уставки. Встановити необхідний струм неспрацьовування реле обертанням диску (2), поєднуючи значення струму (в амперах) на шкалі з відміткою на корпусі. Для запобігання несанкціонованій зміні уставки кришка(1) може бути опломбована. Після відкриття прозорої кришки можна змінити режим повторного увімкнення реле поворотом перемикача синього кольору «RESET» (4).
Ручне повторне увімкнення	Автоматичне повторне увімкнення	При повороті вліво перемикач виводиться із зачеплення і переходить в режим кнопки, при натисканні на яку здійснюється ручне повторне увімкнення. При натисканні на перемикач і повороті вправо виконується режим автоматичного повторного увімкнення. Перемикач залишається в положенні автоматичного повторного увімкнення до примусового повернення в стан ручного повторного увімкнення
		
		При закритті кришки перемикач блокується. Функція «Зупинка» вводиться в дію натисканням кнопки червоного кольору «STOP» (5). При натисканні цієї кнопки розмикаються контакти 95 - 96.
Тестування	Індикатор спрацювання	Функція «Тестування» вводиться в дію натисканням викруткою на кнопку червоного кольору «TEST» (3). Натискання цієї кнопки імітує спрацьовування реле при перевантаженні - змінює стан розмикаючих і замикаючих контактів і вмикає індикатор спрацювання
		

Рисунок 7.15 – Налаштовування струмового електротеплового реле серії РТИ

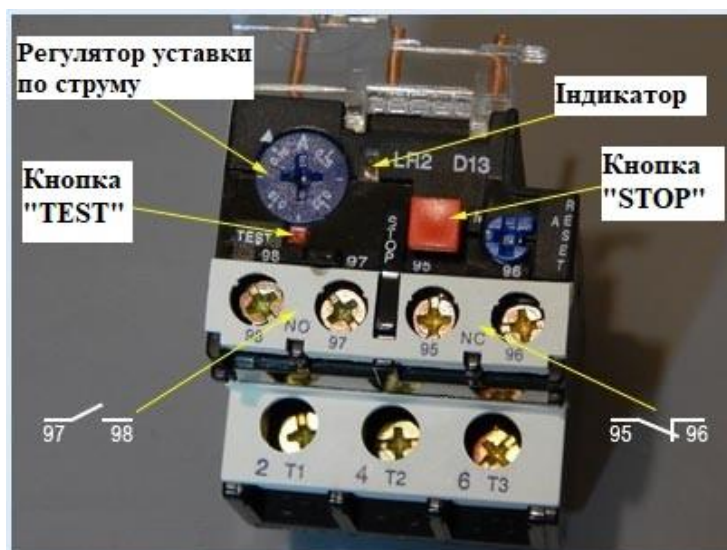


Рисунок 7.14 – Органи регулювання та індикації струмового електротеплового реле серії РТИ

На рис.7.16 зображені часострумові захисні характеристики

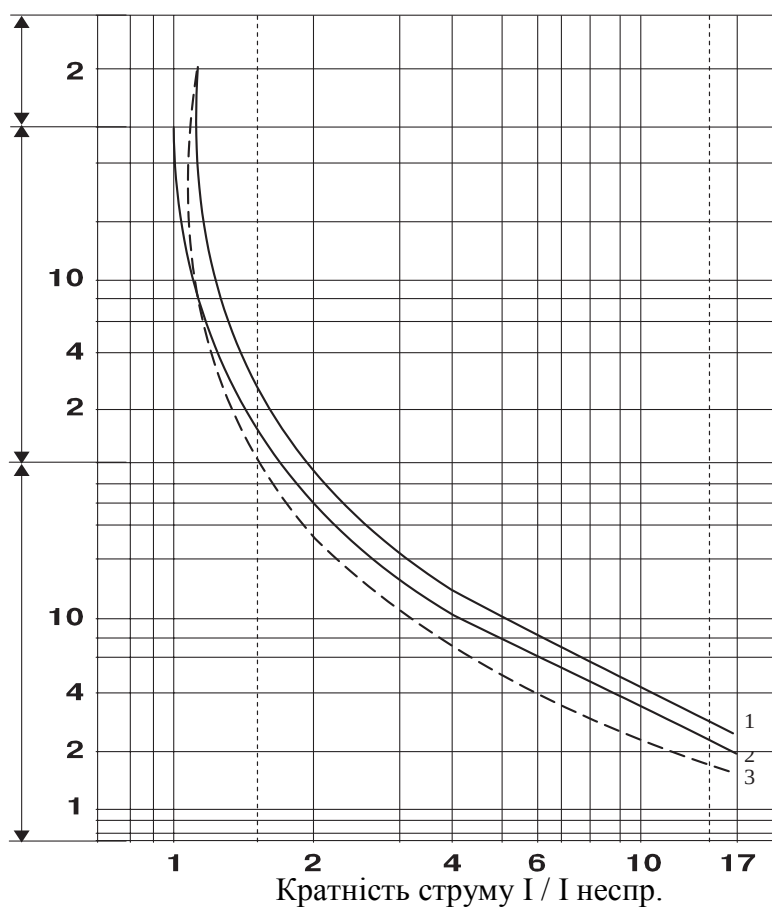


Рисунок 7.16 – Часо-струмові захисні характеристики струмових електротеплових реле серії РТИ: 1 – симетричний трифазний режим із

холодного стану; 2 - симетричний двофазний режим із холодного стану; 3 - симетричний трифазний режим після тривалого протікання номінального струму (із гарячого стану)

Питання для самоконтролю і завдання

1. Які функції виконує струмове електротеплове реле в схемах керування електроприводами?
2. Як влаштований нагрівний елемент струмового електротеплового реле?
3. За рахунок чого відбувається нагрівання біметалевого елемента електротеплового реле?
4. Чому струмові електротеплові реле непридатні для захисту електричних кіл від струмів короткого замикання?
5. Який вигляд має захисна часо-струмова характеристика струмового електротеплового реле?
6. Від чого залежить вибір струмового електротеплового реле для захисту асинхронного електродвигуна?
7. Чи захищають асинхронний електродвигун сучасні струмові електротеплові реле від перекосу фаз або обриву фази?
8. Які види контактів має струмове електротеплове реле серії РТЛ?
9. Які режими живлення електротеплового реле відображені на його часо-струмовій характеристиці ?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

8. АПАРАТИ КІЛ КЕРУВАННЯ. ВИМИКАЧІ ТА З'ЄДНУВАЧІ ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

8.1 Апарати кіл керування

8.1.1 Кнопкові перемикачі. Кнопкові пости

8.1.2 Поворотні перемикачі

8.1.3 Кінцеві та позиційні вимикачі(перемикачі)

8.1.4 Програмовані перемикачі

8.2 Вимикачі для застосування в електропроводках

8.3 Вимикачі (перемикачі) для побутових електроприладів

8.4 Тумблери

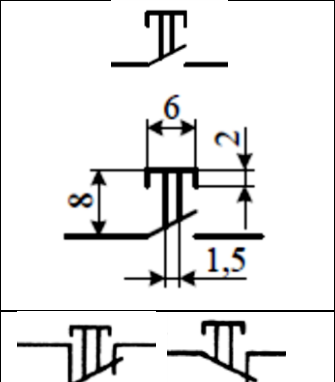
Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Апарат кіл керування	Електричний пристрій, призначений для керування, сигналізації, блокування тощо в апаратах керування та захисту	<i>Control circuit device</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	SB	Натискувальний кнопковий вимикач із замикаючим контактом з самоповерненням
		Натискувальний кнопковий вимикач із розмикаючим контактом з самоповерненням

		Контакт кнопковий натискувальний з поверненням при повторному натисканні кнопки
		Контакт кнопковий натискувальний з поверненням за допомогою спеціальної кнопки
	S	Вимикач
	SA	Двопозиційний перемикач
		Перемикач із фіксацією в середньому і крайньому положеннях
		Перемикач із фіксацією тільки в середньому положенні
		Багатопозиційний перемикач
	SF	Вимикач автоматичний
	SP SR	Вимикачі, що спрацьовують від різних впливів: тиску частоти обертання температури

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.
2. ДСТУ EN 61058-1:2015. Вимикачі для електричних побутових приладів. Частина 1. Загальні вимоги (EN 61058-1:2002, EN 61058-1:2002/A2:2008, IDT)
3. ДСТУ ІЕС 61020-1:2015 (ІЕС 61020-1:2009, IDT). Перемикачі електромеханічні для електричного та електронного обладнання. Частина 1. Загальні технічні умови.

8.1 Апарати кіл керування

Апарати кіл керування – електричні пристрої, призначені для керування, сигналізації, блокування тощо в комутаційній апаратурі та апаратурі керування. Апарати кіл керування можуть містити вбудовані пристрої, які власне не відносяться до цієї групи апаратів, наприклад, вимірювальні прилади, потенціометри, реле, але застосовуються у цілях, зазначених вище. Основними різновидами апаратів кіл керування є апарати з ручним керуванням, керовані перемикачі та програмовані перемикачі. До апаратів з ручним керуванням або вимикачів (перемикачів) керування відносять кнопкові перемикачі, джойстики, педальні перемикачі, поворотні перемикачі. Перемикач керування містить один чи декілька комутаційних елементів та спільну привідну систему.

На рис.8.1 зображені кнопковий перемикач і електричні схеми кнопкових перемикачів з контактними та напівпровідниковим комутаційними елементами.

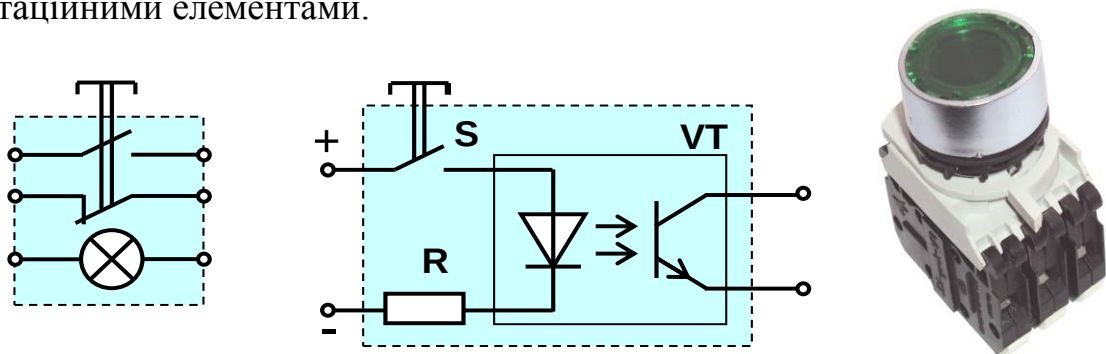


Рисунок 8. 1- Кнопковий перемикач і електричні схеми кнопкових перемикачів з контактними та напівпровідниковим комутаційними елементами

8.1.1 Кнопкові вимикачі. Кнопкові пости

Кнопковий вимикач – це перемикач керування, актуатор¹³ якого призначений для оперування зусиллям частини тіла людини – зазвичай пальцем або долонею руки (рис.8.2), з повертанням у вихідне положення за рахунок нагромадженої (у пружині) енергії.

¹³ Актуатор - (англ. actuator) - виконавчий пристрій або його активний елемент, що перетворює один вид енергії (електричну, магнітну, теплову, хімічну) в інший (найчастіше - в механічну), що призводить до виконання певної дії, заданого керуючим сигналом.

Слово «актуатор» походить від англійського терміна «actuator» - пристрій або елемент будь-якого пристрою, який може «діяти». Як правило, коли говорять про актуатори, мова йде про механічну дію - наприклад, про лінійне переміщення або обертання.



Рисунок 8.2 – Оперування кнопковими вимикачами

У стандарті ІЕС 60947-5-1 наводяться визначення великої кількості різновидів кнопкових перемикачів: кнопковий перемикач з натисненням; кнопковий перемикач з витягуванням; кнопковий перемикач з оперуванням натисненням-витягуванням; поворотний кнопковий перемикач або селекторний перемикач; кнопковий перемикач із зачіпкою; кнопковий перемикач з блокуванням; кнопковий перемикач з оперуванням за допомогою ключа; кнопковий перемикач із затримкою повернення; кнопковий перемикач з підсвічуванням; кнопковий перемикач, захищений; кнопковий перемикач, захищений огорожею; кнопковий перемикач з вільним обертанням кнопки; кнопковий перемикач без обертання кнопки.

Деякі з вказаних різновидів кнопкових перемикачів зображені на рис.8.3.

 Кнопка «грибок» з фіксацією	 Кнопка керування без підсвічування
 Кнопка керування «I-O»	 Кнопка керування «I-O» здвоєна з підсвічуванням
 Кнопка керування поворотна з рукояткою на три положення	 Кнопка керування "Грибок" з ключем
 Пост однокноповий «Стоп»	 Пост двокноповий «Вгору-Вниз»
 Пост 3-х кнопковий «Старт-Старт-Стоп»	 Пост трикноповий «Вліво-Стоп-Вправо»

Рисунок 8.3 – Кнопки керування та кнопкові пости

8.1.2 Поворотні перемикачі

Поворотний перемикач – апарат кіл керування з актуатором, що приводиться у дію шляхом обертання його валу (рис.8.4). Поворотні

перемикачі (їх називають також кулачковими і пакетними перемикачами), які можуть мати багато сталих положень, та багато комутаційних елементів, застосовуються у системах неавтоматичного керування технологічними процесами, а також для керування електродвигунами невеликої потужності.

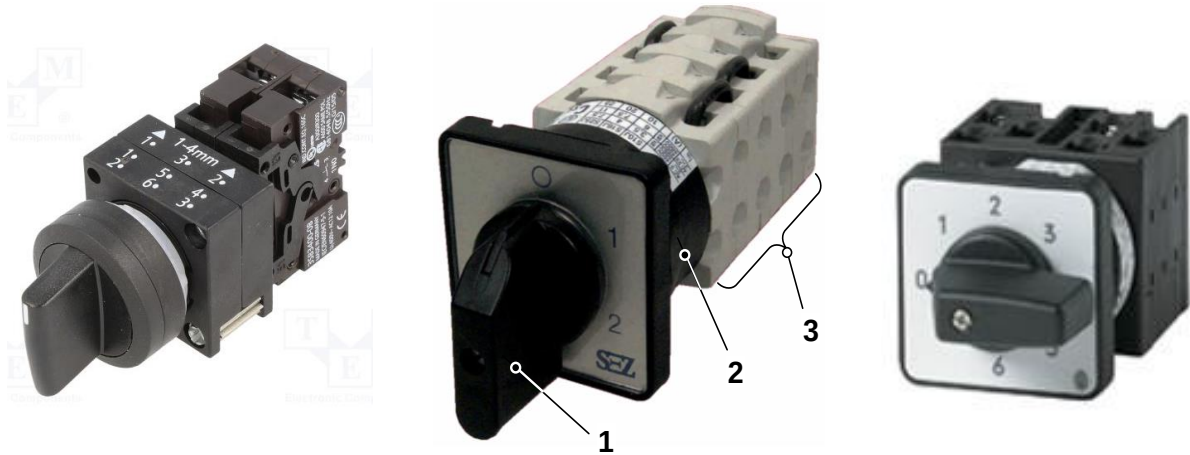


Рисунок 8.4 - Поворотний перемикач: 1 – актуатор; 2 – механізм фіксації; 3 – пакет контактних блоків

8.1.3 Позиційні (шляхові) вимикачі

Позиційні (шляхові) вимикачі призначені для отримання сигналів керування у певних точках шляху рухомого органу виробничого механізму(приміром верстата, конвеєра та ін..).

Шляховий вимикач складається з комутуючого пристрою, який власне виробляє керуючий імпульс при механічному впливі, і привідного елемента, який передає рух від певної частини виробничого механізму(механічний вплив) на комутуючий елемент. В окремих випадках приводного елемента може не бути, тобто конструкція шляхового вимикача спрощується.

Залежно від виду комутуючого пристрою відомі контактні і безконтактні шляхові вимикачі.

У контактних шляхових вимикачах комутація електричних кіл здійснюється контактним способом. За принципом дії контактні шляхові вимикачі розділяються на 3 групи:

1) вимикачі прямої дії, у яких час спрацьовування і контактне натискання залежать від положення вимикача. Такі вимикачі використовують лише при швидкості рухомих вузлів виробничого механізму понад 0,6 м/хв.;

2) вимикачі напівмиттєвої дії положення управляючого упору, що діє на вимикач, визначає тільки величину контактного натискання, а швидкість спрацьовування вимикача лишається незмінною. Це дозволяє

використовувати їх при швидкостях переміщення робочого органу понад 0,3 м/хв.;

З) вимикачі миттєвої дії (найбільш досконалі). І контактне натискання, і швидкість спрацьовування не залежать від положення управляючого упору. Ці вимикачі забезпечують якісну комутацію електричних кіл при дуже малих швидкостях переміщення робочого органу – до 0,01 м/хв.

Позиційні вимикачі (перемикачі) можуть мати різноманітні типи привідних елементів (рис.8.4), найбільш розповсюдженими з яких є: простий плунжер, плунжер з роликом, важіль з роликом, регульований важіль з роликом; регульований стрижньовий важіль; стрижень з пружиною; гнучкий стрижень з ізолюваним кінцем; витяжної дії.

Кінцеві вимикачі – це особлива категорія позиційних перемикачів: вони забезпечують так звану гарантовану або жорстку операцію розмикання. Під гарантованою операцією розмикання розуміють операцію розмикання, яка, у відповідності до певних визначених вимог, гарантує, що усі контакти, які мають розімкнутися, будуть у розімкненому положенні, коли привідний елемент (актуатор) апарату знаходиться у положенні, що відповідає розімкненому положенню апарату. Контактні блоки кінцевих вимикачів зазвичай мають як розмикальні, так і замикальні контакти, але, оскільки їх основною дією є розмикання кіл, їх називають саме кінцевими вимикачами, а не перемикачами.

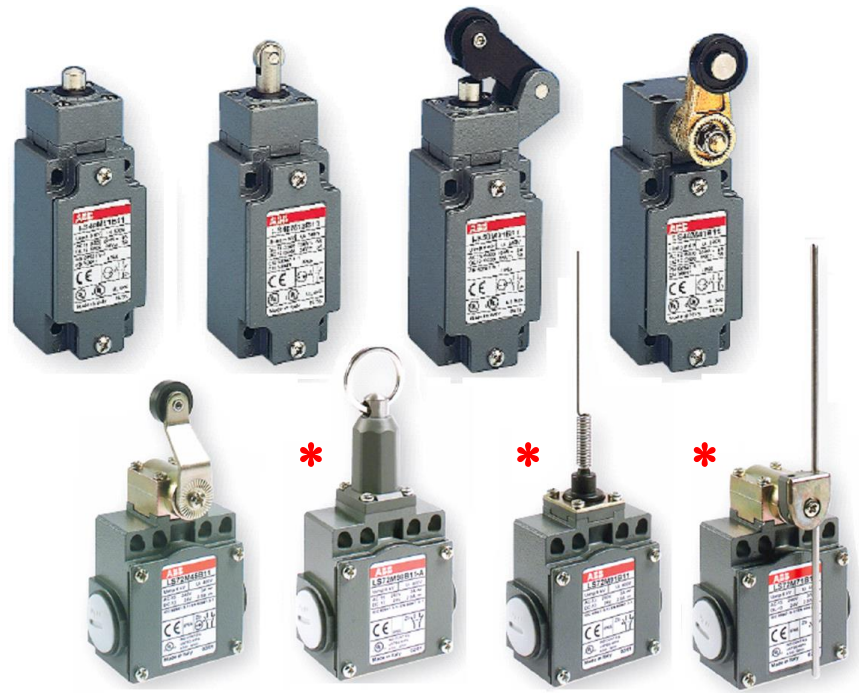


Рисунок 8.5 - Позиційні вимикачі (перемикачі) з різними привідними елементами

8.1.4 Програмовані перемикачі

Програмований перемикач – це перемикач керування з великою кількістю комутаційних елементів, які, після пуску, спрацьовують у визначеній послідовності. Електромеханічні програмовані перемикачі, які вироблялися в 70-ті роки минулого століття (рис.8.6, а) суттєво відрізняються від сучасних апаратів аналогічного призначення (рис.8.6, б), а сучасні мікропроцесорні програмовані перемикачі (рис.8.6, в) на виході зазвичай мають контактні комутаційні елементи.

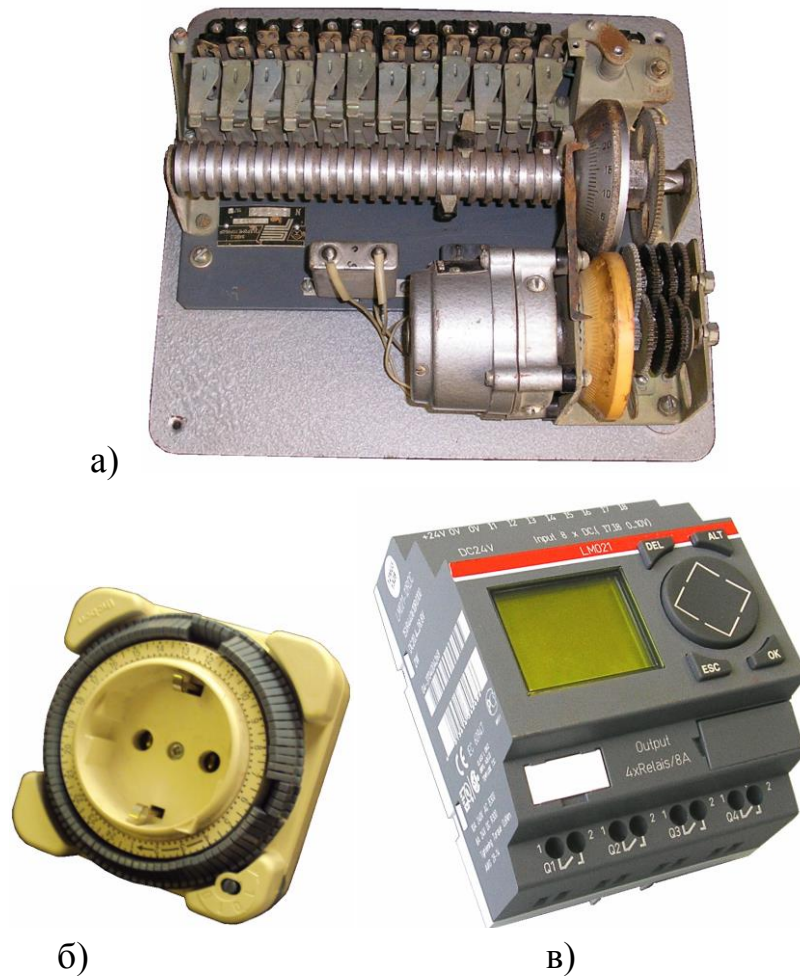


Рисунок 8.6 – Програмовані перемикачі: а – електромеханічний командо апарат; б – сучасний електромеханічний перемикач; в – мікропроцесорний перемикач з контактними елементами на виході

8.2 Вимикачі для застосування в електропроводках

Вимикачі та з'єднувачі побутового застосування можна поділити на дві категорії:

- 1) вимикачі та з'єднувачі, призначені для застосування в стаціонарних електропроводках побутового та аналогічного призначення;
- 2) вимикачі та з'єднувачі, призначені для застосування в електричних виробках різного призначення, у тому числі в побутових приладах та в електронних приладах – вимикачі для електроніки.

Величезне розмаїття вимикачів даного призначення можна умовно поділити на дві групи: 1) вимикачі для відкритих електропроводок (рис.8.7, а, б, в) та 2) вимикачі для закритих електропроводок (рис.8.7, г). Перші з них монтуються безпосередньо на стінах приміщень, а другі – у спеціальних монтувальних коробках, занурених у товщу стін. Вимикачі обох груп зазвичай мають привідні механізми незалежної дії (оперують швидко, незалежно від швидкості руху актуатора).

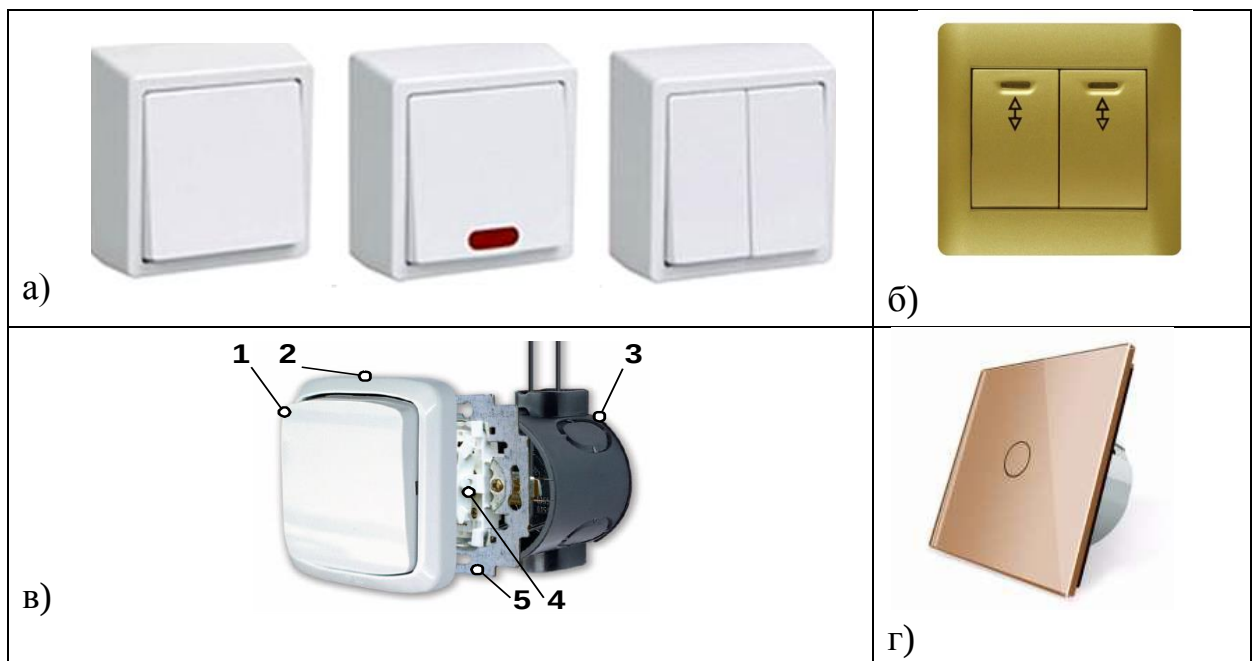


Рисунок 8.7 - Вимикачі для відкритих електропроводок: а) однополюсні вимикачі; б) прохідний вимикач; в) вимикач для закритої (прихованої) електропроводки: 1 – клавiша; 2 – обрамлення; 3 – коробка; 4 – механiзм; 5 – рамка; г) сенсорний вимикач

8.3 Вимикачі (перемикачі) для побутових електроприладів

Вимикачі (перемикачі) цієї групи розрізняються за типом актуатора: клавiшні, кнопкові тощо (рис.8.8).

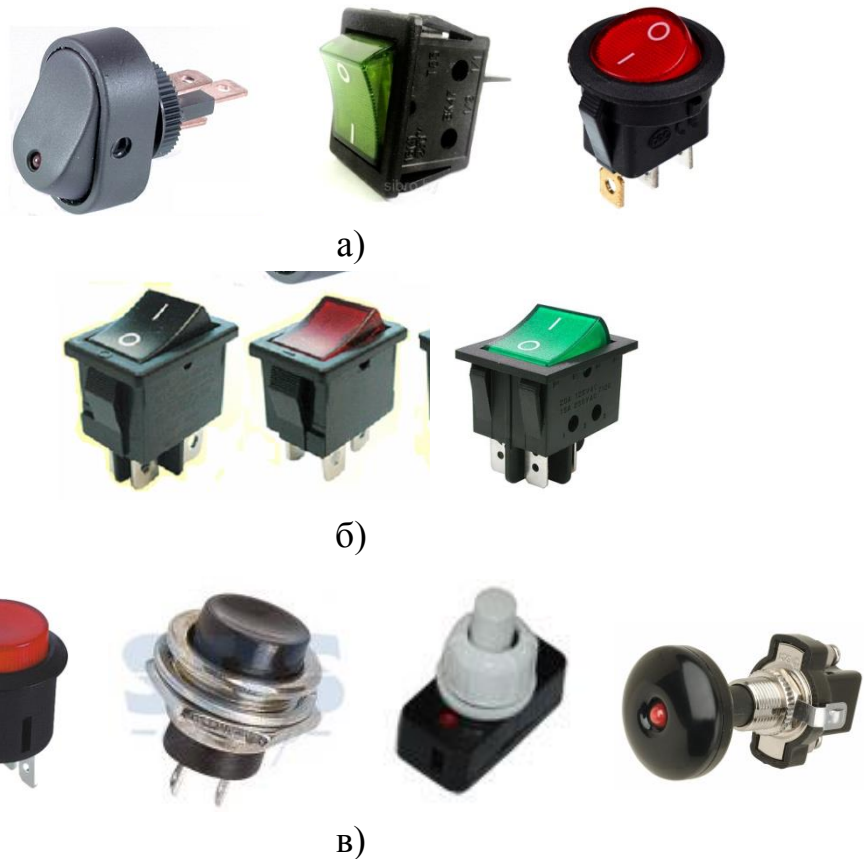


Рисунок 8.8 – Вимикачі (перемикачі) для побутових електроприладів: а) однополюсні клавішні вимикачі; б) двополюсні клавішні вимикачі; в) кнопкові вимикачі з самоповерненням і з фіксацією положення кнопки

8.4 Тумблери

Ці комутаційні пристрої можуть мати різні кліматичні виконання, а у разі необхідності укомплектовуватися захисним гумовим протектором.

Стандартні моделі тумблерів (рис.8.7) відрізняються в основному функціональними характеристиками і працюють при номінальній напрузі не більше 500 В і силі струму в діапазоні 1-16 А.

Для керування тельферами в умовах підвищених (екстремальних) навантажень в середовищі з жорсткими техногенними вимогами використовуються перекидні перемикачі, виконані з пластмаси з високою механічною міцністю, оснащені силіконовими ущільнювачами.

Серед основних переваг, властивих тумблерам виділяють такі:

- надійність;
- простота конструкційного виконання;
- довговічність і зручність в експлуатації;
- зручність виконання об'ємного монтажу.

	Тумблер ON-OFF MA111		Тумблер трипозиційний (ON)-OFF-(ON)
	Тумблер однополюсний П1Т-1-1В		Тумблер MT3
	Тумблер ТП 1-2		Тумблер Т1

Рисунок 8.9 - Тумблери

Питання для самоконтролю і завдання

1. Яке призначення кнопок керування?
2. Чим відрізняється кнопковий пост від кнопки керування?
3. Яке призначення поворотних перемикачів?
4. Яке призначення кінцевих вимикачів?
5. Назвіть особливості конструкції позиційних перемикачів.
6. Які завдання дозволяють вирішувати програмовані перемикачі?
7. Назвіть різновидності вимикачів, застосовуваних в освітлювальній електропроводці.
8. Які конструкційні виконання мають вимикачі(перемикачі) для побутових електроприладів?
9. Що являють собою тумблери і де їх переважно застосовують?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

9. ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

- 9.1 Загальні відомості
- 9.2 Роз'єднувачі
- 9.3 Короткозамикачі
- 9.4 Відокремлювачі
- 9.5 Реклоузери
- 9.6 Вимикачі високої напруги
- 9.6.1 Масляні вимикачі
- 9.6.2 Маломасляні вимикачі
- 9.6.3 Вакуумні вимикачі
- 9.6.4 Елегазові вимикачі
- 9.6.5 Вимикачі навантаження
- 9.7 Запобіжники високої напруги

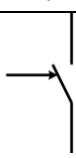
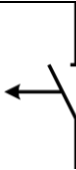
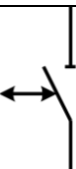
Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Вимикач	Комутаційний апарат, призначений для багаторазового вмикання і вимикання одного чи кількох електричних кіл	<i>on-off switch</i>
Вакуумний вимикач	Вимикач високої напруги, контакти якого замикаються та розмикаються в оболонці з високим вакуумом	<i>vacuum switch;</i>
Елегазовий вимикач	Вимикач високої напруги, контакти якого замикаються та розмикаються в елегазі (фториді сірки)	<i>sulphur hexafluoride switch</i>
Роз'єднувач	Вимикач, який має у вимкненому положенні ізоляційний проміжок, що задовольняє певним вимогам Примітка. Роз'єднувач призначений для вмикання та вимикання кола за наявності малих струмів (струми вимірювальних кіл, струми спливу, ємнісні струми вивідних шин, кабелів обмеженої довжини, струми неробочого ходу трансформаторів). Він також здатний проводити струми за нормальних умов у колі і протягом певного терміну за ненормальних умов (наприклад, короткого замикання).	<i>isolating switch, disconnecter (isolator)</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	Q	Вимикачі і роз'єднувачі в силових колах
	QS	Роз'єднувач
	QK	Короткозамикач
	QR	Відокремлювач односторонньої дії
		Відокремлювач двосторонньої дії

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с. Чинний від 01.01.1996
2. ДСТУ 2848-94. Апарати електричні комутаційні. Основні поняття. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1996
3. ДСТУ 2304-93. Апарати комутаційні електричні. Вимикачі, перемикачі. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1995

9.1 Загальні відомості

Високовольтні комутаційні апарати використовуються в розподільчих пристроях для передачі електричної енергії від джерела до споживача для захисту апаратів при аварійних режимах роботи і контролю за станом систем високої напруги.

За функціональним призначенням апарати високої напруги розділяються на: комутаційні, вимірювальні, обмежуючі, компенсуючі апарати і комплектні розподільчі пристрої.

Всі високовольтні апарати можна розділити на дві групи:

До першої групи відносять роз'єднувачі, призначені для увімкнення і вимкнення ділянок електричних кіл під напругою за відсутності струму навантаження. Їх використовують у всіх високовольтних установках для забезпечення видимого розриву при вимкненні якої-небудь ділянки кола, а також для перемикачів і набору потрібної схеми. Всі операції з роз'єднувачами, як правило, виконують при знеструмлених колах.

До другої групи відносять вимикачі, призначені для оперативних замикань і розмикань кіл високої напруги при номінальних режимах роботи і автоматичного розмикання цих кіл при аварійних режимах (перевантаженнях, коротких замиканнях). Автоматичне і досить швидке вимкнення електричного кола при короткому замиканні - основна і найбільш відповідальна функція вимикача.

Залежно від способу гасіння дуги вимикачі поділяють на:

- масляні і маломасляні (гасіння дуги відбувається в маслі);
- повітряні (гасіння здійснюється потоком стисненого повітря, одержуваного від спеціального джерела);
- повітряні автопневматичні (гасіння відбувається стисненим повітрям, створюваним за рахунок енергії вимикаючої пружини);
- автогазові (гасіння здійснюється газами, які виділяються зі стінок камер під дією високої температури електричної дуги);
- зі стисненим елєгазом (гасіння відбувається в середовищі елєгазу (шестифтористої сірки));
- електромагнітні (гасіння здійснюється магнітним дуттям в різних камерах);
- вакуумні (гасіння відбувається у вакуумі).

9.2 Роз'єднувачі

Роз'єднувачі - апарати, які призначені для увімкнення і вимкнення ділянок електричних кіл під напругою за відсутності струму навантаження. Вони застосовуються в електроустановках високої напруги (понад 1000В) для забезпечення видимого розриву при вимкненні якої-небудь ділянки кола, а також для здійснення перемикачів і набору потрібної схеми. Всі операції з роз'єднувачами, як правило, виконуються при знеструмлених колах.

Випускаються роз'єднувачі, як для внутрішнього, так і для зовнішнього встановлення на всю шкалу струмів і напруг.

До роз'єднувачів висуваються такі вимоги:

- контактна система повинна надійно пропускати номінальний струм який завгодно тривалий час. В особливо важких умовах працюють роз'єднувачі зовнішніх електроустановок, що піддаються впливу води, пилу, льоду. Контактна система повинна мати необхідну динамічну і термічну стійкість;
- роз'єднувач і механізм його приводу повинні надійно утримуватися в увімкненому положенні при протіканні струму короткого замикання (КЗ). У вимкненому положенні рухомий контакт повинен бути надійно зафіксований, оскільки мимовільне увімкнення може призвести до дуже важких аварій і людських жертв;
- у зв'язку з особливою роллю роз'єднувача як апарату безпеки проміжок між контактами повинен мати підвищену електричну міцність;
- привід роз'єднувача доцільно блокувати з вимикачем. Операції з роз'єднувачем повинні бути можливі, тільки коли вимикач вимкнений.

Роз'єднувачі виготовляють для внутрішнього і зовнішнього встановлення. Роз'єднувачі можуть виконуватися як триполюсними на загальній рамі, зазвичай напругою до 35 кВ, так і однополюсними при більш високих напругах. Останнє обумовлено тим, що при напрузі понад 35 кВ необхідні відстані між фазами досить великі і загальна рама стає надзвичайно громіздкою і важкою.

Поліус роз'єднувача незалежно від різноманітності конструкцій складається з нерухомого та рухомого (ножа) контактів, укріплених на відповідних ізоляторах опорної плити або рами і приводу.

Основним елементом роз'єднувача є його контакти, які повинні надійно працювати при номінальному режимі, а також при перевантаженнях і наскрізних струмах короткого замикання. Нагрівання, динамічна і термічна стійкість, а також електрична і механічна міцність ізоляції є основними питаннями розрахунку і конструювання роз'єднувачів. У роз'єднувачах

застосовують високі контактні натискання. При великих струмах контакти виконують з декількох (до восьми) паралельних пластин. Застосовують пластини прямокутного, швелерного і круглого перерізів.

Роз'єднувачі забезпечуються ручним, електродвигунним або пневматичним приводом. Роз'єднувачі на малі струми при напрузі до 35 кВ можуть керуватися вручну ізоляційною штангою.

Найбільшого поширення при струмах до 3000 А включно отримав ручний важільний привід, а при номінальному струмі понад 3000 А - річний черв'ячний привід. Електродвигунні і пневматичні приводи використовуються для керування важкими роз'єднувачами, коли ручне керування ускладнене або неможливе, а також при дистанційному і автоматизованому керуванні.

На рис.9.1 показаний трифазний роз'єднувач серії РВ на напругу 10 кВ і струм 400 А для внутрішнього встановлення.

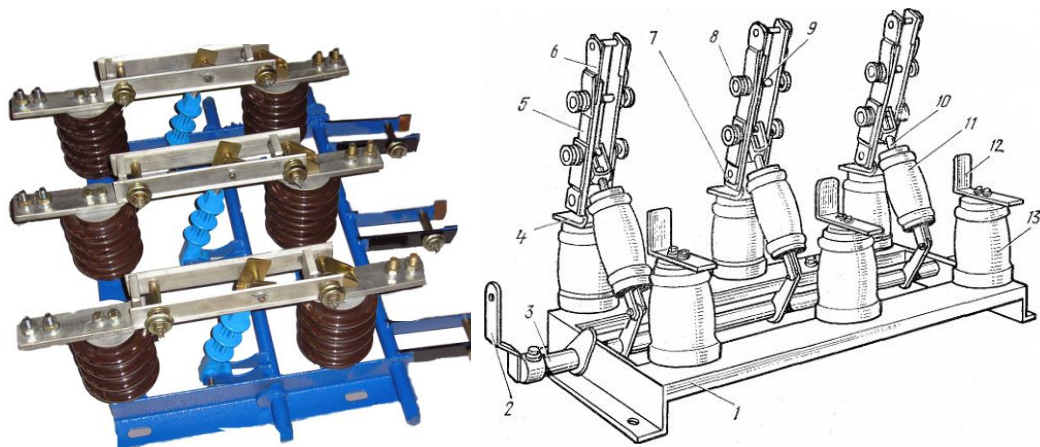


Рисунок 9.1 - Триполюсний роз'єднувач серії РВ (РВЗ) для внутрішнього встановлення

Він змонтований на зварній рамі 1. Нерухомі контакт-деталі 4 і 12 врубного типу встановлені на ізоляторах 13. Переміщення рухомих контакт-деталей 5 здійснюється поворотом вала 3, з'єднаного через ізолятори 11 з вилкою 10. Рухома контакт-деталь виконана з двох мідних пластин, відстань між якими у вимкненому стані визначається дистанційною втулкою 9. Контактне натискання створюється пружинами 8, що передають зусилля на пластини рухомої контакт-деталі через сталеві накладки 6. Поворот рухомої контакт-деталі відбувається навколо осі 7, встановленої в кронштейні. Управління роз'єднувачем здійснюється ручним важільним приводом, який пов'язаний з важелем 2.

На рис.9.2 показаний роз'єднувач з комбінованим рухом ножа для зовнішнього встановлення, який виконують на напругу до 500 кВ і струми до 2 кА. Кожен полюс роз'єднувача складається з трьох ізоляторів, змонтованих на рамі. Крайні ізолятори 2 встановлені на рамі нерухомо, а середній 10 на підшипнику може повертатися навколо своєї осі. Рухома контакт-деталь 4 виконана у вигляді мідної труби, один кінець якої розплющений у вигляді лопатки, а інший зв'язаний з механізмом 3, які здійснюють переміщення контакт-деталі при увімкненні і вимкненні роз'єднувача. Механізм шарнірно зв'язаний з важелем, встановленим на поворотному ізоляторі 10.

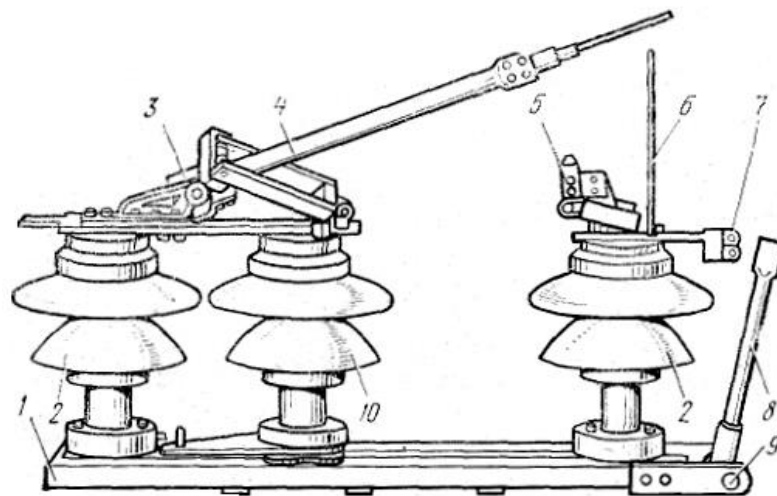


Рисунок 9.2 - Роз'єднувач з комбінованим рухом контакт-деталі для зовнішнього встановлення

Роз'єднувач вмикається поворотом ізолятора 10, при цьому рухома контакт-деталь 4 опускається вниз, лопатка підходить до нерухомої контакт-деталі 5 ребром (руйнує кірку льоду, якщо вона є) і вільно входить між її ламелями. Потім рухома контакт-деталь 4 повертається на 90° навколо поздовжньої осі і лопатка широкою площиною розклинає ламелі нерухомої контакт-деталі, в результаті чого контакти самоочищаються від оксидної плівки. При вимкненні роз'єднувача процес йде у зворотному порядку.

Для гасіння дуги від малих струмів роз'єднувач постачають рогами 6, а для безпечної роботи з ним у вимкненому стані - заземлювальним ножом 8, який повертається на осі 9 і замикає роз'єднувач на землю через заземлювальний контакт 7. Механічне блокування між заземлювальним ножом і рухомою контакт-деталлю виключає можливість увімкнення роз'єднувача при увімкненому заземленні.

Роз'єднувачі РДЗ зовнішнього встановлення (рис.9.3) призначені для увімкнення і вимкнення знеструмлених ділянок електричної мережі високої напруги, а також заземлення вимкнених ділянок за допомогою стаціонарних заземлювальних ножів.

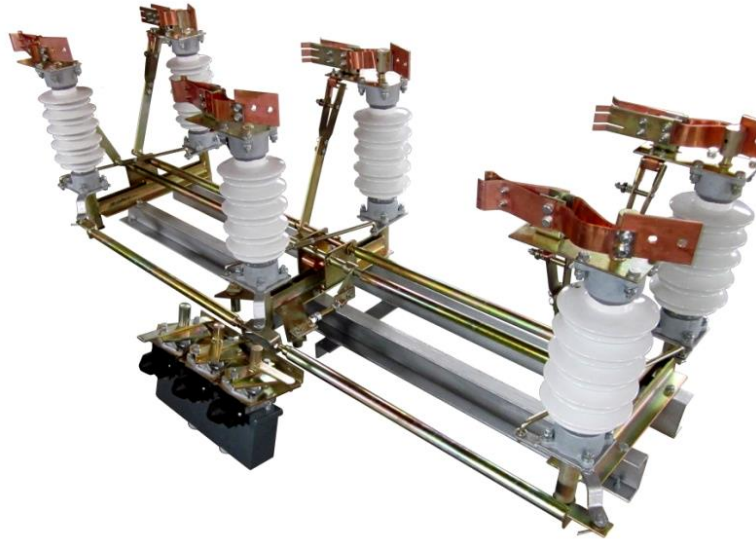


Рисунок 9.3 - Роз'єднувач зовнішнього встановлення РДЗ-35

Роз'єднувачі РДЗ складаються з окремих полюсів, які можуть використовуватися в однополюсному і триполюсному варіантах встановлення на горизонтальній площині. Роз'єднувачі РДЗ-35 і роз'єднувачі РДЗ-110 на клас напруги 35 і 110 кВ на номінальний струм 1000 А допускають встановлення на вертикальній площині. Полюс роз'єднувача виконаний у вигляді двоколонкового апарату з розворотом головних ножів в горизонтальній площині і складається з цоколя, ізоляційних колон, струмовідної системи і заземлювального пристрою.

Контактні ножі роз'єднувача на 1000 А виконані з двох мідних паралельних шин, встановлених на ребро, один кінець яких гнучкими зв'язками з'єднаний з контактним виводом, а на іншому утворений роз'ємний контакт. Контактні ножі роз'єднувачів РДЗ на 2000 і 3150 А складаються з двох контактних ножів на 1000 А. До заземлювальних пристроїв роз'єднувача входять ножі заземлення, стаціонарно встановлені на цоколі роз'єднувача РДЗ і нерухомий контакт, встановлений на головному контактному ножі. Основні частини роз'єднувачів РДЗ, виконані з чорних металів, мають стійке антикорозійне покриття - гарячий або гальванічний цинк.

9.3 Короткозамикачі

В теперішній час в електричних мережах експлуатуються трансформаторні підстанції без вимикачів на лінії живлення. Це дозволяє здешевити і спростити обладнання при збереженні високої надійності. Для заміни вимикачів на стороні високої напруги використовуються короткозамикачі і відокремлювачі.

Короткозамикач - це швидкодіючий контактний апарат, за допомогою якого за сигналом релейного захисту створюється штучне коротке замикання мережі.

Конструкція короткозамикачів

Короткозамикач з боку рухомого поворотного ножа надійно заземлений на контур підстанції, а на протилежному кінці стаціонарного контакту підключений до однієї фази лінії. Врубний робочий ніж короткозамикача в нормальному положенні відведено на безпечну відстань від фази, що виключає випадкове перекриття її напруги на землю.

Стаціонарний контакт постійно знаходиться під потенціалом лінії і відділений від контуру заземлення опором опорного ізолятора. Вся ця конструкція змонтована на міцній металевій рамі і піднята на безпечну відстань від землі.

Управління короткозамикачем здійснюється через систему важелів. В ручному режимі руханий ніж відводиться оперативним персоналом від стаціонарного контакту в положення готовності до спрацьовування. При цьому заводиться силова пружина. Одночасно перемикаються блок контакти КСА, що повторюють його положення для роботи вторинних кіл.



Рисунок 9.4 - Короткозамыкач КЗ-35

При визначенні захистами несправностей у схемі на електромагніт котушки вимкнення подається напруга. В результаті цього засувка пружини вибивається із зачеплення і прикладеним до системи важелів крутним моментом рухомий ніж різко накидається на стаціонарний контакт. На фазі лінії виникає штучно створене коротке замикання з землею.

Конструкція короткозамикача розрахована на проходження через його ножі і контакти аварійних струмів, створюваних при КЗ з урахуванням сприйняття термічного удару. Вона витримує ці струми за час їх проходження від моменту виникнення до зняття напруги захистами віддаленого вимикача.

В електроустановках напругою 35 кВ з ізольованою нейтраллю застосовують два полюси короткозамикача, при спрацьовуванні яких створюється штучне двофазне коротке замикання.

В електроустановках із заземленою нейтраллю (напругою 110 кВ і вище) застосовується один полюс короткозамикача, при спрацьовуванні якого утворюється коротке замикання «фаза – нейтраль».

Конструкція короткозамикача КЗ-35 показана на рис.9.5. Привід короткозамикача має пружину, яка забезпечує увімкнення заземленого ножа на нерухомий контакт, що знаходиться під напругою. Імпульс для роботи приводу подається від релейного захисту. Вимкнення короткозамикача здійснюється вручну. При увімкненні короткозамикача з метою уникнення можливої дуги і пошкодження апарату необхідно забезпечити більшу

швидкість руху ножа. В існуючих конструкціях час увімкнення короткозамикача становить 0,12...0,25 с.

Короткозамикачі являють собою апарати вертикально врубного типу, що складаються з основи, ізоляційної колонки, нерухомого контакту з виводом для приєднання до лінії електропередавання і заземлювального ножа, на кінці якого закріплена знімна контактна пластинка. В основі короткозамикача розміщений вал, встановлений в підшипниках, дві пружини з регулюванням натягу, з'єднані з основою і важелями валу короткозамикача, а також гідравлічний буфер.

Нормальне положення короткозамикача - вимкнений. При цьому ніж відведений від нерухомого контакту на розрядну відстань, а його пружини розтягнуті. Це положення ножа фіксується приводом. При подачі сигналу на привід короткозамикача привід звільняє ніж короткозамикача, який під дією пружини входить в нерухомий контакт, створюючи коротке замикання на землю.

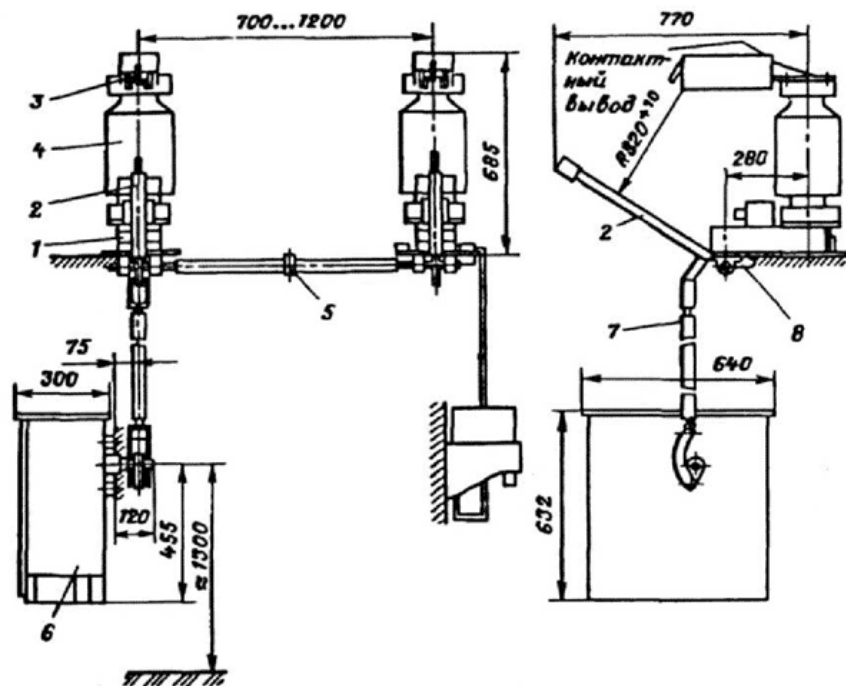


Рисунок 9.5 – Короткозамикач КЗ-35:1 - основа; 2 - заземлювальний ніж; 3 - нерухомий контакт; 4 - ізоляційна колонка; 5 - ізоляційна вставка; 6 - привід ПРК-1; 7 - тяга; 8 - гнучкий зв'язок до заземлювальної шини.

9.4 Відокремлювачі

Відокремлювачі (рис.9.6, 9.7) виконані у вигляді однополюсних апаратів з двома опорно-поворотними ізоляційними колонками. Поворот ножів при оперуванні відбувається в горизонтальній площині на кут 90° .

Рамою відокремлювачів служить зварена конструкція із швелерів, на кінцях якої закріплені чавунні основи. В основах на роликівих підшипниках обертаються важелі, на яких встановлені ізоляційні колонки. На верхніх фланцях колонок закріплені контактні ножі і контактні виводи. Вимкнення відокремлювачів здійснюється за допомогою енергії пружин, що запасасться одночасно із увімкненням відокремлювачів.

Відокремлювачами керують за допомогою ручних приводів ПРО-1, що забезпечують автоматичне, дистанційне і місцеве вимкнення і ручне увімкнення відокремлювачів.

Відокремлювачі на напругу 35 - 220 кВ оснащені дуттєвою приставкою і можуть вимикати намагнічувальний струм трансформаторів будь-якої потужності, а також (відповідно при напрузі 35, 110 і 220 кВ) струми навантаження 80, 50 і 110 А, зарядні струми повітряних ліній електропередавання довжиною до 150 і 250 км, урівнювальні струми до 180, 80 і 180 А.

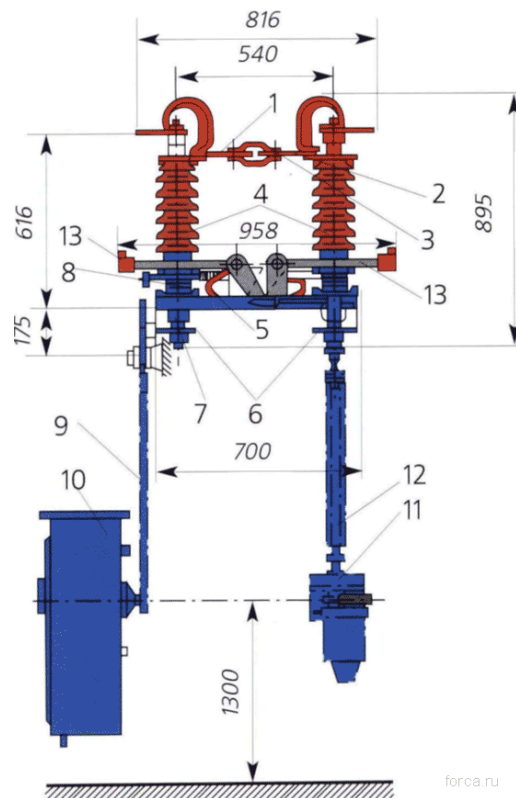


Рисунок 9.6 - Відокремлювач ОДЗ-2-35: 1 и 3 - ножі; 2 - контактний пристрій; 4 - колонки; 5 - вимикаюча пружина; 6 - підшипники; 7 - рама; 8 - важіль; 9 - тяга; 10 - привід відокремлювача; 11 - привід заземлювальних ножів; 12 - трубчаста тяга; 13 - заземлювальні ножі.

Відокремлювачі за конструкцією струмовідних частин не відрізняються від роз'єднувачів. Їх контактна система не пристосована для операцій з робочим струмом навантаження, а основним призначенням є швидке від'єднання пошкодженої ділянки електричної мережі в безструмову паузу. Допускаються також операції вимкнення і увімкнення намагнічувальних струмів і зарядних струмів. Для керування відокремлювачами випускаються напівавтоматичні приводи ПРО-1У1. За допомогою приводу можливе вимкнення відокремлювачів від пристрою релейного захисту, дистанційно або з місця встановлення, а також увімкнення відокремлювачів вручну. Ручне увімкнення виконується знімною рукояткою, для чого необхідно зробити 35...40 обертів за 50...60 с. При ручному увімкненні відокремлювачів одночасно заводяться і вбудовані пружини. Запасена в них енергія використовується потім для вимкнення відокремлювачів. Процес вимкнення триває не більше 0,5 с.

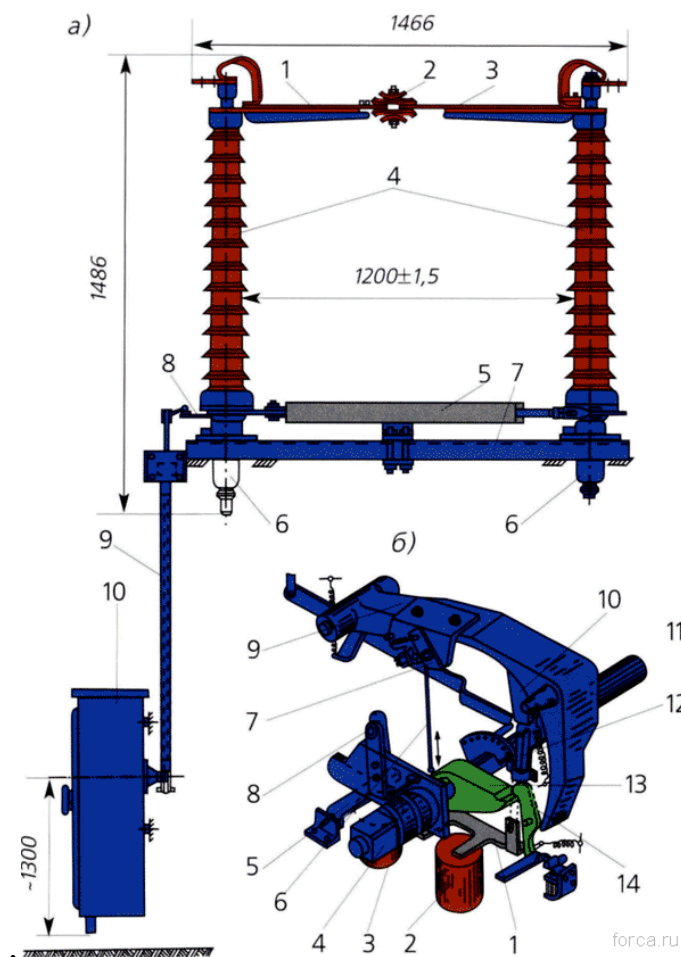


Рисунок 9.7 - Відокремлювач ОД-110 (а): 1 і 3 - ножі; 2 - контактний пристрій; 4 - ізоляційні колонки; 5 - кожух вимикаючої пружини; 6 - підшипники; 7 - рама; 8 - важіль; 9 - тяга; 10 - привід відокремлювача; привід

відокремлювача (б): 1 - планка; 2 і 3 - електромагніти; 4 - кінець валу приводу; 5 - важіль для підйому важеля 9; 6 - тяга; 7 - планка; 8 - важіль; 9 - серповидний важіль; 10 - планка; 11 - вал приводу; 12 - утримувальна стійка; 13 - важіль; 14 - засувка

У приводі ПРО-1У1 є два електромагніти вимкнення. Один з них, який отримує живлення від незалежного джерела струму, служить для оперативного вимкнення відокремлювачів ключем керування, другий, що живиться від батареї конденсаторів ємністю 40 мкФ, - для вимкнення релейним захистом при короткому замиканні в момент так званої безструмової паузи. При вимкненні відокремлювачів електромагніти впливають на механізм вільного розчеплення приводу.

При автоматизації підстанцій відокремлювачі використовуються не тільки для вимкнення електричних кіл, але також і для перемикання підстанцій на резервне джерело живлення. Перемикання проводиться в безструмову паузу, коли проходження струму КЗ перервано вимкненням відповідних вимикачів.

Для автоматичного увімкнення відокремлювачі заводського виготовлення модернізують в такий спосіб. Обидві колонки ізоляторів разом з ножами знімають, повертають біля основи на 90° проти нормального їх обертання і в такому положенні кріплять до рами. Привід і вбудовані пружини залишаються в колишньому виконанні. У такому вигляді при розведенні ножів вбудовані пружини відокремлювача будуть заводитися і діяти на увімкнення при звільненні засувки приводу.

Відокремлювачі застосовуються в основному на підстанціях без вимикачів з боку високої напруги.

Надійна робота електроустановок забезпечується чіткою послідовністю дій пристроїв релейного захисту, автоматики, комутаційних апаратів, а також пристроїв блокування між відокремлювачами і короткозамикачами по колах керування.

У мережах напругою 110 - 220 кВ короткозамикачі виконуються однополюсними. Конструкційно короткозамикач типу КЗ-110 складається із стрижневого ізолятора (в мережах 220 кВ - з двох стрижневих ізоляторів, поставлених один на інший) з розташованим на ньому нерухомим контактом. Рухомий ніж ізоляційною тягою з'єднується з пружинним приводом типу ПРК-1У1, вбудованим у шафу. Привід служить для заведення вмикачів пружин короткозамикача, утримання ножа у вимкненому положенні і для ручного вимкнення увімкненого ножа. Привід ПРК-1У1 за конструкцією подібний приводу ПРО ТУ1, за винятком релейної частини. У приводі ПРК-

1У1 вбудовані електромагніт увімкнення і три реле максимального струму типу РТМ.

У вимкненому положенні короткозамикача пружини приводу заведені, і він готовий до дії. Для увімкнення короткозамикача захист пошкодженого трансформатора подає оперативний струм на електромагніт увімкнення, бойок якого через систему важелів впливає на засувку, а ніж вмикається. Час від моменту подачі команди на електромагніт увімкнення до повного замикання контактів короткозамикача не перевищує 0,35 с.

Віддільник (відокремлювач) - це апарат, який призначений здійснювати під дією захисту швидке автоматичне вимкнення (від'єднання) пошкоджених ділянок електричного кола в момент відсутності в ньому струму, тобто в період безструмової паузи автоматичного повторного увімкнення (АПВ), створюваної вимикачем, встановленим на живильному кінці лінії (процес вимкнення триває 0,5 - 1 сек.).

В основному, в цілях економії, віддільники застосовуються на підстанціях з напругою живлення 35, 110 кВ замість вимикачів з боку високої напруги. Віддільники працюють разом із з короткозамикачами.

Віддільниками можуть здійснювати операції вимкнення і увімкнення:

- трансформаторів напруги, зарядного струму шин і підстанційного обладнання всіх напруг (крім конденсаторних батарей);
- паралельних гілок, які перебувають під струмом навантаження, якщо роз'єднувачі цих гілок шунтовані іншими увімкненими роз'єднувачами або вимикачами;
- намагнічувальних струмів силових трансформаторів і зарядних струмів повітряних та кабельних ліній електропередавання;
- нейтралей трансформаторів і дугогасних котушок у разі відсутності в мережі замикання фази на землю.

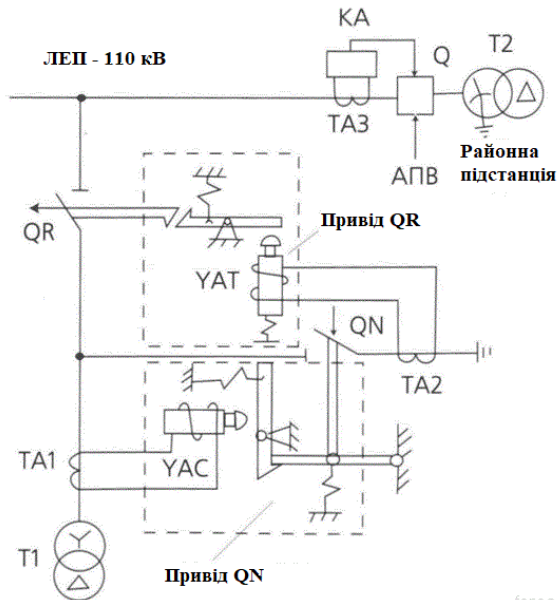
Для прикладу застосування короткозамикачів і відокремлювачів на рис. 9.8 наведена схема живлення від однієї лінії двох трансформаторних груп Т1 і Т2

До схеми окрім швидкодіючих короткозамикачів QK1 і QK2, введені відокремлювачі Q1 і Q2, які при номінальному режимі роботи замкнені.

Якщо за сигналом від реле трансформатора 1, внаслідок якоїсь несправності, вмикається короткозамикач в колі живлення трансформатора виникає штучне КЗ. Під дією струму КЗ спрацьовує вимикач захисту QF1 і обидві групи Т1 і Т2 знеструмлюються. За допомогою рележного захисту трансформатора Т1 вмикається також вимикач QF2, після чого з деякою витримкою часу вмикається відокремлювач Q1. Потім, оскільки режим штучного КЗ виявився вимкненим, знову вмикається вимикач QF1. Якщо до аварії QF4 був вимкнений,

то після увімкнення QF1 він може бути увімкнений. При цьому буде відновлено живлення споживачів на шинах 10 кВ першої трансформаторної групи.

Таким чином, в цій схемі вдається обійтися без вимикачів з боку напруги 220 кВ трансформаторів. Ефективність такої схеми тим вища, чим вища номінальна напруга мережі.



а)



б)

Рисунок 9.8 – Схема ділянки мережі напругою 110 кВ із віддільником і короткозамикачем(а): Q - вимикач; QR - віддільник; QN - короткозамикач; T1 і T2 - силові трансформатори; TA1, TA2 і TA3 - трансформатори струму; YAT - котушка електромагніту вимкнення віддільника; YAC - котушка електромагніта увімкнення короткозамикача. Загальний вигляд віддільника на напругу 110 кВ

Принцип сумісної дії відокремлювачів і короткозамикачів

Як приклад застосування короткозамикачів і відокремлювачів на рис.9.9. приведена схема живлення від однієї лінії двох трансформаторних груп T1 і T2.

У схему крім швидкодіючих короткозамикачів KЗ-1 і KЗ-2, введені відокремлювачі ОД-1 і ОД-2, які при нормальному режимі роботи замкнуті. Припустимо внаслідок погіршення ізоляції трансформатора T1 всередині нього виникають електричні розряди, які призводять до розкладання масла і виділення газу. Газові бульбашки, піднімаючись вгору, призводять до спрацьовування газового реле. За сигналом цього реле вмикається короткозамикач і в колі живлення трансформатора створюється штучне коротке замикання. Під дією струму короткого замикання спрацьовує вимикач захисту В1 і обидва трансформатора T1 і T2 знеструмлюються. За

допомогою релейного захисту трансформатора *T1* вимикається також вимикач *B2*, після чого з деякою витримкою вимикається відокремлювач *ОД1*. Потім, оскільки режим штучного КЗ виявився вимкненим, знову вмикається вимикач *B1*, тобто спрацьовує *АПВ* (автоматичне повторне увімкнення) цього вимикача. Якщо до аварії вимикач *B4* був вимкнений, то після увімкнення вимикача *B1* він може бути увімкнений, тобто спрацює *АВР* (автоматичне введення резерву). При цьому буде відновлено живлення споживачів на шинах 10 кВ першої трансформаторної групи.

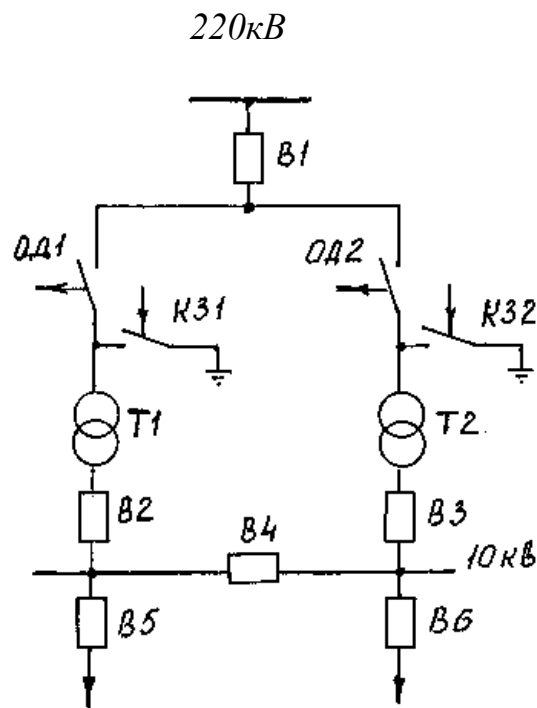


Рисунок 9.9 – Однолінійна електрична схема ділянки мережі напругою 220 кВ з відокремлювачами і короткозамикачами

Ефективність такої схеми тим вища, чим вища номінальна напруга мережі. Зазначений ефект досягається за рахунок відсутності вимикачів з боку напруги 35-220 кВ, а також акумуляторних батарей і компресорних установок для їх функціонування. До того ж зменшується площа підстанції та скорочуються терміни будівництва.

9.5 Реклоузери

Реклоузер вакуумний серії РВА/TEL РВА/TEL-10-12,5/630 У1 (далі РВА/TEL) призначений для застосування в повітряних розподільних мережах трифазного змінного струму частотою 50 Гц, номінальною напругою 6-10 кВ.

Реклоузер РВА/TEL (рис.9.10) застосовується в якості:

- фідера на живильній підстанції (ОРУ, РП);
- автоматичного пункту секціонування мережі з одностороннім живленням;
- автоматичного пункту секціонування мережі з двостороннім живленням (в т. ч. пункту мережевого резервування - АВР);
- захисного апарату на відгалуженні мережі.

Реклоузер серії РВА/TEL - нове покоління комутаційного обладнання, котре об'єднало в собі передові технології мікропроцесорного релейного захисту та автоматики і комутаційної техніки.

Реклоузер РВА/TEL (рис.9.10; 9.11) виконує наступні основні функції:

- оперативні перемикання в розподільній мережі (місцева і дистанційна реконфігурація мережі);
- автоматичне вимкнення пошкодженої ділянки;
- автоматичне повторне увімкнення лінії (АПВ);
- автоматичне виділення пошкодженої ділянки;
- автоматичне відновлення живлення на непошкоджених ділянках мережі;
- автоматичне збирання інформації про параметри режимів роботи електричної мережі.
-



Рисунок 9.10 – Встановлення реклоузера РВА/TEL на опорі лінії електропередавання

Реклоузер РВА/TEL може застосовуватися як окремий апарат для захисту відхідних ліній електропередавання або з такими ж апаратами як засіб комплексної автоматизації розподільчої мережі.

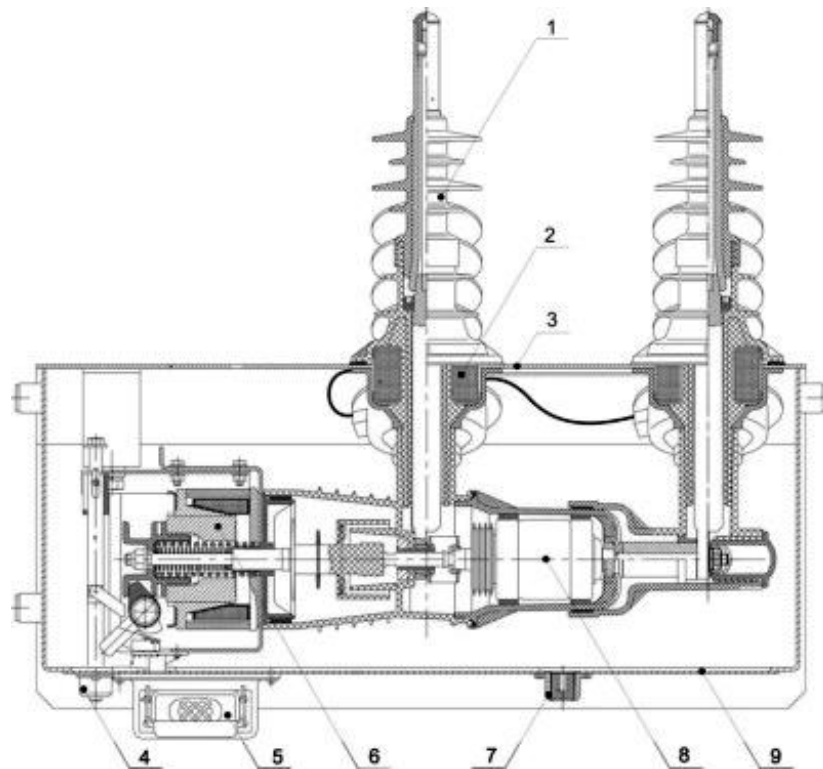


Рисунок 9.11 – Будова реклоузера BB/TEL: 1-прохідні ізолятори; 2-комбіновані датчики струму і напруги; 3-верхній кожух; 4-механізм ручного вимкнення; 5-колодка штепсельного роз'єму; 6-привід BB/TEL; 7- отвір для зливання конденсату; 8- вакуумний вимикач BB/TEL; 9-нижня кришка

Реклоузер PBA/TEL має такі відмінні риси:

- високий механічний і комутаційний ресурс;
- малі тривалості увімкнення і вимкнення;
- триразове швидке АПВ (О-0,1с-ВО-1с-ВО-1с-ВО-80с-В);
- можливість інтегрування в системи телемеханіки (SCADA);
- вбудована система вимірювання;
- гнучка відбудова від запобіжників;
- самодіагностування;
- ведення журналів оперативних і аварійних подій;
- стійкість до електромагнітних впливів за критерієм якості функціонування «А»;
- простота монтажу та експлуатації;
- відсутність необхідності в проведенні поточних, середніх і капітальних ремонтів протягом усього терміну служби.

Застосування реклоузера PBA / TEL дозволить:

- підвищити надійність електропостачання споживачів;
- знизити недовідпуск електроенергії;

- зменшити кількість аварійних вимкнень ліній електропередавання;
- скоротити витрати на обслуговування електричної мережі;
- підвищити технічний рівень експлуатації мереж;
- реалізувати сучасні принципи автоматизації та управління розподільними мережами.

Реклоузер РВА/TEL відповідає вимогам ГОСТ 687, МЕК 60694, ANSI/IEEE C37.60.

Реклоузер РВА/TEL - апарат зовнішнього встановлення призначений для роботи в умовах помірного клімату при температурі навколишнього повітря від мінус 45°C до плюс 55°C на висоті не більше 1000 м над рівнем моря (У1 за ГОСТ 15150), при швидкості вітру не більше 36 м/с (район за вітровим тиском V). Допускається утворення стінки ожеледі не більше 20 мм (район за ожеледдю IV). За стійкістю до механічних впливів РВА/TEL відповідає групі умов експлуатації М4 за ГОСТ 17516.1.

Серійно випускаються за ТУ У 31.2-31576194-005-2005.

9.6 Вимикачі високої напруги

Високовольтні вимикачі. Високовольтні вимикачі - електричні апарати, які слугують для зміни стану високовольтного елемента мережі (це може бути лінія, секція шин і т.д.) «ввімкнено-вимкнено» з метою оперативного керування системою енергопостачання, а так само для захисту і вимкнення високовольтного обладнання або ділянки мережі в аварійних ситуаціях.

Високовольтний вимикач складається із: системи контактів, дугогасних пристроїв, струмовідних частин, ізоляції, приводного механізму і корпусу.

Конструкція вимикача дозволяє вимикати струми КЗ в кілька десятків тисяч ампер, струми навантаження, а також порівняно невеликі індуктивні і ємнісні струми.

Основна проблема виникає при комутації великих струмів - це виникнення електричної дуги. Ця проблема вирішується шляхом застосування різних діелектричних середовищ між контактами вимикача.

За цією ознакою розрізняють основні типи високовольтних вимикачів діляться на масляні, повітряні, вакуумні, елегазові.

Назви вимикачів відображають склад середовищ гасіння дуги.

Масляні (оливні) вимикачі досить дешеві і прості в експлуатації, але основний їх недолік - вони пожежо - та вибухонебезпечні, до того ж досить габаритні.



Рисунок 9.10 - Масляні вимикачі.

У **повітряному** вимикачі (рис.9.11) гасіння дуги відбувається за допомогою потужного потоку повітря з резервуара високого тиску. Повітряні вимикачі складніші і дорожчі, ніж масляні, для їх роботи потрібна наявність компресорної станції для отримання чистого сухого повітря під високим тиском.



Рисунок 9.11 - Повітряні вимикачі

У **вакуумному вимикачі** дуга гасне в розрідженому просторі дугогасильної камери. Вакуум характеризується надзвичайно високою електричною міцністю і швидко відновлюється після електричного пробоя.

Такі вимикачі відрізняється високою надійністю, простотою конструкції і зменшеними витратами на обслуговування.



Рисунок 9.12 - Вакуумний вимикач

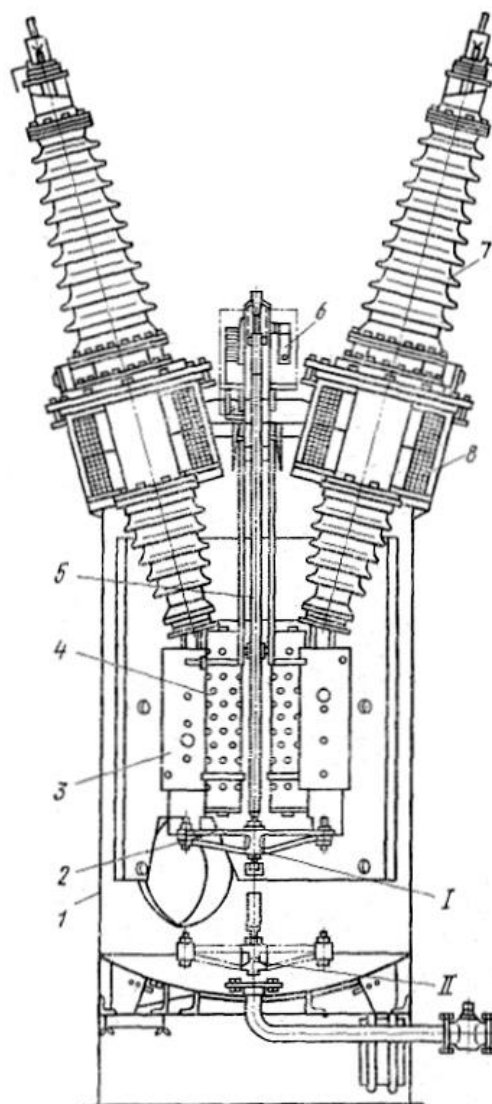
Дугогасним середовищем в **елегазовому вимикачі** є гексофторид сірки SF_6 (елегаз). Ці вимикачі відрізняються підвищеною комутаційної здатністю і невеликими габаритами, основний їх недолік - висока вартість.



Рисунок 9.13 – Елегазовий вимикач



а)



б)

Рисунок 9.15 – Масляний (баковий) вимикач на напругу 110 кВ: а) загальний вигляд; б) розріз полюса

Вимикачі високої напруги	
За часом дії	Швидкодіючі Прискореної дії Повільної дії
За числом фаз	Однофазні (однополюсні) Трифазні (триполюсні)
За числом місць розриву коמוтованого кола на фазу(полюс)	З одним розривом З двома розривами З багаторазовим розривом
За конструкційним зв'язком з приводом	З окремим приводом Із вбудованим приводом В обох випадках привід може бути як з ручним, так і з двигунним увімкненням
За видом встановлення	Для внутрішнього встановлення Для зовнішнього встановлення Для вибухонебезпечного середовища
За наявністю автоматичного повторного ввімкнення (АПВ)	Одноразове АПВ Багаторазове АПВ Пофазне АПВ Швидкодіюче АПВ (БАПВ)
За виконуваними функціями в схемах розподільчих пристроїв	Генераторні - характеризуються великими значеннями номінальних струмів (до кількох десятків тисяч ампер) і потужностей вимкнення (десятки тисяч МВА, порівняно невеликими значеннями напруг (6...20) кВ і часу вимкнення (0,1 ...0,2)с
	Розподільчі(фідерні) – характеризуються відносно малими значеннями номінальних струмів (300...600) А , меншим ніж у генераторних вимикачів часом вимкнення і наявністю АПВ

Рисунок 9.14 – Класифікація вимикачів високої напруги за комплексом ознак

9.6.1 Масляні вимикачі

Масляні (бакові) вимикачі виготовляють з великим об'ємом масла, яке служить дугогасильним середовищем та ізоляцією струмовідних частин. Вимикачі виконують на всю шкалу номінальних струмів (50 - 20 000 А) і напруг (3 - 750 кВ).

Масляний баковий вимикач (рис.9.15, а) складається з контактної і дугогасної систем, розташованих в баку з маслом і приводу, розміщеного зовні бака. Розріз полюса масляного вимикача на 110 кВ показаний на рис.9.15, б. У баку 1 закріплені два вводи 7, на кінцях яких встановлені дугогасні камери 3 з нерухомими контакт-деталлями. Вводи змонтовані з деяким нахилом відносно осі бака, оскільки ізоляційні властивості масла вищі, ніж повітря. Рухомі контакт-деталі торцевого типу, встановлені на траверсі 2, з'єднують контактну систему обох дугогасних камер. Для рівномірного розподілу напруги між контакт-деталлями дугогасні камери шунтовані високоомними резисторами 4. Траверса 2 з'єднана з приводним механізмом 6 ізоляційною штангою 5.

На ізоляторах встановлені трансформатори струму 8, первинною обмоткою яких служать струмопровідні стрижні. На кришці бака розміщені запобіжний клапан, газовідвідна труба і труба для заливання трансформаторного масла. Баки повинні бути механічно міцними, оскільки при вимкненні вимикача можливі значні підвищення тиску і гідравлічні удари. Рівень масла залежно від вимикальної здатності апарату повинен бути вище контактної системи на 300 - 2500 мм.

Контактна система вимикача працює наступним чином. При увімкненні зусилля, що розвивається приводним механізмом 6, передається через ізоляційну штангу 5 рухомим контакт-деталлям, в результаті чого вони з положення II (вимкнено) переходять в положення I (увімкнено). У вимикачах на напругу 110 і 220 кВ використовують дугогасні камери з проміжними контакт-деталлями і поздовжнім дуттям.

9.6.2 Маломасляні вимикачі

Маломасляними називають вимикачі з малим об'ємом масла, яке служить тільки дугогасительной середовищем. Ізоляція між струмоведучими частинами і землею виконана з твердих матеріалів (кераміки, текстоліту, епоксидних смол). Габаритні розміри і маса цих вимикачів значно менше габаритних розмірів і маси бакових. Їх випускають на напругу до 500 кВ з меншою відключає здатністю.

Маломасляний вимикач ВМП-10 на напругу 10кВ і струм 600 - 1500А для внутрішнього встановлення показаний на рис.9.16. До рами 3 за допомогою ізоляторів 2 підведені три полюси 1 вимикача. Усередині рами змонтований приводний механізм, який передає рух від приводу до рухомих контактів і складається з приводного валу 5 з важелями, ізоляційної тяги 4, вимикаючих пружин, масляного 6 і пружинного демпферів.

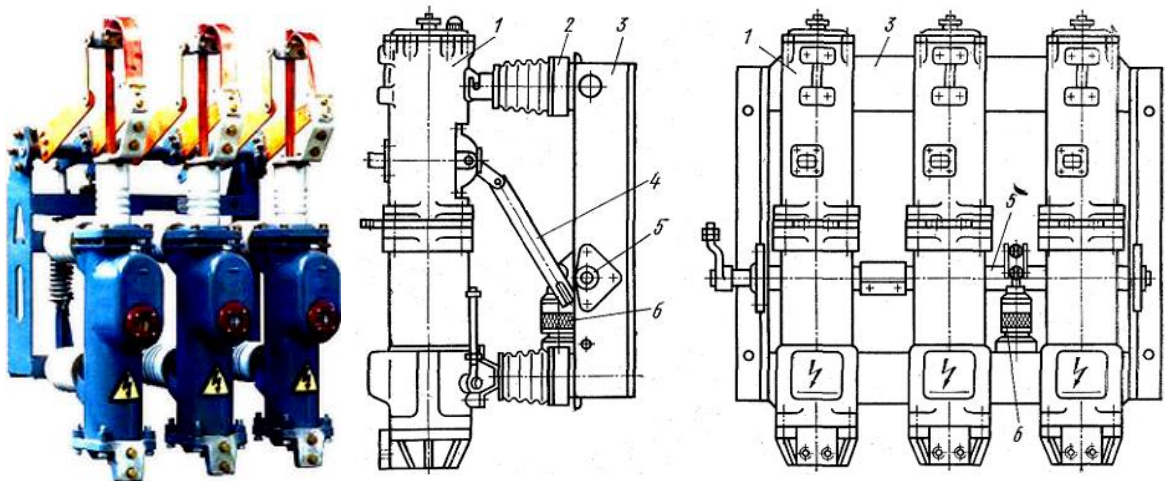


Рисунок 9.16 – Маломасляний вимикач ВМП-10 для внутрішнього встановлення

9.6.3 Вакуумні вимикачі

У вакуумних вимикачах контакти розходяться в середовищі з тиском 10^{-4} Па. При такому вакуумі дугогасний проміжок має високу електричну міцність - приблизно 100 кВ/мм. Мала щільність повітря створює можливість гасіння дуги без дугогасних пристроїв за час 0,01 - 0,02 с.

Високі значення напруженості електричного поля є причиною виникнення дуги в вакуумі внаслідок автоелектронної емісії.

Мала щільність середовища обумовлює високу швидкість дифузії зарядів через велику різницю щільності часток в розряді і вакуумі. Швидка дифузія часток, висока електрична міцність вакууму дозволяють ефективно гасити дугу у вимикачі.

При роботі вимикача розпорошені матеріали контактів осідають на поверхні ізоляційного циліндра, що створює можливість перекриття ізоляції. Для захисту циліндра від парів металу електроди захищаються металевими екранами 8 і 9 (рис.9.17).

У вакуумній дугогасній камері контактний стрижень 4 з контактним наконечником 1-2 жорстко закріплений в металевому фланці 6 керамічного

корпусу 10. Контактний стрижень рухомого контакту 5 зв'язаний з сильфоном 7, виконаним з нержавіючої сталі. Сильфон є циліндричною еластичною гармошкою і тому стрижень 5 має можливість осевого переміщення. Внутрішня порожнина сильфона зв'язана з атмосферою, тому контакт 3 верхнього контакту натискає на контакт 3 нижнього контакту з силою, що дорівнює добутку площі сильфона на атмосферний тиск.

При великих номінальних струмах і для отримання необхідної динамічної стійкості встановлюється додаткова пружина, яка створює необхідне натискання контактів. Металеві екрани 8 і 9 служать для вирівнювання електричного поля між контактами з метою підвищення електричної міцності. Екран 8 захищає також кераміку 10 від напилення парів металу, що утворюються при гасінні дуги. Дотик половин контактів 1 відбувається в шести точках, що дозволяє знизити перехідний опір і зменшити температуру контактів. Тепло, що виділяється в контактах 1 і контактних стрижнях 4, 5, відводиться в основному теплопровідністю до нижнього фланця 6 і шин, що з'єднуються з контактом 5. Через високий вакуум віддача тепла в радіальному напрямку йде тільки за рахунок випромінювання.

Поперечне магнітне поле в місці переходу струму з однієї до іншої половин контакту 1 швидко перекидає дугу на криволінійні сегменти 2. Переміщення дуги по контактах з великою швидкістю дозволяє зменшити ерозію контактів і знизити кількість парів металу у вакуумній дузі. Однак при великих струмах вимкнення напруга на дузі починає рости зі збільшенням струму (до 100 В і вище). При цьому енергія дуги збільшується, процес гасіння ускладнюється.

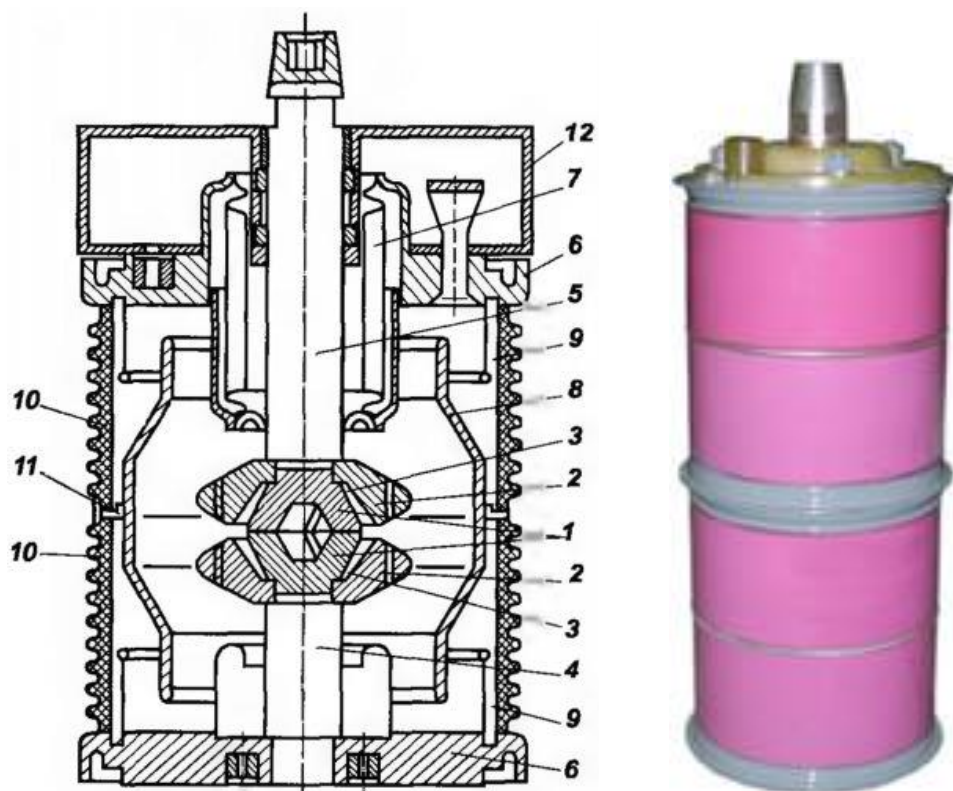


Рисунок 9.17 - Вакуумна дугогасна камера

Загальний вигляд вимикача, що використовує вакуумний дугогасний пристрій за схемою на рис.9.17, показаний на рис.9.18.



Рисунок 9.18 - Вакуумний вимикач

Дугогасні камери, залиті в епоксидний компаунд, мають вихідні контакти у вигляді розеток і закріплені на візку разом із механізмом і приводом вимикача.

Переваги вакуумних вимикачів:

- відсутність спеціального дугогасного середовища, яке потребує заміни;
- висока зносостійкість;
- швидке відновлення електричної міцності міжконтактного проміжку;
- висока швидкодія, обумовлена малою масою контактів і їх малим ходом;
- широкий діапазон робочих температур: від мінус 70 до плюс 200°C.

До недоліків вакуумних вимикачів можна віднести:

- виникнення великих перенапруг при вимкненні індуктивного навантаження, що може призводити до пошкодження ізоляції;
- великі труднощі при створенні вимикачів на номінальну напругу 100 кВ і вище, коли доводиться з'єднувати кілька розривів послідовно;
- складність розробки і виготовлення;
- великі витрати для організації виробництва.

9.6.4 Елегазові вимикачі

Елегазові вимикачі (рис.9.19) виконуються в основному з автокомпресорним або магнітним дуттям.

При першому способі електрична дуга охолоджується елегазом, який перетікає з резервуара високого тиску (близько 1 МПа) в резервуар низького тиску (0.3 МПа), тобто використовується той же принцип, що і в повітряному вимикачі.

Схема дугогасного пристрою з автокомпресорним поздовжнім дуттям наведена на рис.6, а. Рухомий контакт 2 разом з ізоляційним соплом 3, перегородкою 4 і циліндром 5, відходячи від нерухомого контакту 1, насувається на поршень 6. Елегаз через отвори в перегородці і сопло омиває дугу з великою швидкістю і гасить її через 0.02-0.03 с.



Рисунок 9.19 – Елегазовий вимикач

Надмірний тиск в елегазових вимикачах створюється за рахунок енергії приводу, і він значний. Зважаючи на це, тут застосовується пневматичний привід.

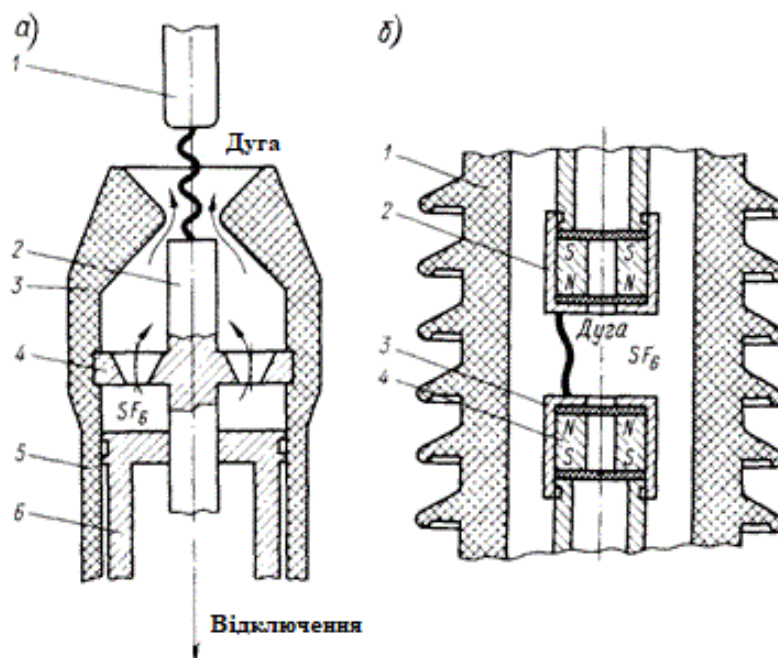


Рисунок 9.20 - Схеми дугогасних пристроїв елегазових вимикачів: а) з автокомпресорним дуттям; б) з магнітним дуттям

Оскільки тиск, необхідний для гасіння дуги, з'являється в процесі руху контактів, то скорочення часу гасіння дуги (зокрема, до 0.01 с) такий дугогасний пристрій не може забезпечити.

Схема дугогасного пристрою з магнітним дуттям наведена на рис.9.20, б. Пристрій розміщується в ізоляційному циліндрі 1, наповненому елегазом. На дугу, що виникає між контактами 2 і 3 вимикача, що розмикаються, діє радіальне магнітне поле, створюване постійними магнітами 4 (або послідовною котушкою). Дуга швидко переміщається по колу, посилено охолоджується і гасне. Такі пристрої застосовуються у вимикачах навантаження.

Нерухомий контакт 5 прикріплений до баку 1 на литому ізоляторі 6. Вимикач має два дугогасних пристрої 4 з автокомпресорним дуттям (рис.9.20, а), вони ж рухомі контакти. Дугогасні пристрої з'єднані послідовно перемичкою 3, рівномірний розподіл напруги між пристроями забезпечується керамічними конденсаторами 8. Рухомий контакт 4 приводиться в рух ізоляційною штангою 9 через важільний механізм 11. Рухомий контакт і конденсатори закриті екраном 2. Циліндр 10 ізолює контакти 4 від баку. Вимикач заповнений елегазом (при тиску 0.55 МПа). Нерухомі контакти 5 виведені з баку через вводи елегазу - елегазу. Ізоляційна перегородка 7 вводу герметизує об'єм баку і дозволяє зберегти елегаз у вимикачі при від'єднанні його від КРПЕ.

9.6.5 Вимикачі навантаження

Якщо тривалий струм установки невеликий (400 - 600 А при напрузі 10кВ) замість вимикача з релейним захистом доцільно використовувати вимикач навантаження та запобіжники.

Вимикач навантаження має дугогасний пристрій невеликої потужності для вимкнення номінальних струмів. У разі КЗ використовується високовольтний запобіжник. У вимикачах навантаження для гасіння дуги застосовуються камери з автогазовим, електромагнітним, елегазовим дуттям і вакуумними елементами.

У камерах з автогазовим дуттям гасіння дуги здійснюється газами, які виділяються під дією високої температури дуги стінками з газогенеруючого матеріалу (органічного скла, вініласту та ін.). Загальний вигляд автогазового вимикача навантаження типу ВН-16 на напругу 10 кВ і струм вимикання 200 А показаний на рис.9.21.



Рисунок 9.21 - Вимикач навантаження ВН-16

Всі три полюси вимикача розміщуються на зварній рамі. На опорному ізоляторі полюса розташовані вивід полюса і шарнір рухомого контакту 1. На верхньому ізоляторі закріплені нерухомий головний контакт 2, дугогасні камери 5 і другий вивід полюса. Рухомий головний контакт 1 виконаний з двох сталевих пластин. В середині закріплений дугогасний контакт 4 у вигляді зігнутої мідної шини. Рухомі контакти приводяться в рух валом вимикача 3, який з'єднаний з контактами порцеляновою тягою. Вимкнення вимикача відбувається під дією пружин 6, які заводяться при увімкненні. В дугогасній камері (рис.9.21, б) розташований нерухомий дугогасний контакт точкового типу 7, з'єднаний з головним нерухомим контактом 2. Корпус камери виконаний із пластмаси і складається з двох половин, стягнутих гвинтами. Усередині корпусу розміщені два вкладиші 8 з органічного скла.

Управління вимикачем здійснюється ручним важільним приводом з вбудованим електромагнітом для дистанційного вимкнення.

Під час вимкнення спочатку розмикаються головні контакти і весь струм перекидається в коло дугогасних контактів, після розмикання яких між вкладишами 8 загоряється дуга. Мала товщина рухомого дугогасного контакту 4 і вузька щілина, в якій він переміщається, забезпечують хороший контакт дуги зі стінками вкладишів. Завдяки високій температурі дуги вкладиші інтенсивно виділяють газ, який прагне вийти з камери через зазор між рухомим контактом і вкладишами. При цьому виникає поздовжній обдув дуги, в результаті чого вона гасне. Зона викиду газів з камери - 200-500 мм. Контакт 4 виходить з камери тоді, коли дуга згасне. У вимкненому положенні дугогасний контакт відходить від камери на відстань, що забезпечує достатню електричну міцність для даного класу напруги.

Послідовно з вимикачем навантаження включаються потужні запобіжники типу ПК, які захищають установку від коротких замикань.

9.6.6 Автогазові (газогенеруючі) вимикачі.

Автогазові (газогенеруючі) вимикачі призначені для увімкнення і вимкнення електричних кіл під навантаженням і не розраховані на вимкнення струмів короткого замикання, тому їх називають також вимикачами навантаження.

Автогазовий вимикач навантаження ВН-16 на напругу 6 і 10 кВ і номінальний струм вимкнення 400 і 200 А відповідно показаний на рис.9.22 а, б. На опорних ізоляторах 5 рами 4 встановлені дугогасні камери 3, що мають нерухомі основні контакт-деталі 2 і дугогасні контакт-деталі 10. Рухомі контакт-деталі також складаються з основних 9 і дугогасних 7 і через тяги 8 зв'язані з приводним валом 6. Привід вимикача може бути ручним або електромагнітним.

Вимкнення вимикача здійснюється вимикаючими пружинами 7. Дугогасна камера виконана з двох пластмасових щік 11, всередині яких закладені вкладиші 13 з органічного скла, що утворюють вузьку щілину 14, де рухається дугогасна контакт-деталь.

Дуга 12, що утворюється між дугогасними контакт-деталлями при вимкненні вимикача, викликає інтенсивне газовиділення зі стінок вкладишів і тиск в камері зростає. Вихід газів можливий тільки через щілину між рухомою контакт-деталлю і стінками камери. Таким чином з'являється поздовжнє обдування дуги і відбувається її гасіння.

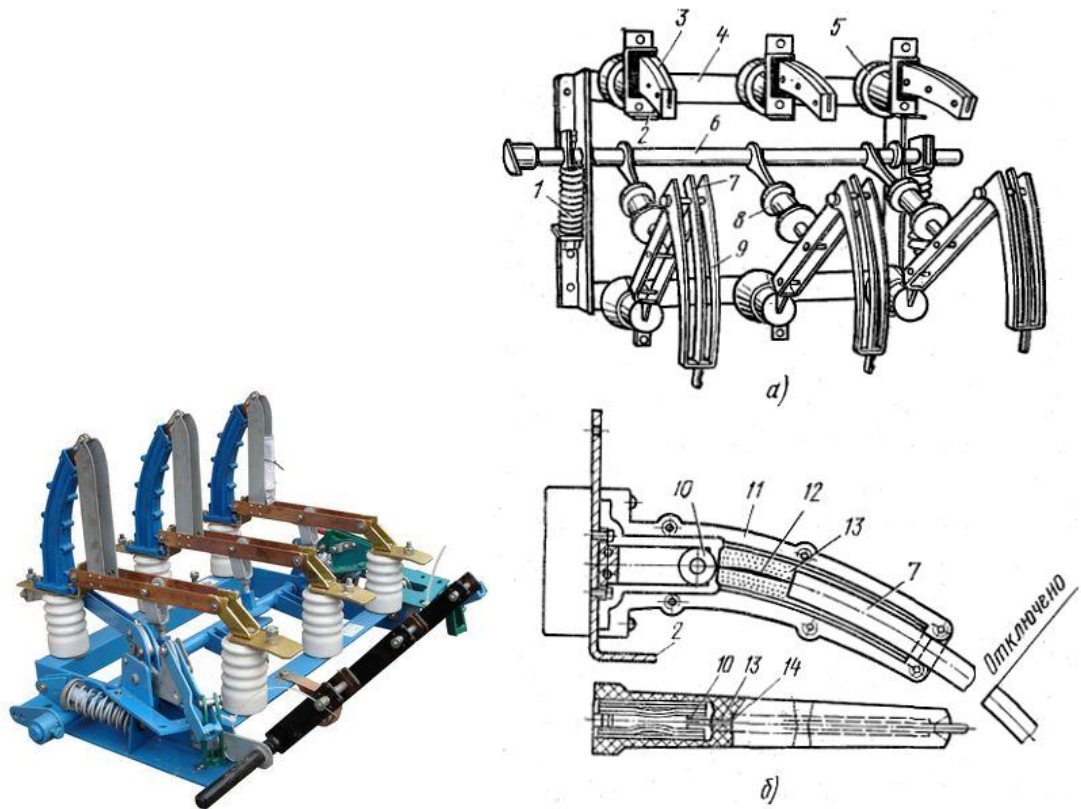


Рисунок 9.22 - Автогазовий (газогенеруючий) вимикач(а) і його дугогасний пристрій для поздовжнього дугтя (б)

9.7 Запобіжники високої напруги

Високовольтні запобіжники. При напрузі вище 3 кВ і частоті 50 Гц застосовуються високовольтні запобіжники. До них висувається наступна загальна вимога: тривалість плавлення вставки повинна бути менше 2 годин при струмі перевантаження, рівному $2I_{\text{ном}}$, і більше 1 години при струмі перевантаження, рівному $1,3I_{\text{ном}}$

Високовольтні запобіжники часто застосовуються для захисту трансформаторів напруги від коротких замикань. Струм, що протікає через запобіжник в номінальному режимі, не перевищує долей ампера. У таких запобіжниках час плавлення вставки дорівнює одній хвилині при струмі 1,25 - 2,5 А.

У зв'язку з високим значенням напруги, що відновлюється, процес гасіння дуги ускладнюється, тому змінюються габаритні розміри і конструкція високовольтних запобіжників. Найбільшого поширення набули запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем і запобіжники стріляючого типу.

Запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем. Розмір зерен і матеріал у запобіжників такі ж, як і в низьковольтних запобіжниках. Для ефективного гасіння дуги плавка вставка береться малого діаметра.

Запобіжники типу ПК на напругу 6 - 10 кВ (рис.9.23) мають фарфоровий циліндр 10, армований на торцях латунними обоймами 9. Наповнювач 13 (кварцевий пісок) засипається через отвір в обоймі, який після засипання запаюється кришкою 8. У запобіжниках на струм до 7,5 А мідна плавка вставка 11 намотується на каркас 14. Це дозволяє збільшити довжину плавкої вставки і ефект струмообмеження, а отже, підвищити вимиканий струм. Однак при перевантаженнях, менших $3I_{\text{ном}}$, можливе утворення струмо-провідного каналу з матеріалу каркаса і розплавлення вставки. В результаті настає теплове руйнування запобіжника. Тому запобіжники з каркасом слід застосовувати тільки для захисту від коротких замикань.

При номінальних токах, що перевищують 7,5 А, плавка вставка виконується у вигляді паралельних спіралей (рис.9.23, б), що дозволяє збільшити номінальний струм до 100 А при номінальній напрузі 3 кВ. При напрузі 10 кВ номінальний струм запобіжника дорівнює 50 А. При струмі 200 А доводиться встановлювати чотири паралельних плавких вставок, що дозволяє виготовляти їх з мідного або срібного дроту малого діаметру і зберігати ефект вузької щілини в процесі гасіння дуги. Для зниження температури запобіжника при невеликих тривалих перевантаженнях плавкі вставки мають олов'яні кульки 6.

Запобіжник має показчик спрацьовування 16, на який діє пружина, що утримується в натягнутому стані спеціальною плавкою вставкою 15, яка перегорає після перегорання основних вставок 11. При цьому показчик звільняється і викидається назовні із зусиллям, яке визначається пружиною. Цей показчик можна використовувати для автоматичного вимкнення вимикача навантаження після вимкнення струму короткого замикання запобіжником.

При короткому замиканні плавка вставка випаровується по всій довжині і в коло вводиться довга дуга, що горить у вузькій щілині і має високий опір. Все це призводить до виникнення великих перенапруг - до $4,5U_{\text{ном}}$ на контактах запобіжника.

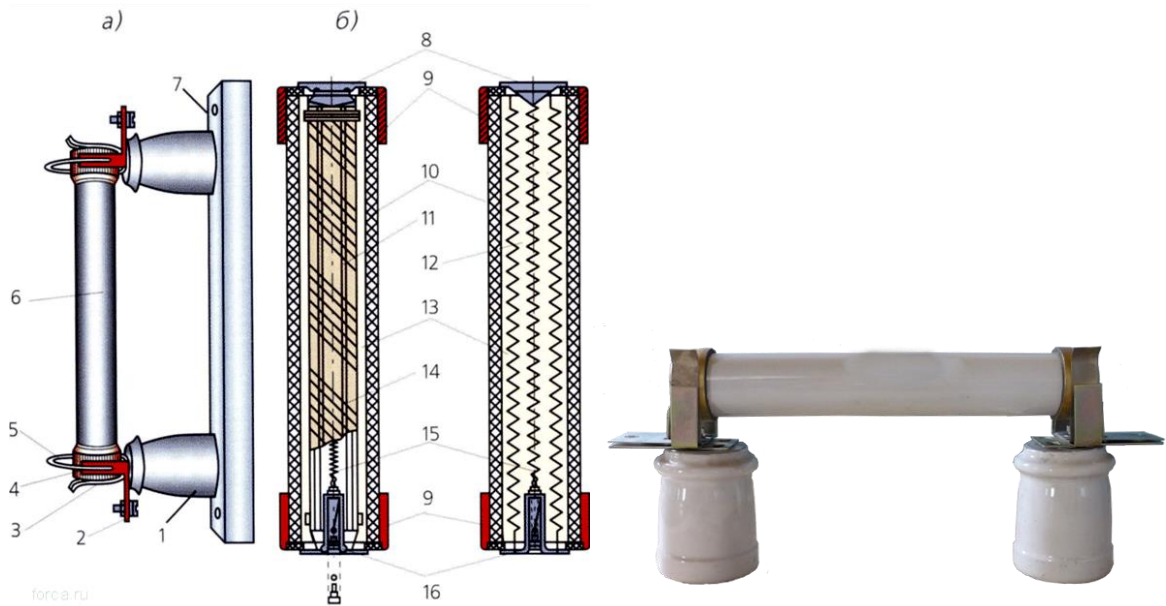


Рисунок 9.23 - Запобіжник типу ПК: 1 - опорний ізолятор; 2 - контактні затискачі; 3 - упор; 4 - контактні губки; 5 - фіксуючий замок; 6 - патрон; 7 - основа; 8 - кришка; 9 - латунні обойми; 10 - порцелянова трубка; 11 – плавка вставка; 12 - спіральна плавка вставка; 13 - кварцевий пісок; 14 - керамічна основа; 15 - допоміжна плавка вставка; 16 - показчик спрацьовування

Для обмеження перенапруг застосовуються вставки змінного перерізу. Спочатку згорає ділянка меншого перерізу, а потім більшого. В результаті довжина дуги зростає повільніше.

Запобіжники серії ПКН для захисту трансформаторів напруги (рис.9.24) на напругу до 35 кВ мають всередині керамічний каркас з тонкою плавкою вставкою. Оскільки номінальний струм вставок менше 1 А, то їх переріз малий і струмообмежувальний ефект особливо великий.



Рисунок 9.24 – Запобіжник типу ПКН: а) ПКН 001-10 У3; б) ПКН 001-35 У3

Плавка вставка виконується з константанового дроту з чотириступінчатим перерізом для обмеження перенапруг. Плавлення вставки відбувається послідовно ступенями. Запобіжник забезпечує захист високовольтних шин від пошкоджень трансформатора напруги при будь-якої потужності джерела живлення (струм обмежується запобіжником).

Стріляючі запобіжники. Для роботи на відкритому повітрі при напрузі 10 і 35 кВ і відключається струмі до 15 кА застосовуються так звані стріляючі запобіжники типів ПСН-10 і ПСН-35 (рис.9.25).

У корпусі 1 встановлені дві вініпластові трубки 2 і 3, з'єднані сталевим патрубком 4. Плавка вставка 5 приєднується до струмовідного стрижня 6 і гнучкого провідника 7, з'єданого з наконечником 8. Патрон запобіжника, встановлений на ізоляторах, показаний на рис.9.25 вгорі. Ізолятори кріпляться до сталевого цоколю 2. Електричне коло приєднується до виводів 3 і 4. Контакт 5, що обертається, діє на наконечник 8 і за допомогою своєї пружини прагне витягнути гнучкий провідник 7 з трубки 3.

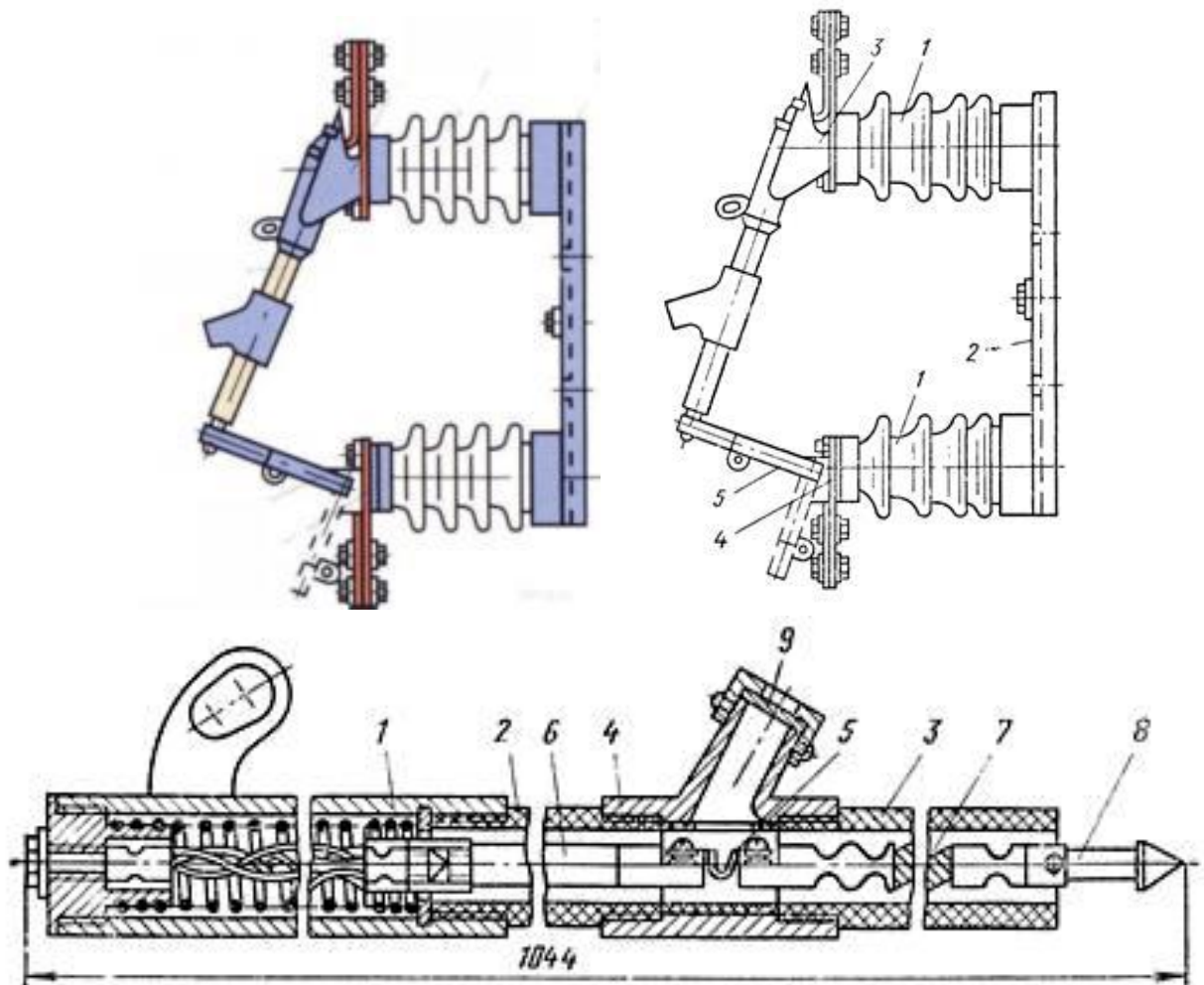


Рисунок 9.25 – Стріляючий запобіжник ПСН-35

При перегоранні плавкої вставки утворюється дуга, яка, стикаючись зі стінками трубки, розкладає їх, і утворений газ піднімає тиск у трубці. При витягуванні наконечника з трубки довжина дуги збільшується, тиск зростає. При великих струмах мембрана 9 в патрубку 4 розривається і дуга гаситься поперечним дуттям. Якщо струм невеликий, то дуга гаситься поздовжнім потоком газу, який виривається з трубки після викидання гнучкого контакту 7 з трубки. Тривалість горіння падає при збільшенні струму. При великих струмах дуга гасне за 0,04 с. При малих струмах (800 - 1000 А) час горіння зростає до 0,3 с.

Процес вимкнення супроводжується сильним викидом полум'я, газів і стріляючим звуковим ефектом. За таких обставин стріляючі запобіжники сусідніх фаз повинні бути на значній відстані один від одного.

У процесі гасіння дуга спочатку має невелику довжину, а потім довжина її збільшується в міру викидання гнучкого провідника. Це обмежує швидкість зростання опору дугового проміжку і усуває перенапруги

Питання для самоконтролю і завдання

1. Наведіть класифікацію апаратів високої напруги.
2. Назвіть основні параметри апаратів високої напруги.
3. Що являє собою роз'єднувач та яке його призначення?
4. Чому роз'єднувачами не можна вимикати струми навантаження і короткого замикання?
5. Що являє собою короткозамикач та яке його призначення?
6. Що являє собою віддільник (відокремлювач) та його призначення?
7. Поясніть сутність використання короткозамикачів і віддільників.
8. Що являє собою реклоузер та яке його призначення?
9. Перерахуйте основні види високовольтних вимикачів. Вкажіть їх особливості та сфери застосування.
10. Що являють собою маломасляні вимикачі та яка область їх використання?
11. Яке призначення трансформаторного масла у вимикачах високої напруги?
12. Назвіть основні конструкційні елементи маломасляних вимикачів.
13. Як здійснюється гасіння дуги в маломасляних вимикачах?
14. Що являють собою вакуумні вимикачі та які їх основні конструкційні елементи?

15. Поясніть конструкцію і принцип дії вакуумного вимикача.
16. В чому полягають переваги вакуумних вимикачів в порівнянні з маломасляними?
17. За яким принципом здійснюється гасіння дуги у вакуумних вимикачах?
18. Що являють собою елегазові вимикачі та яка область їх використання?
19. Поясніть конструкцію і принцип дії елегазового вимикача.
20. У чому полягають переваги елегазових вимикачів в порівнянні із масляними?
21. Що являє собою вимикач навантаження і де він використовується?
22. Як здійснюється гасіння дуги у вимикачі навантаження?
23. Які особливості конструкції високовольтних запобіжників?
24. Яке призначення наповнювача у запобіжнику?
25. Що таке «металургійний ефект» у запобіжника?
26. Як дізнатися про перегорання плавкої вставки високовольтних запобіжників?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

10 . ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ І НАПРУГИ

10.1 Загальні відомості

10.2 Принцип дії трансформатора струму

10.3 Конструкції і принцип дії трансформатора напруги

10.4 Конструкції трансформаторів струму низької напруги

10.5 Конструкції трансформаторів напруги високої напруги

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Трансформатор	Пристрій для переутворення параметрів (амплітуд і фаз) напруг і струмів	<i>transformer</i>
Вимірювальний трансформатор	Пристрій, призначений для пропорційного перетворення вимірюваної величини з метою її подачі на вимірювальний пристрій, вимірювальний прилад, захисний пристрій або інший подібний прилад	<i>instrument transformer</i>
Трансформатор струму	Вимірювальний трансформатор, в якому при робочих умовах застосування вторинний струм практично пропорційний первинному і відрізняється від нього кутом фазового зсуву, який приблизно дорівнює нулю для відповідного напрямку з'єднань	<i>current transformer</i>
Первинна обмотка	Обмотка, через яку протікає струм, що підлягає перетворенню	<i>primary winding</i>
Вторинна обмотка	Обмотка, яка живить струмом кола вимірювальних пристроїв, вимірювальних приладів, захисних пристроїв або інших подібного роду приладів.	<i>secondary winding</i>
Номінальний первинний струм	Значення первинного струму, на якому заснована робота трансформатора	<i>rated primary current</i>
Номінальний вторинний струм	Значення вторинного струму, на якому заснована робота трансформатора	<i>rated secondary current</i>
Дійсний коефіцієнт трансформації	Відношення значення дійсного первинного струму до значення дійсного вторинного	<i>actual transformation ratio</i>

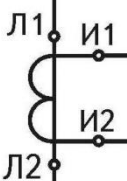
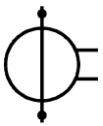
	струму	
Номінальний коефіцієнт трансформації	Відношення значення номінального первинного струму до значення номінального вторинного струму	<i>rated transformation ratio</i>
Струмова похибка (похибка коефіцієнта трансформації)	Похибка, обумовлена трансформатором при вимірюванні струму, яка виникає в разі, коли дійсний коефіцієнт трансформації відмінний від номінального коефіцієнта трансформації	<i>current error (ratio error)</i>
Кут фазового зсуву (кутова похибка)	Кут між векторами первинного і вторинного струмів, де напрямок векторів підібрано таким чином, щоб кут для ідеального трансформатора дорівнював нулю. Кут фазового зсуву вважається позитивним, коли вектор вторинного струму випереджає вектор первинного струму. Кутову похибку звичайно виражають у хвилинах або радіанах (сантирадіанах). Примітка - Це визначення може бути застосовано тільки для синусоїдального струму.	<i>phase displacement</i>
Клас точності	Узагальнена характеристика трансформатора, що визначається встановленими межами допустимих похибок при запропонованих умовах застосування.	<i>accuracy class</i>
Навантаження	Опір (імпеданс) зовнішнього вторинного кола, виражений в Омах, із зазначенням коефіцієнта потужності. Найбільш часто навантаження характеризується як повна потужність, виражена у вольт-амперах, при зазначених коефіцієнті потужності і номінальному вторинному струмі.	<i>burden</i>
Номінальне навантаження	Значення навантаження, на якому базуються вимоги до точності.	<i>rated burden</i>

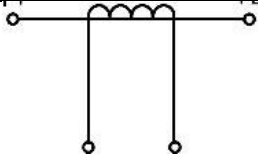
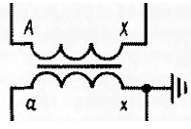
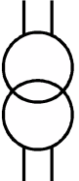
Номинальна вихідна потужність	Значення повної потужності (виражається у вольт-амперах при зазначеному коефіцієнті потужності), яку забезпечує трансформатор у вторинному колі при номінальному значенні вторинного струму і номінальному опорі навантаження, підключеного до нього	<i>rated output</i>
Вимірювальний трансформатор струму	Трансформатор струму, призначений для передавання в робочому режимі сигналів вимірювальної інформації показуючим, інтегруючим, вимірювальним та іншим приладам	<i>measuring transformer</i> <i>current</i>
Трансформатор струму для захисту	Трансформатор струму, призначений для передавання сигналу захисним реле	<i>protective transformer</i> <i>current</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>
ЕРС	Електрорушійна сила	<i>electromotive force</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

 <i>TA</i>	Трансформатор струму
 <i>TA</i> <i>P1</i> <i>P2</i>	За IEC 60044-1-2013

 S1 S2	
 TV  TV	Трансформатор напруги

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с. Чинний від 01.01.1996
2. ДСТУ 2976-95 (ІЕС 60050-321:1986, NEQ). Трансформатори струму та напруги. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1996
3. ДСТУ ІЕС 60044-1-2013. Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму

10.1 Загальні відомості

Трансформатори струму. Для зручності вимірювання струму в електроустановках високої напруги і для ізоляції вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту від високої напруги служать трансформатори струму (рис.10.1).

Основними параметрами трансформаторів струму є:

- номінальна напруга - лінійна напруга електричної мережі, в якій ТС повинен працювати, яка визначає ізоляцію між первинною обмоткою, що знаходиться під високим потенціалом, і вторинною обмоткою, один кінець якої заземлюється;
- номінальний первинний $I_{1ном}$ і вторинний $I_{2ном}$ струми - тривалі струми, які апарат може пропускати. ТС зазвичай мають запас за нагріванням і дозволяють тривалий час пропускати струми, які приблизно на 20% вище номінального значення. Номінальний вторинний струм ТС дорівнює 1 або 5А.
- номінальний коефіцієнт трансформації - відношення номінальних значень первинного і вторинного струмів:

$$K_{ном} = I_{1ном} / I_{2ном} \quad (10.1)$$

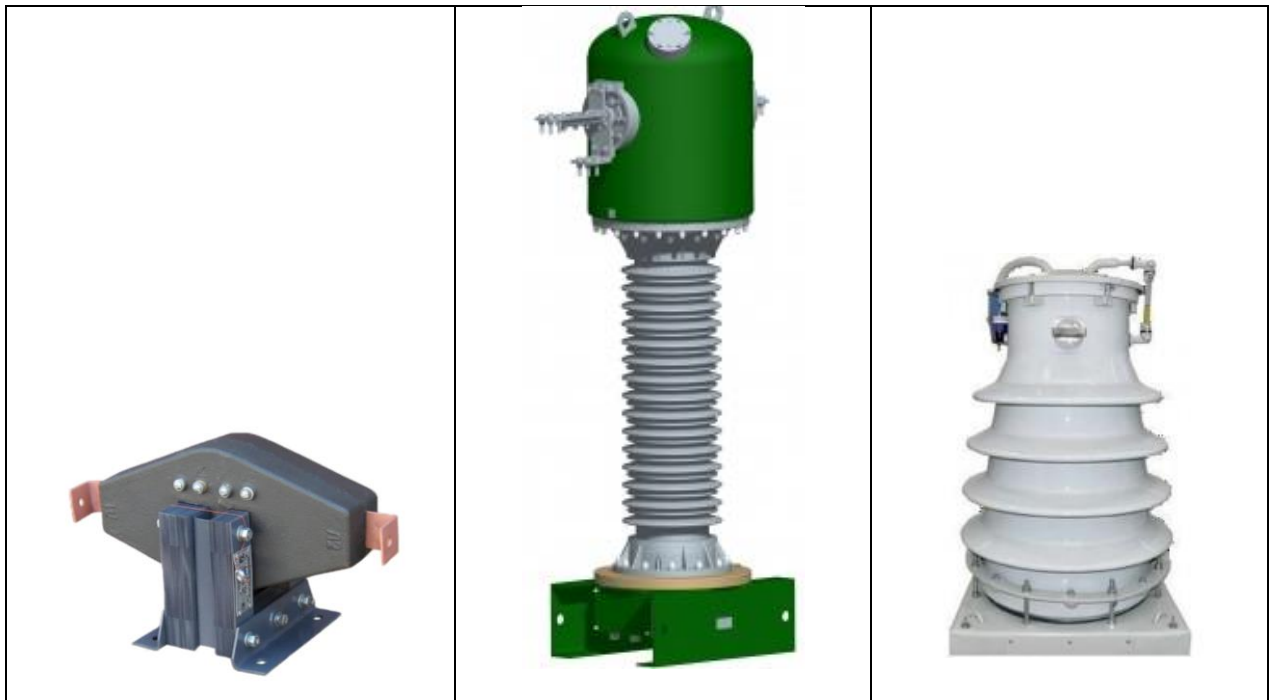


Рисунок 10.1 – Трансформатори струму: ТПЛ-10(а); елегазовий(б); ТФЗМ (в)

Дійсний коефіцієнт трансформації не дорівнює номінальному внаслідок похибки, спричиненої втратами в трансформаторі. Розрізняють струмову і кутову похибки трансформатора струму.

Струмова похибка у відсотках визначається за формулою:

$$\Delta I\% = \frac{k_{\text{ном}} I_2 - I_1}{I_2} 100 = \frac{I_2 - I_1}{I_1} 100 \quad (10.2)$$

де I_2 - вторинний струм; I_1 - первинний наведений струм.

Відповідно до ГОСТ 7746-78 прийняті наступні умовні позитивні напрямки струмів: первинного струму - струм втікає в початок первинної обмотки, вторинного - струм витікає з початку вторинної обмотки. Обидві обмотки намотані в один бік. При такому позитивному напрямку струмів в ТС без похибок вектори вторинного I_2 і первинного I_1 струмів збігаються по фазі. У реальному ТС між векторами I_1 і I_2 існує кут, який називається кутовою похибкою і вимірюється в хвилинах. Якщо вторинний струм випереджає первинний, то похибка за кутом позитивна. Кутову похибку необхідно враховувати при вимірюванні активної потужності кола $P = UI_{\cos(\phi)}$ (ϕ - кут зсуву між струмом і напругою), а також при вимірюваннях енергії і в ряді релейних захистів, робота яких залежить від кута ϕ .

Клас точності трансформатора визначається його похибкою за струмом (у відсотках) при первинному струмі, рівному $(1,0 - 1,2)I_{\text{ном}}$.

Залежно від похибки за ГОСТ 7746- 78 розрізняють класи точності трансформаторів струму 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10.

Поряд із струмовою та кутовою похибкою ГОСТ 7746-78 передбачена повна похибка $\varepsilon, \%$, яка характеризує відносний намагнічувальний струм:

$$\varepsilon = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (k_{\text{ном}} i_2 - i_1)^2 dt} \quad (10.3)$$

де I_1 - діюче значення первинного струму;

i_2 - миттєве значення вторинного струму;

i_1 - миттєве значення первинного струму;

T - період частоти змінного струму (0,02 с).

Номінальне навантаження ТС - це опір навантаження $Z_{2\text{ном}}$ при якому він працює із заданим класом точності при номінальному значенні $\cos \varphi_{2\text{ном}} = 0,8$. Іноді застосовується поняття номінальної потужності ТС:

$$P_{2\text{ном}} = Z_{2\text{ном}} I_{2\text{ном}}^2 \quad (10.4)$$

Оскільки значення струму $I_{2\text{ном}}$ стандартизоване, то номінальний опір навантаження однозначно визначає номінальну потужність трансформатора.

Номинальна гранична кратність первинного струму по відношенню до його номінального значення, при якій повна похибка досягає 5 або 10%. Відповідно ТС мають клас точності 5Р і 10Р, при цьому навантаження і його коефіцієнт потужності повинні бути номінальними.

Максимальна кратність вторинного струму - це відношення найбільшого вторинного струму до його номінального значення при номінальному вторинному навантаженні. Максимальна кратність вторинного струму визначається насиченням магнітопроводу, коли подальше зростання первинного струму не веде до зростання магнітного потоку.

В аварійному режимі ТС обтікаються струмом КЗ і їх обмотки піддаються впливу великих струмів.

Динамічна стійкість ТС (кратність) - визначається відношенням допустимого струму ударного КЗ до амплітуди номінального первинного струму.

Термічна стійкість ТС (кратність) - задається відношенням допустимого протягом 1с струму КЗ до номінального значення первинного струму.

Оскільки струм первинної обмотки задається мережею, то більшим термічним і динамічним впливам піддається первинна обмотка. Вторинний струм часто обмежується насиченням магнітопроводу, і тому вторинна обмотка працює в полегшених умовах.

Трансформатори напруги. Трансформатори напруги (рис.10.2) служать для перетворення високої напруги в низьку стандартизовану напругу, зручну для вимірювання. Зазвичай за номінальну вторинну напругу приймається напруга 100 В або $100/\sqrt{3}\text{ В}$



НОЛ -10



НТМИ-10

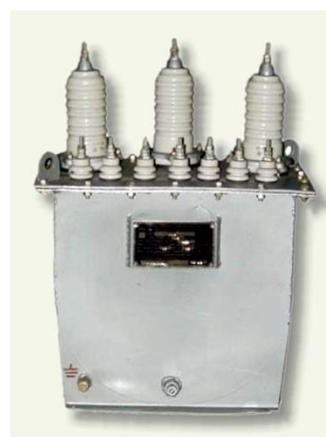
НАМИ-10
(антирезонансний)

Рисунок 10.2 – Трансформатори напруги

Первинна обмотка трансформатора напруги (ТН) ізолюється від вторинної відповідно до класу напруги електроустановки. Для безпеки обслуговування один вивід вторинної обмотки ТН заземлюється. Таким чином, ТН ізолює вимірювальні прилади і реле від кола високої напруги і робить безпечним їх обслуговування.

Схема увімкнення однофазного трансформатора напруги показана на рис.10.3.

Первинна обмотка ω_1 приєднана до кола високої напруги через запобіжники $FU1$, $FU2$. Вторинна обмотка ω_2 живить навантаження у вигляді обмоток вимірювальних приладів або реле захисту через запобіжники $FU3$, $FU4$. У нормальній конструкції заземлюються і вторинна обмотка, і магнітопровід.

Запобіжники $FU3$, $FU4$ служать для захисту ТН від короткого замикання в колі навантаження.

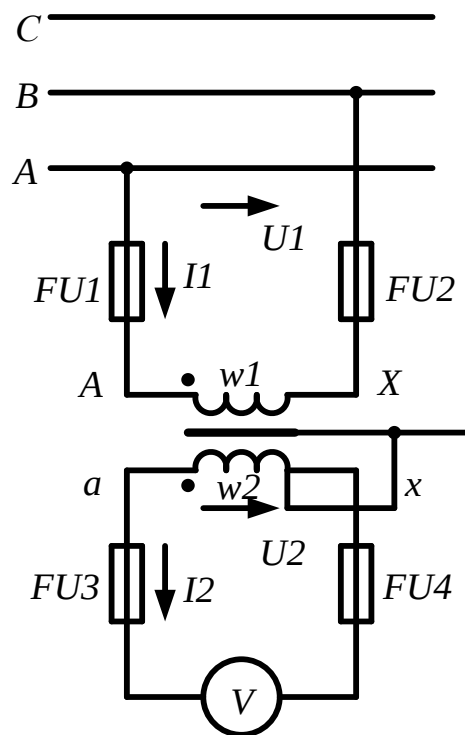


Рисунок 10.3 - Принципова електрична схема увімкнення однофазного трансформатора напруги

Запобіжники $FU1$, $FU2$ на з боку високої напруги служать для захисту мережі від короткого замикання в трансформаторі напруги. При цьому є доцільним застосування струмообмежувальних запобіжників типу ПКТ або стріляючих запобіжників з обмежувальним резистором. Внаслідок високого опору обмоток самого ТН при КЗ у вторинному колі струм в первинному

колі малий (порядку декількох ампер) і недостатній для спрацьовування запобіжників $FU1$, $FU2$. Цим пояснюється встановлення запобіжників $FU3$, $FU4$ у вторинному колі.

Основними параметрами трансформатора напруги є:

- номінальна напруга первинної і вторинної обмоток, вказані на щитку(паспортній табличці). Номінальна напруга ТН дорівнює номінальній напрузі первинної обмотки;
- номінальний коефіцієнт трансформації - відношення номінальної первинної напруги до номінальної вторинної:

$$K_{\text{ком}} = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}}; \quad (10.5)$$

- похибка за напругою, %, визначається рівнянням

$$\Delta U\% = \frac{K_{\text{ном}} U_2 - U_1}{U_1} 100 \quad (10.6)$$

- де U_1 - напруга, подана на первинну обмотку; U_2 - напруга, виміряна на виводах вторинної обмотки.

При $U_1/U_2 = K_{\text{ном}}$ похибка $\Delta U\% = 0$.

Похибки ТН не повинні перевищувати значень, передбачених класом точності при коливанні напруги в межах $(90 - 100)\% U_{I\text{ном}}$ і коливанні потужності вторинного кола в межах $(25 - 100)\%$ від номінальної;

- номінальне вторинне навантаження. Трансформатори напруги вмикаються (рис. 10.4) так само, як силові трансформатори. Струм вторинної обмотки визначається опором навантаження:

$$I_2 = U_2/Z_2 \quad (10.7)$$

а вторинна потужність

$$P_2 = U_2 I_2 = I_2^2 Z_2 = U_2^2 / Z_2 \quad (10.8)$$

При зменшенні опору z_2 вторинна потужність збільшується. Вторинне навантаження z_2 крім модуля характеризується також коефіцієнтом потужності $\cos\varphi_{2\text{ном}}$;

- номінальна потужність ТН - найбільше значення вторинної потужності при $\cos\varphi_{2\text{ном}} = 0,8$ при якій похибка ТН не виходить за межі, визначені класом точності. Вимоги до ТН встановлюються ГОСТ 1983-77.

Похибка ТН обумовлена наявністю активного і реактивного опорів обмоток та струму холостого ходу.

10.2 Принцип дії трансформатора струму

Первинну обмотку 1 (рис.10.4) трансформатора струму вмикають послідовно у коло, що контролюється, а до вторинної обмотки 3 приєднують послідовно з'єднані обмотки амперметрів, ватметра, лічильника, реле та ін.

На відміну від знижувальних трансформаторів напруги у знижувальних трансформаторів струму число витків вторинної обмотки w_2 є більшим (у ряді випадків у багато разів) числа витків первинної обмотки w_1 (вона часто має один виток).

Окрім того, режим роботи ТС значно відрізняється від режиму роботи звичайного силового трансформатора напруги. Це полягає в тому, що значення первинного струму I_1 (рис.10.4, б) не залежить від навантаження у вторинному колі (від значення вторинного струму I_2). Струм I_1 визначається лише навантаженням і параметрами первинного кола, у той час як у трансформатора напруги первинний струм залежить від зміни вторинного. Відповідно і магнітний потік первинної обмотки F_1 , що створюється струмом I_1 , не змінюється при зміні струму у вторинному колі. Опір навантаження вторинного кола (обмотки приладів, з'єднувальні проводи) дуже малий. Тому трансформатор струму працює у режимі наближеному до короткого замикання.

ТС нормально працює при сталому навантаженні вторинного кола і змінному струмі первинної обмотки, тобто при змінному магнітному потоці.

Отже перевантаження і короткі замикання в колі вторинної обмотки не створюють небезпеки для ТС і тому його не захищають запобіжниками або іншими елементами захисту.

Режим розмикання вторинного кола для трансформаторів струму є небезпечним. В такому режимі зникає розмагнічуюча дія вторинної обмотки і в магнітопроводі різко підвищується магнітний потік.

Якщо при протіканні струму в первинній обмотці розімкнути вторинну обмотку, то $I_2 = 0$ та $F_2 = I_2 w_2 = 0$ (рис.10.4, б). Оскільки при цьому струм I_1 та магніторушійна сила (МРС) F_2 практично не змінюються, то результуюча МРС F_0 буде дорівнювати F_1 (збільшиться в декілька разів). Це веде до збільшення магнітного потоку Φ , різкого нагрівання (перегріву та виходу з ладу) магнітопроводу і виникнення на затискачах вторинної обмотки великої ЕРС (десятки тисяч вольт), яка є небезпечною як для обслуговуючого персоналу, так і для ізоляції трансформатора та підключених до нього приладів.

Зважаючи на це, категорично забороняється при експлуатації розривати вторинну обмотку працюючого ТС. За необхідності від'єднання приладів від

ТС, що працює необхідно попередньо замкнути виводи його вторинної обмотки.

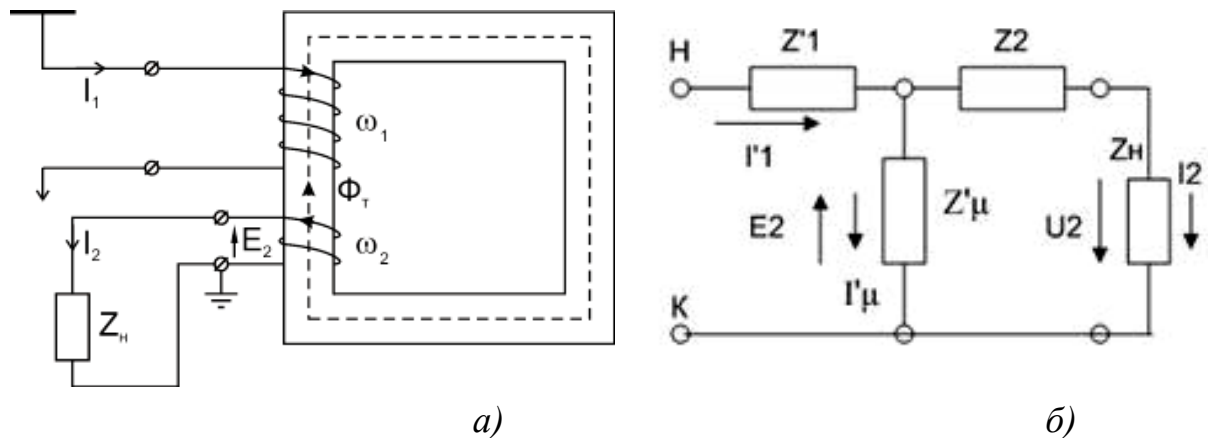


Рисунок 10.4 – Схема увімкнення (а) і схема заміщення (заставна схема) (б) трансформатора струму

Кількість витків вторинної обмотки ТС завжди є більшою за кількість витків первинної обмотки.

ТС характеризується номінальним коефіцієнтом трансформації, який наближено дорівнює оберненому відношенню числа витків обмоток:

Похибки трансформатора струму і причини їх виникнення

Причина похибок в трансформаторі струму - струм намагнічування. Векторна діаграма (рис.10.5) побудована на основі схеми заміщення трансформатора струму, в якій відповідно до схеми заміщення всі величини первинної обмотки приведені до витків вторинної обмотки.

З векторної діаграми видно, що вторинний струм відрізняється від приведенного первинного за абсолютним значенням на струмову похибку $dI = I'1 - I2$, а по фазі на кут δ . Ця відмінність обумовлена наявністю струму намагнічування $I_{\text{нам}}$, який створює магнітний потік намагнічування в осерді трансформатора струму. Чим більше струм відгалужується в опір $Z'm$, тим похибка трансформатора струму більша.

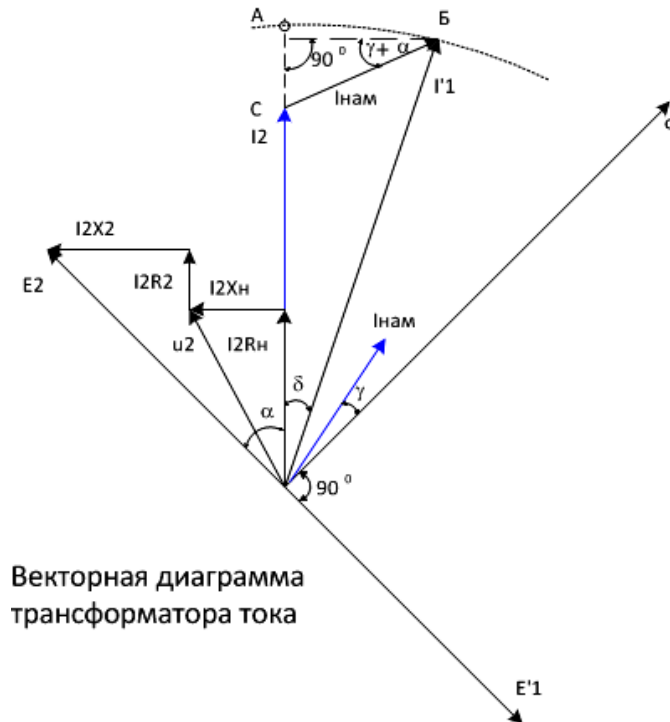


Рисунок 10.5 – Векторна діаграма трансформатора струму

Відрізок AC на векторній діаграмі називається похибкою за струмом і дорівнює арифметичній різниці $I'1 - I2$.

Кутовою похибкою є кут δ , який показує на скільки дійсний струм зсунутий по фазі від розрахункового струму.

Відносна струмова похибка трансформатора струму.

Відносна струмова похибка від'ємна, якщо вторинний струм менший первинного, виражається у відсотках і визначається за формулою:

$$\Delta I = f = \frac{I_2 - I'_1}{I'_1} \cdot 100\% \quad (10.9)$$

Кутова похибка трансформатора струму.

Являє собою кут між первинним і вторинним струмами.

$$\delta_{рад} = I'_{нам} \cdot \cos(\alpha + \gamma) \quad (10.10)$$

Повна похибка трансформатора струму.

Повною похибкою трансформатора струму є абсолютне значення вектора струму намагнічування, що дорівнює геометричній різниці первинного і вторинного струмів на векторній діаграмі.

$$\Delta I = I'_{нам} \cdot \sin(\alpha + \gamma) \quad (10.11)$$

Відносна похибка трансформатора струму.

$$\varepsilon = \frac{|\dot{I}_2 - \dot{I}'_1|}{I'_1} \cdot 100\% \quad (10.12)$$

Відносна повна похибка в загальному випадку і для несинусоїдального струму

$$\varepsilon = \frac{I'_{\text{нам}}}{I'_1} \cdot 100\% = \frac{100}{I'_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_2 - \frac{i'_1}{n})^2 dt} \quad (10.13)$$

10.3 Конструкції і принцип дії трансформатора напруги

Схема заміщення ТН наведена на рис.10.6, а векторна діаграма - на рис.10.7.

Всі величини приведені до первинної обмотки. Магнітний потік Φ створює вторинну ЕРС E_2' , що відстає від нього на 90° . Під дією цієї ЕРС у вторинному колі виникають напруга U_2' і струм I_2' , що проходить по опору навантаження R_2' ; X_2' , і створює падіння напруги на опорах вторинної обмотки r_2' ; x_2' трансформатора напруги. При обраних позитивних напрямках струм I_2' відстає від ЕРС E_2' .

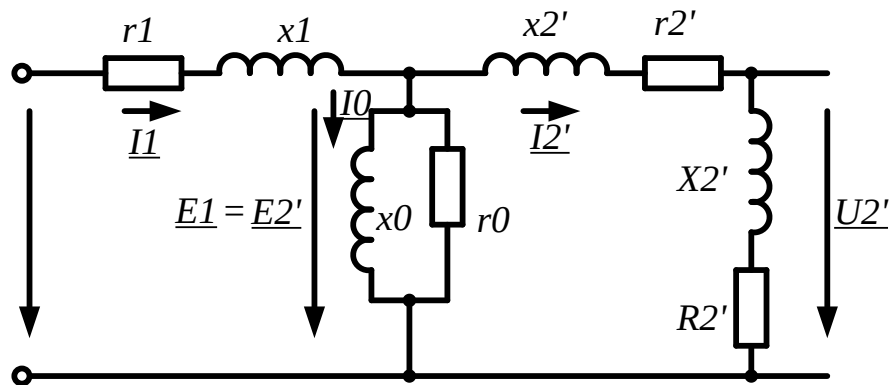


Рисунок 10.6 - Схема заміщення трансформатора напруги

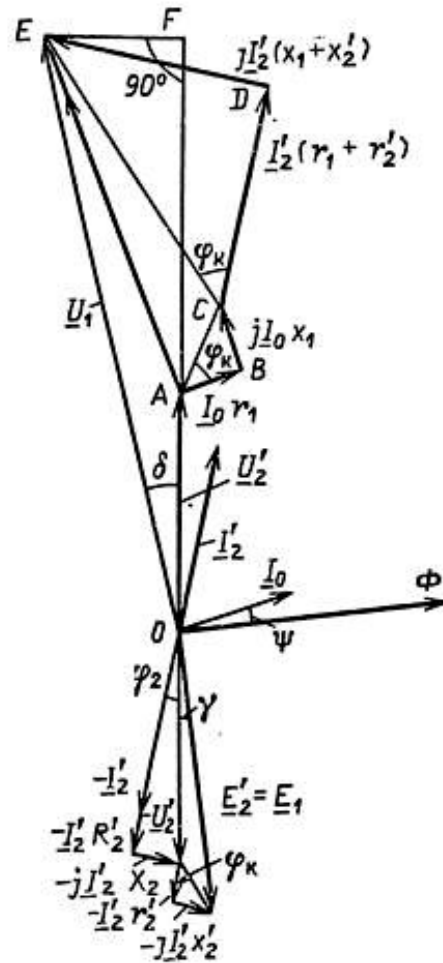


Рисунок 10.7 - Векторна діаграма трансформатора напруги

Намагнічувальний струм I_2 (струм холостого ходу) на кут втрат ψ випереджає магнітний потік Φ . У первинній обмотці трансформатора напруги створюється падіння напруги.

$$I_1(r_1 + jX_1)$$

але оскільки

$$I_0 \omega_1 = I_3 \omega_2 - I_2 \omega_2; I_0 = I_1 - I_2;$$

то

$$I_1(r_1 + jx_1) = I_0(r_1 + jx_1) + I_2'(r_1 + jx_1)$$

Згідно із рис. 10.6 можна записати:

$$U_3 = I_1(r_1 + jx_1) + I_2'(r_2' + jx_2') + U_2';$$

і рівняння електричної рівноваги виходить наступним:

$$U_1 = I_0(r_1 + jx_1) + I_2'j(r_1 + r_2') + r_2j(x_1 + x_2') + U_2'$$

Катети трикутника ABC пропорційні падінню напруги від струму холостого ходу I_3 , катети трикутника CDE - падінню напруги від струму навантаження I_2' .

При відсутності похибки $U'_2 = U_2 \frac{\omega_3}{\omega_2} = U_1$ або $U_1/U_2 = \omega_1/\omega_2$; і точки А і Е повинні співпасти.

Похибка ТН за напругою визначається за формулою:

$$\Delta U\% = \frac{K_{\text{ном}} U_2 - U_1}{U_1} 100\% = -\frac{U_1 - K_{\text{ном}} U_2}{U_1} 100\% = -\frac{U_1 - U'_2}{U_1} 100\%$$

Оскільки кут між U_1 і U'_2 малий, то замість арифметичної різниці модулів цих векторів можна взяти проекцію вектора АЕ на вісь. Таким чином, похибка визначається відрізком АЕ.

Вище наведене рівняння показує, що похибка складається з двох частин. Перша визначається струмом холостого ходу, друга - струмом навантаження. Для того щоб зменшити похибку за напругою, знижують активний і реактивний опори обмоток. Зменшення активного опору досягається малою густиною струмів в обмотках (близько 0,3 А/мм²), що полегшує тепловий режим ТН.

На похибку трансформатора напруги впливає коефіцієнт потужності навантаження $\cos\varphi_2$, зі зменшенням якого похибка зростає.

Похибку за напругою можна компенсувати шляхом зменшення числа витків первинної обмотки. При цьому коефіцієнт трансформації стає меншим номінального, вторинна напруга зростає, вводиться позитивна похибка, яка компенсує негативну. Зазвичай вводиться таке коригування, що при холостому ході трансформатор має максимально допустиму для даного класу точності позитивну похибку.

На кутову похибку виткове коригування не впливає.

У трифазних ТН кутову похибку можна компенсувати за допомогою спеціальних компенсуючих обмоток. При активному навантаженні вноситься позитивне коригування. При індуктивному навантаженні застосовується схема з'єднання, що створює негативне коригування.

Номінальна напруга первинної обмотки ТН $U_{\text{ном}}$ має відповідати номінальній напрузі мережі, в яку він вмикається. Якщо ТН вмикається між фазою і землею - то номінальній фазній напрузі. Номінальна вторинна напруга ТН має відповідати номінальній напрузі навантаження. Навантаження повинно бути рівномірно розподілене по фазах ТН. Сумарне навантаження на фазу ТН повинно бути менше допустимого значення при заданому класі точності і коефіцієнті потужності.

Переріз провідників, що з'єднують ТН із навантаженням, має бути таким, щоб падіння напруги на них становило частки відсотка номінальної вторинної напруги.

10.4 Конструкції трансформаторів струму низької напруги

Трансформатор струму – це вимірювальний трансформатор, у якому вторинний струм при нормальних умовах застосування є приблизно пропорційним первинному струму та відрізняється за фазою від нього на кут, який за умови правильного приєднання приблизно дорівнює нулю. Трансформатори струму застосовуються переважно у розподільних пристроях низької, середньої та високої напруги й призначені для передачі інформаційних сигналів вимірювальним пристроям, лічильникам, а також пристроям захисту й керування, тому вони зазвичай мають декілька вторинних обмоток. Первинні обмотки трансформаторів струму включаються у розсічку лінійних провідників. Деякі конструкції цих трансформаторів дозволяють встановлювати їх, не розриваючи лінійні кола.

В найбільш поширеному виконанні трансформатор струму представляє собою одношарову обмотку на тороїдному магнітопроводі, звитому з тонкої стрічки, виготовленої з високоякісної електротехнічної сталі.

Обмотка на тороїдному магнітопроводі є вторинною обмоткою, а первинною обмоткою може бути шина, пропущена крізь отвір тороїда, або декілька витків, намотаних на тороїді. Якщо через первинну обмотку пропустити змінний струм I_1 , то він створить змінний магнітний потік у магнітопроводі, який наведе ЕРС у вторинній обмотці. Підключення вторинної обмотки до амперметра призведе до її закорочування, оскільки внутрішній опір амперметра близький до нуля. Основними кількісними характеристиками трансформатора струму є номінативний первинний, номінативний вторинний струм, клас точності, а також номінативна напруга.

Номінальний первинний струм I_{1n} слід розглядати як робоче значення тривалого струму у первинній обмотці, а номінативний вторинний струм I_{2n} відповідає значенню струму у вторинному колі при струмі I_{1n} у первинному колі. Струм I_{2n} може тривало текти у вторинному колі.

Клас точності – це узагальнена характеристика трансформатора струму, яка визначає встановлені стандартом межі струмової та кутової похибок при визначених умовах роботи трансформатора. Клас точності позначається числом, яке дорівнює граничній струмовій похибці (у процентах) при струмі I_{1n} у первинному колі.

Номінальна напруга трансформатора струму повинна відповідати номінальній напрузі мережі, до якої приєднується первинна обмотка. Цей параметр характеризує ізоляцію в трансформаторі між первинною та вторинною обмотками.

Хоча принцип дії трансформаторів струму не залежить від напруги мереж, де вони застосовуються, але напруга мережі суттєво впливає на вимоги щодо ізоляції обмоток, а відтак й на їх конструкцію. На рис.10.8 зображені деякі конструкції трансформаторів струму для мереж низької напруги. Як бачимо, більшість конструкцій цих трансформаторів не передбачає наявності первинних обмоток, роль яких виконують шини й кабелі.

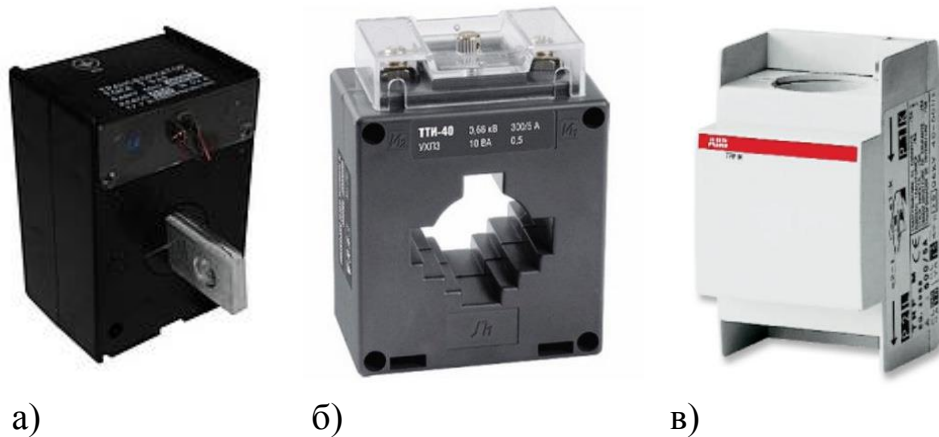


Рисунок 10.8 – Трансформатори струму: Т-0,66 (а), ТТН (б), TRF М (в)

10.5 Конструкції трансформаторів струму високої напруги

Розрізняють одно - і багатовиткові трансформатори струму. У одновиткового ТС первинна обмотка може бути виконана у вигляді стрижня, шини або пакету шин. Прикладом такого виконання є трансформатор типу ТПОЛ-10 з номінальною напругою 10 кВ (рис.10.9), який використовується, як прохідний ізолятор при переході лінії з одного приміщення в інше.

Первинна обмотка-стрижень 4, магнітопроводи 1, кріпильне кільце 3 встановлюються в спеціальну форму і заливаються рідкою сумішшю епоксидної смоли, пилоподібного кварцового піску і затверджувача. Після затвердіння і полімеризації ця суміш набуває високі електричні і механічні властивості.

Магнітопроводи трансформатора виконуються у вигляді двох тороїдальних сердечників 1, навитих стрічкою з текстурованої електротехнічної сталі, наприклад марки 3413. Якщо вторинна обмотка 2 рівномірно розподілена на тороїдальному магнітопроводі, то її індуктивний опір X_2 у схемі заміщення дорівнює нулю, що дозволяє знизити похибку вимірювання ТС. Конструкція допускає установку декількох ТС з різними параметрами на одній стрижневій первинній обмотці.

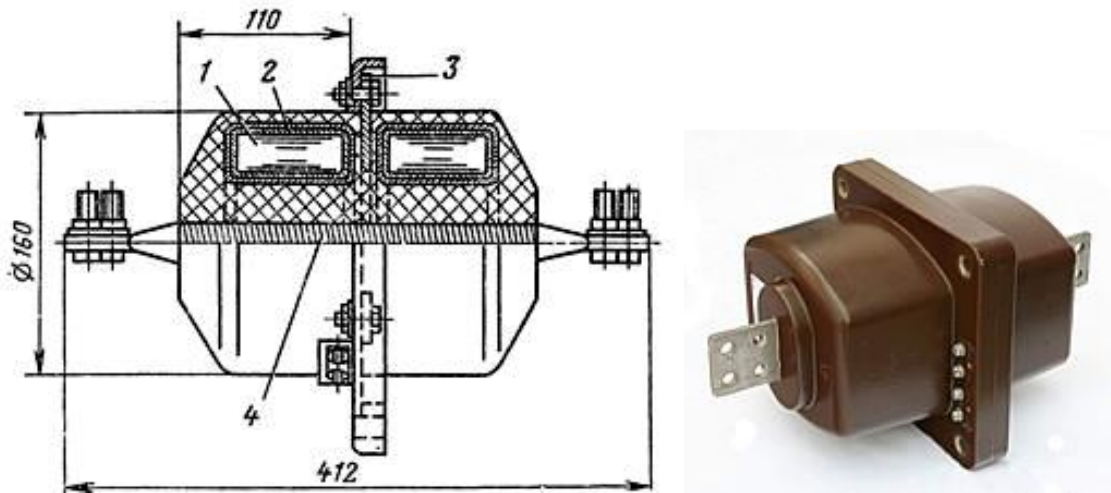


Рисунок 10.9 - Одновитковий трансформатор струму типу ТПОЛ-10

Одновиткові ТС можуть бути вбудованими. В цьому випадку використовуються струмовідний стрижень і ізолятор іншого апарату або обладнання (вимикача, силового ізолятора, прохідного ізолятора та ін.).

Застосування вбудованих ТС дає значний економічний ефект. На прохідному ізоляторі вбудованих ТС, як правило, встановлюється декілька ТС, вторинні обмотки яких можна з'єднувати послідовно або паралельно. При послідовному з'єднанні вторинних обмоток коефіцієнт трансформації не змінюється, оскільки подвоюється число первинних і вторинних витків.

Вторинний струм зберігається незмінним, а вторинна електрорушійна сила (ЕРС) подвоюється, що дозволяє збільшити в 2 рази вторинну потужність трансформатора струму. Для вбудованих ТС це дуже важливо, тому що вони віддалені від реле і вимірювальних приладів, а тому опір з'єднувальних проводів виходить більшим. При паралельному з'єднанні вторинних обмоток коефіцієнт трансформації зменшується, оскільки первинні обмотки вмикаються послідовно. При цьому вторинний струм двох ТС збільшується. Це дає можливість отримати вторинний струм, що наближається до стандартного значення 5 А, наприклад при первинному струмі $I_{1ном} = 200$ А.

Вторинні обмотки мають відводи, які дозволяють в невеликому діапазоні регулювати коефіцієнт трансформації.

При малих первинних струмах (нижче 400 А) для отримання високого класу точності застосовуються багатовиткові ТС. При будь-якому значенні первинного струму необхідна для даного класу точності первинна магніторушійна сила (МРС) F_1 виходить за рахунок збільшення числа витків первинної обмотки ω_1 . На рис 21.2 показаний багатовитковий трансформатор струму на напругу 10 кВ.

На прямокутному шихтованому магнітопроводі 1 розташована вторинна обмотка 2. Первинна обмотка 3 виконується з мідної шини. Первинна обмотка виведена на контакти 5, вторинна - на контакти 6. Всі деталі ТС залиті епоксидним компаундом 4.

При короткому замиканні на витки первинної обмотки діють розривні електродинамічні зусилля, що знижує стійкість ТС. Окрім того, на первинній обмотці через її відносно велику індуктивність може з'явитися значне падіння напруги. Це є недоліком даної конструкції ТС.

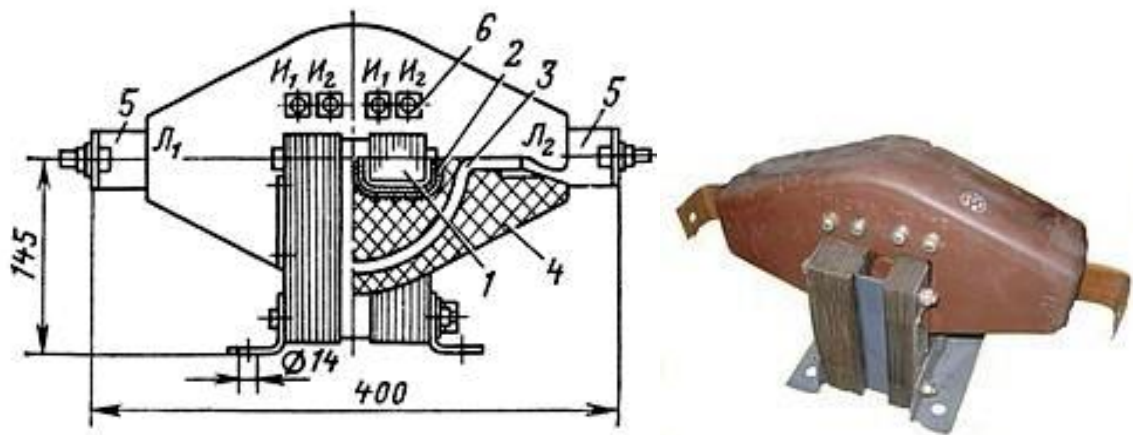


Рисунок 10.10 - Багатовитковий трансформатор струму ТПЛ-10

При напрузі 35 кВ і вище для відкритих установок застосовуються ТС з масляною ізоляцією. Найбільш поширені ТС так званого ланкового типу (рис. 10.11). Три тороїдальних магнітопроводи 1 із вторинними обмотками 2 охоплені первинною обмоткою 4, виконуваною м'яким багатожильним проводом, яка зазвичай має кілька паралельних віток (на рис. 10.11 дві вітки).

При переході з паралельного з'єднання на послідовне первинний номінальний струм трансформатора зменшується в 2 рази.

Первинна і вторинна обмотки ізолюються кабельним папером 5 товщиною 0,12 мм. Після накладення ізоляції магнітопровід з обмотками кріпиться до основи ТС за допомогою лап 3.

До цієї ж основи кріпиться фарфоровий кожух, який захищає обмотки від впливу навколишнього середовища. Внутрішня порожнина ТС після вакуумного сушіння заповнюється трансформаторним маслом. Масло просочує кабельний папір і заповнює всі порожнечі. Такі ТС виконуються на напругу до 220 кВ. Загальний вигляд ТС типу ТФЗМ-35 на напругу 35 кВ представлений на рис. 10.12.

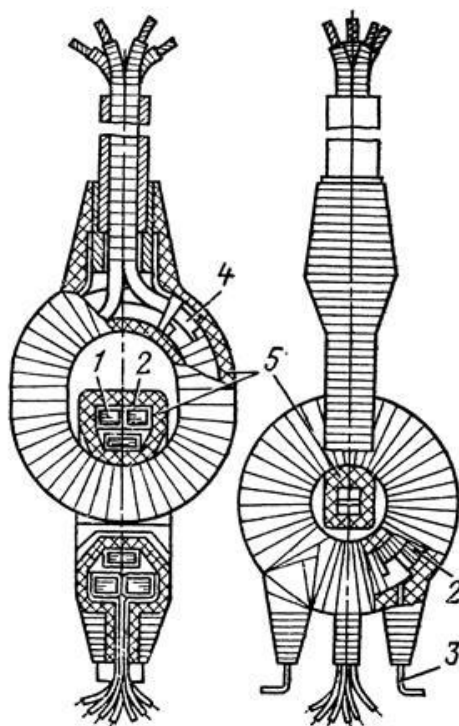


Рисунок 10.11 - Трансформатор струму ланкового типу

При напрузі понад 220 кВ застосовують каскадні ТС. На рис.10.13, б показаний двоступеневий каскадний ТС на напругу 500 кВ. Схема увімкнення його обмоток показана на рис.10.13, а.

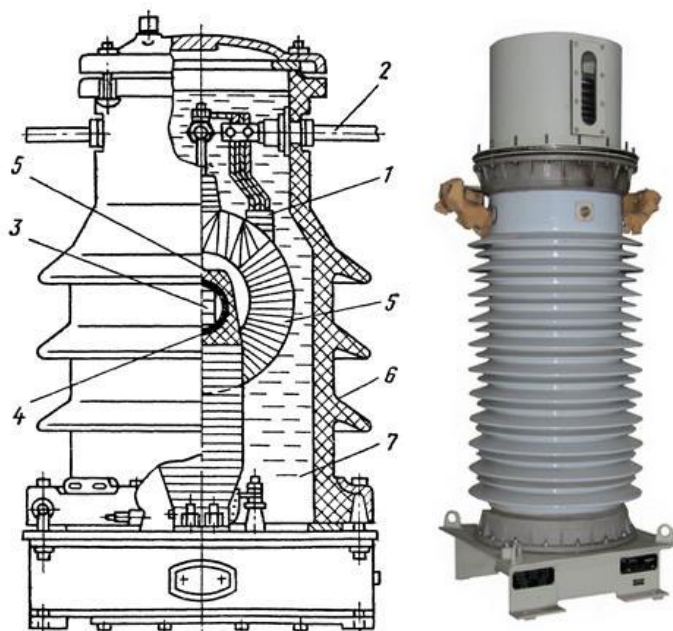


Рисунок 10.12 - Трансформатор струму типу ТФЗМ – 35: 1 - вивід віток первинної обмотки; 2 - вивід первинної обмотки; 3 - магнітопровід; 4 -

вторинна обмотка; 5 - ізоляція з кабельного паперу; 6 - порцелянова покривка; 7 - трансформаторне масло.

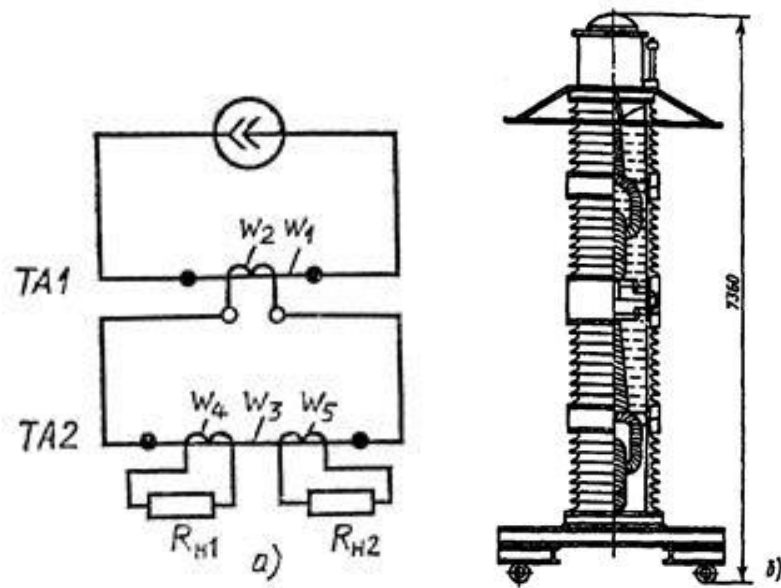


Рисунок 10.13 - Двоступеневий каскадний трансформатор струму: а - принципова схема; б - загальна компоновка;

- w_1 - первинна обмотка верхнього ступеню;
- w_2 - вторинна обмотка верхнього ступеню;
- w_3 - первинна обмотка нижнього ступеню;
- w_4, w_5 - вторинні обмотки нижнього ступеню;
- R_n - навантаження трансформатора струму.

Кожна ступінь являє собою трансформатор струму на напругу $250/\sqrt{3}$ кВ аналогічний показаному на рис.10.11. Вторинна обмотка першого ступеню живить первинну обмотку другого ступеню. При перевезенні кожен ступінь, залитий маслом, доставляється до місця встановлення окремо. Вартість двоступеневого трансформатора приблизно в 2 рази менша, ніж одноступеневого. Недоліком каскадного ТС є збільшення похибки через збільшення опору обмоток.

Будова трансформатора струму. Трансформатор струму напругою 35-110 кВ (рис.10.14) - це вимірювальний трансформатор, що складається з:

- первинної обмотки (з двох або чотирьох однакових секцій, що з'єднуються внутрішніми перемичками);
- вторинної обмотки;
- замкнутого магнітопроводу;
- фарфорового корпусу;
- верхньої циліндричної частини (маслорозширника);
- металевого зварного цоколя (несуча опорна конструкція, на якій передбачений майданчик і гвинт заземлення);
- коробки вторинних виводів;

- маслоказівника;
- повітроосушника.

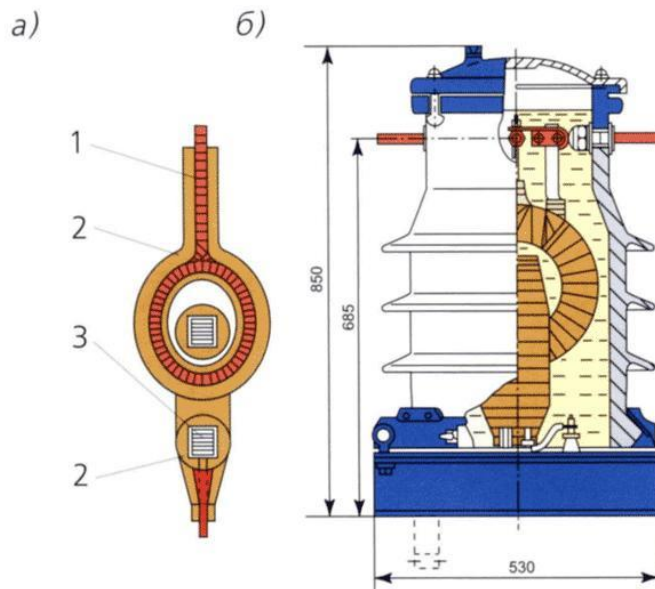


Рисунок 10.14 - Трансформатор струму напругою ТФЗМ-35: а-магнітопровід з обмотками і б - зовнішній вигляд; 1 - первинна обмотка; 2 - ізоляція; 3 – вторинна обмотка

Обмотки трансформатора струму і магнітопровід розміщені в фарфоровому корпусі (ізоляторі), який заповнений трансформаторним маслом. Рівень масла в трансформаторі струму контролюється за рівнем масла в маслопоказнику, що знаходиться у верхній частині корпусу.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Поясніть призначення та принцип дії вимірювальних трансформаторів струму.
2. Назвіть основні складові конструкції трансформатора струму.
3. Яким є номінальний вторинний струм трансформаторів струму?
4. Які похибки має трансформатор струму?
5. Вкажіть причини похибок трансформаторів струму.
6. В якому режимі працює трансформатор струму?
7. З якою метою заземляють вторинну обмотку трансформатора струму?
8. Які наслідки перевантаження трансформатора струму?
9. Чим небезпечний розрив кола вторинної обмотки трансформатора струму?

10. Поясніть призначення та принцип дії вимірювальних трансформаторів напруги.
11. Назвіть основні складові конструкції трансформатора напруги.
12. Якою є номінальна вторинна напруга трансформатора напруги?
13. Які похибки має трансформатор напруги?
14. Вкажіть причини похибок трансформаторів напруги.
15. В якому режимі працює трансформатор напруги?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

11 РОЗРЯДНИКИ І ОБМЕЖУВАЧІ НАПРУГИ

11.1 Загальні положення

11.2 Трубчасті розрядники

11.3 Вентильні розрядники

11.4 Обмежувачі перенапруг

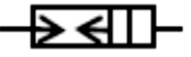
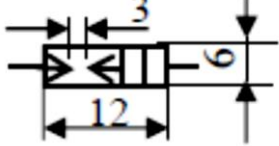
Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Розрядник	Пристрій з двома або декількома електродами, між якими за певних умов ініціюється електричний розряд	<i>spark-gap</i>
Варистор	Резистор, опір якого суттєво залежить від прикладеної напруги	<i>varistor</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	Розрядник трубчастий
	Розрядник вентильний
	

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с. Чинний від 01.01.1996

2. ДСТУ EN 60099-4:2016 (EN 60099-4:2014, IDT). Розрядники. Частина 4. Металоксидні розрядники без іскрових проміжків для захисту від перенапруг систем змінного струму

3. ДСТУ ІЕС 60099-6:2016 (ІЕС 60099-6:2002, IDT). Розрядники. Частина 6. Розрядники для захисту від перенапруг, що містять послідовні і паралельні конструкції іскрових проміжків. Номінальна напруга 52 кВ і менше

11.1 Загальні положення

При комутаціях, а також внаслідок атмосферних розрядів в електротехнічних установках можуть виникати імпульси напруги (перенапруги), які в кілька разів перевищують номінальні, при цьому не повинна пошкоджуватися електрична ізоляція обладнання. Для обмеження виникаючих перенапруг використовують розрядники.

Розрядник - це електричний апарат, іскровий проміжок якого пробивається при певному значенні напруги, обмежуючи тим самим перенапруги в установках. Він складається з електродів з розрядним проміжком між ними і дугогасного пристрою.

Міцність електричної ізоляції апаратів і обладнання може буде знижена, якщо обмежити величину виникаючих перенапруг.

Одною з радикальних мір, яка дозволяє знизити перенапругу, є встановлення розрядника, який приєднується між потенційним виводом обладнання і землею.

Основним елементом розрядника є іскровий проміжок. При появі перенапруги проміжок повинен пробитися раніше ніж ізоляція обладнання.

До розрядників висуваються наступні основні вимоги:

- 1) вольт – секундна характеристика розрядника повинна бути нижча за характеристику захисного об'єкту і повинна бути пологою;
- 2) іскровий проміжок розрядника має мати визначену гарантовану електричну міцність при частоті 50 Гц і при імпульсах. Вентильний розрядник, призначений для захисту від атмосферних перенапруг не повинен спрацьовувати при внутрішніх перенапругах;
- 3) відстаюча напруга на розряднику, яка характеризує його обмежувальну здатність, не повинна перевищувати величин, небезпечних для ізоляції обладнання;
- 4) супроводжуючий струм повинен відмикатися за короткий час;
- 5) розрядник повинен спрацьовувати багато разів без догляду і ремонту.

11.2 Трубчасті розрядники

Трубчастий розрядник показаний на рис.11.1. В електро-ізоляційній трубці 3, виготовленій з газогенеруючого матеріалу (вініпласт, фібробакеліт), розташований електрод 4, закріплений в хвостовику 1 наконечника 2. Другим електродом є шайба 6, закріплена в наконечнику 7. Останній кріпиться за допомогою болтів 5 до заземлення.

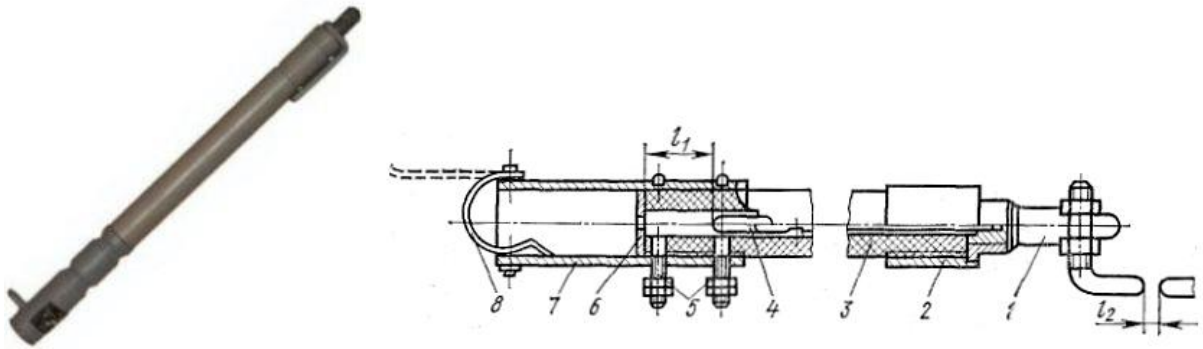


Рисунок 11.1 - Трубчастий розрядник

Розрядник має два іскрових проміжки: 1 (внутрішній) і 2 (зовнішній). Зовнішній проміжок призначений для захисту розрядника при нормальній роботі. При виникненні перенапруг пробиваються обидва проміжки. Дуга, що виникає в трубці, викликає інтенсивне газогенерування з її стінок. Гази спрямовуються через вихідний отвір в шайбі 6 і відкритий наконечник, утворюючи інтенсивне дуття, яке гасить дугу при проходженні струму через нуль. Вимкнення розрядника супроводжується викидом полум'я і газів. При спрацюванні розрядника кінець стрічкового показника 8 викидається газовим дуттям, вказуючи на те, що розрядник спрацював.

11.3 Вентильні розрядники

Вентильний розрядник має блоки іскрового проміжку 5 і послідовно з'єднані з ними робочі опори 7 (рис.11.2, а). Блок іскрового проміжку (рис.11.2, б), що складається з дисків електродів 12, які розділені міканітовими кільцями 10, поміщений в фарфоровий корпус 11 і по обидва боки скріплений металевими шайбами 9. Диски, виготовлені з віліту (зерен карборунда, зв'язаних рідким склом), є робочими опорами. Опір віліту нелінійний і залежить від струму, що проходить по ньому: при збільшенні струму він зменшується, а при зменшенні струму - збільшується. Вентильні розрядники збирають в фарфоровому корпусі 4 (рис.11.2,а).

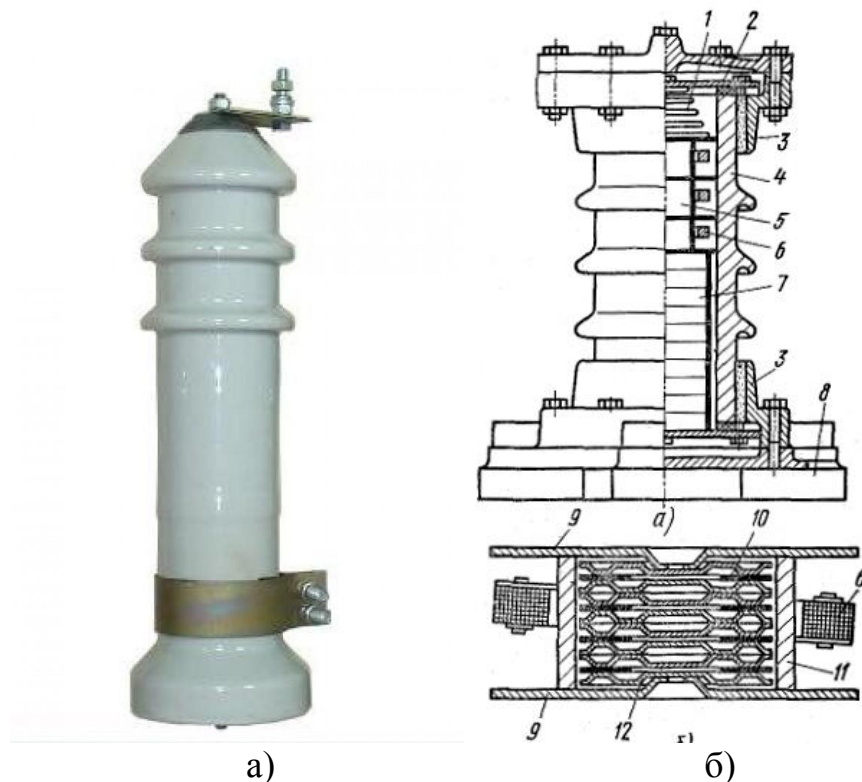


Рисунок 11.2 - Вентильний розрядник (а) і його блок іскрового проміжку (б)

Щоб уникнути проникнення вологи і можливої зміни характеристики віліту корпус з торців герметично закритий фланцями 3 і ущільнювачами 2. Один з фланців заземлений (з'єднаний з основою 8), а до іншого (кришки) приєднують провід, що йде до захищуваного кола. Контактне натискання між елементами розрядника здійснюється пружиною 1. Для вирівнювання напруги між блоками іскрового проміжку встановлюють нелінійний опір 6, виготовлений з кераміки.

Розрядники працюють таким чином. При виникненні перенапруги в захищуваному колі повітря в іскровому проміжку розрядника іонізується і розряд струму через робочий опір проходить на землю. Після проходження імпульсного струму в розряднику починає протікати супроводжуючий струм промислової частоти, що обмежується робочим опором до значення, при якому дуга гасне під час першого проходження струму через нуль.

11.4 Обмежувачі перенапруг

Обмежувачі перенапруг ОПН, ОПНп (рис.11.3) призначені для захисту від перенапруг електрообладнання розподільних електричних мереж змінного струму частотою 50 Гц з ізолюваною або компенсованою

нейтраллю класів напруги до 35 кВ включно відповідно до їх вольтамперних характеристик і пропускної спроможності.



Рисунок 11.4 – Обмежувачі перенапруг

Обмежувачі перенапруг ОПН, ОПНп застосовуються в розподільних пристроях на висоті не більше 1000 м в зонах з помірним і холодним кліматом і промисловою атмосферою (кліматичне виконання УХЛ1, тип атмосфери II за ГОСТ 15150) при середньому забрудненні зовнішньої ізоляції (ступінь забруднення III по ГОСТ 9920).

Обмежувачі перенапруг ОПН, ОПНп в частині впливу кліматичних факторів задовольняють вимогам ГОСТ 15150 ГОСТ 15543.1. Відповідно до обраної категорії розміщення допускається встановлення обмежувачів ОПН, ОПНп на відкритому повітрі або в закритих (в т.ч. неопалюваних приміщеннях).

Робоче положення обмежувачів перенапруги ОПН, ОПНп вертикальне. Допускається відхилення від вертикалі обмежувачів ОПН, ОПНп опорного виконання не більше 15°.

Обмежувачі перенапруг ОПНп (ОПН) призначені для роботи в мережах:

- загального призначення, що працюють в режимі ефективного заземлення нейтралі;
- розподільних, що працюють в режимі з ізолюваною, компенсованою і резистивно заземленою нейтраллю;
- генераторної напруги;
- власних потреб електростанцій;

- розподільних пристроях промислових підприємств, що мають специфіку виробництва.

Конструкційно обмежувач перенапруги ОПНп (ОПН) являє собою нелінійний опір (варистор), поміщений у міцний герметизований корпус. При виникненні хвиль перенапруги опір варисторів змінюється на кілька порядків (від мегаом до десятків Ом) з відповідним зростанням струму від міліампер при впливі робочої напруги до тисяч ампер при впливі хвилі перенапруги. Цим пояснюється захисна дія обмежувача перенапруги, а нелінійна вольтамперна характеристика варисторів дозволяє реалізувати низький захисний рівень для всіх видів перенапруг і відмовитися від використання іскрових проміжків, характерних для традиційних розрядників, з усіма витікаючими звідси перевагами.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Що являє собою розрядник і яке його призначення?
2. Назвіть види застосовуваних в електроустановках розрядників.
3. Які вимоги висуваються до розрядників?
4. Як побудований трубчастий розрядник?
5. Для чого у трубчастих розрядниках застосовують зовнішній іскровий проміжок?
6. Що являє собою вентильний розрядник і як він працює?
7. Що являє собою обмежувач перенапруг і як він працює?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

Змістовий модуль 3
Електронні апарати
керування і захисту



1 НАПІВПРОВІДНИКОВІ КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ

1.1 Загальні відомості

1.2 Тиристорні пускачі

1.3 Транзисторні комутаційні апарати

1.4 Гібридні комутаційні апарати

1.5 Твердотільні реле

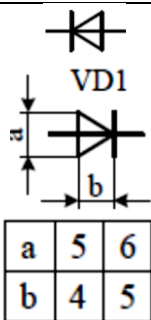
Терміни та визначення понять

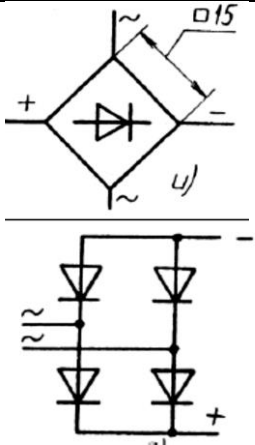
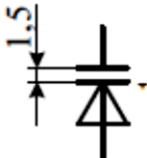
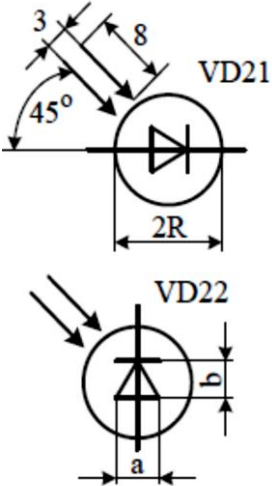
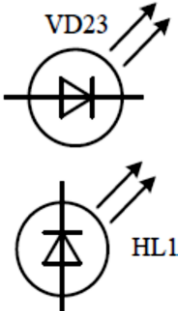
Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Тиристорний автоматичний вимикач	Безконтактний вимикач, призначений для частих комутацій струму, побудований на основі тиристорів	<i>thyristor circuit breaker</i>
Транзисторний комутаційний апарат	Безконтактний апарат, призначений для комутації, обмеження струму та захисту від короткого замикання, побудований на основі транзисторів	<i>transistor switching device</i>

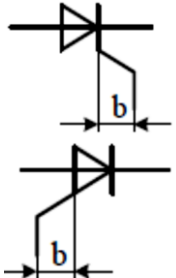
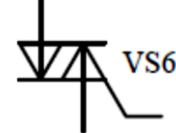
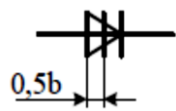
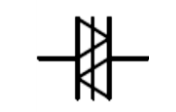
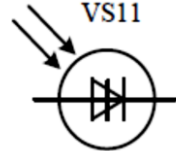
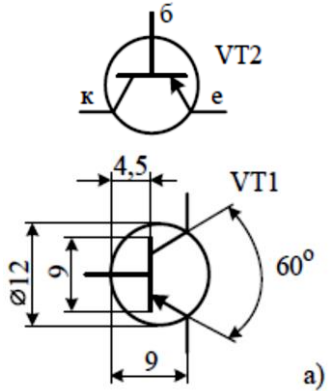
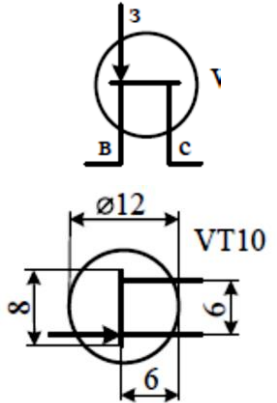
Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

	VD	Діод випрямний

	UZ	Діодний міст								
	VD	Стабілітрон								
		Двосторонній стабілітрон								
		Варикап								
 <table border="1" data-bbox="316 1485 466 1635"> <tbody> <tr> <td>a</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr> <td>b</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr> <td>R</td><td>5</td><td>6</td></tr> </tbody> </table>		a	5	6	b	4	5	R	5	6
a	5	6								
b	4	5								
R	5	6								
		Світлодіод								

	VS	Тиристор: з керуванням по катоду і з керуванням по аноду
		Симістор
		Диністор
		Симетричний диністор
		Фототиристор
	VT	Біполярний транзистор типу р-п-р
		Біполярний транзистор типу n-p-n
		Польовий транзистор з каналом n -типу

		Польовий транзистор з каналом p-типу
		Польовий транзистор з ізольованим затвором без виводу від підложки, збідненого типу з p-каналом і n-каналом
		Польовий транзистор з ізольованим затвором з виводом від підложки, збагаченого типу з p-каналом і n-каналом
		Фототранзистор
	<i>U</i>	Резисторний оптрон
		Діодний оптрон
		Тиристорний оптрон
		Транзисторний оптрон з виводом від бази і без виводу від бази

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с. Чинний від 01.01.1996
2. ДСТУ EN 60947-4-2:2014. Перемикач і контролер низьковольтні. Частина 4-2. Контактори і стартери для двигуна. Контролери змінного струму для двигуна і стартери напівпровідникові (EN 60947-4-2:2012, IDT)

1.1 Загальні відомості

Класифікація напівпровідникових апаратів і вимоги, що висуваються до них.

На основі силових напівпровідникових приладів можуть бути виконані комутаційні і захисні апарати постійного і змінного струму низької і високої напруги в широкому діапазоні зміни номінальних струмів і напруг. Тому в найзагальнішому вигляді їх можна класифікувати за тими ж ознаками, що і електромеханічні апарати: за призначенням, родом струму, номінальною напругою, конструкційними особливостями та ін.

Можна розділити напівпровідникові апарати на види за принципом дії.

Апарати з природною комутацією. Ці апарати призначені для роботи в мережах змінного струму. Вимкнення їх здійснюється за рахунок зміни полярності напруги джерела живлення, в результаті чого до тиристорів прикладається зворотна напруга, і вони вимикаються. При природній комутації не потрібно будь-яких додаткових схемних або інших рішень, окрім необхідності блокувати надходження сигналів на входи тиристорів. Принцип природної комутації використовується у всіх напівпровідникових і комбінованих апаратах змінного струму: контакторах, пускачах, перемикачах, вимикачах навантаження і вимикачах при оперативному вимкненні номінальних струмів.

Апарати зі штучною комутацією. Процес вимкнення цих апаратів теж пов'язаний зі зміною знаку напруги на силовому напівпровідниковому приладі і підтриманням сигналу зворотного зсуву на час, достатній для їх вимкнення. Але в даному випадку це досягається допоміжними схемними засобами, за допомогою яких забезпечується зниження анодного струму у вентилі до нуля. До групи апаратів, де використовується штучна комутація, входять всі апарати постійного струму і захисні напівпровідникові апарати змінного струму.

Комбіновані (гібридні) апарати. Особливість комбінованих апаратів полягає в тому, що процес вимкнення їх протікає в два етапи. Протягом першого етапу за рахунок схемних засобів або впливу на електричну дугу здійснюється примусове переведення струму з контактного кола в паралельно з'єднане з нею напівпровідникове коло. На другому етапі відбувається переривання струму напівпровідниковою частиною апарату з використанням, як правило, принципу природної комутації. За аналогією з електромеханічними апаратами комбіновані апарати поділяються на синхронізовані і несинхронізовані залежності від режиму розмикання

контактного кола: в певному інтервалі часу перед переходом струму через нульове значення або в будь-який момент часу.

Апарати з фазовим регулюванням. До цієї групи належать апарати змінного струму з природною і штучною комутацією, що виконують додатково функцію регулювання вихідної потужності. Силкові частини апаратів з фазовим регулюванням і без регулювання не мають відмінностей. Режим регулювання забезпечується системою керування, за допомогою якої здійснюється затримка увімкнення тиристорів на заданий кут по відношенню до нуля струму.

Незважаючи на ряд принципових особливостей, напівпровідникові апарати (включаючи гібридні) є одним з видів електричних апаратів і тому повинні відповідати всім вимогам, які до них висуваються. Конкретні вимоги визначаються функціональним призначенням апаратів і умовами їх експлуатації. До найбільш важливих вимог відносяться наступні:

- забезпечення швидкодіючого захисту напівпровідникового приладу від перенапруг, струмів перевантаження і короткого замикання;
- обмеження до допустимих значень швидкості наростання прямої напруги на напівпровідниковому приладі;
- обмеження швидкості наростання струму при увімкненні напівпровідникового приладу;
- забезпечення оптимальних параметрів керуючих імпульсів;
- забезпечення оптимальних умов охолодження напівпровідникових приладів.

Виконання перерахованих вимог дозволяє реалізувати переваги напівпровідникових і комбінованих (гібридних) апаратів та забезпечити високий рівень надійності їх при загальному терміні служби понад 10 років.

Принципи створення напівпровідникових апаратів змінного струму.

У порівнянні з комутаційними апаратами постійного струму, напівпровідникові апарати змінного струму мають більш складну структуру. Принципова схема і конструкційне виконання їх визначаються призначенням, вимогами, що до них висуваються і умовами роботи. При тому широкому застосуванні, яке знаходять безконтактні апарати, існує велике різноманіття варіантів їх виконання. Проте, всі вони можуть бути представлені узагальненою функціональною схемою, яка показує необхідну кількість функціональних блоків і їх взаємодію.

Напівпровідниковий (безконтактний) апарат змінного струму в однополюсному виконанні (рис.1.1) містить чотири функціонально закінчених вузли.

Силовий блок 1 з елементами захисту від перенапруг (RC - коло на рис.1.1) є основою комутаційного апарату, його виконавчим органом. Він може бути виконаний як з використанням тільки керованих вентилів - тиристорів або ж із використанням діодів.

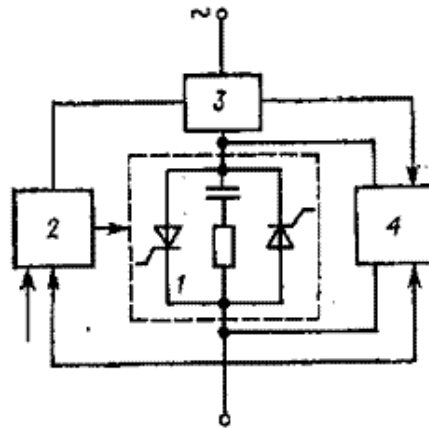


Рисунок 1.1 – Електрична функціональна схема тиристорного апарату змінного струму

Блок керування 2 містить пристрої, які здійснюють відбір і запам'ятовування команд, що надходять від органів керування або захисту, формують керуючі імпульси із заданими параметрами, синхронізують надходження цих імпульсів на відповідні входи тиристорів з моментами переходу струму в навантаженні через нуль.

Схема блоку керування значно ускладнюється, якщо апарат, окрім функції комутації кіл навантаження, повинен здійснювати регулювання напруги і струму. В цьому випадку вона доповнюється пристроєм фазового керування, що забезпечує зсув імпульсів керування на заданий кут по відношенню до струму.

Блок датчиків режиму роботи апарату 3 містить вимірювальні пристрої струму і напруги, реле захисту різного призначення, схему формування логічних команд і сигналізації стану апарату (увімкнений чи вимкнений).

Блок примусової комутації 4 об'єднує в собі конденсаторну батарею, схему її заряджання і комутуючі тиристори. В апаратах змінного струму цей блок міститься тільки за умови використання їх в якості захисту (автоматичних вимикачів).

Силова частина апарату може бути виконана за схемою зі зустрічно-паралельним увімкненням тиристорів (рис.1.1), на основі симетричного

тиристора (симістора) (рис.1.2, а) і в різних поєднаннях тиристорів і діодів (рис.1.2, б і в) . У кожному конкретному випадку при виборі варіанта схеми мають враховуватися наступні фактори: напруга і струм апарату, кількість використовуваних приладів, здатність навантаження в тривалому режимі і стійкість до перевантажень за струмом, ступінь складності керування тиристорами, вимоги до масогабаритних показників і, зрештою, вартість.

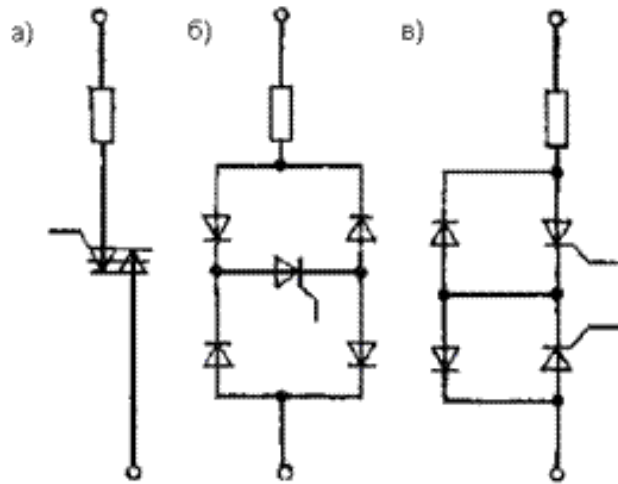


Рисунок 1.2 – Варіанти виконання силового блоку напівпровідникового(безконтактного) апарату

Порівняння наведених на рис.8.5 і 8.6 силових блоків показує, що найбільші переваги має схема з зустрічно-паралельно включеними тиристорами.

Така схема містить менше приладів, відрізняється меншими габаритами, масою, втратами енергії і вартістю.

У порівнянні з симісторами, тиристори з односторонньою (односпрямованою) провідністю мають більш високі параметри за струмом і напругою, здатні витримувати значно більші перевантаження за струмом.

Схеми, наведені на рис.1.2, б, в, показують можливість побудови комутуючих пристроїв змінного струму із застосуванням діодів. Обидві ці схеми відрізняються простотою керування, але мають недоліки, обумовлені тим, що навантаження в цьому випадку живиться за допомогою випрямного діодного моста, що перетворює напругу мережі в двонапівперіодну пульсуючу напругу однієї полярності. В результаті тільки один тиристор, увімкнений на виході випрямного моста (в його діагональ), стає здатним керувати струмом в навантаженні протягом обох напівперіодів, якщо на початку кожного напівперіоду на його вхід будуть надходити керуючі

імпульси. Вимкнення схеми відбувається при найближчому переході струму навантаження через нуль після припинення подачі керуючих імпульсів.

Слід мати на увазі, однак, що надійне вимикання схеми забезпечується лише при мінімальній індуктивності комутованого кола з боку випрямленого струму. В іншому випадку навіть при зниженні напруги в кінці напівперіоду до нуля, струм буде продовжувати протікати через тиристор, перешкоджаючи його вимкненню. небезпека аварійного режиму роботи схеми (невимкнення) з'являється також при підвищенні частоти струму живлення. У цьому випадку може виявитися, що схемного часу t_c недостатньо для відновлення тиристором керованості, тобто

$$t_c < t_q k_q \quad (1.1)$$

У схемі на рис.1.2, в керування навантаженням здійснюється двома зустрічно увімкненими тиристорами, кожен з яких шунтований в зворотному напрямку некерованим діодом. Оскільки при такому з'єднанні катоди тиристорів знаходяться під одним потенціалом, це дозволяє використовувати генератори керуючих імпульсів з одним виходом або з двома виходами із загальним заземленням. Принципові схеми таких генераторів значно спрощуються. Окрім того, тиристори в схемі на 1.2, в захищені від зворотної напруги і, таким чином, повинні вибиратися тільки за прямою напругою.

За технічними характеристиками, масогабаритними показниками і вартістю апарати, виконані за схемами, наведеними на 1.2, б, в поступаються комутуючим апаратам, схеми яких показані на рис.1.1 і 1.2, а. Проте, вони широко застосовуються в пристроях автоматики і релейного захисту, де потужність комутації вимірюється сотнями ват. Зокрема, вони можуть бути використані в якості вихідних пристроїв формувачів імпульсів для керування тиристорними блоками більш потужних пристроїв.

Принципи створення напівпровідникових апаратів постійного струму.

Перемикання тиристора в провідний стан здійснюється подачею на його вхід сигналу з певною тривалістю і амплітудою. Після зняття керуючого імпульсу тиристор залишається увімкненим (відкритим) необмежено довго, якщо струм в колі його аноду не знижується до величини, яка менша струму утримання $I_{уд}$.

Тому при використанні тиристорів в якості комутуючих елементів не тільки для замикання, але і для розмикання кіл постійного струму необхідно вдаватися до штучних заходів із забезпечення короткочасного переривання струму в анодному колі тиристорів або зменшення його до значень $I_a < I_{уд}$.

Практично це може бути реалізовано за допомогою доволі простих схем, наведених на рис.1.3. У схемі на рис.1.3, а вимкнення струму навантаження здійснюється розмиканням механічного контакту **S1**, увімкненого послідовно з тиристором **VS**. Після закінчення часу, достатнього для відновлення керованості тиристором, контакт **S1** може бути знову замкнутий. Електричне коло при цьому залишається розімкненим, оскільки тиристор знаходиться у вимкненому стані.

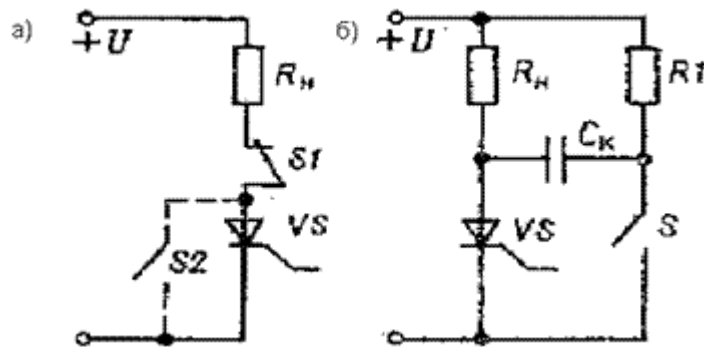


Рисунок 1.3 – Електричні принципові схеми тиристорних комутаторів постійного струму

Аналогічно схема працює і при короткочасному шунтуванні тиристора замикаючим контактом **S2**, під'єднання якого на рис.1.3, а показано пунктирними лініями. В обох випадках через механічні контакти протікає повний струм навантаження, і вони повинні бути на нього розраховані. Недоліком подібних схем є також те, що тиристори в них при поверненні контактів у вихідний стан зазнають прямої напруги з високими значеннями швидкості наростання du/dt .

Поліпшеним варіантом виконання комутаційного пристрою є схема, наведена на рис.1.3, б. У початковому стані тиристор **VS** закритий, напруга на навантаженні R_n і конденсаторі C_k відсутня. Схема починає працювати із надходженням керуючого сигналу, який необхідно подати на керуючий електрод тиристора. При цьому одночасно із струмом навантаження $I_{нав} = U/R_{нав}$ через тиристор протікає струм заряджання конденсатора C_k .

Конденсатор заряджається із вказаною на рисунку полярністю за час, що визначається постійною часу кола $T = R_1 \cdot C_k$.

Наступним замиканням контакту **S** заряджений практично до напруги джерела живлення конденсатор C_k підключається паралельно тиристорі і починає розряджатися. Причому струм розряджання протікає через тиристор

в напрямку, протилежному анодному струму. При перевищенні струмом i_c , анодного струму $I_{нав}$ створюються умови для вимкнення тиристора і знеструмлення навантаження. Такий спосіб вимкнення тиристора, званий примусовим (штучним) ємнісним, є кращим, тому що дозволяє зменшити час відновлення керованості тиристора і швидкість прикладання до нього напруги в прямому напрямку безпосередньо після комутації струму.

1.2 Тиристорні пускачі

Комутація струму в електричному колі електромагнітними пускачами, контакторами, реле, апаратами ручного керування (рубильниками, пакетними вимикачами, перемикачами, кнопками і т. д.) здійснюється зміною в широких межах електричного опору комутуючого органу. У контактних апаратах таким органом є міжконтактний проміжок, опір якого при замкнених контактах дуже малий, а при розімкнених може бути дуже високим. У режимі комутації електричного кола відбувається дуже швидка стрибкоподібна зміна опору міжконтактного проміжку від мінімальних до максимальних граничних значень (вимкнення), або навпаки (увімкнення).



Рисунок 1.4 - Безконтактний електричний апарат

Безконтактними електричними апаратами називають пристрої, призначені для увімкнення і вимкнення (комутації) електричних кіл без фізичного розриву самого кола. Основою для побудови безконтактних комутаційних апаратів служать різні елементи з нелінійним електричним опором, величина якого змінюється в досить широких межах, в теперішній час це - тиристори і транзистори, раніше використовувалися магнітні підсилювачі.

У порівнянні з контактними апаратами апарати з використанням безконтактної технології мають такі переваги:

- при комутації(вимкненні кола) не утворюється електрична дуга, що руйнує деталі апарату; час спрацьовування може досягати невеликих значень, тому вони допускають велику частоту спрацьовувань (сотні тисяч спрацьовувань на годину),

- безконтактні апарати не зношуються механічно.

У той же час, у безконтактних апаратів є і недоліки:

- вони не забезпечують гальванічну розв'язку в електричному колі і не створюють видимого розриву в ньому, що важливо з точки зору техніки безпеки;

- глибина комутації на кілька порядків менше, ніж у контактних апаратів;

- габарити, маса і вартість на зіставні технічні параметри вищі, ніж у контактних апаратів.

Безконтактні апарати, побудовані на напівпровідникових елементах, вельми чутливі до перенапруг і надструмів. Чим більший номінальний струм елемента, тим нижча зворотна напруга, яку здатен витримати цей елемент у непровідному стані. Для елементів, розрахованих на струми в сотні ампер, ця напруга вимірюється кількома сотнями вольт.

Можливості контактних апаратів в цьому відношенні необмежені: повітряний проміжок між контактами протяжністю 1 см здатен витримати напругу до 30 кВ. Напівпровідникові елементи допускають лише короточасне перевантаження струмом: протягом десятих часток секунди по них може протікати струм порядку десятикратного по відношенню до номінального. Контактні апарати здатні витримувати стократні перевантаження струмом протягом зазначених відрізків часу.

Падіння напруги на напівпровідниковому елементі в провідному стані при номінальному струмі приблизно в 50 разів більше, ніж в звичайних контактах. Це викликає великі теплові втрати в напівпровідниковому елементі в режимі тривалого струму і необхідність в спеціальних охолоджувальних пристроях.

Все це говорить про те, що питання про вибір контактного або безконтактного апарату визначається заданими умовами роботи. При невеликих комотованих струмах і невисоких напругах використання безконтактних апаратів може виявитися більш доцільним, ніж контактних.

Безконтактні апарати не можна замінити контактними в умовах великої частоти спрацьовувань і великої швидкодії.

Безумовно, безконтактні апарати навіть при великих струмах кращі, коли потрібно забезпечити підсилювальний режим керування електричним колом. Але в даний час контактні апарати мають певні переваги над безконтактними, якщо при відносно великих струмах і напругах потрібно забезпечувати комутаційний режим, тобто просте вимкнення і увімкнення кіл із струмом при невеликій частоті спрацьовувань апарату.

Істотним недоліком елементів електромагнітної апаратів, комутуючих електричні кола, є низька надійність контактів. Комутація великих значень струму пов'язана з виникненням електричної дуги між контактами в момент розмикання, яка викликає їх нагрівання, оплавлення і, як наслідок, вихід апарату з ладу.

В установках з частим увімкненням і вимкненням силових кіл ненадійна робота контактів комутуючих апаратів негативно позначається на роботоздатності і продуктивності всієї установки. Безконтактні електричні комутуючі апарати позбавлені зазначених недоліків.

Тиристорний однополюсний контактор.

Для увімкнення контактора і подавання напруги на навантаження повинні замкнутися контакти **K** в колі керування тиристорів **VS1** і **VS2**. Якщо в цей момент на затискачі **1** позитивний потенціал (позитивна напівхвиля синусоїди змінного струму), то на керуючий електрод тиристора **VS1** буде подано через резистор **R1** і діод **VD1** позитивна напруга. Тиристор **VS1** відкриється, і через навантаження **Rн** піде струм. При зміні полярності напруги мережі відкриється тиристор **VS2**, таким чином, навантаження буде підключене до мережі змінного струму. При вимкненні контактами **K** розмикаються кола керуючих електродів, тиристори закриваються і навантаження вимикається з мережі.

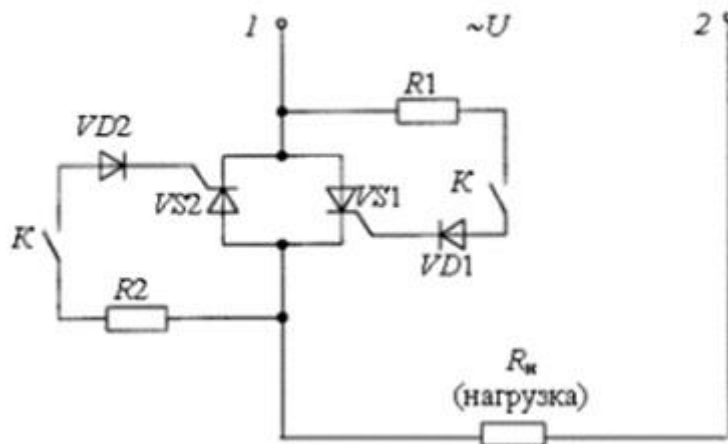


Рисунок 1.5 - Схема електрична принципова однополюсного тиристорного контактора

Безконтактні тиристорні пускачі.

Для увімкнення, вимкнення і реверсування в схемах керування асинхронними електродвигунами розроблені тиристорні триполюсні пускачі серії ПВ. Пускач триполюсного виконання в схемі має шість тиристорів **VS1,...,VS6**, включених по два тиристора на кожен полюс. Увімкнення пускача здійснюється за допомогою кнопок керування **SB1** «Пуск» і **SB2** «Стоп».

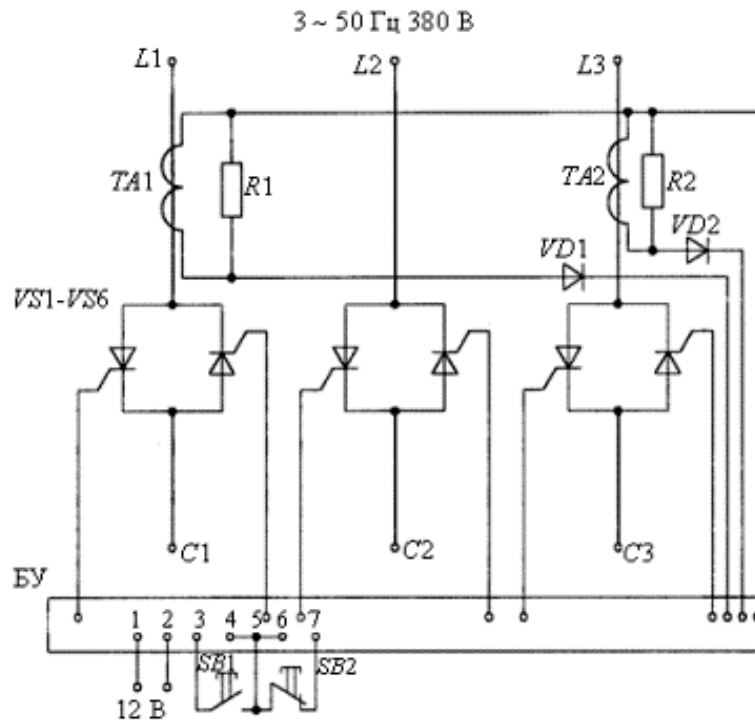


Рисунок 1.6 – Схема електрична принципова триполюсного тиристорного пускача серії ПТ

Схема тиристорного пускача передбачає захист електродвигуна від перевантаження, для цього в силову частину схеми встановлені трансформатори струму **ТА1** і **ТА2**, вторинні обмотки яких включені в блок керування тиристорами.

Тиристорні комутатори змінного струму

Для комутації силових кіл змінного струму використовуються переважно тиристири. Вони здатні пропускати великі струми при малому падінні напруги, вмикаються порівняно просто подачею на керуючий електрод малопотужного імпульсу керування. При цьому їх основний недолік - труднощі вимкнення - в колах змінного струму не грає ролі, так як

змінний струм обов'язково два рази за період проходить через нуль, що забезпечує автоматичне вимикання тиристора.

Схема однофазного тиристорного ключа змінного струму наведена на рис.1.7. Імпульси керування формуються з анодних напруг тиристорів.

Якщо на аноді тиристора Д1 **VS1** позитивна напівхвиля напруги, то при замиканні контакту **K** через діод Д3 **VD3** і резистор **R** пройде імпульс струму керування тиристором **VS1**. В результаті тиристор **VS1** відкриється, анодна напруга впаде майже до нуля, сигнал керування зникне, але тиристор залишиться в провідному стані до кінця напівперіоду, поки анодний струм не пройде через нуль. В інший напівперіод, при протилежній полярності напруги мережі, аналогічно відкривається тиристор Д2 **VS2**. Поки контакт **K** замкнений, тиристори будуть автоматично по черзі відкриватися, забезпечуючи проходження струму від джерела до навантаження.

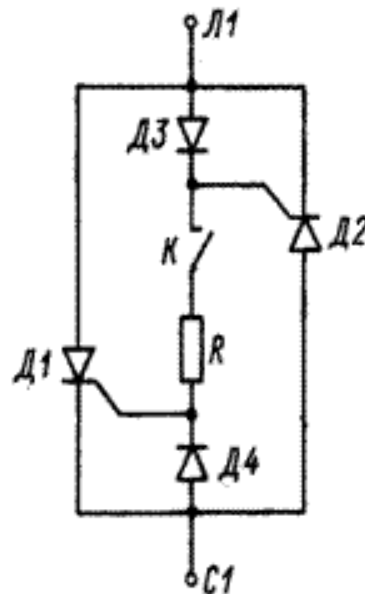


Рисунок 1.7 - Електрична принципова схема однофазного тиристорного ключа

Такі тиристорні ключі є основою однофазних і трифазних комутуючих пристроїв.

Як приклад розглянемо тиристорний контактор змінного струму з керуванням від анодної напруги.

Особливість напівпровідникових комутаційних пристроїв полягає в тому, що вони без принципових змін в силовій частині можуть виконувати різні функції. Так тиристорний блок, виконаний за схемою на рис.1.5, однаково успішно може працювати і в якості контактора, і в якості вимикача.

Тільки заміною тиристорів (змінюється тип, клас за напругою або група приладу за динамічними параметрами) забезпечується розширення області застосування апаратів за струмом або напругою. Істотно можна вплинути на роботу схеми і за допомогою системи керування, приміром на прикладі роботи тиристорного контактора (рис.1.8).

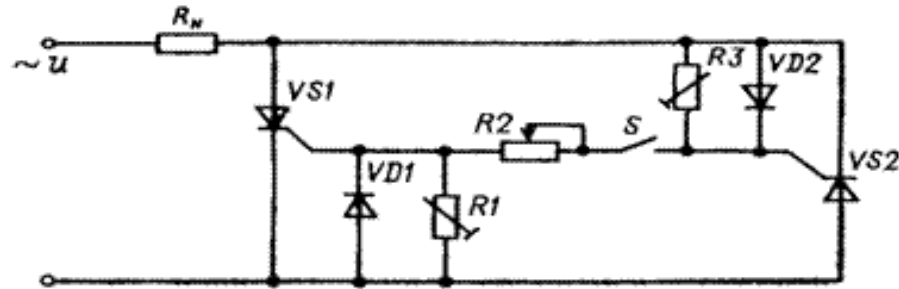


Рисунок 1.8 – Електрична схема контактора змінного струму

Силовий блок контактора виконаний за схемою із зустрічно-паралельно увімкненням тиристорів **VS1** і **VS2**. Керування ним здійснюється за допомогою кола, що складається з резисторів **R1**, **R2**, **R3** і механічного контакту **S**. Це коло підключене паралельно тиристорам, тому при замкненому контакті **S** напруга на його елементах, і зокрема на резисторах **R1** і **R3**, змінюється синхронно з анодною напругою на тиристорах. А оскільки ці резистори підключені паралельно керуючим колам тиристорів, то напруга однієї полярності одночасно наростає і на аноді тиристора, і на його керуючому електроді.

Якщо ця напруга є позитивною, наприклад, по відношенню до тиристора **VS1**, і напруга, що знімається з резистора **R1**, перевищує значення напруги відкриття, тиристор **VS1** відкривається. При зміні полярності напруги таким же чином відбувається відкриття тиристора **VS2**.

Діоди **VD1** і **VD2** у схемі необхідні для захисту керуючих кіл тиристорів від зворотної напруги при негативній напрузі на їх анодах.

Регульований резистор **R2** в колі керування вибирається з умови обмеження амплітуди імпульсу струму керування до допустимого для використовуваних тиристорів значення. З огляду на, що контакт **S** може бути замкнений в інтервалі напівперіоду в будь-який момент часу, в тому числі і в момент досягнення напругою мережі амплітудного значення U_m , опір резистора визначається з виразу:

$$R_2 = \frac{R_1 R_G (U_m - U_{Gmax})}{R_1 + R_G} \quad (1.2)$$

де R_G - власне опір кола керування тиристора.

Зміною опору резистора R_2 можна керувати струмом у вхідних колах тиристорів і, отже, моментом увімкнення їх по відношенню до початку напівперіоду напруги (рис.1.9). В результаті контактор стає здатним виконувати ще одну функцію - регулювання струму в навантаженні. Граничний кут затримки увімкнення тиристорів α_{max} , який можна забезпечити резисторним колом керування, дорівнює 90° . Сам процес регулювання струму (напруги, потужності) в колі за допомогою зміни кута затримки увімкнення тиристора α називають фазовим регулюванням.

Залежності зміни напруги на активному навантаженні і струму в ньому від кута α для даної схеми визначаються виразами:

$$U_H = \frac{U_m}{\sqrt{2\pi}} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)^{1/2} \quad (1.3)$$

$$I_H = \frac{U_m}{\sqrt{2\pi R_H}} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)^{1/2} \quad (1.4)$$

при $0 < \alpha \leq 90^\circ$.

Мінімальний кут затримки увімкнення тиристорів при активному навантаженні $\alpha \gg 2^\circ$. Це пояснюється тим, що всі тиристори мають поріг чутливості по колу керування, і, крім того, анодна напруга, що змінюється за синусоїдальним законом, теж має перевищити граничне значення, принаймні, в два рази.

Ці фактори призводять до появи безструмових пауз в кривій струму навантаження (t_n на рис.1.9).

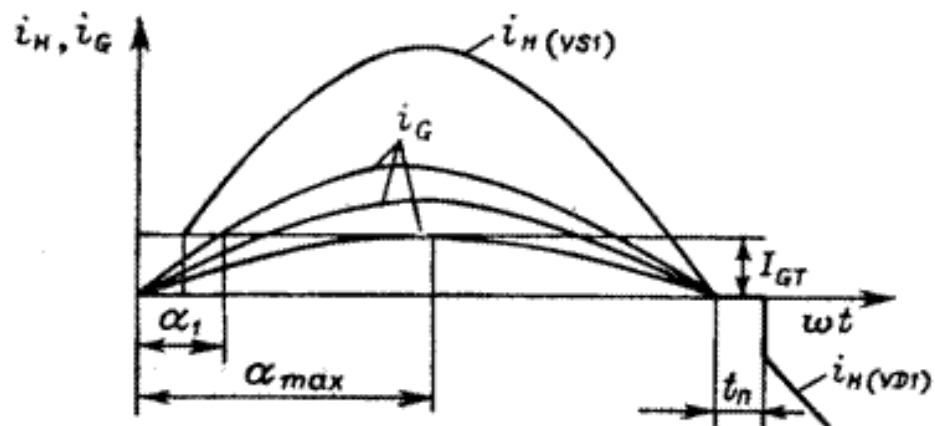


Рисунок 1.9 – Регулювання кута затримки відкриття тиристорів

Через розкид характеристик керування тиристорів ці паузи можуть бути неоднакові за тривалістю, що призводить до появи постійної складової в струмі навантаження.

У разі необхідності кути затримки увімкнення тиристорів вирівнюють регулюванням струмів керування за допомогою зміни опору налагоджувальних резисторів **R1** і **R3**.

Електронні пускачі електродвигунів EMS

Електронний пускач EMS (рис.1.10) являє собою багатофункціональний пристрій керування і захисту асинхронного електродвигуна (виробник Eaton) призначений для пуску і захисту електродвигунів з діапазоном потужностей від 0,06 до 3 кВт при мінімальному необхідному просторі.

Електронний пускач об'єднує чотири функції в одному пристрої:

- прямий пуск електродвигуна;
- реверсування електродвигуна;
- захист електродвигуна відповідно до вимог IEC 60947;
- безпечна зупинка приводу відповідно до категорії 3/PLc (ISO 13849-1), SIL 3 (IEC 61508-1).

Основними областями застосування пускача EMS є керування і захист електродвигунів:

- логістичних комплексів і систем матеріально-технічного постачання;
- невеликих ліфтів;
- пакувальних машин;
- виробничі машини
- металообробних верстатів.



Рисунок 1.10 - Електронний пускач електродвигунів EMS

Потужність електродвигуна (категорія використання АС-53 а):
0,06...0,75 кВт; 0,55...3 кВт

Клас вимкнення: до 4 А - клас 10; понад 4А - клас 10А
(30 мільйонів перемикачів)

Класифікація безпеки: кат. 3, SIL 3, PLe.

Встановлення на DIN-рейку

Напруга живлення 24 В постійного струму.

Ширина 30 мм

ПБР-12А - реверсивний безконтактний пускач для електродвигунів потужністю до 5.5 кВт

Безконтактні реверсивні пускачі ПБР-12А (розробка НВФ «Битек») призначені для пуску, реверсування і захисту трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 0,6 до 5,5 кВт.

Пускачі ПБР-12А (рис.1.11, а, б) мають регульований часострумівий захист, максимально-струмівий захист, захист від перегріву елементів пускача, блокування від одночасного подання команд «Вперед» і «Назад». У пускачах ПБР-12А реалізований алгоритм пофазного увімкнення навантаження, що обмежує ударний момент двигуна без зниження швидкодії і пускового моменту. Для сигналізації або самоблокування можуть використовуватися блок-контакти сигналізації роботи: «Вперед», «Назад», «Аварія».

Застосування сучасної елементної бази та оригінальних технічних рішень дозволило максимально скоротити масогабаритні характеристики пускача ПБР-12А і його вартість в порівнянні з відомими аналогами. ПБР-12А не потребує зовнішнього джерела живлення, що дозволяє зробити заміну електромеханічного пускача без прокладання додаткових електричних кіл.

Область застосування ПБР-12А: кран-балки, верстати, запірно-регулювальна арматура і ін.

Для заміни безконтактних пускачів ПБР-3А, ПБР-2М також випускаються компактні реверсивні безконтактні пускачі на DIN-рейку для однофазних і трифазних електродвигунів до 4 кВт (рис.1.11, б).

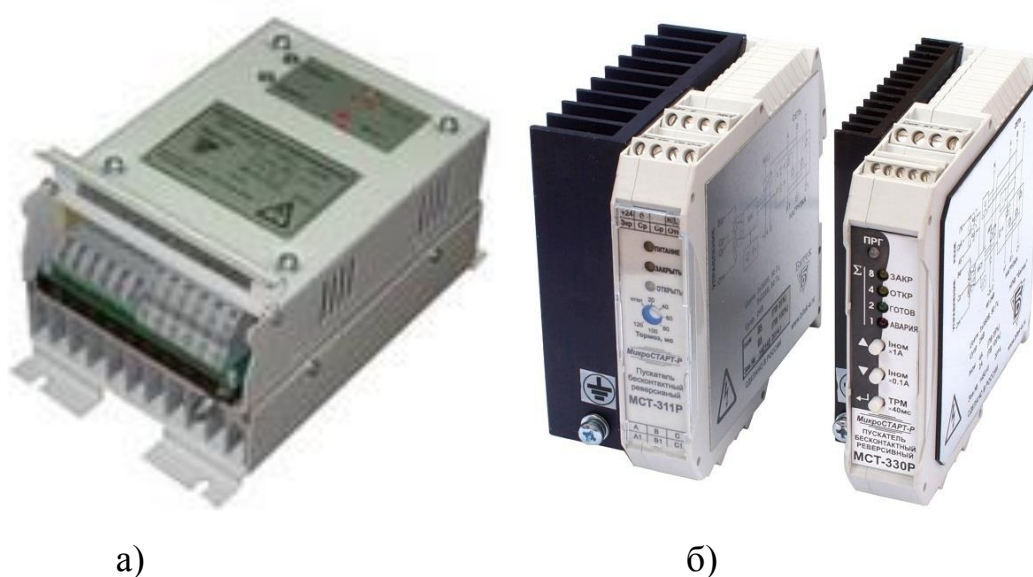


Рисунок 1.11 - Безконтактні реверсивні пускачі ПБР-12А

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики пускача ПБР-12А

Параметр	Значення
1	2
Напруга мережі, В. частота струму, Гц	3 x 380 В; 50
Номінальний комутований струм, А	12
Потужність керованого двигуна, кВт	Від 0,6 до 5,5
Керуючі сигнали: - напруга змінного струму (ПБР-12А/380-00000), В - напруга постійного струму (ПБР-12А/380-30000, ПБР-12А/380-50000), В - «сухий контакт» (ПБР-12А/380-30000, ПБР-12А/380-50000)	180 ... 400 10...50

Продовження таблиці 1.1

Напруга вбудованого джерела живлення, В	12
Навантажувальна здатність блок-контактів: - напруга постійного/змінного струму, В - струм, мА	до 220 до 100
Робочий діапазон температур, °С *	від мінус 10 до плюс 60
Ступінь захисту	IP20
абаритні розміри (ВхШхГ), мм	200 х 122 х 77
Маса, кг, не більше	1,7

* - при температурі понад +40°C номінальний комутований струм зменшується

1.3 Транзисторні комутаційні апарати

Ключовий режим роботи транзистора характеризується двома його станами: станом відсічення, коли транзистор повністю закритий і струм в ньому відсутня, і станом насичення, коли транзистор повністю відкритий і струм в ньому залежить від опору навантаження. Цей струм визначається за формулою:

$$I_{Kнас} = \frac{E_K - U_{K\epsilon нас}}{R_H} \approx \frac{E_K}{R_H}, \quad (1.5)$$

де $I_{Kнас}$ - струм, що протікає в колекторі колаа транзистора в режимі насичення; E_K - напруга живлення схеми ключа; $U_{K\epsilon нас}$ - падіння напруги на еміттері - колекторному переході транзистора в режимі насичення; R_H - опір навантаження, включений в коло колектора транзистора.

Принципова схема двокаскадного електронного ключа представлена на рис.1.12. В даному режимі транзистор виконує роль швидкодіючого вимикача. Перед вибором типу і марки транзисторів необхідно визначити основні параметри схеми. Знаючи опір навантаження і напруга на навантаженні, визначають струм в навантаженні

$$I_H = I_{K2} = \frac{E_K - U_{K\epsilon нас}}{R_H}, \quad (1.6)$$

де I_{K2} - струм в колі колектора транзистора VT2.

За відомими значеннями напруги живлення і струму навантаження вибирають транзистор з наступними параметрами: $U_{K\epsilon max} \geq 2E_K$; $I_{Kmax} \geq 2I_H$; $U_{B\epsilon нас}$; β , де β - коефіцієнт передачі по струму зворотного транзистора

(підвищені значення напруг і струмів приймають для підвищення надійності роботи ключа).

Струм бази, необхідний для підтримування транзистора в режимі насичення, визначається за формулою $I_B = I_K / \beta_{min}$ де β_{min} - мінімальне значення коефіцієнта посилення (передачі по струму) транзистора.

З урахуванням температурного коефіцієнта $K_m = 0,7$ і коефіцієнта насичення $K_{нас} = 1,5 \dots 2,0$ розрахунковий струм бази транзистора:

$$I_{Броз} = \frac{I_H}{\beta_{min} K_T} K_{нас}. \quad (1.7)$$

У той же час струм бази залежить від напруги керування $U_{упр}$, що надходить на вхід електронного ключа:

$$I_B = \frac{U_{упр} - U_{БЄнас}}{R_B}. \quad (1.8)$$

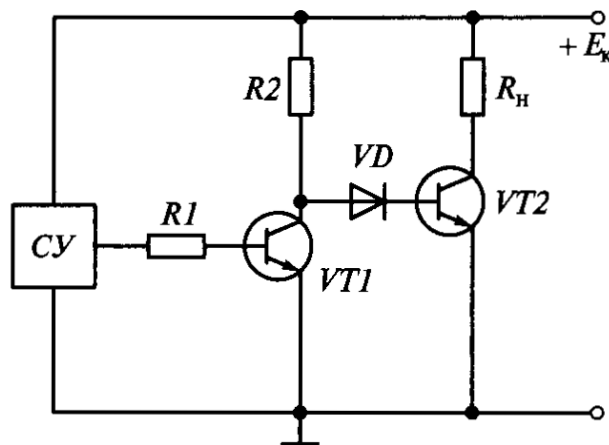


Рисунок 1.12 - Схема двокаскадного ключа: VT1, VT2 - транзистори; СУ - система керування.

Прирівнявши приведений вираз для $I_{Броз}$ і I_B , визначимо опір резистора R_2 в колі бази транзистора VT2:

$$R_2 = R_B = \frac{(U_{упр} - U_{БЄнас}) R_H \beta_{min} K_T}{(E_K - U_{КЄнас}) R_{нас}} \quad (1.9)$$

У схемі електронного ключа на рис. 1.12 $R_2 = R_B$, $I_{упр} = E_K$. В даній схемі керуючою напругою для транзистора VT2 є напруга джерела живлення E_K .

У схемі двокаскадного електронного ключа завдяки відкритому стану насиченого транзистора VT1 забезпечується надійно закритий стан транзистора VT2, оскільки падіння напруги на емітер-колекторному переході транзистора VT1 менше необхідної керуючої напруги для транзистора VT2, тобто $U_{КЄнас1} < U_{упр2}$. Іноді ці дві напруги можуть виявитися близькими за значенням (наприклад біля границі насичення). Тоді

для надійнішого закриття $VT2$ в коло його бази включають діод VD . В цьому випадку $U_{КЕнас1} < (U_{VD} + U_{БЕ2})$.

Для ще більш надійного замикання транзисторів в режимі відсічення на перехід база-емітер подають невелику напругу зміщення зворотної полярності від джерела опорної напруги E_0 (рис.1.13).

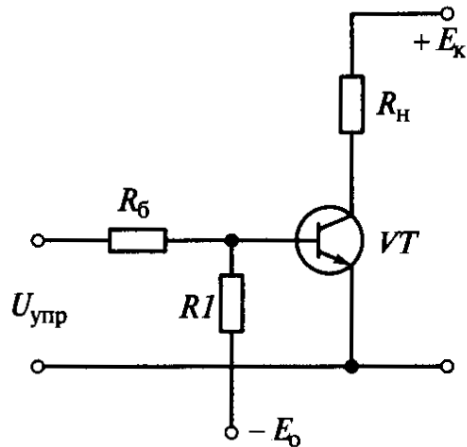


Рисунок 1.13 - Схема транзисторного ключа з використанням джерела замикаючої опорної напруги

1.4 Гібридні комутаційні апарати

Принцип дії гібридних апаратів доцільно розглянути на простих пристроях (рис.1.26), в яких використовуються діоди і тиристори.

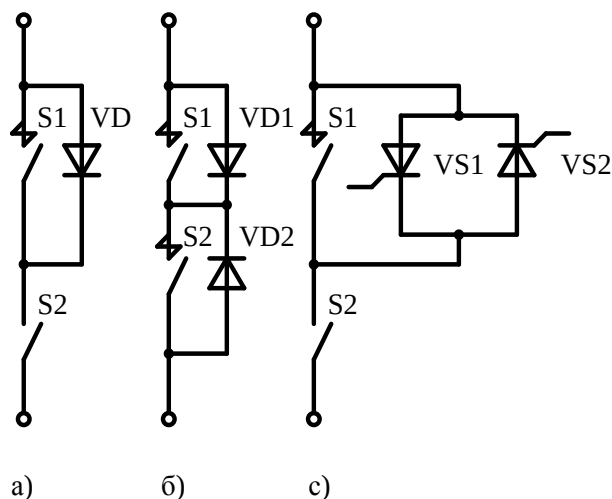


Рисунок 1.26 - Силкові блоки гібридних апаратів: а) з одним діодом; б) з двома діодами із зустрічно-орієнтованою провідністю; в) з тиристорним ключем

У всіх наведених силових блоках силові напівпровідникові прилади (СНП) вмикаються паралельно одному із розмикаючих контактів головного кола комутаційного апарату. Оскільки в електромеханічних апаратах падіння напруги на замкнутах контактах при номінальних струмах не перевищує десятих часток вольт, СНП, увімкнені паралельно контактам, не переходять в стан високої провідності і струм навантаження через них практично не протікає.

У процесі вимкнення апарату співвідношення опорів контактного і напівпровідникового кіл змінюється, що призводить до перерозподілу струму між ними. Приміром при вимкненні апарату за схемою на рис.1.26, а розмикання оснащених пристроєм дуги гасіння контактів **S1** необхідно забезпечити на початку напівперіоду струму, полярність якого збігається з провідним напрямком діода **VD** (в інтервалі часу $t_2 < t < t_3$, рис.1.27).

У цьому випадку напруга на утворюваній електричній дузі є прямою для діода **VD**. Із збільшенням відстані між контактами та інтенсивності впливу на електричну дугу, наприклад за рахунок переміщення її в повітрі з великою швидкістю під дією електромагнітного поля, опір міжконтактного проміжку зростає і, отже, підвищується напруга на діоді.

За таких обставин створюються умови для переходу діода у провідний стан. Такий перехід в апаратах низької напруги відбувається вже на стадії утворення електричної дуги, оскільки приелектродне падіння напруги на ній набагато перевищує порогову напругу СНП. З цього моменту часу струм в контактному колі (через контакти **S1**) починає швидко зменшуватися, а струм в напівпровідниковому колі (через діод **VD**) зростає. Тривалість перехідного процесу, протягом якого комутований струм повністю переходить у коло діода і електрична дуга гасне, визначається в основному індуктивністю контурів у навантаженні, динамічними характеристиками використовуваного діода, способом впливу на електричну дугу.

За час, що залишився до кінця напівперіоду $t = t_4 - t_3$ завершуються де іонізаційні процеси в міжконтактному проміжку і відновлюється його електрична міцність.

Остаточне переривання струму в колі здійснюється діодом безпосередньо за моментом часу t_4 , що відповідає зміні напрямку струму. Протягом часу, поки напруга є зворотною для діода, необхідно розімкнути допоміжні контакти **S2** віддільника (рис.1.27, а).

Необхідно відзначити, що для розглянутого випадку вимкнення кола з активно-індуктивним навантаженням цей час менше напівперіоду. Взагалі ві може бути рівним 5 мс, що обумовлює необхідність використання швидкодіючих приводів.

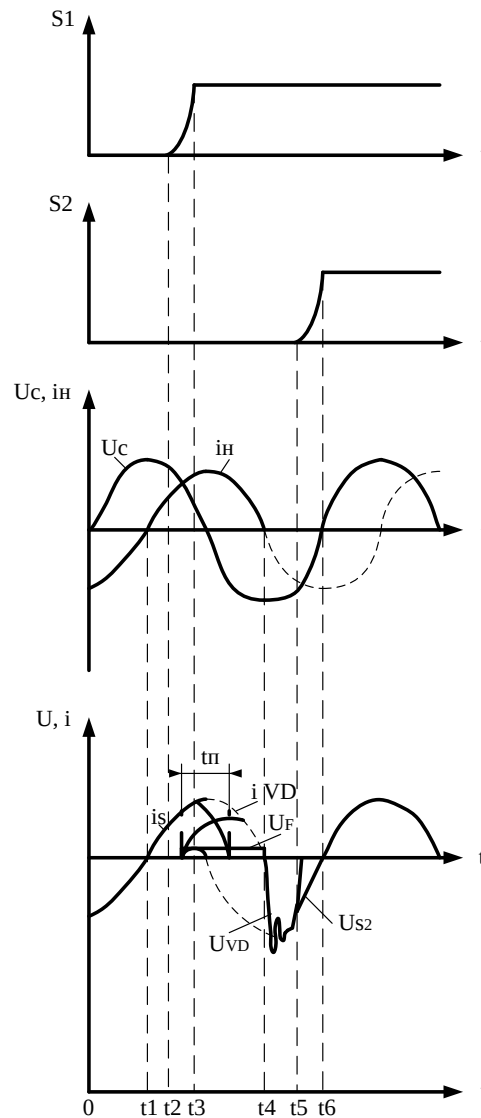


Рисунок 1.27 - Діаграми комутаційних процесів у гібридному апараті

При увімкненні комутаційного апарату послідовність замикання контактів повинна бути зворотною: у непровідний для діода **VD** напівперіод напруги необхідно замкнути контакти віддільника **S2**, а протягом наступного напівперіоду - дугогасні контакти **S1**.

Характерним для режиму увімкнення є замикання контактів **S1** при малих напругах, визначених падінням напруги на діоді, що перебуває у провідному стані. Внаслідок цього унеможливаються попередній пробій між контактним проміжку при зближенні контактів та пов'язані з ним явища ерозії і зварювання контактів.

Але слід мати на увазі, що в гібридних(комбінованих) апаратах існує небезпека прояву цих же ефектів через високу швидкість наростання струму в контактах після їхнього дотикання. Тому конструкції контактного

пристрою і приводу повинні забезпечувати форсоване збільшення контактного натискання до кінцевого значення.

Апарати, виконані за схемою, наведеною на рис.1.27, б, за принципом дії і характером процесів, що протікають, не відрізняються від розглянутого вище варіанту. Однак наявність двох діодних кіл із зустрічно - орієнтованою провідністю дозволяє здійснювати вимкнення апарату у будь який напівперіод струму, що дозволяє скоротити час (тривалість) цієї операції.

Недоліками варіанту з двома зустрічно увімкненими діодами (рис.1.27,б) є збільшення вдвічі кількості напівпровідникових приладів і ускладнення конструкції механічної частини апарату. Оскільки синхронізоване розмикання контактів здійснюється в послідовності, яка визначається напрямком струму в момент подачі команди на вимкнення, апарат повинен містити два незалежних і швидкодіючих приводи. Високі вимоги висуваються також до стабільності спрацьовування приводів (вони повинні мати малий розкид часу). Очевидно, що досягнення високого рівня функціональної надійності при такому виконанні силової частини апарату являє собою складне завдання.

Значне спрощення приводного механізму і апарату в цілому можна отримати при відмові від синхронізації розмикання контактів з відповідним напівперіодом струму. В цьому випадку обидва контакти, керовані загальним приводом, розмикаються одночасно і в будь - яку фазу струму. В результаті на обох контактних парах виникає електрична дуга, але на одній з пар вона гасне через прояви шунтуючої дії діодного кола. На інших контактах, напрямок струму через які не збігається з провідним напрямком діодів в шунтуючому колі, електрична дуга підтримується до кінця напівперіоду (до зміни напрямку струму).

Максимальна тривалість впливу дуги на контакти, рівна приблизно 11 мс, відповідає найбільш несприятливому режиму, коли розмикання контактів відбувається у відносно вузькому інтервалі часу перед проходженням струму через нуль.

І тут процес переходу струму з контактного кола в коло діода не закінчується або ж не встигає відновитися електрична міцність міжконтактного проміжку і він знову пробивається на початку наступного напівперіоду.

При великій кількості вимкнень розмикання контактів **S1** і **S2** відбувається з однаковою ймовірністю як в інтервалі позитивного, так і в інтервалі негативного напівперіодів; той же закон визначає розподіл моменту розмикання контактів в межах кожного напівперіоду. В результаті тривалість впливу електричної дуги на контакти зменшується і, як наслідок,

збільшується комутаційний ресурс апарату. Причому, в порівнянні з аналогічними апаратами без шунтуючих діодних кіл, в яких гасіння електричної дуги забезпечується за один напівперіод, збільшення ресурсу становить не менше 150%.

Можливості комбінованих апаратів можуть бути суттєво розширені при заміні некерованих діодів тиристорами (рис.1.27, в).

Напівпровідникове коло в цьому апараті виконане за схемою із зустрічно-паралельним увімкненням тиристорів ключа, приєднаного паралельно тільки одним дугогасним контактам. Але здатність тиристорів перебувати в закритому стані при напрузі позитивної полярності дозволяє здійснювати комутаційні операції у будь-який напівперіод напруги (струму).

Розглянемо взаємодію контактного вузла і тиристорного ключа в режимі увімкнення комутаційного апарату. З огляду на велику різницю в швидкодії контактної системи і тиристорів, команди на їх увімкнення треба видавати не одночасно. Спочатку повинна надійти команда на увімкнення приводу контактів. Після закінчення певного часу, рівного власному часу увімкнення контактної системи, його контакти **S1** замикаються. На рис.1.28 момент дотикання контактів відповідає часу t_2 .

З необхідним випередженням цього моменту часу системою керування видається керуючий імпульс **IG1** на тиристор **VS1**, для якого напруга в розглянутому напівперіоді є прямою. В результаті увімкнення тиристора напруга на контактах, що сходяться, знижується до значення падіння напруги на тиристорі в провідному стані, тобто до 1,5-2,5 В.

Після дотикання контактів тиристорне коло швидко знеструмлюється, оскільки опір контактної системи набагато менший диференціального опору тиристора.

При вимкненні апарату послідовність роботи контактнотиристорного кола така ж, як і в контактній системі, із однією відмінністю, яка полягає в тому, що в момент часу розмикання контактів (**iS** на рис.1.28) на тиристор **VS2** має надійти керуючий імпульс струму **IG2**.

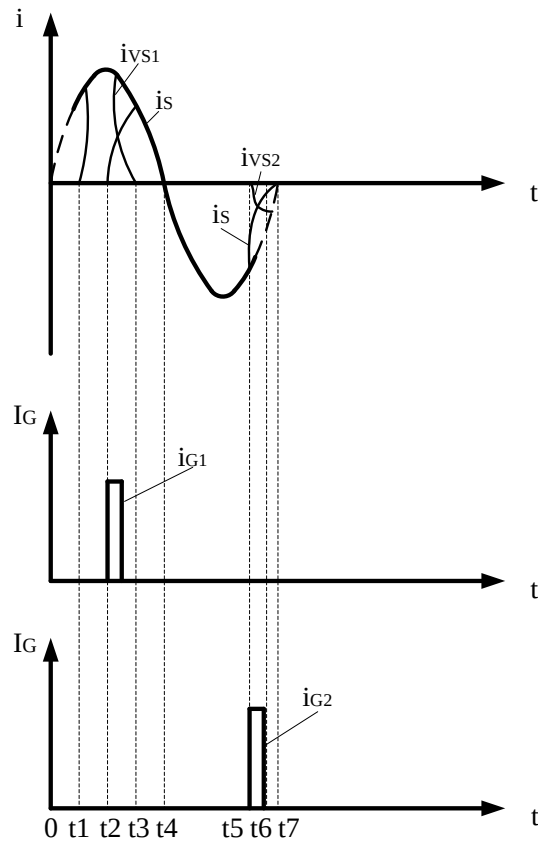


Рисунок 1.28 - Перехідні процеси в гібридному комутаційному апараті

Практично реалізувати жорстку синхронізацію роботи системи керування тиристорним блоком з приводним механізмом контактів дуже складно. Тому в більшості комутаційних пристроїв такого типу керуючі імпульси на входи тиристорів подаються з випередженням розмикання контактів, що враховує нестабільність роботи в часі механічної частини апарату.

Як і при використанні діодів, в контактно-тиристорних апаратах розмикання контактів і відновлення електричної міцності міжконтактного проміжку повинні завершуватися до закінчення напівперіоду. Якщо конструкція апарату не забезпечує синхронізоване вимкнення, контакти можуть розімкнутися в будь-який момент часу, в тому числі і в критичній зоні напівперіоду перед проходженням струму через нуль, в якому струм не встигає перейти з контактного кола в коло тиристорів. У цьому випадку необхідно, щоб на початку наступного напівперіоду системою керування забезпечувалося увімкнення тиристора з іншим напрямком провідності.

Узагальнюючи розглянуті можливості створення гібридних (комбінованих) апаратів, можна виділити найбільш важливі їх характеристики:

- у всіх варіантах виконання комбінованих апаратів напівпровідникові прилади (діоди або тиристори) при тривалому номінальному режимі не проводять струм, тому усуваються відносно великі втрати потужності, характерні для напівпровідникових апаратів. Отож, за цим показником комбіновані апарати не відрізняються від звичайних контактних;

- у режимах зміни апаратом комутаційних положень за допомогою напівпровідникових приладів здійснюється шунтування міжконтактного проміжку малим опором, властивим для діодів і тиристорів в провідному стані. Цим забезпечується швидке гасіння електричної дуги, що виникає в процесі увімкнення через брязкіт контактів, а також при вимкненні апарату. Досвід експлуатації комбінованих апаратів свідчить, що при комутації струмів до 500 А тривалість горіння дуги не перевищує 100 мкс. В результаті гібридні(комбіновані) апарати мають комутаційну зносостійкість у 20-50 разів більшу, ніж контактні;

- оскільки напівпровідникові прилади в комбінованих апаратах піддаються короточасному впливу струму, є можливість максимально використувати їх імпульсну переважувальну здатність. При початковій температурі структури $(+20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ більшість приладів допускає навантаження однополуперіодним імпульсом струму синусоїдальної форми тривалістю 10 мс з амплітудою, що перевищує значення середнього (класифікаційного) струму у 8-10 разів¹⁴. Зі зменшенням тривалості імпульсу до 2 мс допустима амплітуда струму зростає приблизно в три рази. В аварійних режимах, кількість яких за час роботи напівпровідникових приладів має обмежуватися одиницями, амплітуда струму збільшується відповідно до 28 кА при тривалості імпульсу 10 мс і до 44 кА - при 2 мс;

- у багатьох випадках зазначена переважувальна здатність достатня для створення комбінованих апаратів без паралельного з'єднання приладів в силових блоках. При забезпеченні розмикання контактів безпосередньо перед критичною зоною напівперіоду струму досягається найкраще використання імпульсної навантажувальної спроможності напівпровідникового приладу;

- важливою обставиною є те, що при короточасних струмових впливах виділяється теплота в структурі СНП не поширюється за межі

¹⁴ При короточасних перевантаженнях енергія, що виділяється в структурі, порівняно швидко поширюється по всій масі напівпровідника і температура його не встигає значно зрости. При збільшенні ж тривалості проходження струму ця енергія не може швидко розсіятися і структура напівпровідника сильно нагрівається. Отже, чим вищий струм перевантаження, тим менший час він повинен проходити через напівпровідниковий діод. Наприклад, для діодів В200 і В320 можна допустити перевантаження на 25% протягом 30 с, подвійне-протягом 1 с.

елементів конструкції, безпосередньо до неї прилеглих. Тому відпадає необхідність не тільки застосування примусового охолодження, але і в самих охолоджувачах. В результаті істотно спрощується конструкція напівпровідникового блоку, зменшуються його маса і габарити.

Зазначені позитивні особливості гібридних (комбінованих) апаратів визначили інтенсивний їх розвиток.

На теперішній час розроблені і випускаються промисловістю кілька варіантів таких апаратів, що відрізняються як за конструкційним виконанням контактних і напівпровідникових елементів, так і за способом керування тиристорами.

Схема одного з варіантів гібридного контактора з системою керування, що живиться від трансформатора струму, наведена на рис.1.29.

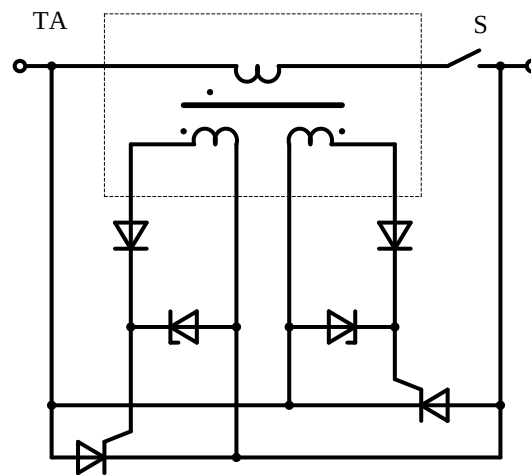


Рисунок 1.29 - Схема гібридного контактора

Напівпровідниковий блок в ній приєднаний паралельно колу, що складається з контактів S і послідовно увімкненої з ними первинної обмотки трансформатора струму TA . Дві вторинні обмотки трансформатора через діоди, що погоджують полярність керуючої анодної напруги, замкнуті на керуючі кола тиристорів. При увімкнених контактах S через них і первинну обмотку трансформатора струму протікає синусоїдальний струм.

У вторинних обмотках трансформатора струм в загальному випадку буде несинусоїдальний через нелінійність опору керуючого кола тиристорів і впливу стабілітронів, які захищають ці обмотки від перевищення допустимого значення напруги. При номінальному струмі в колі контакторів тиристири не повинні відкриватися. Це забезпечується вибором параметрів таким чином, щоб сумарне падіння напруги на первинній обмотці

трансформатора струмуі замкнутих контактах не перевищувало порогове значення напруги використовуваних силових тиристорів.

При протіканні наскрізних струмів короткого замикання напруга між точками приєднання тиристорного блоку до головного кола значно збільшується і створюються умови для увімкнення тиристорів. Тому тиристиори необхідно вибирати з урахуванням цього режиму роботи.

При розмиканні контактів між ними виникає електрична дуга з напругою $U_d > 10$ В, що забезпечує швидкий перехід комутованого струму в коло тиристора і подальше переривання його в кінці напівперіоду.

Через існуючий невеликий кут зсуву фаз між струмом контактного кола і в колі тиристорів може спостерігатися затримка увімкнення тиристорів, якщо контакти розходяться в самому початку або наприкінці напівперіоду струму. Цей же ефект проявляється і через відносикові повільного наростання керуючого струму на початку напівперіоду, що було розглянуто вище.

До переваг розглянутої схеми слід віднести підвищену надійність, яка обумовлена мінімальним числом елементів; простоту, захищеність від впливу зовнішніх магнітних полів, автономність живлення керуючих кіл, усунення можливості пошкодження тиристорів при різкому збільшенні опору контактів, оскільки при цьому блокується надходження сигналів на тиристиори. Всі ці фактори визначили доволі широке застосування схеми.

1.5 Твердотільні реле

Твердотільні реле (ТТР) - це клас сучасних модульних напівпровідникових приладів, виконаних за гібридною технологією, що містять в своєму складі потужні силові ключі на симісторних, тиристорних або транзисторних структурах.

Твердотільні реле (рис.1.30) забезпечують найбільш надійний метод комутації електричних кіл і мають наступні переваги перед електромагнітними аналогами:

- увімкнення кола без електромагнітних завад;
- високу швидкодію;
- відсутність шуму і брязкоту контактів;
- тривалий період роботи (понад 10^6 спрацьовувань);
- можливість роботи у вибухонебезпечному середовищі, так як немає дугового розряду;
- низьке електроспоживання (на 95% менше, ніж у звичайних реле);

- ізоляція між вхідними і комутованими колами;
- компактна герметична конструкція, стійка до вібрації і ударних навантажень.



Рисунок 1.30 – Твердотільні реле

Твердотільні реле класифікують за типом навантаження на одно і трифазні з діапазоном регульованої напруги від 40 до 440 В. За типом керуючого сигналу ТТР діляться на наступні групи:

- 1) керування напругою постійного струму 3...32 В;
- 2) керування напругою змінного струму 90...250 В;
- 3) ручне керування вихідною напругою за допомогою змінного резистора;
- 4) аналогове керування вихідною напругою за допомогою уніфікованого сигналу напруги 0...10 В.

Різні варіанти керуючих сигналів дозволяють застосовувати ТТР як комутаційні елементів в системах автоматичного керування.

За способом комутації розрізняють твердотільні реле з контролем переходу струму через нуль; твердотільні реле миттєвого (випадкового) увімкнення; твердотільні реле з фазовим керуванням.

Твердотільні реле з контролем переходу струму через нуль застосовуються для комутації:

- резистивних навантажень - електричних нагрівальних елементів, ламп розжарювання і т.пд;
- ємнісних навантажень (наприклад, завадоподавлювальних згладжувальних фільтрів, що мають в своєму складі конденсатори);
- слабоіндуктивних навантажень - котушок соленоїдів, клапанів і т.д.

При подаванні керуючого сигналу на твердотільне реле з контролем переходу струму через нуль напруга на його виході з'являється в момент першого перетину лінійною напругою нульового рівня (рис.1.30). Це дозволяє зменшити початковий кидок струму, знизити рівень електромагнітних завад і, як наслідок, збільшити термін служби комутованих навантажень. Однак ТТР з контролем переходу через нуль не можуть комутувати високоіндуктивне навантаження (наприклад, трансформатори на холостому ходу).

	Керування з комутацією при переході струму через нуль
Вихідний сигнал по струму в навантаженні	Вхід  Вихід

Рисунок 1.31 - Діаграма спрацьовування ТТР з контролем переходу через нуль

Твердотільні реле миттєвого (випадкового) увімкнення застосовуються для комутації резистивних (нагрівальні елементи, лампи розжарювання) і індуктивних (малопотужні двигуни, трансформатори) навантажень при необхідності миттєвого спрацьовування.

Напруга на виході твердотільного реле даного типу з'являється одночасно з подаванням сигналу (час затримки увімкнення не більше 1 мілісекунди), а значить, увімкнення ТТР можливо на будь-якій ділянці синусоїдальної напруги (рис.1.31). Однак у ТТР даного типу можуть виникати імпульсні перешкоди і початкові кидки струму при комутації. Після увімкнення таке твердотільне реле функціонує як звичайне ТТР з контролем переходу через нуль.

	Керування з комутацією при переході струму через нуль

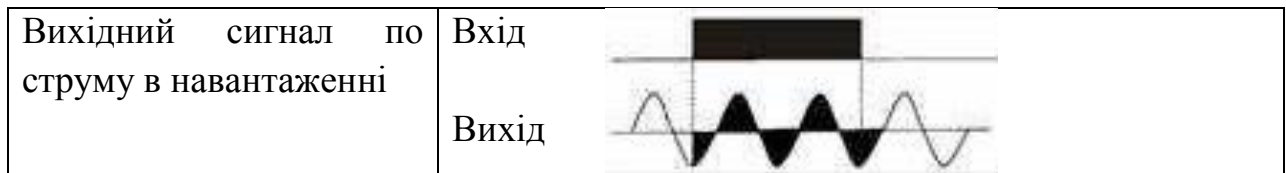


Рисунок 1.32 - Діаграма спрацьовування ТТР миттєвого увімкнення

Твердотільні реле з фазовим керуванням дозволяють змінювати величину вихідної напруги на навантаженні (рис.1.32) і застосовуються для регулювання потужності нагрівальних елементів, рівня освітленості ламп розжарювання і т.д.

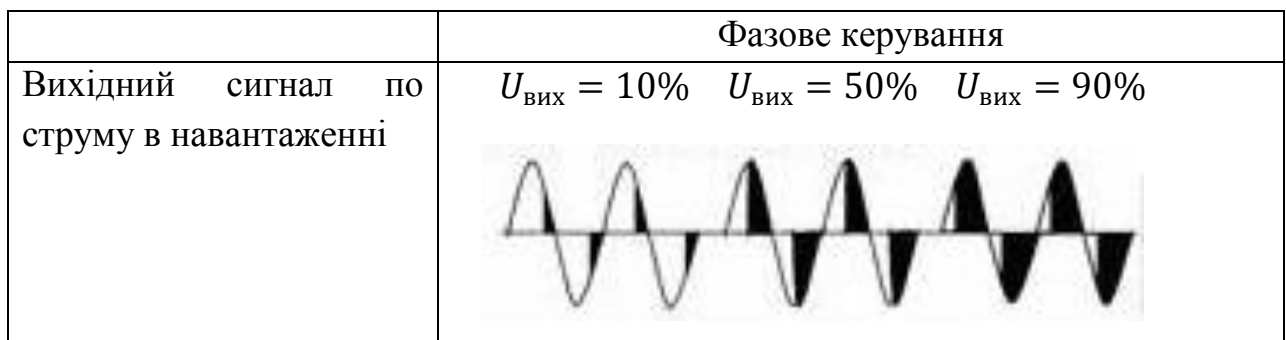


Рисунок 1.33 - Діаграма спрацьовування ТТР з фазовим керуванням

Збільшення температури ТТР накладає обмеження на величину комутованого струму - нагрівання твердотільного реле до $+60^{\circ}\text{C}$ суттєво знижує допустиму величину комутованого струму (навантаження може вимикатися в повному обсязі, а саме ТТР перейти в некерований режим роботи і навіть вийти з ладу). У зв'язку з цим при тривалій роботі твердотільного реле в номінальних, і особливо «важких», режимах (при тривалій комутації і струмах навантаження понад 5 А) потрібне застосування радіаторів або повітряного охолодження для розсіювання тепла.

При підвищених навантаженнях, наприклад в разі навантаження індуктивного характеру (соленоїди, електромагніти і т.п.), рекомендується вибирати твердотільне реле з великим запасом за струмом (в 2-4 рази), а в разі застосування твердотільних реле для керування асинхронним електродвигуном необхіден 6-10 кратний запас за струмом. При роботі з більшістю типів навантажень увімкнення твердотільного реле супроводжується стрибком струму (пусковий перевантаженням) різної тривалості і амплітуди, і це необхідно враховувати при виборі твердотільного реле.

Вхідні схеми реле представлені на рис. 1.33 («Ст» означає стабілізатор струму).

Комутуючими елементами ТРТ є: симістори, зустрічно-включені тиристори, польові транзистори, IGBT. Ці напівпровідникові прилади мають ідентичну вхідну схему, виконану на основі інфрачервоного світлодіода, випромінювання якого забезпечує увімкнення відповідного силового елемента через спеціальну фото чутливу схему, причому для тиристорно-симісторних і MOSFET-IGBT реле застосовуються різні схеми.

Кола керування світлодіодом виконані або на резисторі, або із застосуванням струмового стабілізатора. Типовий струм керування твердотілим реле становить 10-15 мА, що на порядок менше струму керування електромагнітного реле. Різні типи приладів можуть керуватися як постійною, так і змінною напругою.

При керуванні постійною напругою вхідне коло реле має резистивний обмежувач струму (для реле постійного струму по комутованому колу) або струмовий стабілізатор (для реле змінного струму).

Вхідне коло реле, керованих змінною напругою, має на вході AC/DC-перетворювач і струмовий стабілізатор

Твердотільне реле забезпечує надійну електричну ізоляцію вхідних і вихідних електричних кіл одне від одного, а також струмовідних електричних кіл від елементів конструкції приладу.

Вхідна напруга, залежно від модифікації приладу, становить: група А - 3-30 В постійного струму (для реле змінного струму по комутованому колу); 4-10 В (для реле постійного струму); група Б - 6-30 В змінного струму (середньоквадратичне значення); група В - 90-280 В змінного струму (середньоквадратичне значення).

Максимальна напруга неувімкнення реле складає: група А - 1 В; група Б - 4 В (середньоквадратичне значення); група В - 10 В (середньоквадратичне значення).

Ще одним параметром реле, керованих напругою постійного струму, є гранично допустима величина зворотної напруги, що становить 7 В.

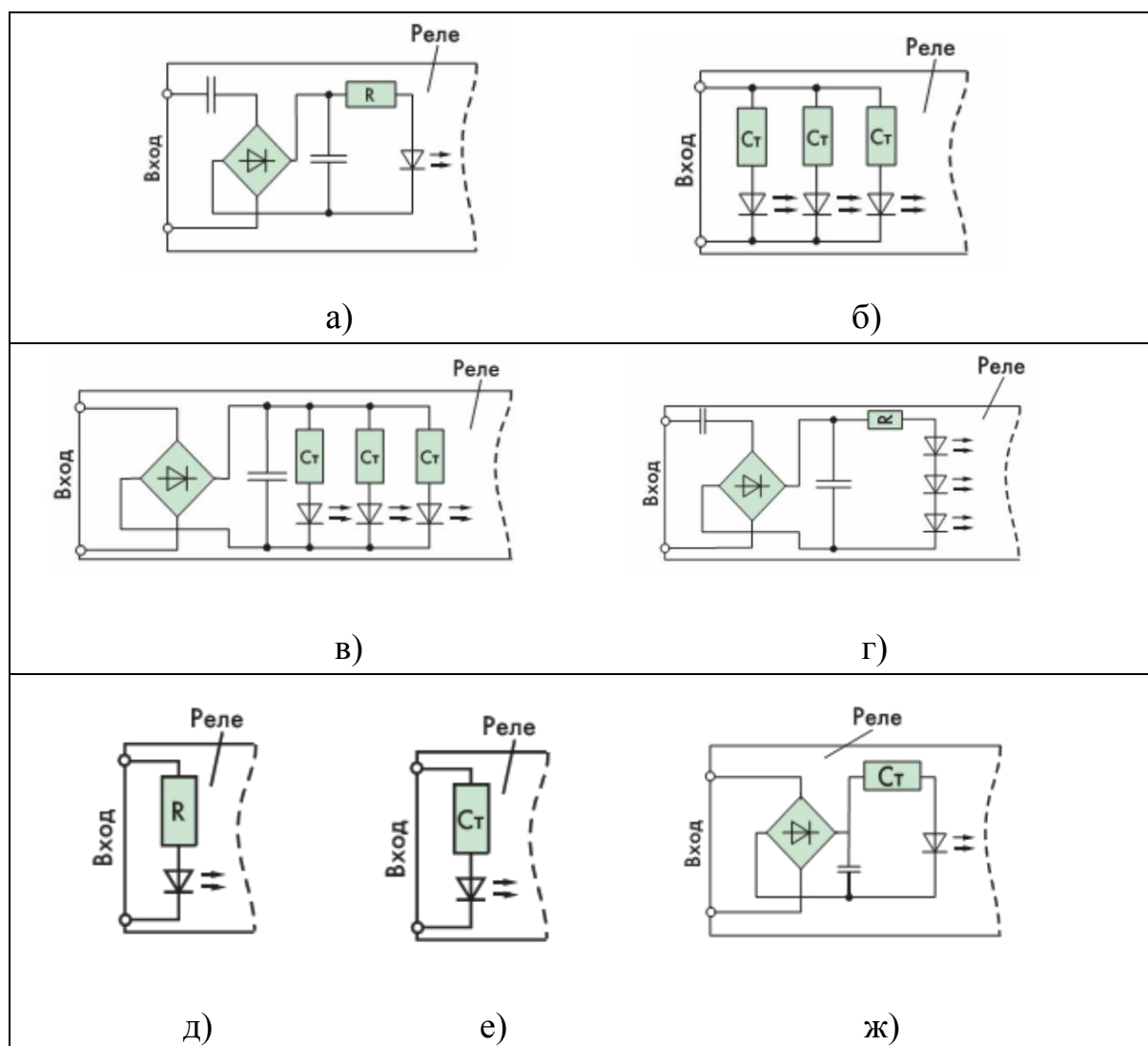


Рисунок 1.34 - Вхідні схеми твердотільних реле: а - реле постійного струму; б - реле змінного струму однофазні з керуванням постійною напругою; в - реле змінного струму однофазні з керуванням напругою змінного струму; г - реле змінного струму однофазні з керуванням напругою змінного струму; д - реле змінного струму однофазні з керуванням напругою постійного струму; е - реле змінного струму трифазні з керуванням напругою змінного струму; ж - реле змінного струму трифазні з керуванням напругою змінного струму

Оптронна розв'язка твердотільних реле являє собою складний електронний прилад. Вихідним елементом вхідної частини цієї оптронної розв'язки є світлодіод, що випромінює в інфрачервоному діапазоні. Вхідним елементом вихідної частини оптрона є фоточутлива електронна схема на основі симістора (для реле змінного струму) або на основі так званого фотовольтаїчного елемента, що створює на своїх виводах різниця потенціалів при опроміненні інфрачервоним випромінюванням.

Структурні схеми реле наведені на рис.1.35-1.41

	Рисунок 1.35 - Реле змінного струму однофазне
	Рисунок 1.36 - Реле постійного струму на польових транзисторах
	Рисунок 1.37 - Реле постійного струму на IGBT-транзисторах
	Рисунок 1.38 - Реле постійного струму на IGBT-транзисторах з діодом
	Рисунок 1.39 - Реле постійного струму на польових транзисторах для комутації двополярної напруги

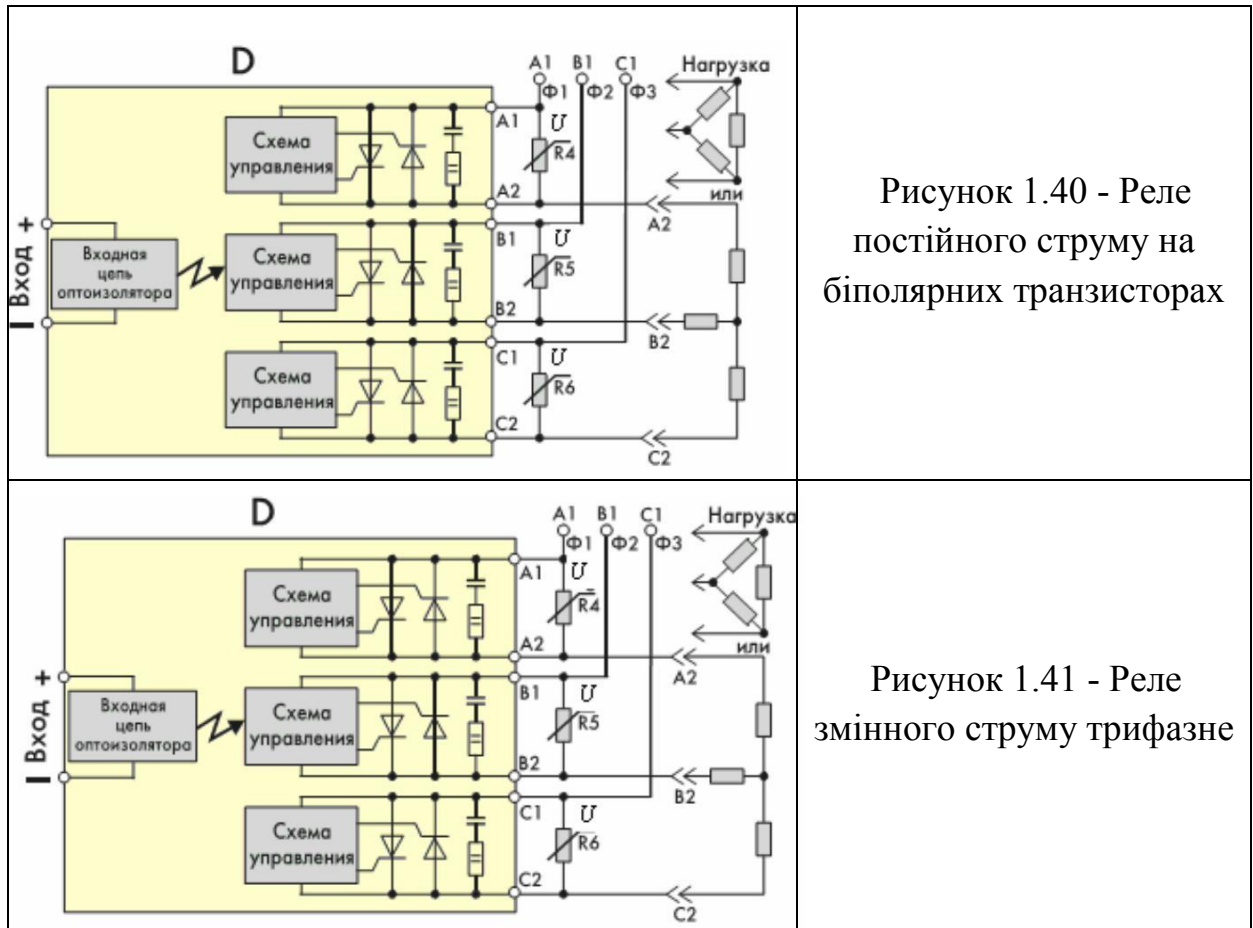


Рисунок 1.34 -1.41 - Структурні схеми твердотільних реле

Існують дві модифікації реле змінного струму, що відрізняються характером поведінки реле:

- у реле без контролю «нуля» фази напруги або реле з довільним увімкненням, які найбільш аналогічні за своїми комутаційними властивостями електромагнітним реле, при надходженні керуючого сигналу силове коло відмикається відразу за дуже короткий час;
- у реле з контролем «нуля» фази напруги (під «нулем» фази розуміється деякий діапазон напруг малої величини позитивної і негативної напівхвилі мережевої напруги, при яких може відбутися комутація силового кола) спеціальна схема забезпечує увімкнення реле при наявності керуючого сигналу в момент часу, близький до «нуля» фази. При великих значеннях напруги реле не спрацює навіть при наявності керуючого сигналу. Ця величина напруги називається напругою заборони і становить 40 В для всіх реле, незалежно від рівня комутуваного струму.

Реле першого типу можуть бути використані в регуляторах потужності, забезпечуючи відсічення фази силового напруги регульованої тривалості, системах автоматики і т.д., а у реле другого типу головною перевагою є

«м'яке» увімкнення навантаження, що не породжує перешкод в мережі і не спотворює форму напруги на навантаженні.

Реле з довільним увімкненням, як і електромагнітні реле, можуть бути як нормально замкнутими, так і нормально роз'єднаними, що забезпечується спеціальними схемними рішеннями. Ці реле можуть пропустити струм по силовій частині без подачі керуючого напруги замикаються при подачі керуючого сигналу на вхід реле.

Таким чином, всі реле змінного струму мають двокаскадну вихідну схему, що накладає ряд обмежень на допустимі параметри комутованою навантаження.

Вихідна частина реле (силовий комутуючий елемент) побудована на парі зустрічно - паралельно увімкнених тиристорів.

Твердотільні реле являють собою складний прилад, що складаються з великої кількості різних елементів, до властивостей і якості яких висуваються високі вимоги.

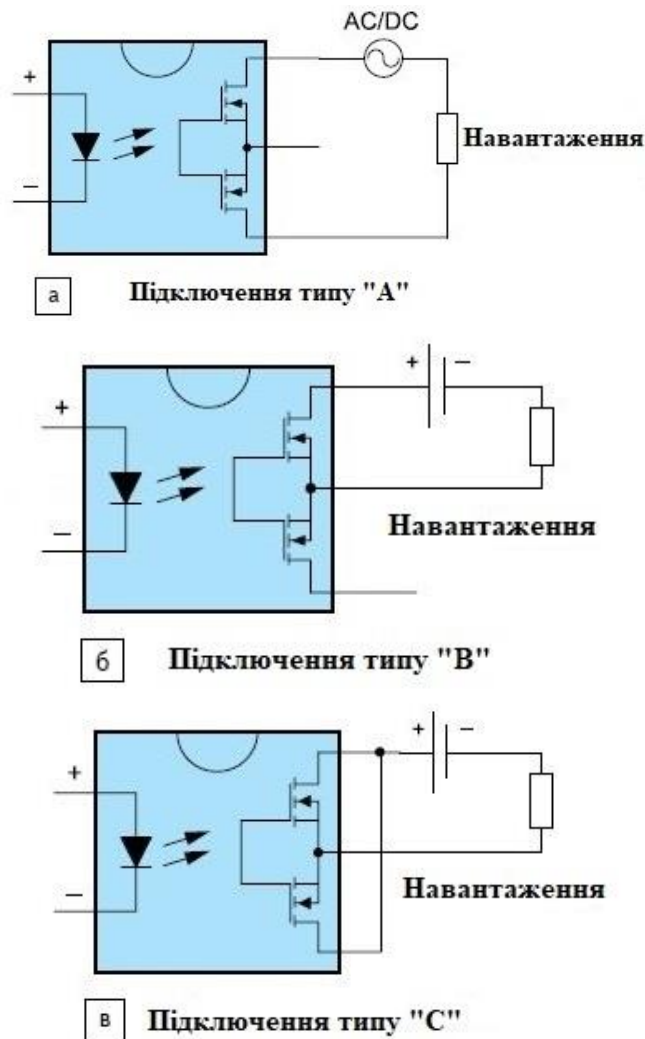


Рисунок 1.42 – Варіанти приєднання навантаження до твердотільного реле

Питання для самоконтролю і завдання

1. Наведіть класифікацію силових електронних апаратів.
2. Вкажіть області застосування електронних апаратів і їх переваги та недоліки у порівнянні з контактними.
3. Наведіть характеристики і параметри силових електронних приладів.
4. Які умови необхідно створити для переходу тиристора в провідний стан?
5. Які вимоги висуваються до імпульсів керування тиристорами ?
6. У чому полягають відмінності принципів дії, характеристик і областей застосування транзисторів і тиристорів в електронних апаратах?
7. Перерахуйте принципи створення електронних апаратів постійного струму.
8. Наведіть принципові схеми тиристорних комутаторів постійного струму. В чому полягають їх принципові особливості в порівнянні зі схемами для змінного струму?
9. Наведіть електричну схему і опишіть принцип дії тиристорного контактора постійного струму.
10. Наведіть електричну схему і опишіть принцип дії гібридного контактора з керуванням за струмом коמוтованого кола.
11. Наведіть схему керування асинхронним електродвигуном за допомогою гібридного контактора на некерованих вентилях і з синхронізуючими пристроями у вигляді реле керування.
12. Проведіть порівняльний аналіз переваг і недоліків силових контакторів електромеханічного і статичного принципу дії.
13. Наведіть електричну схему і поясніть принцип дії тиристорного контактора змінного струму.
14. Опишіть роботу електронного реле.
15. Наведіть класифікацію твердотільних реле.
16. Опишіть конструкції твердотільних реле.
17. Наведіть приклади вхідних та структурних схем твердотільних реле.

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.

2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.-Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

2. ПРИСТРОЇ ПЛАВНОГО ПУСКУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

2.1 Загальні відомості

2.2 Пристрої плавного пуску і плавного зупинення асинхронних електродвигунів Siemens Sirius 3RW30

2.3 Пристрої плавного пуску S811 + Eaton

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Пристрій плавного пуску асинхронного електродвигуна	Електротехнічний пристрій, який обмежує зростання пускових характеристик - струму і моменту двигуна, «пом'якшує» пуск і зупинку двигуна.	<i>Soft starter</i>
Перетворювач частоти	Перетворювач електричної енергії, який змінює частоту, пов'язану з електричною енергією, за винятком нульової частоти	<i>Frequency converter</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.-68 с.
2. ДСТУ EN 60947-1:2014. Перемикач і контролер низьковольтні. Частина 1. Загальні правила

2.1 Загальні відомості

Найбільшого поширення серед електричних машин набув асинхронний електродвигун (АД) змінного струму. Він з'явився наприкінці ХІХ століття і став активно використовуватися вже на початку ХХ століття завдяки простоті будови, невибагливості в експлуатації, роботі від мережі трифазного змінного струму, відносно високому ККД і екологічній безпечності. Однак в теперішній час у своєму традиційному виконанні він перестав відповідати вимогам ринку: через вкрай високий пусковий струм в момент пуску асинхронного двигуна створюється дуже високе навантаження на мережу живлення, що призводить до падіння напруги в останній, а значить - до погіршення якості електричної енергії. В результаті підвищується ймовірність виникнення проблем у роботі всіх пристроїв і приладів, підключених до цієї мережі. Крім того, через різкі ривки при пуску АД скорочується термін служби механічних вузлів устаткування, що приводиться ним в дію. Для усунення цих недоліків і були створені пристрої плавного пуску (ППП).

Зазвичай напруга живлення на двигун подається стрибкоподібно з 0 В до номінальної напруги живлення. В силу того, що обмотка статора двигуна має малий омичний опір, а робочий індуктивний опір двигуна встановлюється тільки в момент, коли пристрій виходить в «режим», в проміжок часу з моменту включення в мережу до виходу двигуна в «режим» опір дуже малий і сила струму сильно зростає. Звідси і отримуємо високий пусковий струм, який досягає 6-8-кратного (а часом і 10-12-кратного) збільшення номінального струму споживання.

З огляду на це пуск асинхронного електродвигуна можливий тільки в тому випадку, якщо потужність джерела струму достатня. На практиці таке буває не завжди, і часто потужності джерела живлення недостатньо для того, щоб забезпечити високий пусковий струм. В результаті напруга в мережі живлення падає, надмірне збільшення струму і зниження напруги не проходить безслідно, і з цим доводиться боротися, що виливається в додаткові фінансові витрати.

Інший недолік пуску безпосередньо від мережі - високі навантаження на механічні вузли - виникає з тієї ж причини: стрибкоподібна подача напруги живлення. Оскільки струм пуску високий, крутий момент може досягти 150-200% від номінального і механічні вузли відчують багаторазові навантаження. Для запобігання поломок виробник або споживач змушений закладати додатковий запас міцності, що знову ж таки позначається на вартості обладнання.

Ключ до вирішення проблеми - плавне подавання напруги і розгін двигуна до номінальної частоти обертання. Ці завдання і можна вирішити за допомогою пристрою плавного пуску (ППП).

Використання PPP дозволяє:

- зменшити пускові струми;
- знизити ймовірність перегріву електродвигунів;
- підвищити термін їх служби;
- усунути ривки в механічній частини електроприводу в момент пуску електродвигунів, а також гідравлічні удари в трубопроводах і засувках в момент пуску і зупинки насосів.

Принцип дії пристрою плавного пуску асинхронного електродвигуна. Найпростіший PPP базується на властивості напівпровідникових приладів - тиристорів (а вони і є основним конструкційним елементом PPP) - проводити струм після подавання на відповідний вхід напруги керування і «закриватися» при проходженні значення струму через нуль. Тиристири з'єднуються за зустрічною (симісторний) схемою для кожної з фаз трифазної системи. У потрібні моменти часу на керуючі електроди всіх тиристорів подається керуюча напруга, «відкриває» їх, завдяки чому напругу на затискачах електродвигуна виявляється можливим регулювати. Оскільки крутий момент електродвигуна є функцією квадрату прикладеної напруги, з'являється можливість регулювати і механічні навантаження в електроприводі. Можливість регулювання напруги дозволяє також плавно зупиняти електродвигуни, що приводять в дію малоінерційні навантаження.

Однак описані пристрої мають і відчутні недоліки:

- справляються тільки з невисокими навантаженнями або пуском двигуна вхолосту;
- при збільшенні тривалості пуску з'являється небезпека перегріву двигуна, напівпровідникові елементи PPP також можуть перегрітися і вийти з ладу;
- зниження напруги тягне за собою зниження крутного моменту на валу.

Більш досконалі пристрої характеризуються відсутністю зазначених недоліків і діляться за принципом дії на амплітудні та частотні. Останні дорожчі і складніші в монтажі/налагодженні, але їх використання виправдовує себе при експлуатації в умовах, коли для вирішення поставлених завдань необхідно змінювати швидкість обертання електродвигуна.

Можна виділити два основних типи УПП:

- регулятори напруги без функції зворотного зв'язку;
- регулятори напруги з функцією зворотного зв'язку.

Регулятори напруги без зворотного зв'язку є найбільш поширеним видом пристроїв плавного пуску. Регулювання тут може здійснюватися за двома або трьома фазами, але тільки по заздалегідь заданій користувачем програмі, в якій вказується тривалість і початкова напруга пуску. Пусковий струм і момент зменшуються, є можливість плавної зупинки, але не регулюється момент залежності від навантаження на валу двигуна.

Регулятори напруги зі зворотним зв'язком - це вдосконалений варіант попередньої регулятора. Вони контролюють фазовий зсув між напругою і струмом в обмотках статора і використовують отримані дані для регулювання напруги на клеммах двигуна таким чином, щоб пуск гарантовано відбувся з найменшим значенням пускового струму і достатнім значенням механічного крутного моменту. Також отримані дані використовуються для роботи захистів від перевантаження, дисбалансу фаз та ін.

Існують також ППП, що мають кола моніторингу, які дозволяють контролювати навантаження в кожен конкретний момент часу (тобто підходять для приводів, що характеризуються важкими та дуже важкими пусковими режимами, для яких зазвичай рекомендується використовувати перетворювачі частоти). Додатково такі ППП дозволяють ефективно вирішити завдання зниження енергоспоживання.

Застосування пристроїв плавного пуску. ППП можуть застосовуватися всюди, де використовується асинхронний електродвигун, проте вибір потрібно робити виходячи з навантаження двигуна і частоти пусків.

Якщо навантаження на двигун невелике, а його пуск проводиться рідко (наприклад, у шліфувальних верстатах, деяких вентиляторах, роторних дробарках, вакуумних насосах), підійдуть регулятори без зворотного зв'язку або взагалі регулятори пускового моменту.

Якщо високе навантаження поєднується із частим та інерційним пуском (наприклад, в електроприводах стрічкової пилки, центрифуги, сепаратора, розпилювача, лебідки, вертикального конвеєра), доцільним буде вибір регуляторів напруги зі зворотним зв'язком, можливо, із запасом за номіналом.

Цікавий факт. В Європі законодавчо заборонено запускати електродвигуни потужністю 15 кВт і вище, якщо вони не оснащені пристроями плавного пуску.



Рисунок 2.1- Пристрій плавного пуску електродвигуна

2.2 Пристрої плавного пуску і плавної зупинки асинхронних електродвигунів Siemens Sirius 3RW30

Siemens 3RW30 (рис.2.2) - серія малогабаритних цифрових пристроїв плавного пуску, спеціально розроблених для одно- і трифазних асинхронних електродвигунів малої і середньої потужності. Дані пристрої здійснюють плавний запуск і плавну зупинку електродвигуна.



Рисунок 2.2 - Пристрої плавного пуску і плавної зупинки асинхронних електродвигунів Siemens 3RW30.

Переваги пристрою:

- компактність. Результатом є можливість використання наявного монтажного простору для встановлення більшої кількості виробів;
- простота налаштування. Розташовані на лицьовій панелі потенціометри дозволяють просто і швидко налаштувати режим роботи пристрою;
- наочна індикація. Режим роботи пристрою, а також виникнення аварійних ситуацій візуалізується за допомогою розташованих на передній панелі світлодіодних індикаторів.

Пристрій має вбудований шунтуючий контактор.

Виробником передбачений простий монтаж. Пристрій кріпиться на DIN-рейку 35-мм.

Таблиця 1.1 - Основні параметри пристрою Siemens 3RW30

Напруга живлення, В	220 В, 380 В (трифазні)
Діапазон потужностей, кВт	1,1-55 включно (1,1; 1,5; 2,2;3,0;4,0;5,5;7,5;11;15;18;22;30)
Напруга керування в діапазонах	24-110В AC/DC 110-230В AC/DC
Час наростання напруги, с	0..20
Час зупинки, с	0..10
Початкова напруга	40..100% від номінальної напруги
Вбудований шунтуючий контактор	присувний

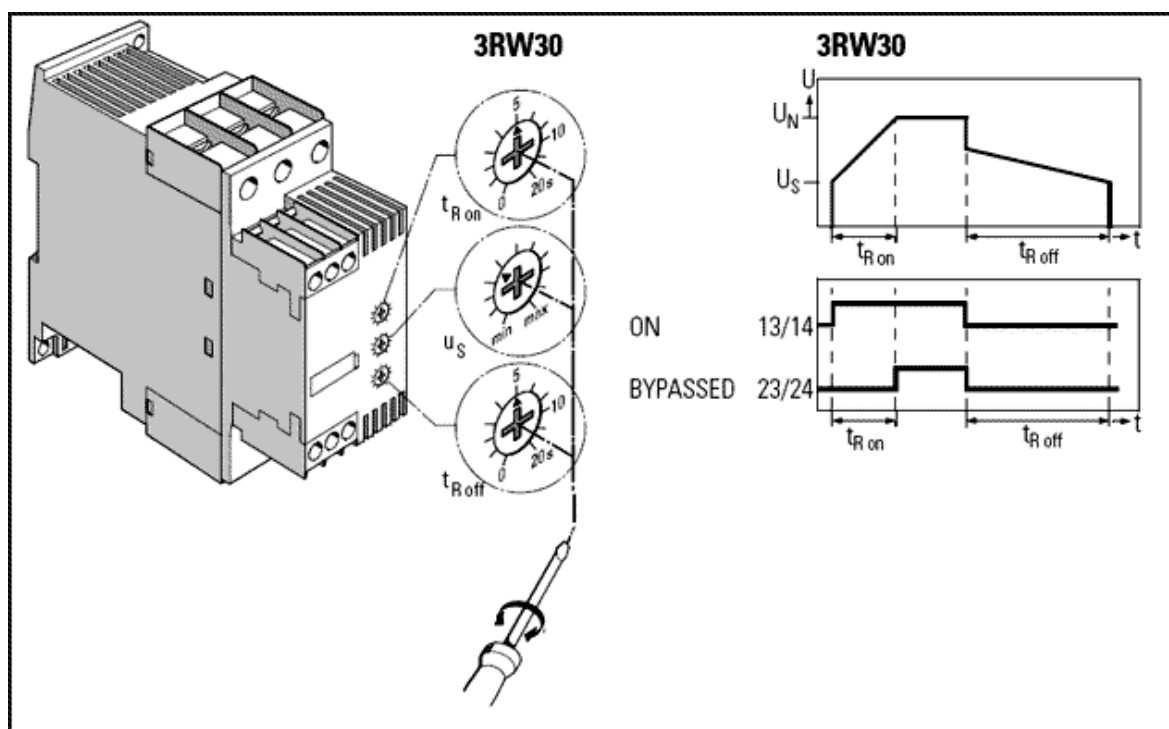


Рисунок 2.3 - Органи керування 3RW30

2.3 Пристрої плавного пуску S811 + Eaton

Прямий пуск трифазного асинхронного електродвигуна (АД) або пуск перемиканням обмотки статора із «зірки» на «трикутник» не завжди є оптимальними рішеннями. Пристрої плавного пуску (ППП) являють собою вигідну альтернативу майже для будь-якого застосування, оскільки дозволяють збільшувати крутний момент без стрибків і захищають мережу від кидків струму.



Рисунок 2.4 - Пристрій плавного пуску АД струмом до 1000 А S811+Eaton

Пристрої плавного пуску ідеально підходять для пуску насосів, вентиляторів і конвеєрів. Додатковими перевагами використання ППП S811+Eaton є збільшення міжсервісних інтервалів двигунів і зменшення експлуатаційних витрат на обладнання.

Сімейство S811+Eaton забезпечує більш надійний захист електродвигунів, ніж більшість стандартних пристроїв плавного пуску.

Компактність пристроїв (більшість типорозмірів є найбільш компактними на ринку) дозволяє розмістити більше приводів в шафі керування.

Усунення різких пусків і зупинок продовжує термін служби механічних частин системи і скорочує витрати на обслуговування пасових і шестерінчастих передач

Більш точне управління крутним моментом подовжує термін служби підшипників і шестерень, скорочує знос пасків і усуває гідроудари завдяки розробленому Eaton спеціальному алгоритму пуску насосів.

Зменшення кидків струму скорочує навантаження в періоди пікового споживання.

Готовність до обміну даними - наявність вбудованого порту Modbus® RTU усуває потребу в комунікаційних опціях.

Комплексні функції контролю потужності і коефіцієнта потужності, струмів і напруг фаз, температури пристрою та інших параметрів дозволяють заощадити на додатковому вимірювальному обладнанні та витратах на його підключення.

Захист від перевантаження двигуна і пристрої плавного пуску запобігає пошкодженню обладнання в нормальних і аномальних умовах

Клавіатура з функціями копіювання і знімний інтерфейс користувача (рис.2.5) спрощують введення пристрою в експлуатацію і економлять час при серійному виробництві.

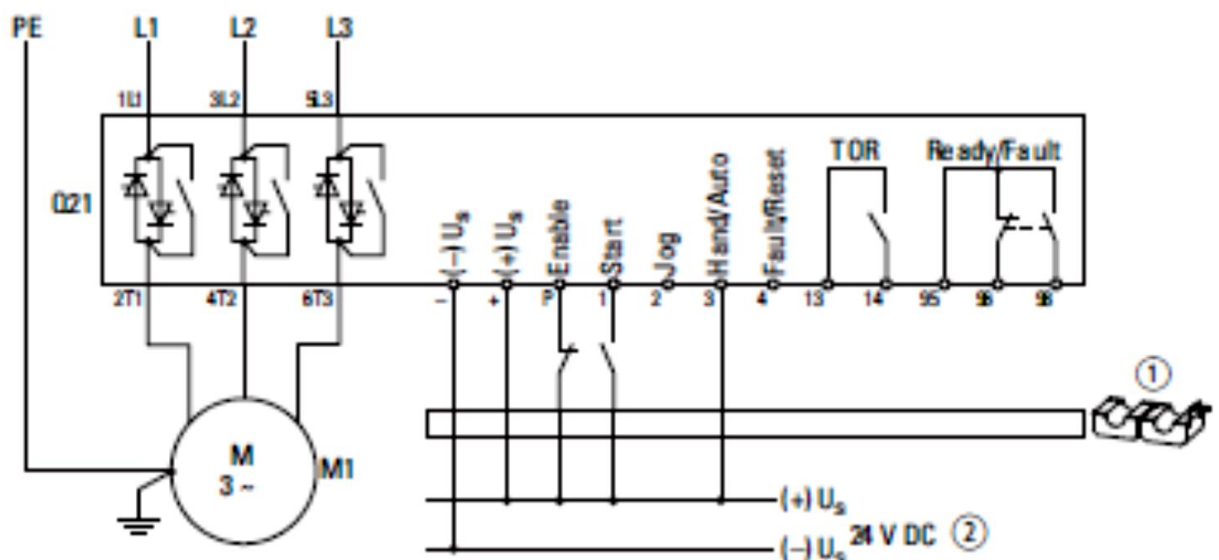


Рисунок 2.5 – Схема зовнішніх з'єднань пристрою плавного пуску S811+Eaton: 1 – феритове осердя із защіпкою

Пристрій плавного пуску за допомогою фазового керування регулює напругу на затискачах електродвигуна від налаштовуваного пускового значення до номінальної напруги мережі (рис.2.6).

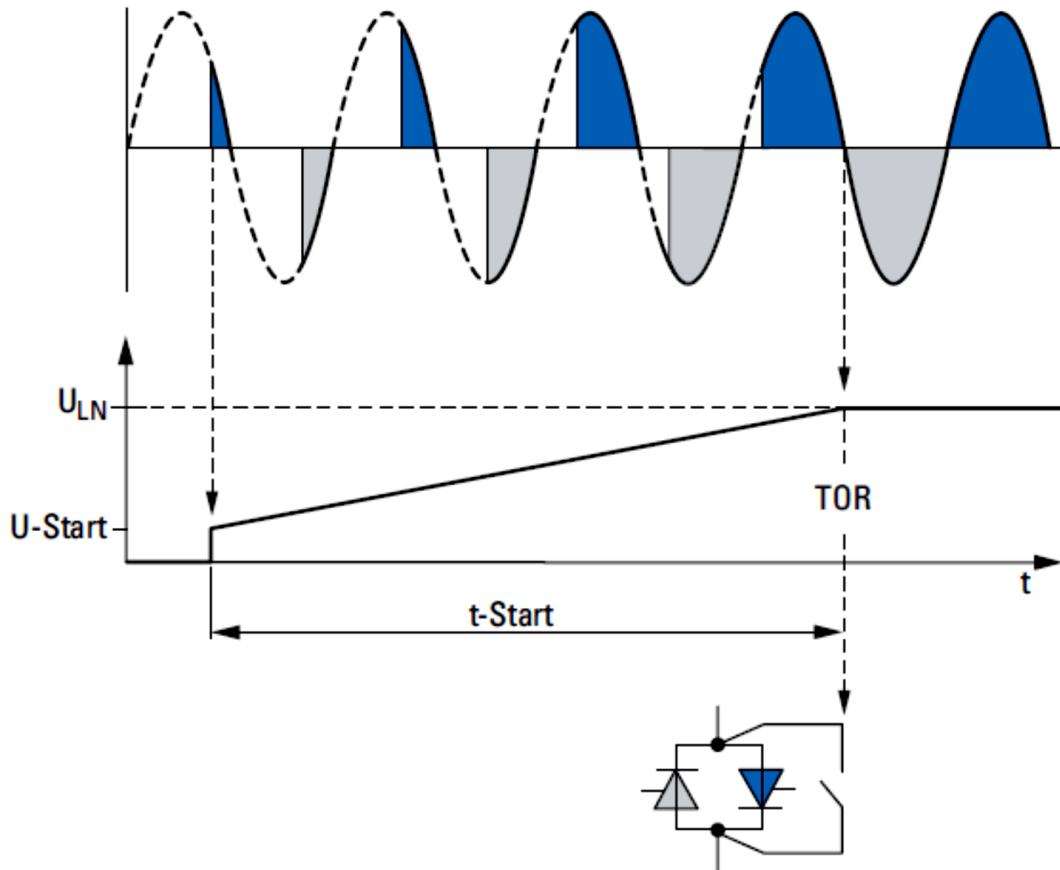


Рисунок 2.6 – Фазове регулювання напруги на затискачах електродвигуна: U_{LN} – напруга мережі живлення; $U\text{-Start}$ - пускове значення напруги; $t\text{-Start}$ - тривалість регулювання напруги під час пуску електродвигуна; TDR (верхня точка розгону електродвигуна) сигналізує про вичерпання заданого часу розгону $t\text{-Start}$ (вихідна напруга $U_2 = U_{LN}$).

Після цього замикаються контакти внутрішнього шунтуючого контактора. Такий контроль дозволяє обмежити кидки пускового струму трифазних асинхронних електродвигунів і значно знизити пусковий крутний момент. Завдяки цьому досягається безперервне (без скачків) збільшення моменту відповідно навантаженню на валу електродвигуна.

Загалом це сприяє продовження строку служби, підвищенню ефективності функціонування виробничого механізму, що приводиться в дію електродвигуном і усуває такі негативні моменти:

- вплив зубчастих країв у редукторі;

- скачки тиску води у трубопроводах;
- проковзування клинових пасків передач;
- вібрація конвеєрних систем.

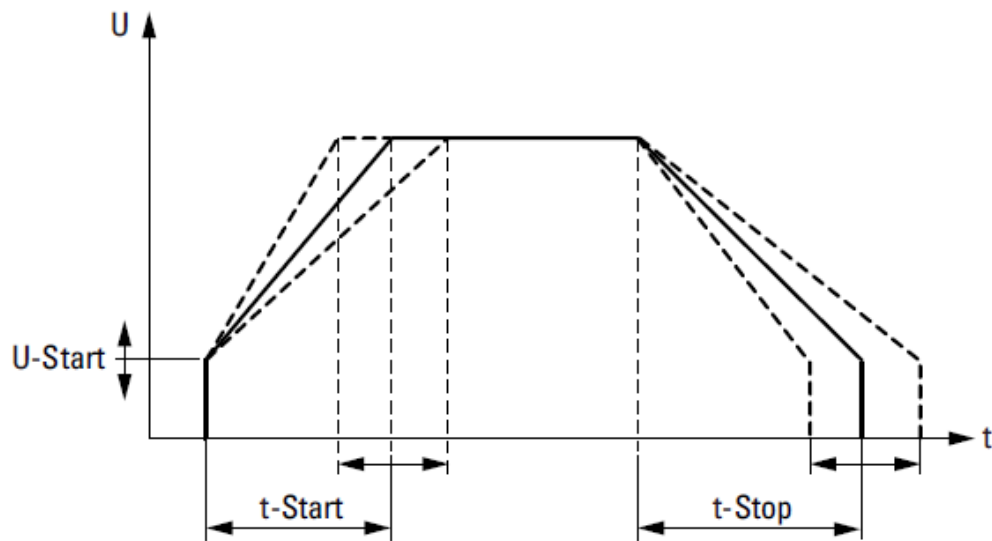


Рисунок 2.7 – Зміна напруги на затискачах електродвигуна (плавний пуск – робота – плавна зупинка)

Вихідна напруга пристрою плавного пуску задає крутний момент електродвигуна ($M \propto U^2$). Таким чином припуску виробничого механізму необхідно пересвідчитися в тому, що пускове значення напруги **U-Start** не занадто низьке, а час розгону **t - Start** для зміни напруги на затискачах електродвигуна заданий якомога меншим.

При цьому слід мати на увазі наступне:

- тривалий час розгону **t - Start** призводить до плавного пуску, але також створює більш високе теплове навантаження на тиристори;
- висока пускове значення напруги **U-Start** призводить до підвищення крутного моменту і підвищення пускового струму;
- пускове значення напруги має бути якомога меншим, а зміна напруги за час пуску має проходити за якомога коротший час.

Якщо потрібне контрольоване сповільнення електродвигуна, час сповільнення **t - Stop** має бути більшим, чим залежний від навантаження на валу електродвигуна час сповільнення виробничого механізму. Для силових напівпровідникових приладів (тиристорів) у пристрої плавного пуску контрольоване гальмування створює навантаження, аналогічне створюваному при пуску електродвигуна.

Наприклад: якщо для до сповільнення в пристрої задано 10 допустимих пусків за годину, кількість допустимих пусків знижується до 5, оскільки додається 5 зупинок за годину.

Області застосування пристрою:

- комутація трифазних індуктивних навантажень;
- плавний пуск двигунів приводу транспортерів і конвеєрів;
- зменшення небезпеки гідроударів у всій системі за рахунок плавного пуску насосів;
- електронне увімкнення насосів в складних умовах хімічних заводів і заправних станцій;
- альтернатива пускачам «зірка-трикутник» (особливо для двигунів потужністю понад 5,5 кВт, що вимагають обмеження кидків пускового струму);
- керування електроприводами насосів і вентиляторів систем водоочищення та водопостачання;
- швидке і безшумне керування електродвигунами в будівлях.
- плавний пуск, що знижує знос приводних ременів в вентиляційних системах

Питання для самоконтролю і завдання

1. Що являє собою пристрій плавного пуску асинхронного електродвигуна (софтстартер)?
2. Назвіть два відомі способи плавного пуску асинхронного електродвигуна (АД).
3. Як технічно досягають зменшення напруги на затискачах асинхронного електродвигуна, намагаючись обмежити його пусковий струм?
4. Який принцип роботи ключової схеми на тиристорах (симісторах), що є основою для побудови софтстартера?
5. За якими критеріями слід вибирати софтстартери?
6. З якою метою до схеми софтстартера вводять додатковий шунтуючий контактор?
7. Назвіть переваги і недоліки двофазної схеми пристрою плавного пуску асинхронного електродвигуна в порівнянні з трифазною.
8. В чому полягає псевдочастотне регулювання частоти обертання АД, що реалізується окремими виконаннями софтстартерів?

9. Який із двох захистів: захист від струмів короткого замикання і захист від перевантаження може реалізовувати пристрій плавного пуску асинхронного електродвигуна?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Электричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

3. ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

3.1 Загальні відомості

3.2 Пристрої вбудованого температурного захисту електродвигунів

3.3 Фазочутливі пристрої захисту електродвигунів

3.4 Мікроконтролерний пристрій захисту і діагностування електродвигунів МКЗиД-0,4-7-НП-І

3.5 Універсальний блок захисту електродвигунів УБЗ-301

3.6 Універсальний блок захисту електродвигунів УБЗ-305

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Термістор	Резистор, опір якого суттєво залежить від його температури	<i>thermistor</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандарти

1. IEC 60050-121¹1998/ IECV – Chapter 121¹ Electromagnetism/ - 109 р.
2. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.-68 с.

3.1 Загальні відомості

В реальних умовах експлуатації електричного обладнання мають місце значні відхилення від номінальних режимів експлуатації, обумовлені низькою якістю електроенергії, порушеннями правил технічної експлуатації, а також негативним впливом довкілля. Наслідком таких відхилень є аварійні режими роботи АД. В результаті аварій щороку виходять з ладу до 10% застосовуваних електродвигунів. Наприклад, 60% занурювальних електронасосних агрегатів пошкоджуються частіше одного протягом року[6]. Вихід з ладу АД призводить до важких аварій і значних матеріальних збитків, пов'язаних з простоем технологічних процесів, усуненням наслідків аварій і ремонтом електродвигуна, що вийшов з ладу. Ремонт електричної машини потужністю до 1 кВт обходиться приблизно 5–6\$ США. Аби оцінити, в що обійдеться ремонт потужнішої машини, треба просто помножити цю цифру на потужність двигуна. Окрім цього, робота на аварійних режимах веде до підвищеного енергоспоживання з мережі та збільшення споживаної реактивної потужності.

Очевидно, що застосування надійного і ефективного захисту від аварійних режимів роботи значно скоротить кількість і частоту аварійних ситуацій і продовжить термін служби АД, скоротить витрату електроенергії і експлуатаційні витрати. Але для того, щоб вибрати цей захист, необхідно знати, як і від чого необхідно захищати АД, а також специфіку процесів, що протікають в нім у разі виникнення аварій.

3.2 Пристрої вбудованого температурного захисту електродвигунів

Пристрій вбудованого температурного захисту (надалі - УВТЗ) забезпечує захист асинхронних електродвигунів у разі надмірного перегріву обмотки статора практично будь-яких електричних машин напругою до 500В.

Принцип дії пристрою вбудованого температурного захисту УВТЗ базується на визначенні за входним сигналом інформації, що надходить від датчиків температури – позисторів, про аварійний нагрів статорних обмоток електродвигуна, обрив або коротке замикання (КЗ) в колі датчиків і наступному вимкненні електромагнітного пускача, що комутує коло живлення електро-двигуна.

Пристрій вбудованого температурного захисту УВТЗ не тільки забезпечує захист електродвигуна від перегрівання статорних обмоток асинхронних двигунів, а діє також на вимкнення при наступних аварійних режимах:

- обрив фази і нульового проводу;
- тривалі перевантаження, порушення в системі охолодження;
- заклинювання ротора;
- підвищення температури навколишнього середовища;
- аномальні процеси пуску і гальмування;
- коливання напруги мережі в межах 80-110% від номінального значення.

Позистор, використовуваний як датчик температури, є напівпровідниковим елементом, опір якого змінюється залежно від температури. Розрізняють напівпровідникові датчики з негативним температурним коефіцієнтом (термістори) і з позитивним (позистори). У термісторів опір зі зростанням температури зменшується, а у позисторів, навпаки, збільшується.

Залежно від класу нагрівостійкості ізоляції обмоток електродвигуна позистори вибираються для значень температури спрацювання $\theta_{\text{спрац}} = 105, 115, 130, 145 \text{ і } 160^{\circ}\text{C}$. Вказані значення відповідають значенням максимальної робочої температури, $^{\circ}\text{C}$ ізоляції ряду класів нагрівостійкості (таблиця 1).

Таблиця 3.1 - Класи нагрівостійкості ізоляції

Позначення класу нагрівостійкості	Y	A	E	B	F	H	200	220	250
Максимальна робоча температура, $^{\circ}\text{C}$	90	105	120	130	155	180	200	220	250

Примітки: 1. Наведені значення температури є фактичною температурою ізоляції, але не перевищенням температури електротехнічного виробу над температурою навколишнього середовища. 2. Клас

нагрівостійкості ізоляції для електродвигунів 5АМ, 5АІ, 7АІ, АІР, АІРМ - F (максимальна робоча температура - 155°C) за ГОСТ 8865-93¹⁵.

На рисунку 3.1 показані температурні характеристики позисторів СТ14-1Б і СТ14-1А, застосовуваних в якості датчиків температури пристрою вбудованого температурного захисту УВТЗ. Як випливає з графіків, при температурі +110°C для СТ14-1Б і +130°C для СТ14-1А опір терморезисторів зростає стрибкоподібно. Цей стрибок є сигналом для спрацьовування захисту і вимкнення електродвигуна.

Позистори конструкційно виконані у вигляді дисків діаметром 3 мм і товщиною 1,5 мм, покритих кремнійорганічною емаллю, що створює потрібну вологостійкість і електричну міцність ізоляції. Встановлюють їх у лобовій частині обмотки статора на кожну фазу і з'єднують послідовно (рис.3.2).

Після їх встановлення вимірюють опір всього кола позисторів, який при температурі плюс $20 \pm 5^\circ\text{C}$ повинен бути в межах 120...150 Ом.

Позистори повинні бути вбудовані в статорні обмотки заводом-виробником електричної машини.

У разі відсутності закладених позисторів в електродвигуні допускається їх встановлення під час капітального ремонту (перемотування обмотки статора).

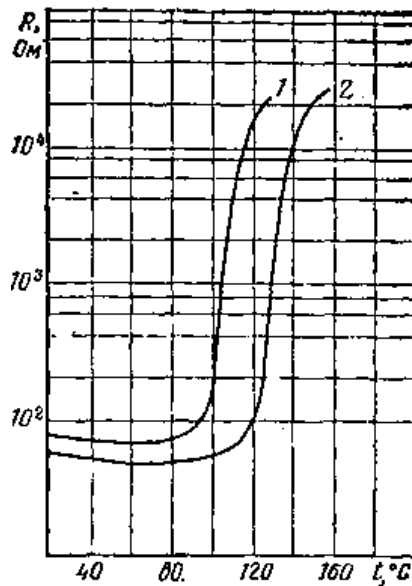


Рисунок 3.1 – Графіки залежності опору позисторів від температури: 1 - СТ14-1Б; 2 - СТ14-1А

¹⁵ ГОСТ 8865-93. Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация

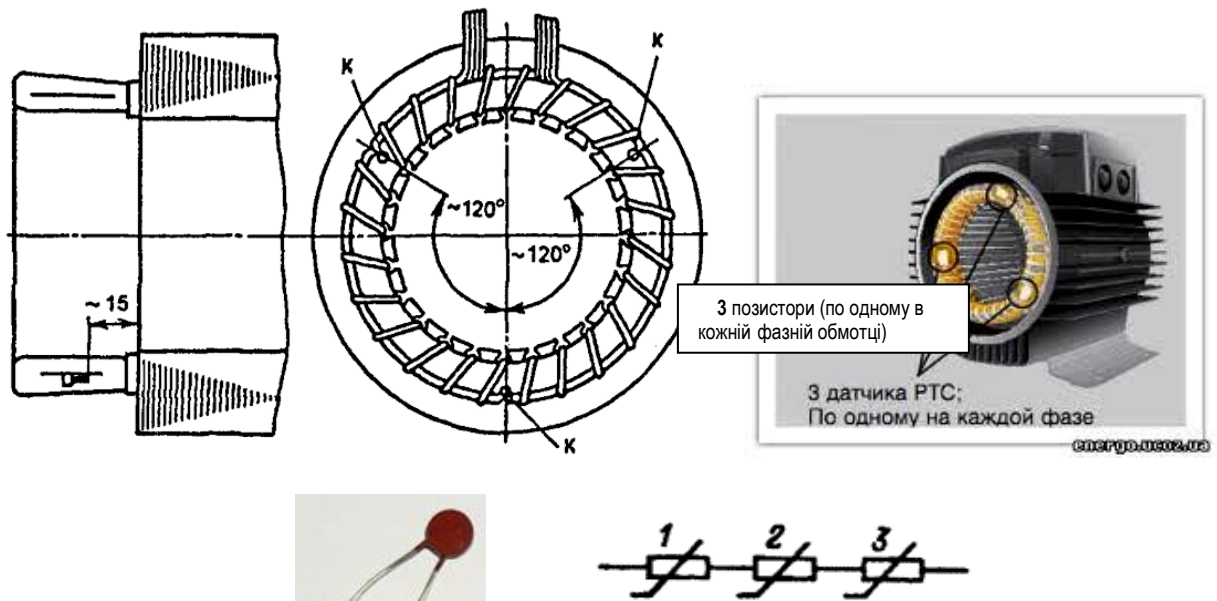


Рисунок 3.2 – Вбудовування позисторів в обмотку статора асинхронного електродвигуна

Позистори (СТ14-1А, СТ14-1Б, СТ14-2-130, СТ14-2-145, СТ14-2-160) вбудовуються в лобові частини обмотки статора з боку вільного валу електродвигуна так, щоб провідники торкалися їх з усіх боків. Провідники, що з'єднують позистори, прокладаються за можливості паралельно проводу обмотки статора в лобовій частині обмотки і бандажуються до неї. Два вільних провідники кола позисторів виводяться в коробку виводів електродвигуна. Після встановлення вимірюють опір кола позисторів за допомогою приладів, що подають на вимірювальне коло не більше 7,5В (2,5В на кожен терморезистор). Опір кола з трьох послідовно з'єднаних позисторів при температурі плюс $20 \pm 5^\circ\text{C}$ повинен бути в межах 120-450 Ом.

При самостійному встановленні позисторів на електродвигуни, що знаходяться в експлуатації, необхідно зняти передній підшипниковий щит електродвигуна, і за допомогою клею та бандажної стрічки закріпити позистори згідно з рис 3.2. Два вільних провідники кола терморезисторів виводяться в коробку виводів електродвигуна на окремі затискачі Т1 і Т2.

У разі неможливості зняти передній щит електродвигуна можна встановити позистори на лобових частинах обмотки статора з боку вентилятора, при цьому спрацювання захисту буде при температурі на $5-7^\circ\text{C}$ вищій.

При монтажі позисторів необхідно дотримуватися обережності - не порушувати цілісність обмотки статора, оскільки це може призвести до електричного пробоя.

При захисті однофазного електродвигуна допускається встановлювати один терморезистор.

Вбудований температурний захист має істотну перевагу перед широко застосовуваними струмовими електротепловими реле, основним елементом яких служить біметалева пластина [1, 4] оскільки реагує на температуру обмотки статора асинхронного електродвигуна незалежно від причини, що викликала її надмірний нагрів. Конструкція електротеплових реле не дозволяє реально вимірювати температуру захищуваного об'єкта і оцінювати його температурний режим.

Особливо ефективно пристрої вбудованого температурного захисту працюють в умовах порушення охолодження електродвигуна, а також при його частих пусках і реверсах, регулюванні частоти обертання.

Недоліком пристроїв УВТЗ є спізнення спрацювання захисту при швидкому наростанні температури, оскільки позистор, як датчик температури, видає сигнал (змінює свій опір) з деякою затримкою. Необхіден певний час, аби позистор нагрівся до температури, яку має обмотка статора електродвигуна. Запізнення спрацювання УВТЗ залежить від розмірів датчика та місця розміщення його в електродвигуні. За таких обставин при загальмованому ротора або обриві фази його обмотки статора, коли швидкість наростання температури досягає 10°C в секунду, можливий перегрів двигуна через теплову інерцію датчиків. В останніх виконаннях УВТЗ запізнення знижене до кількох секунд, однак повністю усунути його не вдається.

Іншими недоліками пристроїв вбудованого температурного захисту є нечутливість до струмів короткого замикання і складність монтажу датчиків температури. Датчики встановлюються в пазах обмотки статора або на лобовій частині двигуна.

Перед експлуатацією пристрою вбудованого температурного захисту необхідно перевірити його шляхом створення режимів самоконтролю. Для цього необхідно переконатися в нормальній роботі електродвигуна на холостому ході і провести наступні операції:

- замкнути коло терморезисторів накоротко, при цьому УВТЗ має відключити електродвигун;
- розірвати коло терморезисторів, при цьому УВТЗ має відключити електродвигун;
- від'єднати провід, що з'єднує УВТЗ з нульовим проводом - пристрій відключає електродвигун.

Спрацювання УВТЗ і відключення електродвигуна від мережі в режимах самоконтролю свідчить про нормальну роботу пристрою.

Пристрій вбудованого температурного захисту УВТЗ-1М.

Пристрій вбудованого температурного захисту УВТЗ-1М (рис.3.3) призначений для роботи спільно з датчиками температури (терморезисторами) типів СТ14-1А, СТ14-1Б, СТ14-2-115, СТ14-2-130, СТ14-2-145, СТ14-2-160, розташованими в зоні контролю температури.



Рисунок 3.3 – Пристрій вбудованого температурного захисту УВТЗ-1М

Пристрій УВТЗ-1М призначений для температурного захисту електродвигунів та інших об'єктів, що захищаються при наступних аварійних режимах:

- 1) аварійне підвищення температури в зоні контролю внаслідок:
 - а) тривалих перевантажень електродвигуна;
 - б) заклинювання ротора електродвигуна;
 - в) неправильних режимах пуску-гальмування електродвигуна;
 - г) порушеннях режимів живлення електродвигуна;
 - д) порушення в системі охолодження електродвигуна;
 - е) підвищенні температури навколишнього середовища.
- 2) обрив у колі датчиків.
- 3) коротке замикання в колі датчиків;
- б) обрив кола живлення пристрою.

Умови експлуатації пристрою УВТЗ-1М:

- інтервал робочих температур від мінус 40°C до + 55°C;
- атмосферний тиск від 84,0 до 106,7 кПа;
- відносна вологість навколишнього повітря до 93% при +25°C.

Живлення пристрою здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В (+10-20)% частотою 50 Гц.

Опір кола позисторів, що викликає спрацювання пристрою, Ом – 2100.

Значення опору спрацьовування при зміні температури навколишнього середовища від мінус 40°C до плюс 55°C і напруги мережі живлення від 80 до 110% від номінального значення, Ом:

- 1) верхнього порогу - 1850 ... 2475;
- 2) нижнього порогу - не більше 120.

Напруга на позисторах при увімкненому живленні пристрою, В – не більше 2,5.

Комутована виконавчим реле пристрою напруга, В:

- 1) змінного струму частотою 50 Гц – від 6 до 380;
- 2) постійного струму – від 6 до 220.

Комутований струм, А - 0.001...4.

Максимально допустима потужність комутації при активно-індуктивному навантаженні ($\cos \varphi = 0,4$), ВА - не більше 250.

Самоконтроль справності кола захисту спрацьовує:

- 1) при обриві в колі датчиків;
- 2) при короткому замиканні в колі датчиків.

Самоконтроль кола живлення пристрою УВТЗ-1М: спрацьовує при обриві.

Виконання за ГОСТ 14254-80 – IP00.

Робочий режим - тривалий або повторно-короткочасний з частотою увімкнення до 6 разів за хвилину.

Споживана потужність, Вт - не більше 3,0.

Маса пристрою, кг, не більше – 0,3.

Пристрій вбудованого температурного захисту УВТЗ - 1М (рис.3.4) складається з вузла живлення, перетворювача та вихідного елемента. Вузол живлення має діодний міст $VD1$, резистори $R1$, $R2$, $R3$, $R4$ для обмеження струму в колі стабілітрона $VD2$ і розряджання конденсатора $C1$ після вимкнення пристрою з мережі. Перетворювач, виконаний на транзисторах $VT1-VT4$, служить для посилення сигналу датчиків, що підключаються через клеми 5 і 6, і перетворення його в сигнал для керування вихідним елементом (виконавчим реле $KR1$), призначеним для керування електромагнітним пускачем, що комутує кола живлення електродвигуна

Пристрій УВТЗ - 1М працює таким чином. При натисканні кнопки «Пуск» магнітного пускача на клеми 1 і 4 подається напруга живлення.

Якщо температура обмотки електродвигуна нижче гранично допустимого значення, то опір датчиків малий і напруга, що надходить на транзистор $VT4$, буде більше напруги спрацьовування підсилювачів $VT3$ і

$VT4$, обумовленого подільниками напруги $R6$, $R7$, $R8$. У цьому випадку транзистор $VT4$ буде відкритий, а транзистор $VT1$ і тиристор $VD3$ закриті, а виконавче реле $KR1$ знеструмлене.

При підвищенні температури обмоток електродвигуна понад гранично допустиме значення (залежно від класу нагрівостійкості ізоляції обмотки статора) опір датчиків різко зростає і сигнал, що надходить з датчиків, зменшується, транзистор $VT4$ закривається, а транзистор $VT1$ відкривається. Тиристор $VD3$ відкривається і реле $KR1$ спрацьовує, а його контакти розмикають коло живлення котушки електромагнітного пускача, який відключає електродвигун від мережі.

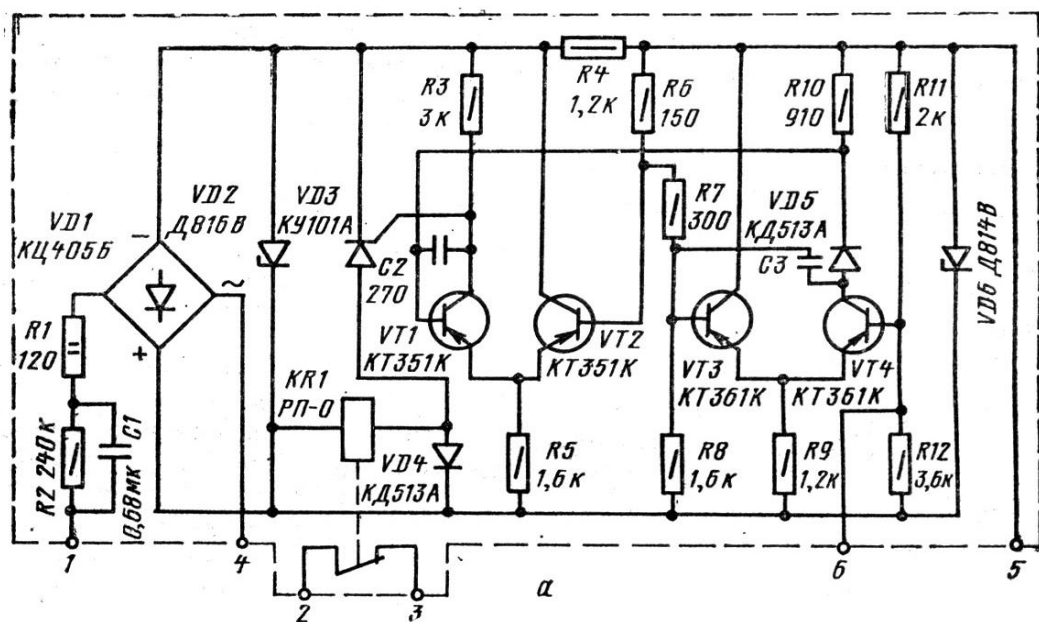


Рисунок 3.4 – Схема електрична принципова пристрою вбудованого температурного захисту УВТЗ-1М

Після спрацювання пристрою УВТЗ-1М його схема блокується, і для повернення у вихідне положення необхідно вимкнути живлення пристрою і через 1...2 с знову увімкнути.

У разі обриву або короткого замикання в колі позисторів пристрій УВТЗ-1М спрацьовує таким же чином, як і при надмірному підвищенні температури обмотки статора захищуваного електро-двигуна. В цьому полягає функція самоконтролю кола позисторів, здійснювана пристроєм УВТЗ-1М.

Опір ізоляції нових, що не були в експлуатації пристроїв УВТЗ, повинен бути (в опалюваних сухих приміщеннях) 10 МОм; після впливу

підвищених або знижених температур - 3 МОм; після перебування протягом 24 год. в середовищі з вологістю 90% при температурі + 20°C - не менше 0,5 МОм.

Завод-виробник постачає пристрій УВТЗ - 1М в опломбованому вигляді, з додатковими позисторами (3 шт.) з $\theta_{\text{спрац}} = +105^{\circ}(+130^{\circ})\text{C}$ (на вимогу замовника).

3.3 Фазочутливі пристрої захисту електродвигунів

Надійна і безперебійна робота електродвигунів забезпечується, перш за все, правильним вибором їх за потужністю, режимом роботи, виконанням, ступенем захисту від впливу навколишнього середовища. Поряд з цим, дуже важливим є обґрунтований, технічно грамотний підхід розробників електропривода до складання схеми керування та захисту, вибору пускозахисних апаратів, провідникової та кабельної продукції. Велике значення має також дотримання діючих норм і правил при монтажі та експлуатації електродвигунів.

Однак і у разі належного рівня експлуатації правильно сконструйованого електропривода ще досить високою є ймовірність виникнення аномальних (аварійних) режимів.

До таких режимів належать:

- багатофазні і однофазні короткі замикання в обмотках електродвигуна, клемній коробці та зовнішньому силовому колі (зокрема замикання фази на корпус електродвигуна в мережах із глухозаземленою нейтраллю);
- короткі замикання в колах керування;
- міжвиткові замикання в обмотці статора електродвигуна;
- теплові перевантаження двигуна при важких умовах пуску (надмірне навантаження, знижена напруга мережі);
- теплові перевантаження двигуна внаслідок обриву фази в зовнішньому силовому колі чи в обмотці статора;
- теплові перевантаження двигуна при порушенні умов охолодження (пошкодження вентилятора, засмічення ребер станини тощо).

Одним з найбільш розповсюджених аномальних режимів є **обрив фази**, що призводить до виходу з ладу електродвигунів (40...60% усіх аварій, що трапляються з електродвигунами).

Донедавна номенклатура захисних пристроїв включала запобіжники для захисту від коротких замикань та електротеплові реле - для захисту від перевантажень.

Захист за допомогою запобіжників є простим і, певною мірою, надійним, однак потребує наявності змінних каліброваних плавких вставок. Часто запобіжники самі стають причиною аварій, оскільки при згоранні плавкої вставки одного з них можливе виникнення неповнофазного режиму.

Заміна запобіжників автоматичними вимикачами з електромагнітними розчіплювачами практично унеможливорює появу неповнофазного режиму у разі коротких замикань, однак при цьому зберігається потреба у захисті двигунів від перевантаження, спричиненого асиметрією напруги в мережі.

Частково це завдання вирішується шляхом впровадження автоматичних вимикачів з комбінованими розчіплювачами та електротеплових реле РТЛ, РТТ (на заміну реле ТРН, ТРП). Вказані реле мають механізм прискорення спрацювання у випадку, коли перевантаження викликане неповнофазним живленням електродвигуна. Звісно, що надійність спрацювання електротеплових реле в аномальних режимах обумовлюється їх ретельним налаштуванням та регулюванням.

Однак і в такому разі досягти ефективного захисту за допомогою електротеплових реле не завжди вдається, якщо двигуни працюють з частими або затяжними пусками, навантаженням, що різко змінюється, а також у режимах реверсу та гальмування противмиканням.

Поряд з цим електротеплові реле практично не захищають двигуни при перевантаженні, яке пов'язане з погіршенням охолодження через засмічення ребер станини чи пошкодження вентилятора зовнішнього обдуву.

Недоліки згаданих захисних пристроїв та значна аварійність електродвигунів в умовах експлуатації є підставою для розробки і впровадження нових, більш досконалих зразків, що належать до таких груп:

- пристрої захисту від обриву фази;
- пристрої вбудованого температурного захисту;
- комбіновані захисні пристрої з розширеними функціональними можливостями.

Оригінальним за схемним вирішенням та конструкцією є пристрій фазочутливого захисту ФУЗ (рис.3.5).

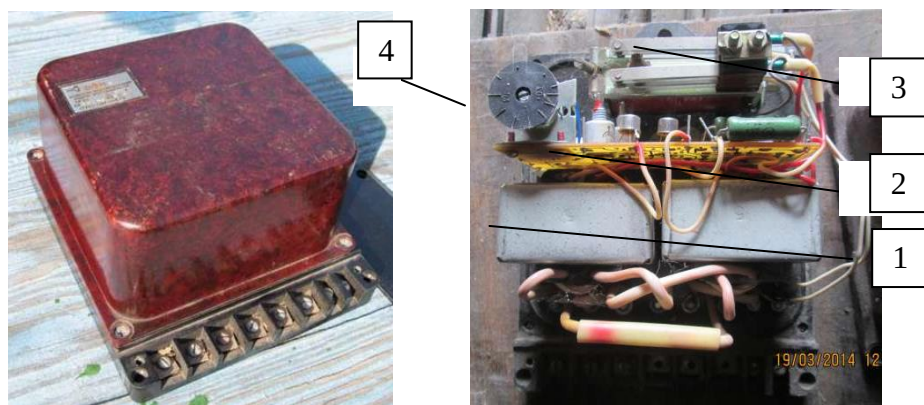


Рисунок 3.5 – Фазочутливий пристрій захисту ФУЗ-М1: 1 - трансформатор струму; 2 – плата друкованого монтажу; 3 - виконавче реле; 4 - шкала потенціометра настроювання захисту.

Базова схема ФУЗ реалізує функцію контролю кута зсуву фаз між струмами у трифазній мережі.

Відомо, що при нормальному живленні електродвигуна кут зсуву фаз $\gamma=120^\circ$, а у випадку обриву однієї з фаз $\gamma=180^\circ$ (або $\gamma=0^\circ$). Контролюючи цей параметр, можна певною мірою контролювати фазні напруги і струми, а як вихідну інформацію використовувати зміну знака миттєвих значень величин, що порівнюються, та порядку їх чергування; можна також порівнювати дві або три електричні величини (імпульсні і безперервні) за фазою.

Для контролю зміни зсуву фаз між струмами навантаження у пристроях ФУЗ використовуються фазоповоротні трансформатори струму.

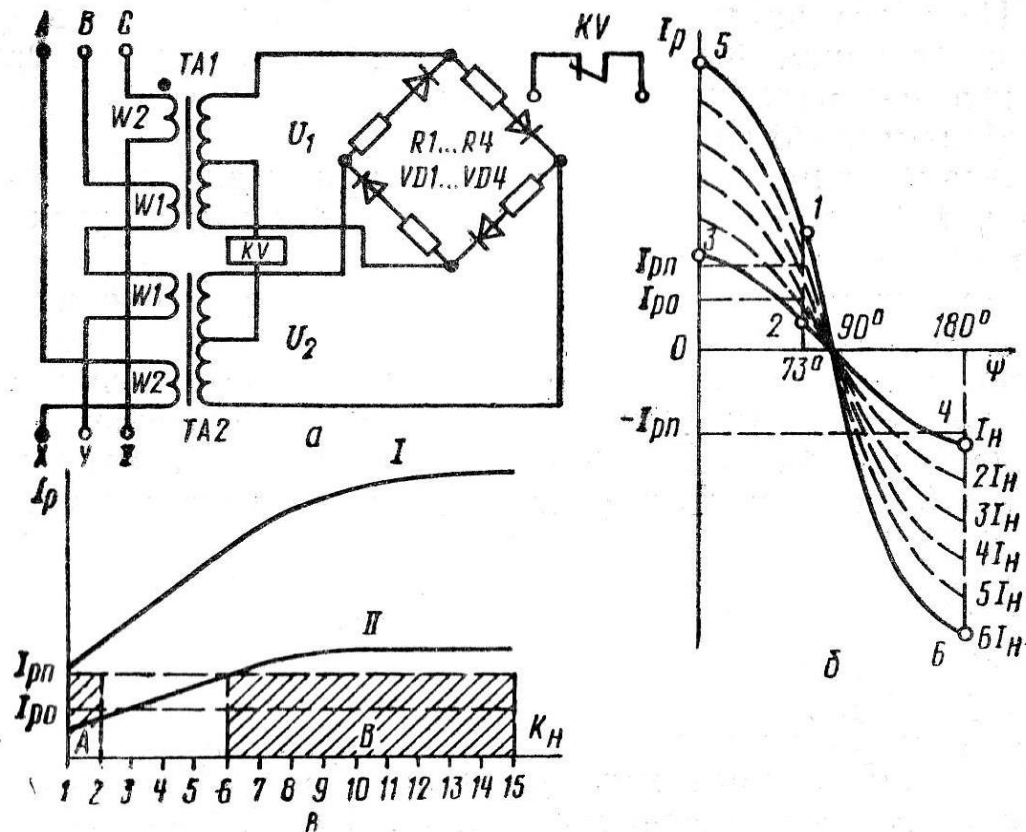


Рисунок 3.6 - Фазочутливий пристрій захисту ФУЗ: а - електрична схема; б - фазові характеристики $I_p = F(\varphi)$; навантажувальні характеристики $I_p = (\varphi) (K_H)$

Фазоповоротні трансформатори струму $TA1$ і $TA2$ (рис.3.6) з трифазного струму навантаження формують дві вимірювані напруги $U1$ і $U2$. Кут зсуву фаз між ними при роботі електродвигуна на всіх трьох фазах близький до 90° . При обриві будь-якої з фаз кут зсуву стає рівним 0 або 180° , внаслідок чого спрацьовує фазочутливий кільцевий детектор на діодах $VD1...VD4$ з баластними резисторами $R1 \dots R4$. Навантаженням кільцевого детектора є виконавче реле пристрою захисту KV (рис.2), включене між середніми точками сигнальних обмоток фазоповоротних трансформаторів струму.

Фазовий детектор сприймає сформовані із струмів фаз статора електродвигуна, в коло якого ввімкнений пристрій захисту, контрольні напруги $U1$ та $U2$, які мають бути зсунуті за фазою на кут γ' . Елементи формувача контрольних напруг $A1$ розраховуються так, що кут $\gamma=90^\circ$ при повнофазному режимі живлення електродвигуна, а у випадку обриву фаз стає рівним 0° чи 180° (рис.3.6). При цьому значно зростає струм I_0 у котушці виконавчого реле, що викликає його спрацювання.

Фазовий детектор, як правило, має косинусну характеристику $I_0=f(\gamma)$, що показана на рисунку 3.6.

Можна поступити інакше, змінивши вихідний кут $\gamma=90^\circ$ між напругами U_1 та U_2 (шляхом зміни параметрів формувача напруг). Тоді у разі відсутності перевантаження по котушці виконавчого реле KV (рис.2) буде проходити струм, який менший струму спрацювання реле. У разі виникнення значного перевантаження (заклинювання чи незапуск двигуна) різко зростає струм у колі котушки виконавчого реле KV , яке спрацьовує і вимикає двигун.

Контрольовані напруги U_1 та U_2 формуються із фазних струмів електродвигуна з використанням трьох, двох чи одного фазоповоротного трансформатора струму, вторинні обмотки яких з'єднують зіркою з виведеною нейтраллю і сполучають з аналогічними виводами пристрою ФУЗ, попередньо з'єднавши за такою ж схемою.

Базовий фазочутливий пристрій захисту захищає електродвигун тільки від неповнофазного режиму і не реагує на перевантаження, зокрема ті, що спричиняються заклинюванням ротора чи незапуском двигуна.

Модернізований пристрій захисту ФУЗ-М (рис.3.7) містить вузол контролю перевантажень, що контролює одну із вказаних напруг (U_1 чи U_2).

Схема контролю перевантаження складається з регульованого тиристорного випрямляча ($VS1$, $R5$, $RP1$, $RP2$), зарядно-розрядного кола ($R6$, $R7$), накопичувального конденсатора $C1$, порогового елемента - тиристора $VS2$ зі стабілітроном $VD5$, режимних резисторів $R8...R10$ і шунтуючого тиристора $VS3$ (рис.3)

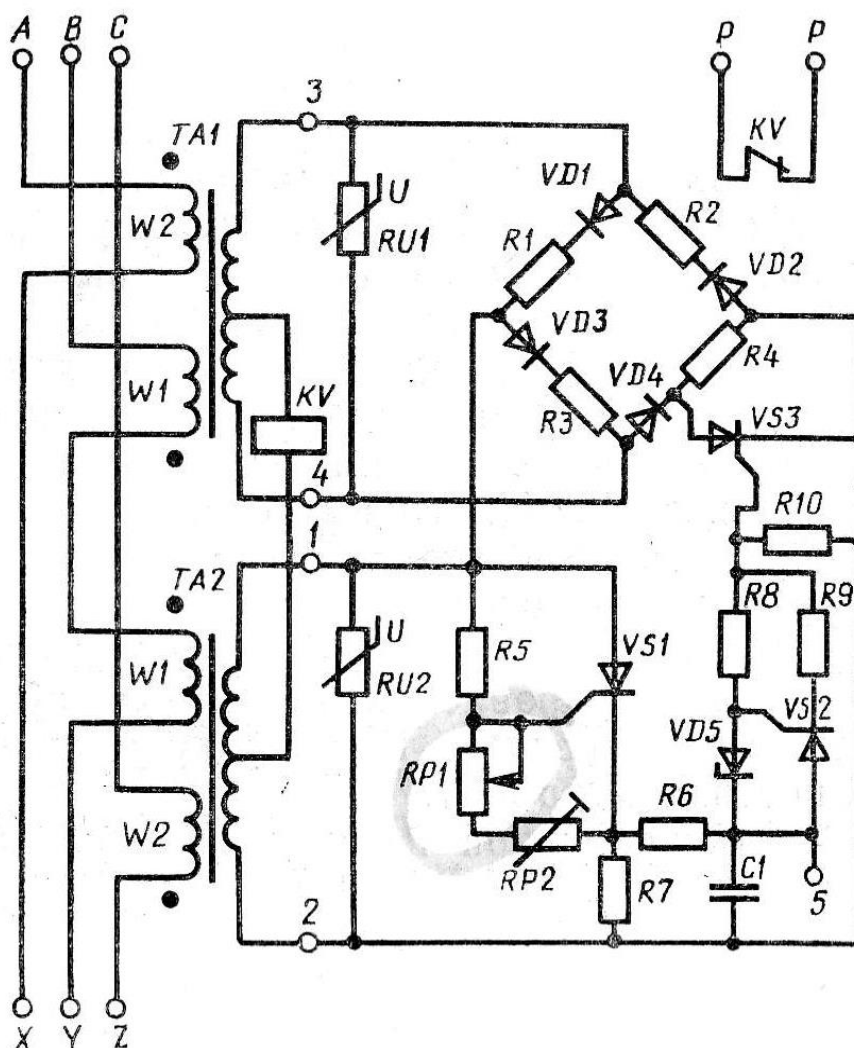


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова фазочутливого пристрою захисту ФУЗ-М

Пристрої ФУЗ-М випускаються на різні струми в межах 5-ти діапазонів (таблиця 1). За допомогою резистора настроювання, що має шкалу з поділками, можна привести робочий струм пристрою ФУЗ у відповідність з номінальним струмом електродвигуна (таблиця 2).

Як показано [1], пристрої ФУЗ добре працюють в умовах нестабільності і несиметрії напруги живильної мережі, оскільки кут γ між контрольованими напругами U_1 та U_2 при несиметрії у мережі практично не впливає на силу струму у котушці вказаного реле.

Пристрій ФУЗ досить надійно захищає електродвигун від усіх прямих аварійних режимів (обрив фази, незапуск, загальмовування, перевантаження), однак не реагує на деякі побічні, що призводить до перегрівання обмотки статора. Побічні аварійні режими виникають у разі недостатнього

теплообміну з навколишнім середовищем, частих реверсів або пусків двигуна, перегрівання підшипників.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики фазочутливого пристрою захисту ФУЗ-М

	Типовиконання пристрою захисту				
	ФУЗ-М1	ФУЗ-М2	ФУЗ-М3	ФУЗ-М4	ФУЗ-М5
Робоча напруга, В	380				
Діапазон робочого струму, А	1...2	2...4	4...8	8...16	16...32
Струм спрацювання при обриві фази, не більше, А	1	2	4	8	16
Час спрацювання при обриві фази, не більше, с	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Час спрацювання при перевантаженні 1,5, не більше, с	30...50	30...50	30...50	30...50	30...50
Час спрацювання при перевантаженні 7,5, не більше, с	6...10	6...10	6...10	6...10	6...10

Більш досконалою є модифікація ФУЗ-У, що забезпечує додатковий контроль температури корпусу чи обмотки електродвигуна за допомогою температурного датчика (позистора). Можуть бути використані позистори, які містяться у двигунах спеціального призначення, що мають використовуватися з пристроями УВТЗ.

Ще одна модифікація ФУЗ-И додатково забезпечує контроль опору ізоляції обмотки статора електродвигуна, а у разі значного його зниження не допускає вмикання.

З використанням пристрою фазочутливого захисту ФУЗ-М розроблена і випускається універсальна станція керування і захисту електродвигунів занурювальних насосів УСУЗ.

Таблиця 3.3 – Значення номінальних струмів захищеного електродвигуна, що відповідають поділкам шкали регулювального резистора пристрою захисту ФУЗ-М1...ФУЗ-М5

Типовиконання пристрою захисту	Діапазон робочого струму, А	Номінальний струм А, захищеного електродвигуна при поділці шкали регулювального резистора RP1								
		-0,35	-0,3	-0,2	-0,11	+0,1	+0,1	+0,2	+0,3	+0,35
ФУЗ-М1	1-2	0,975	1,05	1,2	1,35	1,5	1,65	1,8	1,95	2,025
ФУЗ-М2	2-4	1,95	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,05
ФУЗ-М3	4-8	3,9	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,1
ФУЗ-М4	8,16	7,8	8,4	9,6	10,8	12	13,2	14,4	15,6	16,2
ФУЗ-М5	16-32	15,6	16,8	19,2	21,6	24	26,4	28,8	31,2	32,4

3.4 Мікроконтролерний пристрій захисту і діагностування електродвигунів МКЗид-0,4-7-НП-І

Мікроконтролерний пристрій захисту і діагностування електродвигунів **МКЗид-0,4-7-НП-І** призначений для захисту асинхронних електродвигунів в мережах напругою 0,4 кВ та діагностування агрегатів «електродвигун-механізм».

Застосування МКЗид-0,4-7-НП-І дозволяє:

- своєчасно вимикати пошкоджений електродвигун від мережі живлення, щоб уникнути розвитку аварійного режиму;
- зменшити розміри руйнування електродвигуна шляхом його вимикання на ранній стадії пошкодження;
- попередити пошкодження електродвигуна при його роботі в аномальних режимах;
- здійснювати діагностування робочих механізмів шляхом аналізу електричних параметрів електродвигуна.

Основні характеристики захистів, які забезпечує пристрій:

1) захист від симетричного по фазах перевантаження:

- має інтегрально-залежну характеристику спрацьовування, максимально наближену до перевантажувальної характеристики електродвигуна;

- після вимкнення електродвигуна (усунення перевантаження) імітує охолодження електродвигуна, забороняючи повторний пуск при залишковому тепловому імпульсі, що перевищує контрольне значення;
- здійснює діагностування агрегату «електродвигун-механізм» при черговому пуску шляхом порівняння збільшення теплового імпульсу за час пуску з контрольним значенням;
- має можливість програмної зміни характеристики спрацьовування залежно від параметрів електродвигуна, зміни струму спрацьовування, постійної часу охолодження.

2) захист від несиметрії фазних струмів і виткових замикань в обмотці статора електродвигуна:

- діє за єдиним алгоритмом, що не ідентифікує окремо режим виткового замикання і режим несиметричного перевантаження;
- має незалежну витримку часу, узгоджену з максимальною витримкою часу захистів від несиметричних коротких замикань прилеглої мережі.

3) захист від міжфазних коротких замикань (струмова відсічка) діє без витримки часу (власний час спрацьовування 0,03-0,04 сек.), Відбудовується від пускових струмів електродвигуна;

4) захист від неприпустимого пульсуючого навантаження:

- призначений для попередження пошкодження агрегату «електродвигун - механізм» при виникненні стійкого пульсуючого моменту на валу електродвигуна, величина якого перевищує допустиме для робочого механізму значення;
- виявляє періодично діючий з частотою обертання агрегату ($<25\text{Гц}$) пульсуючий момент, амплітуда якого перевищує постійно діючий момент на валу електродвигуна;
- діє з витримкою часу на сигнал або вимкнення електродвигуна.

Пристрій реалізує контроль рівня ізоляції обмотки статора відносно корпусу вимкненого електродвигуна і при цьому:

- забезпечує автоматичний перехід в режим вимірювання опору ізоляції при вимкненні електродвигуна;
- запобігає увімкненню електродвигуна при зниженні опору ізоляції нижче допустимого рівня (500 кОм);

Пристрій забезпечує можливість передавання контрольованих параметрів і логічних сигналів по послідовному каналу зв'язку (інтерфейс RS-485) на відстань до 1,5 км .

Пристрій оснащений інтерфейсами Modbus RS485, здійснює передавання на ПЕОМ наступних параметрів:

- значення струмів трьох фаз;
- значення фазної напруги;
- рівень несиметрії струмів;
- рівень пульсації струмів електродвигуна;
- величина теплового імпульсу;
- значення опору ізоляції (при вимкненому електродвигуні);
- значення пускового струму;
- тривалість пуску;
- статусний реєстр;
- протоколи спрацьовування;
- астрономічний час, дата.

Таблиця 3.3 - Технічні дані пристрою МКЗид-0,4-7-НП-І

Параметр	Значення параметра
1	2
1. Вхідні аналогові сигнали	
1.1 Кількість входів по фазних струмах	3
1.2 Діапаон струмів в фазах, відн. одиниць	(0,2-16) $I_{\text{ном}}$
1.3 Термічна стійкість струмових кіл, не менше - тривало - протягом 1 с	$3I_{\text{ном}}$ $40I_{\text{ном}}$
1.4 Кількість входів по напрузі	1
1.5 Діапазон вимірювання напруги, В	100-260
1.6 Частота струму в мережі, Гц	50
1.7 Потужність вхідних кіл струму і напруги в номінальному режимі ВА, не більше	0,4
2. Вхідні дискретні сигнали	
2.1 Кількість дискретних сигналів	1
2.2 Тип сигналу	«потенційний вхід»
2.3 Напруга надійного спрацьовування, В	180 - 220
2.4 Напруга надійного неспрацьовування, В	0 - 130
2.5 Тривалість сигналу, мс, не менше	20

Продовження таблиці 3.3

1	2

3. Вихідні дискретні сигнали	
3.1 Кількість дискретних сигналів	2
3.2 Тип сигналу	перемикаючий
3.3 Комутована напруга змінного струму, В, не більше	380
3.4 Комутований струм замикання/розмикання, А, не більше	5
4. Живлення пристрою	
4.1 Напруга постійного / змінного оперативного струму, В	100-260
4.2 Номінальна частота змінного струму, Гц	50
4.3 Споживана потужність, Вт не більше - в черговому режимі в режимі спрацювання	6 7,5
5. Система контролю рівня ізоляції електродвигуна	
5.1 Діапазон вимірювання опору ізоляції, кОм	100-20000
5.2 Відносна похибка вимірювання опору ізоляції в діапазоні 400кОм - 10Мом, %	10
6. Захист від симетричного перевантаження електродвигуна	
6.1 Струм спрацювання, відн.одиниць	(1-1,5) $I_{\text{НОМ}}$
6.2 Час спрацювання при 1,5 $I_{\text{НОМ}}$, с	50-400
7. Захист від несиметрії фазних струмів і виткових замикань	
7.1 Рівень спрацювання, %	(1 - 100)
7.2 Час спрацювання, мс	50-60000
8. Захист від міжфазних коротких замикань (струмова відсічка)	
8.1 Струм спрацювання, відн.одиниць	(1 - 15) $I_{\text{НОМ}}$
8.2 Час спрацювання, мс	30-100
9. Захист від неприпустимого пульсуючого навантаження	
9.1 Рівень спрацювання, %	(1 - 100)
9.2 Час спрацювання, мс	50-10000
10. Захист від неробочого (холостого) ходу	
10.1 Первинний струм спрацювання, відн. одиниць	(0,1 - 0,5) $I_{\text{НОМ}}$
10.2 Час спрацювання, мс	50-60000
11. Умови навколишнього середовища	
11.1 Температура навколишнього повітря, °С	0...+40
11.2 Висота над рівнем моря, м, не вище	2000

Продовження таблиці 3.3

1	2

11.3 Верхнє значення відносної вологості при 300С, %	95
11.4 Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	630-800
11.5 Вібрація: - частота, Гц - прискорення, не більше	10...55 0,7g
11.6 Ступінь захисту за ГОСТ14255-96, не нижче	IP40
- для виводів	IP00

3.5 Універсальний блок захисту електродвигунів УБЗ-301

Універсальний блок захисту електродвигунів УБЗ-301 (рис.3.8, 3.9) призначений для постійного контролю параметрів мережевої напруги і діючих значень фазних/лінійних струмів трифазного електрообладнання 380 В/50 Гц, в першу чергу, асинхронних електродвигунів (ЕД), потужністю від 2,5 кВт до 315 кВт, у тому числі і в мережах з ізольованою нейтраллю.



Рисунок 3.8 - Універсальний блок захисту електродвигунів УБЗ-301. Загальний вигляд

Випускаються три модифікації приладу за номінальним струмом:

- УБЗ-301 5-50А;
- УБЗ-301 10-100А;
- УБЗ-301 63-630А.

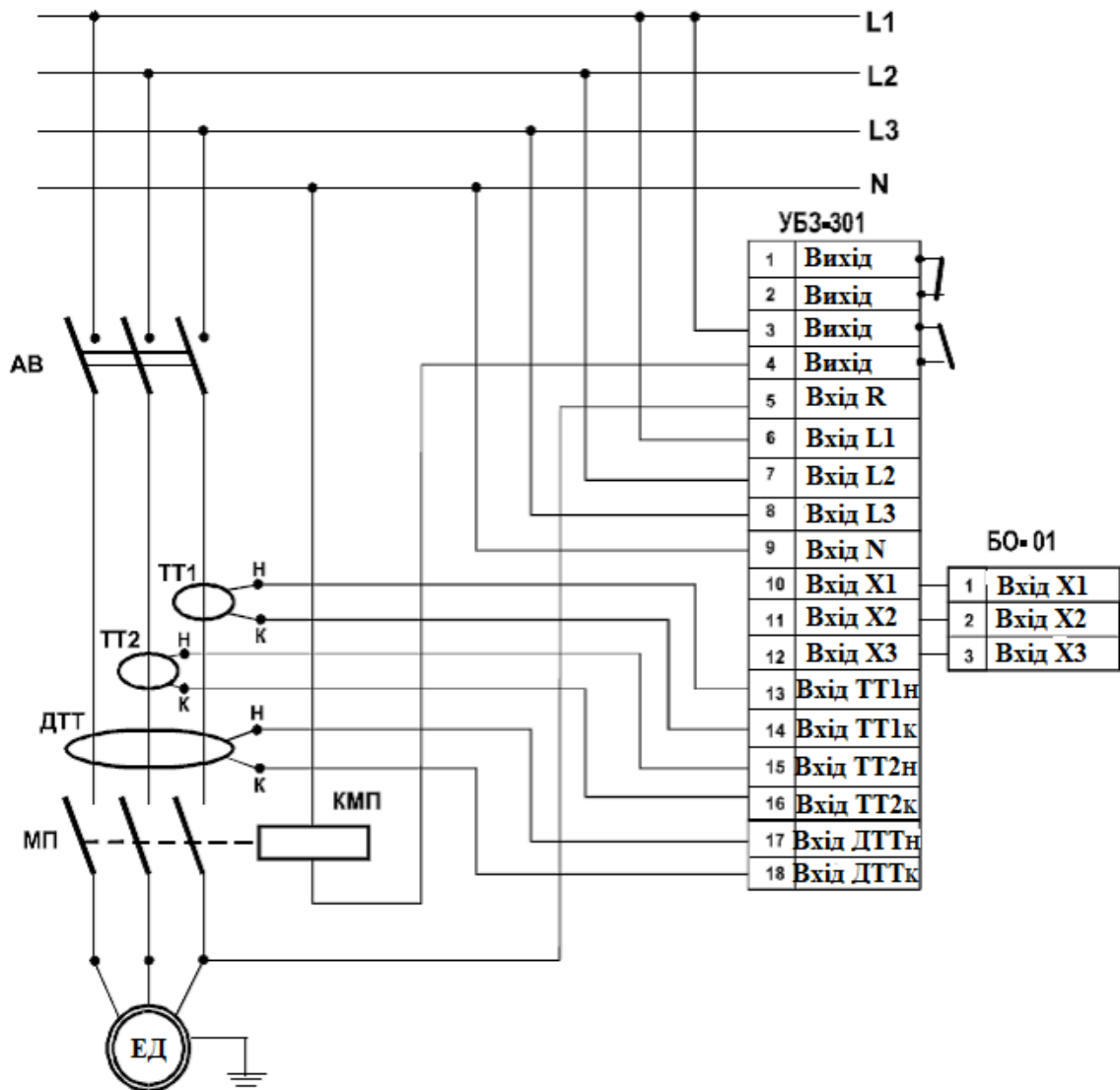


Рисунок 3.9 - Універсальний блок захисту електродвигунів УБЗ-301.
Схема електрична зовнішніх з'єднань (за документацією виробника)

Блок захисту здійснює повний та ефективний захист електроустаткування шляхом вимкнення з мережі та/або блокування його пуску в наступних випадках:

- неякісній мережевій напрузі (неприпустимі скачки напруги, обрив фаз, порушення чергування і злипання фаз, перекіс фазних/лінійних напруг);
- механічних перевантаженнях (симетричне перевантаження по фазних/лінійних струмах) – захист від перевантаження із залежною витримкою часу;
- несиметричних перевантажень по фазних/лінійних струмах, пов'язаних з ушкодженнями усередині двигуна – захист від перекосів фазних

струмів з подальшою заборонаю автоматичного повторного увімкнення (АПВ);

- асиметрії фазних струмів без перевантаження, пов'язаних з порушенням ізоляції усередині двигуна і/або кабелю, що підводить живлення;
- зникненні моменту на валу ЕД («сухий хід» – для насосів) – захист за мінімальним пусковим та/або робочим струмом;
- при неприпустимо низькому рівні ізоляції на корпус – перевірка перед увімкненням з блокуванням пуску при поганій ізоляції;
- замиканні на «землю» обмотки статора під час роботи – захист за струмом витоку на «землю».

Блок забезпечує захист електрообладнання шляхом керування котушкою магнітного пускача (контактора).

Блок захисту забезпечує реалізацію наступних функцій:

- просте і точне встановлення номінального струму електродвигуна з використанням стандартної шкали номінальних струмів;
- встановлення робочого струму електродвигуна, відмінного від стандартних значень з урахуванням тривало допустимого перевантаження;
- спрацьовування за перевантаженням із залежною витримкою часу. Струмо - часова характеристика побудована для умовно холодного двигуна. У процесі роботи розв'язується диференціальне рівняння теплового балансу електродвигуна. Такий підхід дозволяє враховувати попередній стан двигуна і найбільш достовірно приймати рішення про наявність теплового перевантаження. Цей метод дозволяє також врахувати нагрів електродвигуна при пусках і обмежити (за бажанням замовника) їх кількість в одиницю часу;
- можливість зміщувати струмо-часову характеристику як по осі струмів, так і по осі часу;
- виставлення порогів спрацьовування за мінімальною / максимальною напругою, перекосом лінійних напруг і фазних струмів, а також часом автоматичного повторного увімкнення на розсуд замовника самостійно;
- індикацію виду аварії, наявності мережевої напруги, струмового діапазону, на який налаштований блок і увімкнення навантаження;
- через блок обміну БО-01 дозволяє здійснювати обмін і передавання інформації по протоколу RS-485 (БО-01 поставляється під замовлення).

3.6 Універсальний блок захисту електродвигунів УБЗ-304

Універсальний блок захисту УБЗ-304 (рис.3.10) призначений для захисту асинхронних електродвигунів потужністю від 2,5 до 315 кВт при використанні зовнішніх стандартних струмових трансформаторів з вихідним струмом 5 А.



Рисунок 3.10 - Універсальний блок захисту УБЗ-304

Блок УБЗ-304 може працювати в електричних мережах як з ізолюваною, так і з глухозаземленою нейтраллю. Виконання приладу – щитове. УБЗ-304 забезпечує постійний контроль параметрів мережевої напруги, діючих значень фазних (лінійних) струмів трифазного електрообладнання 380 В 50 Гц і перевірку значення опору ізоляції електродвигунів.

Блок УБЗ-304 забезпечує захист електродвигунів при:

- неякісній мережевій напрузі (неприпустимі скачки напруги, обрив фаз, порушення чергування і злипання фаз, перекіс фазних/лінійних напруг, зниження частоти струму в мережі нижче заданої і (або) підвищення вище заданої);
- механічних перевантаженнях (симетричне перевантаження по фазним/лінійним струмам);
- перевищенні порогу струмом зворотної послідовності;
- несиметрії фазних струмів без перевантаження, пов'язаної з порушенням ізоляції усередині двигуна і/або живильного кабелю (порівняння коефіцієнта несиметрії струму за зворотною послідовністю з коефіцієнтом несиметрії напруги за зворотною послідовністю);
- зникнення моменту на валу електродвигуна («сухий хід» – для насосів) – захист за мінімальним пусковим та/або робочим струмом;

- затягнутому пуску електродвигуна чи блокуванні ротора;
- неприпустимо низькому рівні ізоляції між статором і корпусом двигуна (перевірка перед увімкненням);
- замиканні на «землю» обмотки статора під час роботи – захист за струмом витоку на «землю»;
- тепловому перевантаженні електродвигуна;
- перегріві обмоток (визначається температура обмоток з використанням вбудованих у двигун температурних датчиків або температура корпусу при використанні зовнішніх температурних датчиків).

Питання для самоконтролю і завдання

1. В чому полягає принцип дії пристрою вбудованого температурного захисту УВТЗ -1М?
2. Від яких аномальних режимів захищає електродвигун пристрій вбудованого температурного захисту УВТЗ -1М?
3. Чим відрізняються один від одного термистори і позистори?
4. Як змінюється опір позистора при зміні його температури?
5. Які функції контролю кола позисторів реалізує схема пристрою вбудованого температурного захисту УВТЗ -1М?
6. Чому позистори встановлюють у лобовій частині обмотки статора електродвигуна з боку його валу?
7. Чим обумовлене запізнення спрацювання УВТЗ у разі швидкого наростання температури обмотки статора захищуваного електродвигуна?
8. Які недоліки, властиві захисту електродвигуна за допомогою струмових електротеплових реле усуваються шляхом використання вбудованого температурного захисту?
9. Яке призначення фазочутливого пристрою захисту ФУЗ-М?
10. На якому принципі працює фазочутливий пристрій захисту ФУЗ-М?
11. При яких пошкодженнях і аномальних режимах електродвигуна спрацьовує фазочутливий пристрій захисту ФУЗ-М?
12. Які можливості регулювання уставки фазочутливого пристрою захисту ФУЗ-М в поділках?
13. Які переваги фазочутливого пристрою захисту ФУЗ-М у порівнянні із струмовим електротепловим реле?
14. Які переваги фазочутливого пристрою захисту ФУЗ-М у порівнянні із вбудованим температурним захистом УВТЗ при захисті електродвигуна від перевантаження?

15. Як впливає температура навколишнього середовища на час спрацьовування захисту ФУЗ-М при перевантаженнях?

16. Які можливі несправності окремих елементів схеми фазочутливого пристрою захисту ФУЗ-М можуть впливати на час спрацьовування захисту при перевантаженнях?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.

2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.

3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.

4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.

5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

4. РЕЛЕ НАПРУГИ

4.1 Загальні положення

4.2 Електронні реле струму

4.3 Електронні реле напруги

4.4 Реле напруги «VOLT-CONTROL» VC – 01

4.5 Трифазне реле напруги і контролю фаз РНПП-301

Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Низька напруга	Напруга, значення якої є вищим відносно умовно прийнятого граничного максимального значення	<i>Under voltage</i>
Висока напруга	Напруга, значення якої є нижчим відносно умовно прийнятого граничного мінімального значення	<i>High voltage</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандарти

1. IEC 60050-121¹1998/ IECV – Chapter 121¹ Electromagnetism/ - 109 р.
2. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.-68 с.

4.1 Загальні положення

Реле контролю напруги використовується для захисту електричних приладів від випадкових стрибків і перепадів напруги мережі. Реле контролю напруги мережі не здатне стабілізувати і вирівняти неякісну вхідну напругу, а тільки вимикає електроживлення і включає автоматично електричну мережу при відновленні колишньої нормальної напруги.

В промисловості реле здійснюють управління пускачами і силовими контакторами, які і підбираються по своїй потужності. А для побутових споживачів використовуються реле напруги з посиленими електричними контактами (до 100 ампер).

Коливання напруги в мережі, як різке його підвищення, так і пониження негативно впливає на прилади. Внаслідок цього, відбувається їх вихід з ладу, а часто й загорання. Багатьох бід викликаних зміною мережевої напруги, можна уникнути, використовуючи в електричному колі реле напруги. Цей прилад, майже миттєво, реагує на зміни напруги і оберігає прилади від поломок.

Електронні прилади постійно удосконалюються, набувають нових функцій, зменшуються в розмірах, але їх стабільна робота залежить від постійності напруги. Таким чином, реле напруги також постійно змінюється в розмірах, формах, але продовжує, впродовж всього періоду розвитку електроніки, виконувати свою основну функцію.

У випадку, якщо все електрообладнання однофазного типу, то і реле напруги (пристрій захисту) має бути також однофазним. Реле напруги трифазного типу (реле чергування і контролю фаз), насамперед, служить для електричного захисту тільки трифазних електродвигунів.

Складається реле напруги з двох основних деталей: пристрою контролюючого напругу і роз'єднувача, які знаходяться в одному корпусі.

Пристрій, який контролює напругу в колі створено на основі мікропроцесора або більш простіші на основі компактора. Реле на основі мікропроцесора мають плавне регулювання нижньої і верхньої меж спрацьовування.

Основним критерієм реле є швидкість його спрацьовування. Сучасні реле спрацьовують практично миттєво, за декілька наносекунд. Чутливість реле виставляється за допомогою потенціометра за спеціальною шкалою.

Головною відмінністю реле напруги від стабілізатора є те, що воно вмиє відключає прилад, а не намагається вирівняти напругу. Після стабілізації напруги, прилад автоматично включається. Особливо неоціненна

його роль при критичних, аварійних ситуаціях, таких як обриви і перевантаження.

4.2 Електронне реле струму

До складу електронного реле струму входять датчики струму. У колах постійного струму їх роль виконують резистивні датчики, а в колах змінного струму - як резистивні датчики, так і вимірювальні трансформатори струму. Струм що протікає по резистивним датчикам створює на них падіння напруги, пропорційне струму. Це падіння напруги подається на вхід електронного реле струму, зібраного за схемою, аналогічною схемою ЕРН. На рис.4.1 представлена схема електронного реле струму. Дане реле призначене для роботи від мережі змінного струму.

На вході електронного реле струму встановлений вимірювальний трансформатор струму T . При протіканні змінного струму I по первинній обмотці трансформатора у вторинній індукуються змінна ЕРС, пропорційна току струму, яка перетворюється в постійну напругу з допомогою випрямляча, зібраного по мостовій схемі на діодах $VD1 - VD4$. Напруга з виходу випрямляча через резистор $R1$ подається на інвертуючий вхід компаратора DA . На неінвертуючий вхід компаратора через резистор $R2$ подається опорна напруга U_0 від джерела опорної напруги $+E_0$. За допомогою резистора $R3$ встановлюють струм спрацьовування реле I_{cp} . Поки $I < I_{cp}$ на виході компаратора присутній високий рівень напруги, який через діод $VD5$ і резистор $R4$ подається на базу вихідного транзистора VT , утримуючи його у відкритому стані. В результаті напруга живлення прикладається до навантаження R_H .

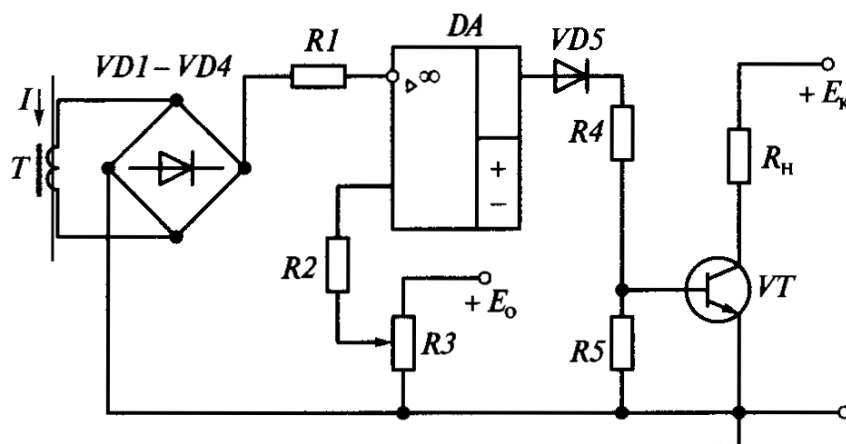


Рисунок 4.1 - Схема електронного реле струму

Коли струм I стає рівним струму спрацьовування $I_{\text{сп}}$ або більшим за нього, напруга на виході компаратора DA змінює свою полярність або стає рівною нулю (в залежності від типу застосовуваного ОУ), діод $VD5$ закривається, що призводить до закриття вихідного транзистора VT . Навантаження R_H перестає отримувати живлення.

4.3 Електронні реле напруги

Реле напруги призначені для захисту трифазних споживачів від основних видів аварій в електричній мережі, таких як:

- вихід діючого значення напруги за межі допустимих порогів;
- порушення чергування і злипання фаз;
- порушення повнофазності і симетричності напруги.

Пристрій контролює основні параметри електричної мережі і при їх відхиленні відключає навантаження. Реле також стежить за станом силових контактів зовнішнього магнітного пускача до і після включення навантаження, контролюючи їх справність (підгорання або злипання)

Перетворювач напруги перетворює змінну напругу в постійну. В якості такого перетворювача використовується однонапівперіодний або двонапівперіодний мостовий випрямляч. При роботі ЕРН в колах постійного струму перетворювач напруги відсутній.



Рисунок 4.2 – Електронні реле напруги

Основними частинами електронного реле напруги (ЕРН) є перетворювач напруги, граничний пристрій (схема порівняння), попередній

підсилювач потужності і вихідний підсилювач потужності (електронний ключ) (рис.4.3).

Граничні пристрої виконують з використанням напівпровідникових елементів, що мають релейну вольт-амперну характеристику, або на схемах порівняння із застосуванням інтегральних мікросхем. Найбільш часто в конструкції ЕРН використовуються стабілітрони. Графічне зображення і вольт-амперна характеристика стабілітрона представлені на рис.4.4.

Як видно з рис.4.4, б, при певному значенні напруги $U_{ст}$ стабілітрон переходить із зони закритого стану в провідну зону. Дана властивість і використовується при створенні граничного пристрою, що входить до складу ЕРН. Для налаштування на задану напругу спрацьовування послідовно зі стабілітроном включають змінний резистор. Один з варіантів схеми граничного пристрою, виконаного на базі стабілітрона, представлений на рис.4.5.

За допомогою резистора $R1$ встановлюють напругу спрацьовування граничного пристрою. При напрузі на вході $U_{вх}$ менше напруги стабілізації стабілітрона $U_{ст}$ напруга на виході граничного пристрою $U_{вих} = 0$. Як тільки напруга $U_{вх}$ досягає значення, при якому напруга на стабілітроні стає рівною напрузі стабілізації $U_{ст}$ або більше неї, стабілітрон переходить в провідний стан, через резистор $R2$ починає протікати струм I і на виході граничного пристрою з'являється напруга $U_{вих} = IR_2$.

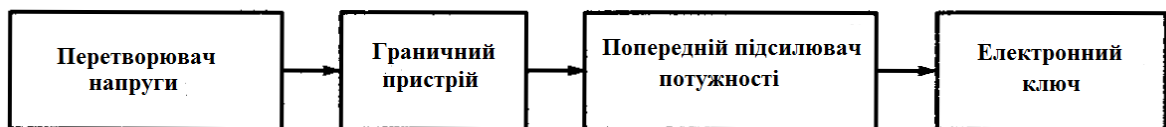


Рисунок 4.3 - Структурна схема електронного реле напруги

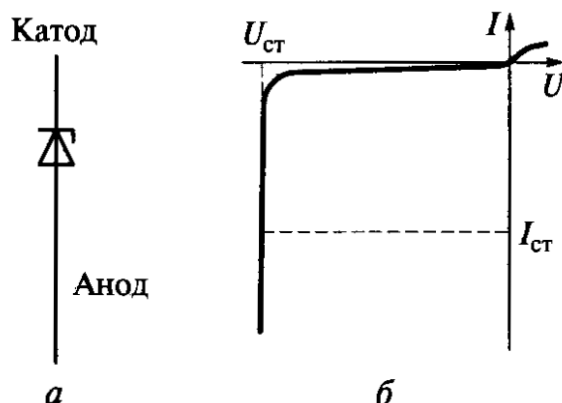


Рисунок 4.4 - Графічне зображення (а) і вольт-амперна характеристика (б) стабілітрона

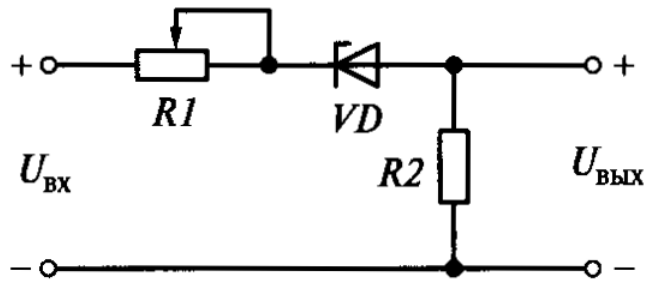


Рисунок 4.5 - Схема граничного пристрою на стабілітроні

На рис. 4.6 представлена принципова схема електронного реле напруги, виконаного на дискретних елементах.

Резистори $R1$, $R2$, $R3$ являють собою вхідний дільник напруги, в якому резистор $R2$ служить для настройки ЕРН на задану напругу спрацьовування. В якості граничного елемента використовується стабілітрон $VD1$. Попередній підсилювач потужності зібраний на біполярному $n-p-n$ транзисторі $VT1$, в колекторному колі якого встановлений резистор $R4$, що обмежує струм колектора транзистора $VT1$ і задає струм бази транзистора $VT2$. Напруга з виходу попереднього підсилювача потужності $U_{КЕ1}$ через діод $VD2$ подається на вхід вихідного підсилювача потужності, зібраного на транзисторі $VT2$ за схемою ключа. Діод $VD2$ і резистор $R5$ призначені для забезпечення надійного замикання транзистора $VT2$.

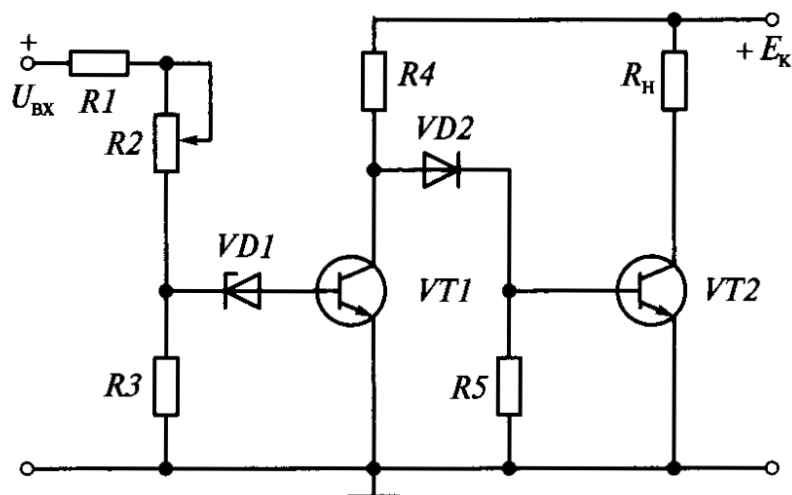


Рисунок 4.6 - Схема ЕРН на дискретних елементах

За умови $U_{ВХ} < U_{ст}$ стабілітрон $VD1$ знаходиться в непровідному стані, транзистор $VT1$ закритий і на його колекторі присутнє високе значення напруги $U_{КЕ2max}$. Ця напруга через діод $VD2$ подається на базу транзистора

$VT2$ і утримує його у відкритому стані. Напруга джерела живлення виявляється прикладеною до навантаження R_H . Як тільки вхідна напруга $U_{вх}$ досягне значення, при якому напруга на стабілітроні стане рівною напрузі стабілізації $U_{ст}$, стабілітрон $VD1$ перейде в провідний стан. У базовому колі транзистора $VT1$ потече струм і транзистор $VT1$ відкриється, тобто перейде в режим насичення. Напруга на виході попереднього підсилювача потужності $U_{КЕ1}$ стане рівною $U_{КЕ1нас} \approx 0,3 \dots 0,4$ В (падіння напруги на емітер-колекторному переході транзистора в режимі насичення). На базу транзистора $VT2$ через резистор $R5$ буде поданий нульовий потенціал з «земляної» шини схеми і транзистор $VT2$ закриється. В результаті припиниться живлення навантаження R_H . ЕРН подібного типу використовуються в бортових генераторних установках автомобілів і тракторів для забезпечення постійного рівня напруги бортової мережі транспортного засобу.

Як вже було сказано раніше, ЕРН виконуються не тільки на дискретних елементах, але і на інтегральних мікросхемах. На рис.4.7 представлена принципова схема ЕРН з використанням схеми порівняння, виконаної на базі операційного підсилювача.

Встановлений на вході ЕРН операційний підсилювач виконує дві функції:

- компаратор, зібраний на ОУ, грає роль схеми порівняння;
- на базі ОУ виконаний попередній підсилювач потужності.

Резистори $R1$ і $R2$ призначені для вирівнювання вхідних струмів ОУ. За допомогою резистора $R3$ встановлюють задану напругу спрацьовування ЕРН. Вихідний підсилювач потужності зібраний на біполярному $n-p-n$ транзисторі VT за схемою електронного ключа. Резистор $R4$ призначений для установки необхідного струму бази транзистора VT , а діод VD і резистор $R5$ служать для забезпечення надійного замикання транзистора VT .

Працює ЕРН наступним чином. На інвертуючий вхід компаратора DA через резистор $R1$ подається керуюча напруга $U_{вх}$, а на неінвертуючий вхід - напруга U_0 від джерела опорної напруги. За умови $U_{вх} < U_0$ на виході DA присутній високий рівень напруги, який через діод VD і резистор $R4$ подається на базу транзистора VT , утримуючи його у відкритому стані. В результаті напруга живлення прикладається до навантаження R_H . Як тільки напруга $U_{вх}$ стає рівною опорній напрузі U_0 або більшою неї, напруга на виході DA змінює свою полярність і діод VD замикається. Транзистор VT також закривається, оскільки на його базу через резистор $R5$ подається нульовий потенціал. Навантаження R_H перестає отримувати живлення.

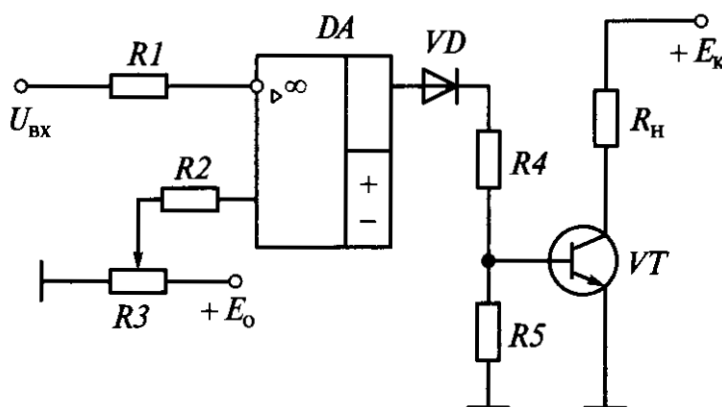


Рисунок 4.7 - Схема ЕРН на операційному підсилювачі

4.4 Реле напруги «VOLT-CONTROL» VC - 01

Реле напруги «VOLT-CONTROL» VC-01 призначене для контролю величини напруги в мережі 220/230В 50/60 Гц і автоматичного вимкнення 1-фазного навантаження при виході напруги за встановлені межі.

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики реле напруги VC-01.

Параметр	Значення параметра
1	2
Діапазон вхідної робочої напруги, В	85...400
Частота струму в мережі, Гц	47...65
Споживана потужність, Вт	0,5
Діапазон програмованої з кроком 1В нижньої межі напруги, В	100...210 (заводська установка 242В)
Діапазон програмованої з кроком 1В верхньої межі напруги, В	230...270
Програмований час автоматичного повторного увімкнення, с	3...999
Час вимкнення реле, с:	
- при виході напруги за межі верхнього значення на 1-10 В	3
- при виході напруги за межі верхнього значення на 11-20 В	2
- при виході напруги за межі верхнього значення на 21-30 В	1
- при виході напруги за межі верхнього значення більш ніж на 30 В	0,02
- при перевищенні напруги 270 В	0,02
- при виході напруги за межі нижнього значення	1

Продовження таблиці 4.1

1	2
Гістерезис по напрузі увімкнення / вимкнення реле і сигналізації, В	5
Похибка вимірювання напруги в діапазоні 85 - 400 В, %	Не більше 2,5
Точність верхнього і нижнього значення напруги, В, не більше	+/- 3
Діапазон робочих температур, °С	Від мінус 25 до плюс 50
Вологість навколишнього повітря, %, не більше	80
Температура зберігання, °С	Від мінус 45 до плюс 85
Ступінь захисту за ГОСТ 14254	ІЗ 20
Габаритні розміри, мм	50x97x66
Маса, кг, не більше	0,2

Кріплення на DIN рейку 35 мм.

Таблиця 4.2 - Технічні характеристики реле напруг

Модель	VC-01-16	VC-01-32	VC-01-40	VC-01-40P *
Максимальний струм, А	16	32	40	40
Номинальний струм, А	10	25	32	32
Номинальна потужність навантаження, кВА	2,2	5.5	7	7

* Модель VC-01-40P має датчик струму, який дозволяє вимірювати струм і потужність і виводити дані на дисплей.

В процесі роботи VC-01 мікропроцесор вимірює діюче значення напруги, яке виводиться на дисплей. Якщо напруга виходить за встановлені споживачем верхню або нижню межі, то відбувається швидке вимкнення навантаження від мережі. При цьому спрацьовує звукова сигналізація. При нормалізації напруги навантаження автоматично підключається через встановлений час.

У пристрої передбачений режим роботи «Транзит».

VC-01 автоматично контролює справність роботи вбудованого електромагнітного реле. Це підвищує ступінь захисту електроприладів від впливу нестабільної напруги.

VC-01 забезпечує економне живлення обмотки вбудованого реле зниженою напругою, що підвищує термін його загальної експлуатацію.

VC-01 має вбудований захист (запобіжник) від перенапруг вище 400 В і струмів короткого замикання в своїх елементах електронних схем, що гарантує його підвищену пожежну безпеку.

Увага! Для захисту електроприладів, що підключаються до VC-01 від перенапруг вище 400 В з тривалістю впливу менше 20 мілісекунд (час вимкнення вбудованого реле VC-01) потрібне застосування додаткових зовнішніх захисних пристроїв у вигляді розрядників і відповідних їм запобіжників.

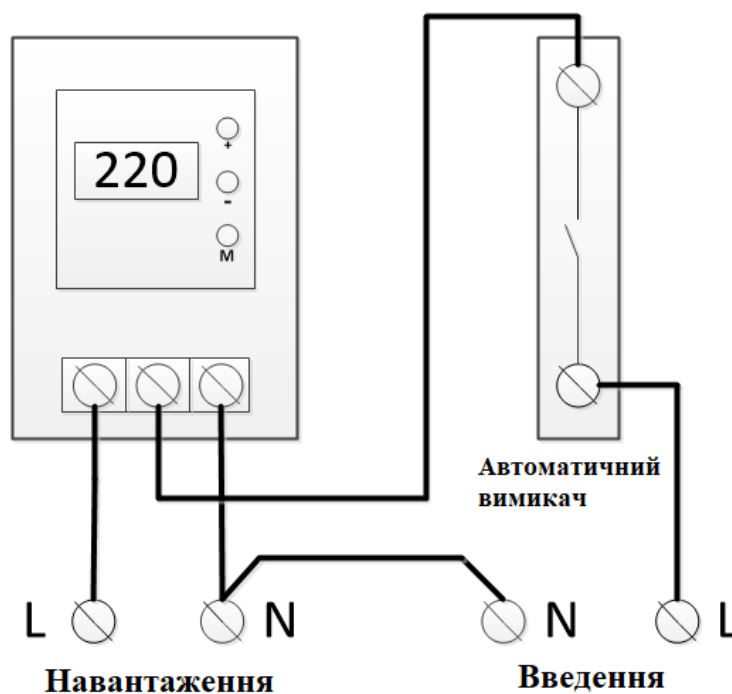


Рисунок 4.8 - Схема електричних з'єднань реле напруги VC-01.

Режими роботи реле напруги VC-01.

1. Режим роботи «Повнофункціональний»

В цьому режимі мікропроцесор вимірює діюче значення напруги, яке виводиться на дисплей. Якщо напруга виходить за встановлені споживачем верхню або нижню межі, то відбувається швидке вимкнення навантаження від мережі. При цьому спрацьовують звукова і світлова (миготіння дисплея)

сигналізації. При нормалізації напруги навантаження автоматично вмикається до мережі через встановлений час.

2. Режим роботи «Транзит».

В цьому режимі мікропроцесор вимірює діюче значення напруги, яке виводиться на дисплей. Якщо напруга виходить за встановлені споживачем верхню (не вище 270В) або нижню межі, то навантаження з мережі не вимикається. При цьому спрацьовують звукова і світлова (миготіння дисплея) сигналізації. При нормалізації напруги вимикається сигналізація.

Якщо в режимі «Транзит» напруга перевищить 270В, то навантаження вимкнеться і увімкнеться знову при напрузі нижче 265В.

Звукову сигналізацію при необхідності можна вимкнути.

Для індикації встановленого верхнього граничного значення необхідно натиснути кнопку «+». Для індикації встановленого нижнього граничного значення напруги необхідно натиснути кнопку «-».

Програмування реле напруги VC-01.

Перед програмуванням VC-01 рекомендується вимкнути приєднанні до реле до електроприлади і комутаційні апарати.

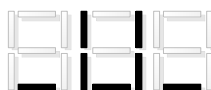
Для програмування VC-01 використовується кнопка «м», утримання або почергове натискання якої відображає такі опції меню на індикаторі приладу і зберігає попередню:

- зміна верхньої межі напруги.



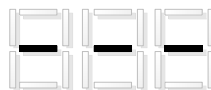
Натискання на кнопку «+» збільшує верхню межу, а натискання на кнопку «-» зменшує її;

- зміна нижньої межі напруги.



Натискання на кнопку «+» збільшує нижню межу, а натискання на кнопку «-» зменшує;

- зміна часу затримки увімкнення.

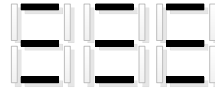


Натискання на кнопку «+» збільшує час затримки, а натискання на кнопку «-» зменшує;

- зміна режиму звукової сигналізації.

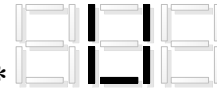


Натискання на кнопку «+» встановить активним даний режим («ON»), а натискання на кнопку «-» вимкне його («OFF»).

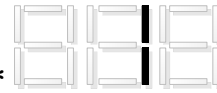


- зміна режиму роботи пристрою.

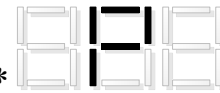
Натискання на кнопку «+» встановить активним режим «транзит» («ON»), а натискання на кнопку «-» встановить активним повнофункціональний режим роботи («OFF»).



- вибір режиму індикації напруги (В). *



- вибір режиму індикації струму (А). *



- вибір режиму індикації потужності (кВА). *

* За наявності датчика струму (для моделі VC-01-40P).

Останні три режими зберігаються автоматично через 10 з або кнопками «+» і «-».

4.5 Трифазне реле напруги і контролю фаз РНПП-301

Реле напруги РНПП-301 (рис.4.9) призначене для захисту трифазних струмоприймачів від основних видів аварій в електричній мережі, таких як:

- вихід діючого значення напруги за межі допустимих порогів;
- порушення чергування і злипання фаз;
- порушення повнофазності і симетричності напруги.

Пристрій контролює основні параметри електричної мережі і при їх відхиленні вимикає навантаження.

Реле також стежить за станом силових контактів зовнішнього магнітного пускача до і після увімкнення навантаження, контролюючи їх справність (підгоряння або злипання).

Світлодіоди на лицьовій панелі реле індикують:

- наявність напруги в мережі;
- стан навантаження (увімкнене або вимкнене);
- вид виниклої аварії.

Шість регулювальних потенціометрів, винесених на лицьову панель, дозволяють користувачеві встановити:

- поріг спрацьовування за максимально допустимим значенням напруги;
- поріг спрацьовування за мінімально допустимим значенням напруги;

- поріг допустимого значення перекосу фаз;
- час спрацьовування вимкнення навантаження при аварійному зниженні напруги;
- час спрацьовування вимкнення навантаження при інших видах аварії мережі;
- затримку часу увімкнення навантаження після відновлення параметрів мережі.



Рисунок 4.9 - Реле напруги РНПП-301

Реле може працювати в режимі контролю фазної або лінійної напруги (за вибором користувача).

Питання для самоконтролю і завдання

1. Яке призначення електронних реле струму і напруги?
2. В чому відмінність реле напруги і стабілізатора напруги?
3. З яких функціональних блоків складаються електронні реле напруги?
4. Поясніть принцип роботи реле напруги «VOLT-CONTROL» VC – 01
5. Як відбувається програмування реле напруги VC-01

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

5. РЕЛЕ ЧАСУ. ПРОГРАМОВАНІ ПЕРЕМИКАЧІ (ТАЙМЕРИ)

5.1 Загальні відомості

5.2 Реле часу з електричним уповільненням

5.3 Електромагнітні реле часу з магнітним демпфуванням

5.4 Пневматичні реле часу

5.5 Моторні реле часу

5.6 Конденсаторні реле часу

5.7 Генераторні (лічильно-імпульсні) реле часу

5.8 Таймери

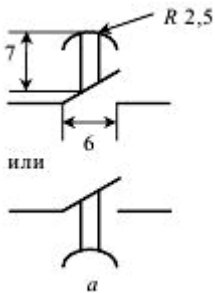
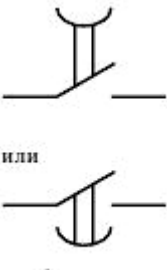
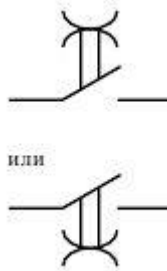
Терміни та визначення понять

Термін, визначення	Формулювання термінів	
	українською мовою	англійською мовою
Електричне реле часу	Логічне електричне реле з нормованою витримкою часу	<i>time relay</i>
Витримка часу електричного реле	Інтервал часу від моменту подачі чи зняття збудження електричного реле до моменту виконання цим реле призначеної функції, яка є нормованою характеристикою часу	<i>specified time of a relay</i>
Заряджання конденсатора	Процес збільшення заряду конденсатора, який відбувається під час сполучення його виводів із джерелом електричної енергії	<i>charging of a capacitor</i>

Абревіатури

Абревіатура	Написання абревіатури	
	українською мовою	англійською мовою
DC	Постійний струм	<i>direct current</i>
AC	Змінний струм	<i>alternating current</i>

Стандартизовані графічні та літерно-цифрові позначення в електричних схемах

 а	Контакт реле часу з витримкою часу при замиканні
 б	Контакт реле часу з витримкою часу при розмиканні
 в	Контакт реле часу з витримкою часу при замиканні і розмиканні

Стандарти

1. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення.- 68 с.

5.1 Загальні відомості

З метою створення витримки часу між спрацьовуванням одного або кількох апаратів (що обумовлюється приміром необхідністю виконувати технологічні операції у певній послідовності) застосовують реле часу.

Загальними вимогами, що висуваються до реле часу є наступні:

- стабільність витримки часу за впливу коливань напруги, частоти струму в мережі, температури навколишнього середовища та інших чинників;

- мала споживана потужність;

- малі маса і габаритні розміри;

- достатня потужність контактної системи.

- Залежно від призначення реле часу до них висуваються специфічні вимоги:

- для автоматизованих електроприводів, характерних великою частотою увімкнень протягом години, необхідні реле з високою механічною зносостійкістю – $(5-10) \cdot 10^6$ спрацьовувань. Потрібні витримки часу знаходяться в межах 0,25 – 10 с. При цьому до таких реле часу не висуваються високі вимоги щодо точності роботи і розкид часу спрацьовування може досягати 10%. За конструкційним виконанням такі реле часу мають бути здатні працювати в умовах виробничих приміщень, за наявності вібрації і тряски:

- для автоматизації технологічних процесів реле повинні забезпечувати витримки часу від кількох хвилин до години;

- для використання в схемах захисту енергетичних установок реле повинні мати високу точність витримки часу (0,1 – 20 с). Оскільки такі реле працюють відносно рідко, особливих вимог щодо зносостійкості не висуваються – приблизно $(5-10) \cdot 10^3$ спрацьовувань.

Електричне реле із встановлюваною користувачем витримкою часу увімкнення або вимкнення (від долей секунди до кількох годин) називають **реле часу**.

Реле часу з електричним сповільненням
(на базі електромагнітного реле)

Отримання витримки часу шляхом зменшення швидкості наростання або спаду струму в обмотці реле.

Можливо тільки на постійному струмі.

Можливі варіанти схем реле часу з електричним сповільненням:

- увімкнення послідовно обмотці реле котушки індуктивності;
- увімкнення послідовно або паралельно обмотці реле резистора або діода;
- увімкнення послідовно обмотці реле терморезистора
- увімкнення RC контура

увімкнення баретера(стабілізатора струму);

Реле часу з магнітним демпферуванням
(на базі електромагнітного реле)

Отримання витримки часу шляхом сповільнення наростання чи спаду магнітного потоку(магнітне демпферування).

Побудова реле можлива як схемними так і конструкційними методами.

Способи побудови реле :

- застосування додаткової короткозамкненої обмотки;
- застосування короткозамкненого витка;
- застосування мідної шайби, насадженої на осердя реле;
- застосування мідної втулки, насадженої на осердя реле;
- застосування мідного каркасу обмотки реле;
- застосування алюмінієвої основи реле

Конденсаторні реле часу

Отримання витримки часу шляхом застосування у складі реле RC контуру (релаксаційне реле часу).

Генераторні (лічильно-імпульсні) реле часу

Отримання витримки часу шляхом застосування у складі реле низькочастотного генератора імпульсів (частіше напівпровідникових) і суматора(лічильника імпульсів).

Зміна витримки часу здійснюється налаштуванням суматора(лічильника) на відповідне число імпульсів.

Як суматор може бути використаний електромеханічний лічильник імпульсів і побудований на цифрових мікросхемах

Рисунок 5.1 – Класифікація реле часу

5.2 Реле часу з електричним уповільненням

Найпростіші схемні методи отримання витримки часу полягають у зменшенні швидкості наростання або спаду струму в обмотці реле, тобто в збільшенні часу рушання реле шляхом застосування різних схем його увімкнення. Такий метод можна здійснити тільки на постійному струмі і має кілька способів:

- послідовно обмотці реле вмикають індуктивність;
- послідовно або паралельно обмотці реле вмикають опір або напівпровідниковий вентиль (діод);
- послідовно обмотці реле вмикають RC контур;
- послідовно обмотці реле вмикають бареттер (електронна лампа, стабілізатор струму);
- послідовно обмотці реле вмикають лампу розжарювання;
- послідовно обмотці реле вмикають напівпровідниковий терморезистор.

Для отримання невеликих витримок часу (кілька секунд) використовують електромагнітні реле в поєднанні зі схемами (рис.5.2), що сповільнюють зміну струму в котушці реле. Такі реле часу не стабільні, але вони знаходять досить широке застосування завдяки своїй простоті і невисокій вартості.

VD

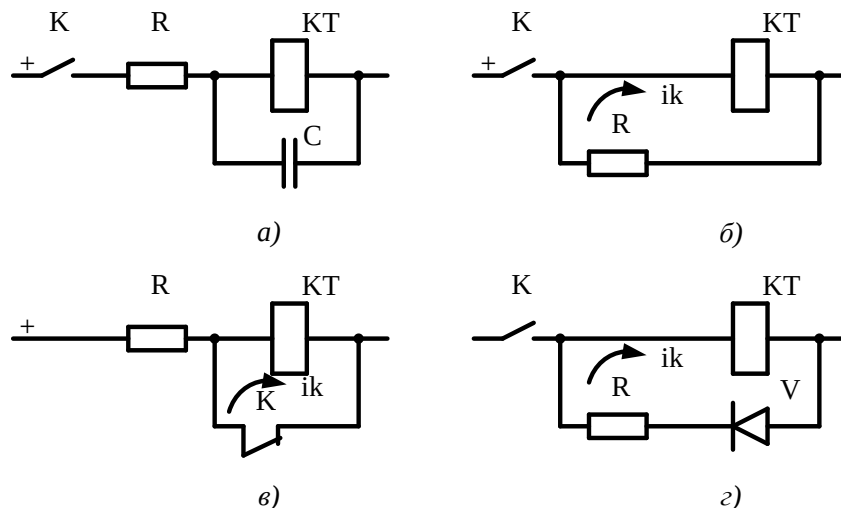


Рисунок 5.2 - Схеми отримання витримки часу витримки часу при спрацюванні електромагнітного реле

У схемі на рис.5.2, а для сповільнення спрацювання паралельно котушці реле **KT** підключений конденсатор **C**. При замиканні керуючого

контакту K конденсатор шунтує обмотку, і струм в котушці починає протікати тільки після того, як конденсатор зарядиться і його опір зросте. Додатковий резистор R обмежує початкове значення струму в електричному колі. Всі схеми сповільнення відпускання реле засновані на використанні енергії, запасеної в магнітному полі котушки для підтримки струму після розриву кола живлення реле. У схемах на рис.5.2, б і в після розмикання контакту K магнітний потік, зменшуючись, наводить ЕРС в обмотці реле, під дією якої по колу протікає струм i_k , що утримує якор в притягнутому стані. Спільним недоліком обох схем є додаткові втрати потужності, що виникають в резисторі R . Цього не відбувається в схемі, показаній на рис.5.2, г, в якій послідовно з резистором включений діод VD . Тому в стаціонарному режимі (до спрацьовування реле) струм через резистор не протікає. Для отримання значної витримки часу реле має бути достатньо потужним, щоб забезпечити необхідний запас магнітної енергії.

5.3 Електромагнітні реле часу з магнітним демпферуванням

Для притягування або відпускання якоря електромагнітного реле необхідна наявність певного магнітного потоку, значення якого досягається не відразу в момент увімкнення або вимкнення, а через певний час. Сповільнюючи наростання чи спад магнітного потоку (здійснюючи магнітне демпферування), можна регулювати час спрацьовування або відпускання реле.

Сповільнення наростання або спаду магнітного потоку може бути здійснено не тільки схемними, але і конструкційними методами. Із способів здійснення уповільнення цієї групи реле можна виділити наступні:

- застосування додаткової короткозамкненої обмотки;
- застосування короткозамкнутого витка;
- застосування мідної шайби, насадженої на осердя магнітного кола;
- застосування мідної втулки, насадженої на осердя;
- застосування мідного каркасу обмотки реле;
- застосування алюмінієвої основи реле.

Аналогічний принцип використовується в реле часу постійного струму з електромагнітним уповільненням і демпфуючою короткозамкненою обмоткою (рис.5.3). При вимкненні живлення обмотки реле 1 магнітний потік в осерді 2 зменшується, що призводить до появи ЕРС в масивній шайбі 3, яка охоплює осердя. Опір шайби (демпфуючої обмотки) дуже малий, тому в ній виникає великий струм, який підмагнічує осердя. В результаті магнітний

потік в осерді реле спадає значно повільніше, якір 5 залишається в притягнутому положенні і контакти реле 4 розмикаються з витримкою часу до 10 с.

Існують конструкції реле часу, в яких роль демпфуючої короткозамкнутої обмотки виконує мідна гільза, надіта на осердя. Витримку часу реле регулюють зміною зазору між якорем і осердям або натягом пружини 6. Це змінює значення потоку відпускання $\Phi_{відп}$ (рис.5.3, б), при якому починається рух якоря. При значному ослабленні пружини відпускання якоря відбувається на пологій ділянці кривої $\Phi(t)$, і величина витримки часу стає невизначеною. Це обмежує діапазон регулювання реле.

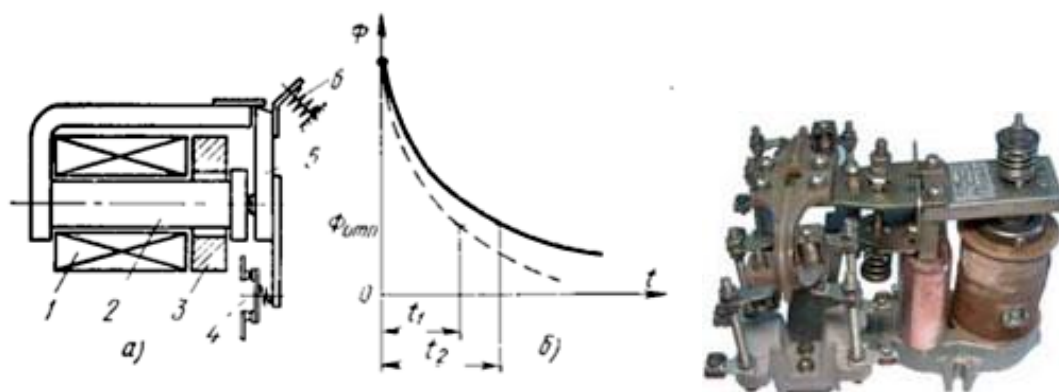


Рисунок 5.3 - Реле часу з електромагнітним сповільнювачем

Витримку часу можна також регулювати застосуванням спеціальної котушки, що створює додатковий магнітний потік розмагнічування. В результаті магнітний потік в осерді зменшується швидше (штрихова крива на рис.5.3, б) і витримка часу змінюється від t_2 до t_1 . Для отримання більшої витримки збільшують об'єм магнітної системи реле і застосовують матеріали з високою магнітною проникністю. Магнітопровід реле працює в режимі насичення. Тому зміна напруги живлення практично не впливає на початковий магнітний потік і, отже, на стабільність витримки часу. Однак витримка часу істотно залежить від зміни температури шайби 3, що впливає на її електричний опір і величину струму підмагнічування. Це збільшує похибку реле до 5-10%.

Наявність демпфуючої короткозамкнутої обмотки збільшує час підготовки, необхідний для створення запасу енергії магнітного поля. У реле часу з великим об'ємом магнітної системи він може становити 1 с. Реле часу з електромагнітним уповільненням знайшли широке застосування в схемах пуску і гальмування електродвигунів постійного струму, для яких точність

цих реле цілком достатня, а також в схемах керування змінного струму. В цьому випадку котушка реле вмикається через випрямляч.

5.4 Пневматичне реле часу

Доволі широкого застосування набули пневматичні реле часу серії РВП. Реле складається з електромагнітного приводу (рис.5.4) і пневматичної приставки, що має контакти, які спрацьовують з витрикою часу. Герметична камера пневматичної приставки з'єднана з атмосферою через малий дроселюючий отвір 4.

Корпус закритий еластичною плоскою мембраною 5, виконаною із силіконової гуми. Мембрана з'єднана зі штоком 6, який вільно спирається на ярмір електромагніту. При замиканні керуючого контакту електромагніт 1 втягує свій ярмір. Шток 6, позбавлений опори, під дією пружини 11 повільно опускається вниз у міру заповнення камери повітрям через отвір 4. В кінці ходу штока важіль 8 здійснює перемикання контактів мікроперемикача 2.

Повернення реле в початкове положення відбувається при знеструмленні обмотки електромагніту під дією пружини 9. При цьому повітря з пневматичної камери миттєво витісняється через зворотний клапан 7. Витримку часу реле можна змінювати за допомогою гвинта 10 в межах від 0,4 до 180 с.

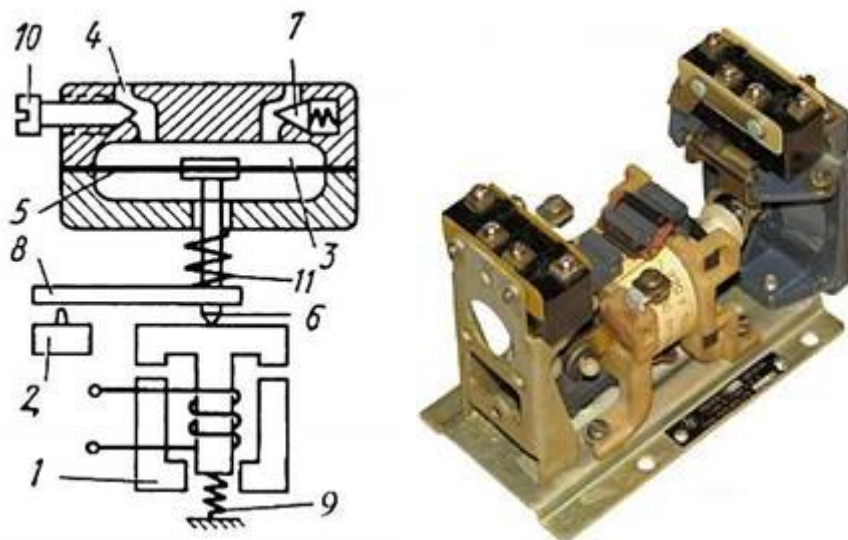


Рисунок 5.4 - Пневматичне реле часу

Пневматична камера універсальна і дозволяє отримати витримку часу після розмикання керуючого контакту. Для цього електромагніт повертають на 180°. Існують виконання реле з двома пневматичними камерами і

загальним електромагнітним приводом. Таке реле забезпечує дві незалежні витримки часу: після замикання і розмикання керуючого контакту.

Деякі виконання реле мають додатковий мікрровимикач, безпосередньо зв'язаний з якорем електромагніту. Його головні контакти перемикають електричне коло без витримки часу. Пневматичне реле часу може мати електромагнітний привід постійного або змінного струму.

Робота реле часу не залежить від коливань напруги мережі, але точність роботи пневматичного демпфера невелика. Нормована похибка реле 10-15%, а механічна зносостійкість реле становить 4,0-6,3 млн. циклів залежно від виконання.

Пневматичне реле часу

Сповільнити рух якоря електромагнітного реле можна шляхом застосування повітряного демпфера, однак через недостатню в'язкість повітря при цьому необхідно забезпечити дуже малий зазор між поршнем і стінкою циліндра. Внаслідок труднощів виготовлення повітряні демпфери в реле часу застосовуються дуже рідко.

Зазвичай застосовують конструкції, в яких є еластична камера, поєднана з навколишнім повітрям вузьким отвором. При спрацьовуванні або відпусканні електромагніту камера розтягується або стискається, завдяки чому в ній створюється розрідження або надлишковий тиск. Вирівнювання тисків всередині і зовні камери відбувається поступово, що і використовується для отримання витримки часу.

Будову пневматичного реле часу з еластичною камерою пояснює схема, наведена на рис.5.5. При подаванні напруги на обмотку 2 електромагніта якорь 3 втягується, стискаючи зворотну пружину 1 і розтягуючи гумову мембрану 5. При цьому збільшується об'єм камери 6, в ній створюється розрідження, завдяки чому відкривається клапан 12 і камера 6 заповнюється повітрям. Коли тиск зовні і всередині камери стане однаковий, клапан 12 під дією своєї пружини закриється.

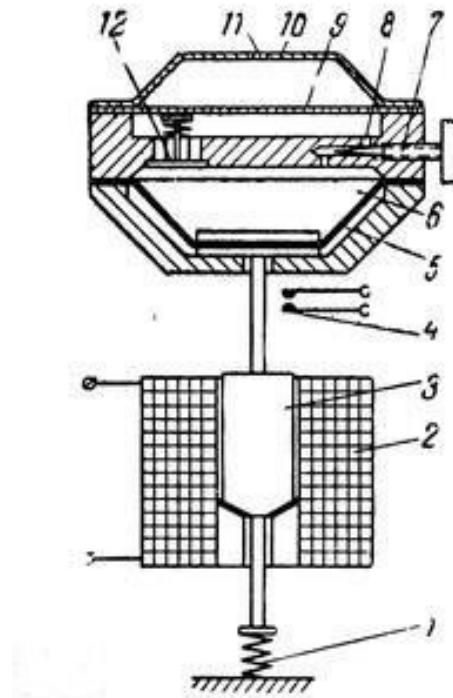


Рисунок 5.5 – Пневматичне реле часу

Витримка часу починається з моменту вимкнення струму в обмотці електромагніту. При цьому ярів під дією поворотної пружини 1 і розтягнутої гумової мембрани 5 прагне повернутися в початкове положення і стискає повітря всередині камери. Повітря з камери 6 може виходити лише через малий отвір 8, завдяки чому рух якоря сповільнюється. В кінці ходу якоря він замикає контакти 4. На місце контактів 4 іноді встановлюють шляховий перемикач миттєвої дії. Завдяки цьому розривна потужність виконавчих контактів може бути досить значною, незважаючи на повільний рух якоря електромагніту.

Швидкість переміщення якоря, а отже, і витримка часу залежать від величини отвору 8, яке можна регулювати гвинтом 7.

Для захисту від пилу, що міститься в повітрі, пневматичні реле часу зазвичай забезпечуються фільтром 9, що закривається кришкою 10, яка має отвір 11 для проходження повітря.

Виконання пневматичних реле часу можуть бути різними, в яких витримка часу (від десятих часток секунди до декількох хвилин) створюється як при відпусканні, так і при втягуванні якоря електромагніту за рахунок створення або розрідження, або надлишкового тиску в робочій камері. Коливання витримки часу складають 8-16%.

Пневматичні реле часу застосовуються в промисловій автоматизації частіше інших типів реле часу із сповільненням руху якоря електромагніту.

5.5 Моторні реле часу

Для отримання великих витримок часу, що обчислюються десятками хвилин і годинами, використовують моторні реле часу, засновані на інтегруючій властивості електричних двигунів.

Кут повороту валу електродвигуна:

$$\varphi = \int_0^T \omega dT. \quad (5.1)$$

Якщо частота обертання валу постійна, то $\varphi = \omega T$, тобто кут повороту валу прямо пропорційний уставці реле часу.

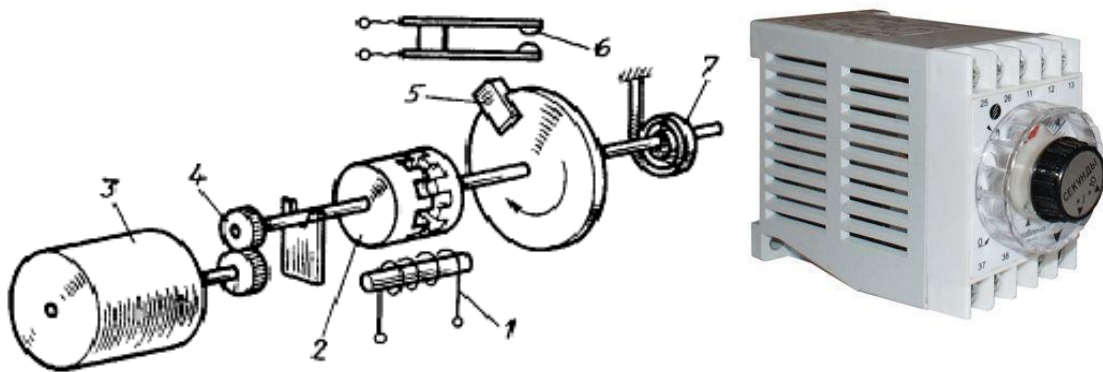


Рисунок 5.6 - Моторне реле часу

Принцип дії моторного реле часу можна пояснити за допомогою кінематичної схеми, наведеної на рис.5.6. При подаванні керуючого сигналу вмикається електромагніт 1, що перемикає муфту зчеплення 2. Рух від синхронного електродвигуна 3 через редуктор 4 передається на вал, на якому укріплений кулачок з упором 5. У кінцевому положенні упор 5 здійснює перемикання контактної системи 6. Оскільки вал обертається повільно, контактний вузол оснащують системою важелів, що забезпечує миттєве перемикання контактів. Після відліку витримки часу електромагніт 1 знеструмлюється, муфта розчіплюється і під дією поворотної пружини 7 кулачок повертається у вихідне положення. У деяких модифікаціях реле, швидкість зворотного руху обмежується відцентровим гальмом. Витримку часу моторного реле регулюють зміною початкового положення кулачка або передавального числа редуктора.

Існують багатоланкові моторні реле часу, в яких на валу в різних положеннях встановлено різну кількість кулачків, що забезпечують незалежні витримки часу. Точність роботи моторного реле часу пов'язана з

коливаннями частоти мережі, кінематичними похибками передавального механізму, розкидом спрацьовування контактної системи. Похибка може досягати 10-15%, а механічна зносостійкість реле становить близько 1000 циклів увімкнення - вимкнення.

5.6 Конденсаторні реле часу

У конденсаторних реле часу сповільнююча частина являє собою релаксаційний контур, що складається з опору R і конденсатора C . Іноді ці реле називають релаксаційним реле часу.

В якості виконавчого органу (вихідних ланцюгів) конденсаторних реле часу зазвичай використовуються електромагнітні реле. Зважаючи на малу опору обмоток цих реле вони підключаються до релаксаційної контуру через проміжні ланцюги, зібрані або на газорозрядних приладах (неонові лампи, накальну тиратрони, тиратрони з холодним катодом), або на електронних лампах, або на напівпровідникових тріодах (транзисторні реле часу).

Так як в проміжних ланцюгах конденсаторних реле часу зазвичай є електронні прилади, ці реле іноді називають електронними або напівпровідниковими реле часу.

Завдяки своїй простоті і дешевизні виготовлення конденсаторні реле часу набули широкого поширення в радіоаматорської практиці. Радіоаматорами було розроблено велику кількість конструкцій конденсаторних реле часу, в основному вони призначалися для любителів фотографій. Масове виробництво конденсаторних реле часу було освоєно також на заводі «Реле і автоматика», на якому проводилися реле типу ВЛ-1, ВЛ-2, ПЛ-3, ВЛ-4, ВЛ-5, ВЛ-9, ВЛ-10.

Крім того, масово конденсаторні реле часу виробляли в Лененерго, реле призначалися для застосування в схемах автоматичного частотного розвантаження і автоматики частотного повторного увімкнення, ці реле представлені на сайті РВ-05-100 і РВ-100-2. Всі згадані вище реле були на газорозрядних приладах тиратронах.

На теперешній час широко застосовують конденсаторні реле часу, що базуються на інерційних властивостях RC - кола.

Електрична принципова схема реле із заряджанням конденсатора наведена на рис.5.7, а. При замиканні керуючого контакту $K1$ по колу протікає струм і напруга на затискачах конденсатора зростає за залежністю:

$$u_c = U_{\Pi} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (5.2)$$

де U_{Π} - напруга живлення;

$\tau = RC$ - постійна часу кола.

Ця напруга подається на високоомний вхід напівпровідникового підсилювача, що містить пороговий елемент, який спрацьовує при заданій напрузі $U_{сп1}$. Через деякий час напруга на конденсаторі досягає величини $U_{сп1}$ вихідний електромагнітне реле **K2** здійснить необхідні перемикання в зовнішньому колі. У схемі (рис.5.7, б) конденсатор попередньо заряджений

$$t = \tau \ln \frac{U_{\Pi}}{U_{\Pi} - U_{сп1}} \quad (5.3)$$

до значення $U_{дж}$; при перемиканні керуючого контакту **K1** він починає розряджатись на резистор **R** і напруга на ньому зменшується за такою залежністю:

$$u_c = U_{\Pi} e^{\frac{-t}{\tau}} \quad (5.4)$$

Через проміжок часу $t = \tau \frac{U_{\Pi}}{U_{сп2}}$ вона досягає значення $U_{сп2}$, при якому напівпровідникова схема переходить з одного логічного стану в інший.

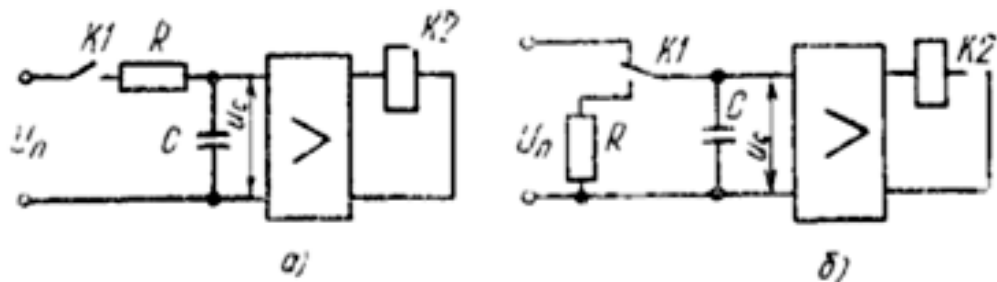


Рисунок 5.7 - Конденсаторні реле часу: а - із зарядженням конденсатора; б - без зарядження конденсатора

Значення витримки часу регулюють зміною постійної часу τ . Ступінчасте регулювання виконують шляхом зміни ємності конденсатора **C**, а більш плавне - зміною опору резистора **R**. Стабільність витримки часу значною мірою залежить від коливання напруги мережі. Тому в конденсаторних реле часу застосовують стабілізовані джерела живлення. Конденсаторні реле часу прості, досить надійні і дозволяють отримати максимальну витримку часу 50 с з похибкою $\pm (5-15)\%$.

Подальше збільшення витримки часу досягається реалізацією живлення конденсатора імпульсною напругою з великою шпаруватістю імпульсів (рис.5.8, а). При цьому короточасні періоди $t1$ зміни напруги конденсатора чергуються з тривалими періодами часу $T - t1$, коли ця напруга залишається незмінною. В результаті витримка часу збільшується в кілька разів. Подібний принцип використовують у багатьох сучасних реле часу,

отримуючи при цьому витримку часу 10 - 20 хв. У схемі реле (рис.5.8, б) конденсатор **C1** заряджається імпульсами, що генеруються блокінг-генератором **G** з частотою 50-100 Гц. Тривалість імпульсів 3 - 5 мкс. Конденсатор увімкнений за мостовою схемою, в діагоналі якої є пороговий елемент - діод **VD**, налаштований на задану напругу спрацьовування, яка знімається з подільника **R2 - R1**.

Після заряджання конденсатора діод **VD** відкривається і через розділовий конденсатор **C2** видає керуючий імпульс на вихідний тригер **T**, комутуюче коло електромагнітного реле **K**. Приведена похибка подібних реле може бути знижена до 1,5%.

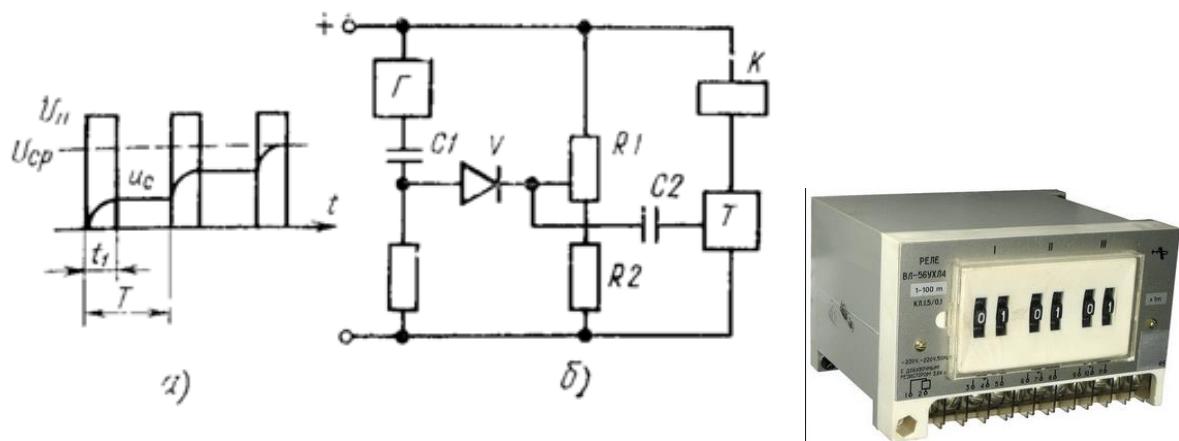


Рисунок 5.8- Конденсаторне реле часу з імпульсним живленням

5.7 Генераторні (лічильно-імпульсні) реле часу

Генераторні реле часу складаються з низькочастотного генератора імпульсів і суматора (лічильника імпульсів). Генератор виробляє імпульси з певною частотою проходження. Лічильник імпульсів після підсумовування заданого числа імпульсів видає сигнал в зовнішній ланцюг.

Зміна витримки часу здійснюється налаштуванням суматора на відповідне число імпульсів. Стабільність витримки часу визначається стабільністю генератора імпульсів. Генератори імпульсів можуть бути найрізноманітнішими:

- ламповими;
- релейними;
- транзисторними;
- безконтактними магнітними;
- магнітно-термісторного;
- електромеханічними (електродвигун з кулачком, що замикає контакти) та ін.

Як сумматор може бути використаний електромеханічний лічильник імпульсів (наприклад, кроковий шукач), лічильник на декатронах, тиратронах тліючого розряду, феритових елементах і т.д.

Генераторні реле часу мають дуже широкий діапазон регулювання витримки часу (від часток секунди до декількох годин).

Великі витримки при високій точності відліку часу можуть забезпечити лічильно-імпульсні реле. Прикладом такого реле часу може служити триланкове реле типу ВЛ-34, електрична принципова схема якого наведена на рис.5.9. При подаванні напруги живлення на схему реле починає працювати стабілізований імпульсний генератор 1. Опорні імпульси постійної тривалості, що виробляються генератором, надходять на лічильник імпульсів 2, з яким зв'язаний дешифратор 3, який встановлює незалежні витримки часу в трьох вихідних колах. Коли кількість імпульсів, що надійшли на лічильник, досягне величини уставки, сигнал з виходу дешифратора через потужний підсилювач 4 надходить на виконавче реле 5. Перед новим увімкненням реле лічильник скидає значення на нуль. Час підготовки реле становить приблизно 0,3 с. Реле виконано на базі інтегральних мікросхем серії К-176, має невеликі габаритні розміри і масу. Основна похибка витримки часу реле може бути визначена за формулою:

$$\delta = \pm \left(2,2 + 0,1 \frac{T_{\max}}{T} \right) \%, \quad (5.5)$$

де T , $T_{\max}$ - витримка часу реле і максимальне значення часу. Приведена похибка (при $T = T_{\max}$) відповідає класу точності 2,5. Реле часу ВЛ-34 забезпечує витримку часу до 100 хв. Існують аналогічні конструкції імпульсних реле з лічильником, що дають змогу отримати витримки часу до 10 год.

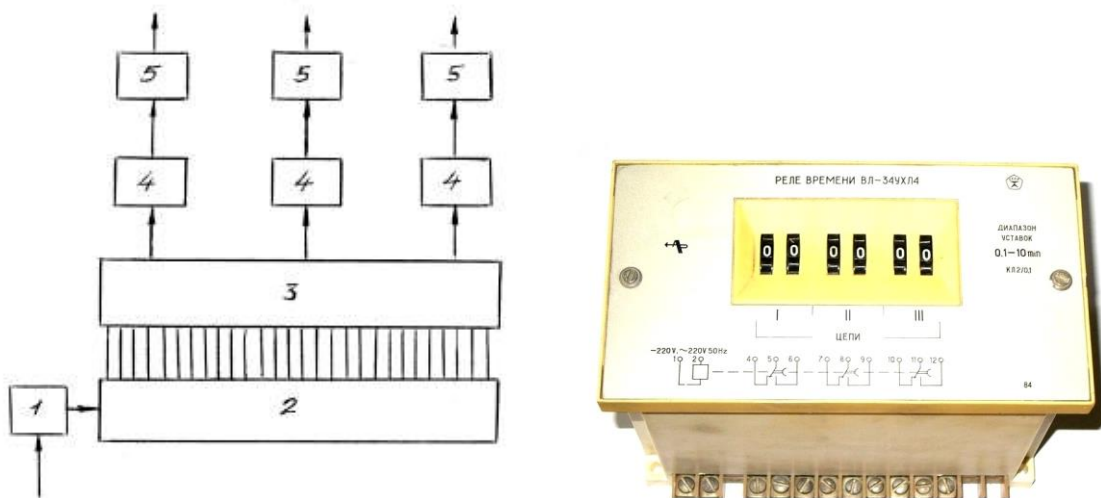


Рисунок 5.9 Імпульсне реле часу з лічильником імпульсів

5.8 Таймери

Як правило, під словом таймер мають на увазі спеціальний пристрій, який призначається для відліку часу назад, з секундним кроком, починаючи з моменту запуску.

Таймер, зазвичай, обладнаний шкалою часу, циферблатом або потенціометром, використовуючи які з'являється можливість встановити необхідний час, по закінченні якого буде поданий звуковий чи світловий сигнал, або відбудеться увімкнення/вимкнення приладу.

Існують також таймери, для яких можна задати момент спрацьовування встановленням конкретного часу доби. Це так звані таймери реального часу, які обладнані годинниками, як пристроєм зберігання часу. Таймером такого роду є найпростіший будильник.

На теперішній час найбільш поширені електронні цифрові таймери, які аналогічні електронному годиннику за принципом дії, однак, до цього часу зустрічаються і механічні таймери, принцип дії яких побудований на годинниковому механізмі. Перехідні між цифровими і механічними - електромеханічні таймери працюють на базі реле часу.

Всі існуючі таймери прийнято класифікувати таким чином:

1) за принципом відліку часу:

- таймери інтервалів часу - встановлюється і підтримується інтервал часу. Такі таймери можуть бути одноразової (спрацьовує один раз), багаторазової (спрацьовує кілька разів із заздалегідь встановленими витримками) і циклічної (через рівні проміжки часу) дії;

- таймери поточного (реального) часу - сигнал подається за встановленим часом;

2) за принципом дії:

- механічні таймери - будильники, кухонні таймери;
- електромеханічні таймери - подають електричний імпульс, однак, часто мають механічне заведення;

- цифрові електронні таймери - програмовані таймери. Можуть бути з'єднані з іншими суміжними пристроями;

3) за вихідним впливом:

- таймери -реле - для увімкнення-вимкнення електроапаратури, завдяки вбудованому реле (вимикачу);

- таймери з електричним вихідним сигналом (електричні імпульси або цифровий код для таймерів керування);

- таймери із звуковою або візуальною сигналізацією (наприклад кухонні таймери);

4) за призначенням:

- виробничо-технічні - для керування технологічними процесами на виробництві;
- для промислової автоматики - зазвичай таймери-реле реального часу, що застосовуються для керування верстатами, установками та іншим устаткуванням;
- лабораторні - зазвичай таймери інтервалів часу з електричним вихідним сигналом, (приміром лабораторний таймер ТЛ-301);
- побутові - різного повсякденного призначення, наприклад будильники, таймери мікрохвильових печей, таймери для керування освітленням у під'їздах житлових будинків;
- кухонні - зазвичай таймери інтервалів часу, що мають звукову сигналізацію;
- військові - таймери на вибухові механізми, авіабомби, снаряди.



Реле часу з таймером



Цифровий таймер-розетка



Механічний таймер



Рисунок 5.10 - Таймери

Таймери широко застосовуються, як в промисловості, так і в побуті. Так, наприклад, таймери часу дозволяють економити електроенергію при

роботі освітлювальних приладів, електродвигунів верстатів і пристроїв, вмикаючи їх тільки тоді, коли це дійсно необхідно. Таймер часу можна запрограмувати на роботу за добовим або тижневим циклом.

Взагалі, сфера застосування таймерів часу досить обширна.

Таймери використовують:

- для керування освітленням під'їздів житлових будинків, автостоянок, рекламних щитів, вітрин та ін.;
- для керування подачею повітря, води, сумішей і ін., Наприклад в акваріумах, або для поливу рослин;
- для керування дзвінком або сигналом, що працюють за часом. На заводах для оповіщення початку зміни, або в школах для оповіщення про початок уроку.
- для керування обігрівальними елементами або обігрівачами, наприклад для опалення в робочий час.
- для імітації ефекту присутності. Увімкнення/вимикання освітлення, радіо, телевізора для відлякування злодіїв і запобігання крадіжки з приватного будинку або квартири.
- для керування пристроями кондиціонування, наприклад для того, щоб охолодити кімнату до вашого приходу.
- для керування електропристроями, наприклад верстатами на виробництві, які можна запрограмувати на увімкнення на початку робочої зміни і вимкнення після її завершення.
- для керування живленням електроприладів у вечірній і нічний час в приміщеннях з багатотарифним обліком електроенергії.

Питання для самоконтролю і завдання

1. Що являє собою реле часу? (визначення)
2. Якими є загальні вимоги, що висуваються до реле часу?
3. Якими є принцип дії і сфера застосування таймера ТМ-181?
4. В чому полягає принцип дії і якою є сфера застосування електронного реле часу ВЛ-40?
5. Якими є принцип дії і сфера застосування електронного реле часу ВЛ-68?
6. Якими є принцип дії і сфера застосування електронного реле часу приставки витримки часу ПВЛ?
7. Як можна регулювати витримку часу електронного аналогового реле часу?

8. Як можна регулювати витримку часу електронного цифрового реле часу?
9. Яке призначення електронного тижневого таймера e.control.t08?
10. Яку кількість програм здатен реалізувати електронний тижневий таймер e.control.t08?

Список джерел інформації

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Точка», 2012.- 340 с.
2. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. Харків.- Точка, 2009. – 272 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
4. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1984.- 224 с.
5. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. И доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. - 304 с.

Зміст

Вступ	3
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ	4
1. Процеси комутації електричних кіл	5
2. Електричні контакти	23
3. Розрахунок електродинамічних зусиль	55
4. Теплові розрахунки в електричних апаратах	67
5. Способи і засоби гасіння електричної дуги при комутації електричних кіл	86
6. Розрахунки магнітних кіл	104
7. Вимоги до електричних апаратів та умови їх роботи	131
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2. РУЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ АПАРАТИ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ	149
1. Рубильники. Вимикачі. Перемикачі	150
2. Запобіжники та комбіновані апарати із запобіжниками	165
3. Автоматичні вимикачі (відмикачі)	191
4. Пристрої захисного вимкнення (відмикачі, керовані різницею струмом)	251
5. Реле	280
6. Контактори і електромагнітні пускачі	322
7. Струмові електротеплові реле	343
8. Апарати кіл керування. Вимикачі та з'єднувачі побутового призначення	365
9. Електричні апарати високої напруги	377
10. Трансформатори струму і напруги	415
11. Розрядники і обмежувачі напруги	438
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 3. ЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ	445
1. Напівпровідникові комутаційні апарати	446
2. Пристрої плавного пуску асинхронних електродвигунів	488
3. Електронні пристрої захисту асинхронних електродвигунів	501
4. Реле напруги	527
5. Реле часу. Програмовані перемикачі (таймери)	541
ЗМІСТ	560