



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

Д.Т.Н., доцент /ОКУШКО О.В./

науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ

” ”

2025 року

число місяць рік

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Мельнику Данилу Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження та випробування електричних апаратів за допомогою апаратно-програмної випробувальної установки ISA CBA-1000»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “\_18\_”\_11\_2024 р. № 2061 “С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.11.14

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

1. Законодавчі акти та урядові документи в галузі енергетики і охорони праці.
2. Нормативні і директивні матеріали з проектування, монтажу та експлуатації електроустановок.
3. Каталогіві дані електрообладнання.
4. Результати обстеження підприємства

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Огляд літературних та інтернет-джерел за напрямками досліджень
2. Електротехнічна частина.
3. Проектування спеціалізованої служби для сервісного обслуговування електротехнічного обладнання.
4. Дослідження характеристик силових комутаційних апаратів.
5. Розробка методики виконання випробувань комутаційних апаратів за допомогою випробувального комплексу ISA CBA-1000.
6. Охорона праці.

Дата видачі завдання “\_18\_” листопада 2025 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи Наливайко В.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Мельник Д.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

## Реферат

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єкт дослідження — силові вимикачі середнього та високого класу напруги.

Предмет дослідження — порядок, структура та методика перевірки параметрів автоматичних силових вимикачів.

Предметом дослідження є порядок, склад і виконання процесів перевірки параметрів автоматичних силових вимикачів.

Методи дослідження. У ході роботи проаналізовано нормативну документацію, технічні матеріали заводів-виробників, математичні моделі та апаратно-програмні комплекси, що застосовуються для випробування силових вимикачів.

Проведено експериментальні дослідження, які поєднували вимірювання параметрів об'єкта з подальшим аналізом отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано метод підвищення ефективності та якості процесів випробування автоматичних силових вимикачів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений підхід до проведення випробувань дозволяє істотно зменшити кількість хибних результатів, підвищити надійність роботи автоматичних вимикачів та своєчасно виявляти можливі відмови, несправності або аварійні стани на ранніх етапах експлуатації.

# Зміст

Вступ.....	3
Розділ 1. Огляд літературних та інтернет- джерел за напрямками досліджень. 10	
1.1 Опис та принцип роботи ідеального вимикача.....	4
1.2. Відключення струму навантаження.....	12
Розділ 2. Електрортехнічна частитна .....	23
2.1 Процес проведення обслуговування електротехніки.....	23
2.2 Склад і схема побудови енергетичної служби господарства і її документації .....	25
2.3. Порядок розрахунку об'ємів робіт по технічному обслуговуванню і ремонту енергообладнання .....	29
2.4 Вибір кабельно-провідникової продукції.....	30
2.5. Відповідальність за експлуатацію електроустановок і рівень кваліфікації персоналу.....	31
Розділ 3. Проектування спеціалізованої служби для сервісного обслуговування електротехнічного обладнання.....	35
3.1 Аналіз існуючої обслуговувальної служби .....	35
3.2. Обґрунтування та створення проекту бази технічної підтримки та обслуговування електротехнічного обладнання.....	35
Розділ 4. Дослідження характеристик силових комутаційних апаратів.....	40
4.1 Загальна характеристика досліджень.....	40
4.2. Способи вимірювання температури контактних з'єднань .....	41
4.3. Забезпечення захисних функцій та експлуатаційні вимоги .....	42
Розділ 5. Характеристики випробувального комплексу, методологія виконання випробувань .....	47
5.1. Загальні характеристики випробувального обладнанням. ....	47
5.1.1. Апаратна частина.....	47
5.1.2. Програмне забезпечення TDMS .....	57
5.2. Технічні характеристики випробувального апарату .....	58
5.3. Характеристика ходу випробувань .....	61
5.4. Схема керування процесом випробувань .....	62
5.5. Етапи випробування силових вимикачів.....	62
5.6. Виконання фізичної схеми керування та вимірювання .....	63

5.7. Принципова схема тестування.....	65
5.7. Відповідність нормативній документації.....	65
6. Вимоги безпеки під час виконання діагностування електрообладнання....	66
6.1. Проведення випробувань з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела струму .....	66
6.2. Роботи з електровимірювальними кліщами і вимірювальними штангами .....	74
6.3. Вимоги безпеки при аварійних ситуаціях .....	76
6.4. Вимоги безпеки після закінчення робіт.....	77
Висновки .....	78
Список використаних джерел .....	79

## Вступ

Обґрунтування актуальності обраної теми. Станом на 2025 рік процедури діагностики, дефектування, технічного обслуговування та ремонту потребують застосування високоточного вимірювального й випробувального обладнання із використанням електронно-обчислювальних машин та актуальних математичних моделей. Це необхідно для отримання максимально точних результатів, на основі яких сучасний інженер може формувати обґрунтовані та ефективні рекомендації щодо підвищення надійності роботи електротехнічного обладнання.

Сучасна промисловість, з огляду на високі темпи виробництва та необхідність досягнення максимальної ефективності, вимагає оперативної реакції інженерно-технічного персоналу, здатного виконувати дослідження, випробування, ремонт та надавати рекомендації у стислі терміни. Це дозволяє мінімізувати економічні втрати, пов'язані з простоєм обладнання.

У цьому контексті використання випробувальних апаратно-програмних комплексів є оптимальним рішенням, що забезпечує простоту, точність та високу швидкість виконання необхідних операцій.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка програмних засобів та оптимізація схемних рішень для підвищення ефективності проведення випробувань силових вимикачів.

## Розділ 1

### Огляд літератури і вибір напрямків досліджень.

#### 1.1 Опис та принцип роботи ідеального вимикача

Теоретично, здатність миттєво розірвати електричний струм означає можливість безпосереднього переходу від стану провідника до стану ізолятора. Отже, опір такого «ідеального» вимикача повинен змінюватися миттєво — від нуля до нескінченності (див. рисунок 1.1).

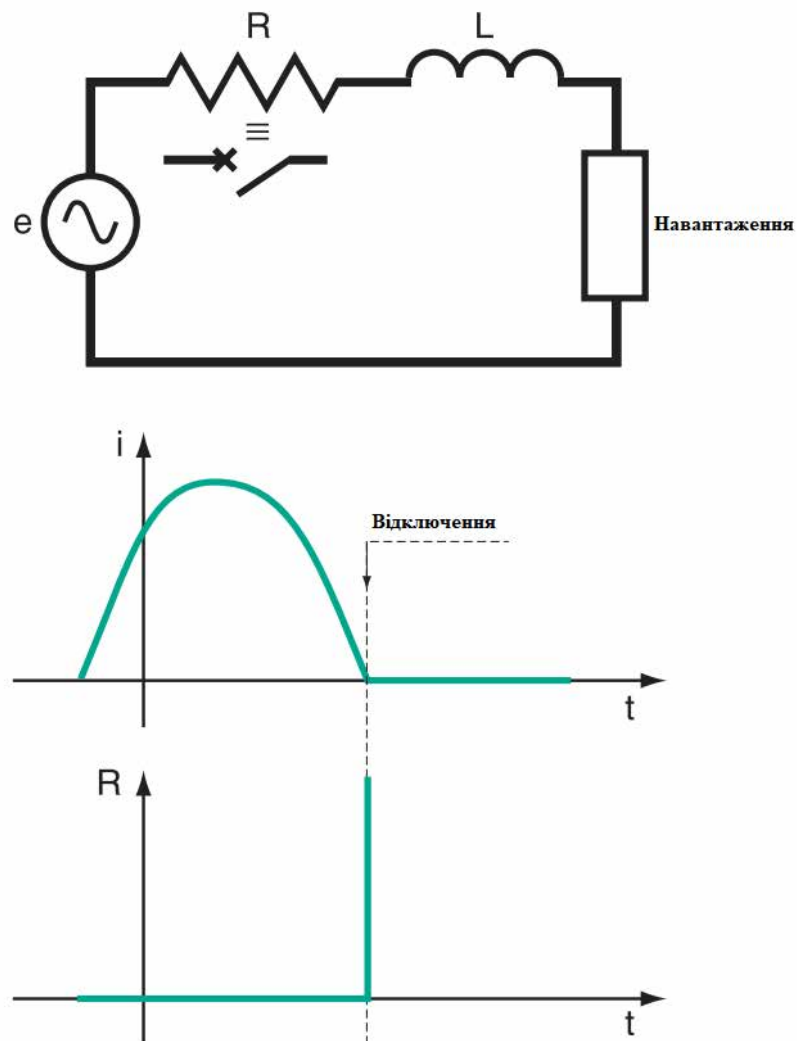


Рис. 1.1 Відключення за допомогою ідеального вимикача

Такий пристрій міг би мати такі властивості:

- поглинати всю електромагнітну енергію, накопичену в колі до моменту відключення (наприклад, у разі короткого замикання), тобто енергію  $1/2 Li^2$ , що зумовлена індуктивним характером мережі;
- витримувати перенапруги ( $Ldi/dt$ ), які виникають на його виводах і теоретично можуть досягати нескінченно великих значень, якщо перехід від провідного до ізоляційного стану відбувається миттєво. Це, своєю чергою, неминуче призвело б до пробую діелектрика.

Якщо припустити, що ці труднощі вдалося б подолати шляхом повної синхронізації моменту природного переходу струму через нуль із моментом переходу пристрою зі стану провідника в стан ізолятора, необхідно враховувати ще одне важливе явище — появу перехідної відновлювальної напруги.

На практиці, одразу після відключення струму (тобто у фазі відновлення), напруга на виводах вимикача додається до напруги мережі, яка в цей момент досягає свого максимального значення для індуктивних кіл. Це відбувається без різкого розриву кола завдяки наявності ємнісної складової мережі. Таким чином, формується перехідний процес, у результаті якого виникла напруга накладається на напругу мережі.

Цю напругу називають перехідною відновлювальною напругою. Вона визначається параметрами мережі, а швидкість її зростання ( $dv/dt$ ) може бути досить великою — порядку кількох кіловольт за мікросекунду. Іншими словами, для успішного відключення ідеальний вимикач повинен витримувати напругу у кілька кіловольт протягом дуже короткого часу — менш ніж однієї мікросекунди після переходу зі стану провідника в стан ізолятора [1].

### **Відключення з розривом електричної дуги**

Виникнення електричної дуги пояснюється двома причинами:

• По-перше, практично неможливо забезпечити розмикання контактів точно в момент природного проходження струму через нуль. Це пов'язано з похибками вимірювань та затримками системи керування. Наприклад, при діючому струмі 10 кА миттєве значення струму за 1 мкс до переходу через нуль становить ще близько 3000 А. У разі, якщо вимикач миттєво перейшов би в ізоляційний стан, на його виводах виникла б миттєва перенапруга ( $Ldi/dt$ ), що мала б нескінченно велике значення і спричинила б пробій діелектрика в надзвичайно короткий проміжок часу між контактами.

• По-друге, розмикання контактів має відбуватися з дуже великою швидкістю, щоб електрична міцність проміжку між ними перевищувала значення перехідної відновлювальної напруги. Для досягнення такої швидкості потрібна механічна енергія, що наближається до нескінченної, а отже, є недосяжною для будь-якого реального пристрою.

Процес відключення струму з утворенням електричної дуги проходить у кілька послідовних етапів:

1. період очікування;
2. фаза затухання дуги;
3. фаза післядугових процесів.

### *Період очікування*

ПБезпосередньо перед моментом, коли струм проходить через нуль, контакти роз'єднуються, що призводить до діелектричного пробою проміжного середовища між ними. У результаті цього виникає електрична дуга, яка являє собою плазмовий стовп, утворений іонами та електронами з міжконтактного середовища або парами металу, що випаровуються з електродів (рис. 1.2). Цей плазмовий стовп зберігає свою провідність доти, доки його температура залишається достатньо високою. Таким чином, дуговий розряд підтримується завдяки енергії, що виділяється внаслідок джоулевого нагрівання (ефект Джоуля–Ленца).

Напруга, що виникає між двома контактами внаслідок опору дуги та падіння напруги на поверхнях електродів (катодне й анодне падіння), називається дуговою напругою ( $U_a$ ). Її величина залежить від типу дуги, сили струму та умов теплообміну із навколишнім середовищем (стінками камери, матеріалами контактів тощо). Теплообмін, який відбувається за рахунок випромінювання, конвекції та теплопровідності, визначає охолоджувальну здатність вимикача.

Роль дугової напруги є надзвичайно важливою, оскільки саме від її величини значною мірою залежить потужність, що розсіюється в пристрої під час розриву кола. Кількість цієї енергії визначається за виразом:

$$W = \int_{t_0}^{t_{arc}} U_a * i dt, \quad (1.1)$$

де:  $t_0$  – момент виникнення дуги і  $t_{arc}$  – момент її повного згасання (відключення).

У мережах середньої та високої напруги значення дугової напруги ( $U_a$ ) зазвичай значно менше за напругу мережі, тому вона практично не впливає на обмежувальну дію процесу вимкнення, за винятком окремих випадків, що розглядаються далі. Отже, відключення струму відбувається поблизу його «природного» переходу через нуль у змінному струмі.

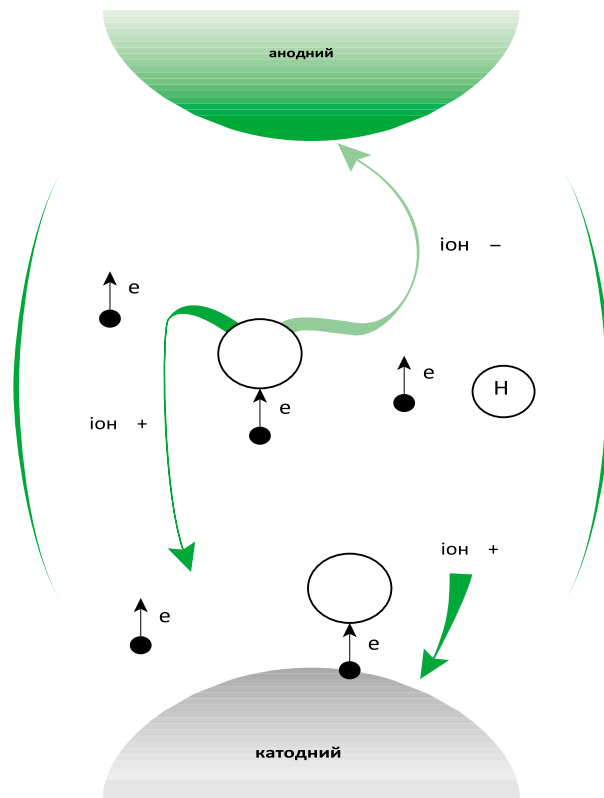


Рис. 1.2. Утворення електричної дуги в газовому середовищі

### ***Фаза затухання дуги***

Припинення струму, що відповідає згасанню дуги, відбувається в момент проходження струму через нуль за умови, що міжконтактне середовище швидко відновлює свої ізоляційні властивості. Для цього необхідно, щоб канал, утворений іонізованими частинками, був зруйнований. Процес гасіння дуги відбувається таким чином: у момент, коли струм наближається до нульового значення, опір дугового проміжку починає зростати відповідно до певної залежності, яка в основному визначається постійною часу деіонізації міжконтактного середовища (див. рис. 1.3).

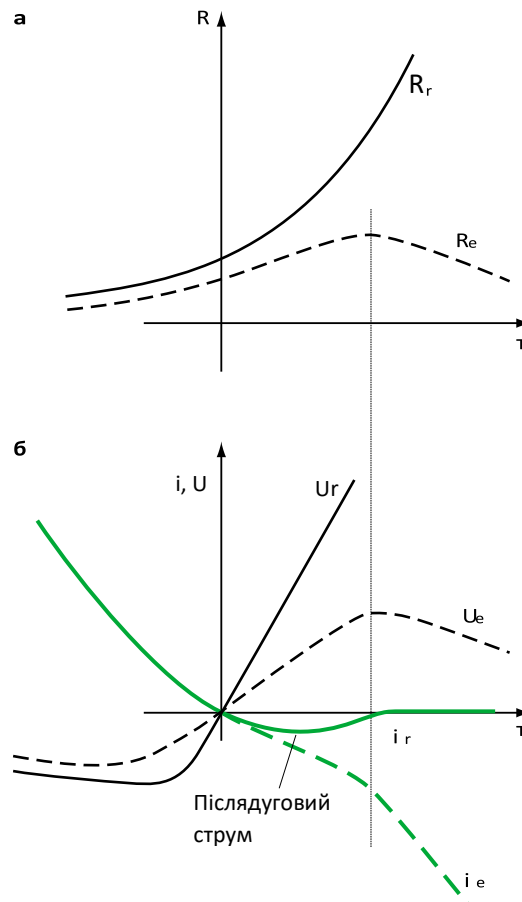


Рис. 1.3 Зміна опору дуги (а), напруги і струму (б) протягом періоду затухання у випадку успішного відключення ( $\tau$ ) або теплового пошкодження ( $e$ )

У момент проходження струму через нуль опір дугового проміжку не досягає нескінченного значення, тому після згасання дуги через пристрій знову може протікати післядуговий струм під дією перехідної відновлювальної напруги, що виникає на його клеммах. Якщо потужність, яка виділяється внаслідок джоулевого нагрівання (ефекту Джоуля–Ленца), перевищує охолоджувальну здатність вимикача, середовище перестає ефективно охолоджуватися, що призводить до теплового пошкодження або повторного пробую між контактами.

Якщо, навпаки, зростання напруги не перевищує певного критичного значення, опір дуги здатен досить швидко збільшитися. У такому випадку потужність, що виділяється в проміжку, не перевищує охолоджувальну здатність пристрою, що дозволяє уникнути теплового пробую.

### ***Фаза після дуги***

Щоб розрив відбувся успішно, необхідно, щоб швидкість відновлення діелектрика значно перевищувала швидкість відновлення напруги (рис. 1.4). Якщо ця умова не виконується, виникає діелектричний пробій. У момент руйнування діелектрика середовище знову стає провідним, що спричиняє перехідні процеси, які будуть розглянуті детальніше пізніше.

Пошкодження діелектрика, що виникають після розриву, називаються:

- повторне займання — якщо воно відбувається протягом чверті періоду нульового струму;
- повторний пробій — якщо воно виникає пізніше.

### **Напруга відновлення у відповідності до стандартів**

Хоча швидкість зростання напруги відновлення (НВ) суттєво впливає на відключальну здатність апаратів, це значення неможливо точно визначити для всіх конфігурацій електричних мереж. У стандарті ІЕС 60056 наведено діапазон значень НВ для кожного рівня номінальної напруги, що відповідає типовим умовам експлуатації (рис. 1.5).

Таким чином, відключальна здатність вимикача визначається як найбільший струм, який він здатний відключити при номінальній напрузі та відповідній номінальній напрузі відновлення.

Автоматичний вимикач має забезпечувати відключення будь-яких струмів, менших за його відключальну здатність, для всіх значень напруги відновлення (НВ), що не перевищують номінального значення НВ.

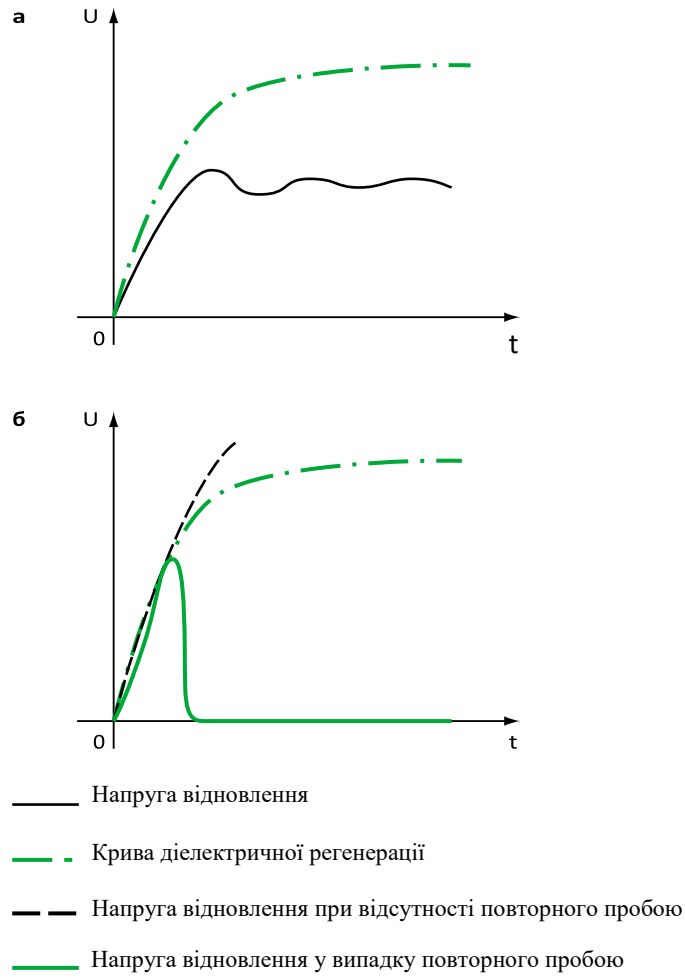


Рис. 1.4. Криві відновлення діелектричної міцності, успішне відключення (а) або пошкодження діелектрика (б)

Номінальна напряга ( $U_r$ , кВ)	7.2	12	17,5	24	36	52
Пікова НВ ( $U_c$ , кВ)	12.3	20.6	30	41	62	89
Час $t_3$ (мкс)	52	60	72	88	108	132
Темп підвищення ( $U_c/t_3$ )	0,24	0,34	0,42	0,47	0,57	0,68

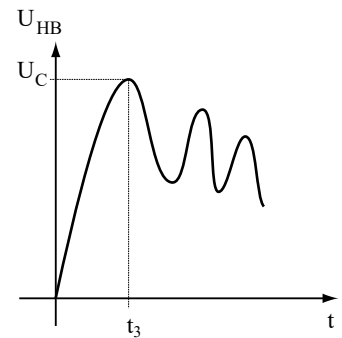


Рис. 1.5. Номінальна перехідна відновлювальна напряга у випадку короткого замикання на виводах вимикача (зі стандарту МЕК 60056)

## 1.2. Відключення струму навантаження

Під час нормальної експлуатації мереж середньої напруги відключення електричних ланцюгів здійснюється у таких випадках:

- якщо струм навантаження, який становить від кількох ампер до кількох сотень ампер, є меншим за струм короткого замикання (10–50 кА);
- якщо коефіцієнт потужності є більшим або дорівнює 0,8, зсув фази між напругою в електричному ланцюзі та струмом незначний, а мінімальне значення напруги спостерігається поблизу мінімальних значень струму (ланцюг із переважно активним опором).

У цей момент на виводах пристрою з'являється напруга, тоді як напруга мережі практично не викликає жодних перехідних процесів (рис. 6). За таких умов відключення відбувається під час проходження струму через нуль без ускладнень, оскільки пристрій розрахований на відключення струмів більшої сили, зсунених по фазі на  $90^\circ$  відносно напруги.

### *Відключення індуктивного струму*

- Обрив струму

Струми обриву можуть призводити до виникнення перенапруг, спричинених передчасним розривом струму, що відомо як явище «обриву струму».

При малих індуктивних струмах (від кількох ампер до кількох десятків ампер) охолоджувальна здатність апаратів, розрахованих на струм короткого замикання, значно перевищує енергію, що виділяється в дузі. Це призводить до нестійкості дуги та виникнення коливального процесу, пов'язаного з обміном енергії між ємностями, «видимими» апаратами відключення та індуктивними котушками (див. рис. 1.7 і 1.8). Під час цього

високочастотного коливального процесу (приблизно 1 МГц) струм може пройти через нуль до настання нормального проходження струму через нуль на промисловій частоті (50 Гц), і вимикач здатен відключити струм у цей момент.

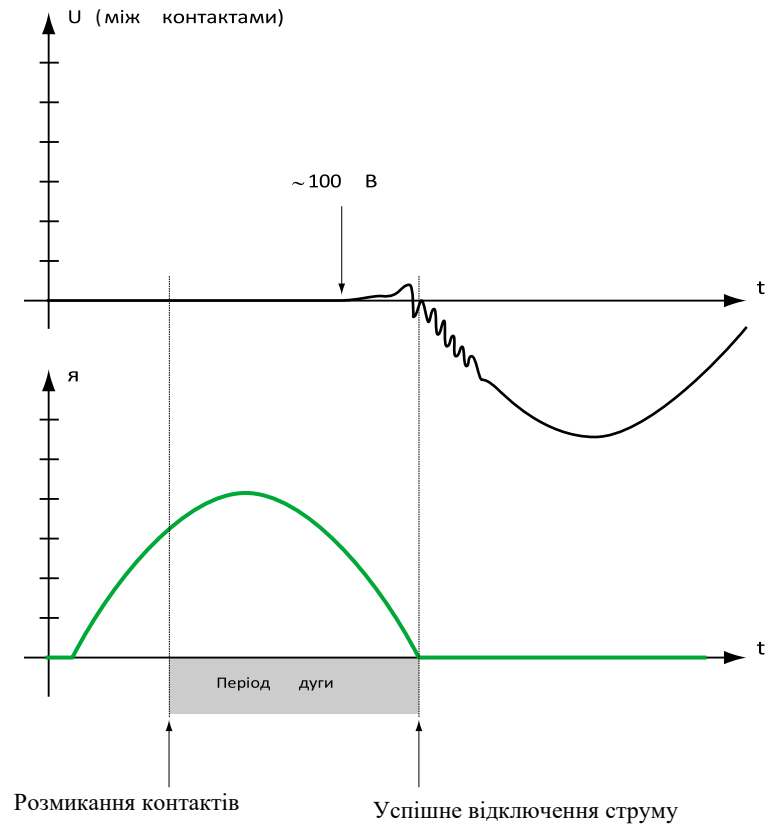
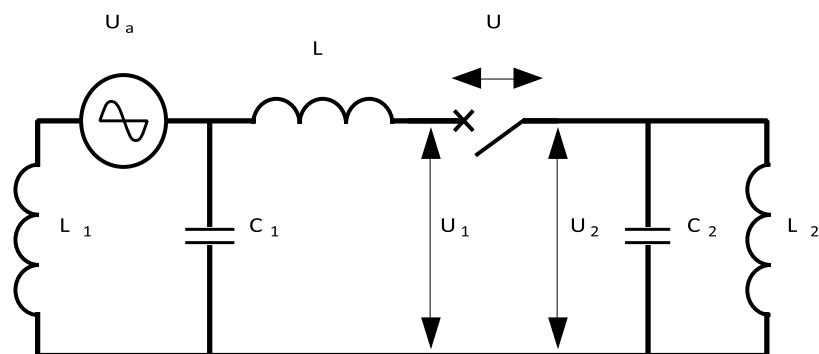
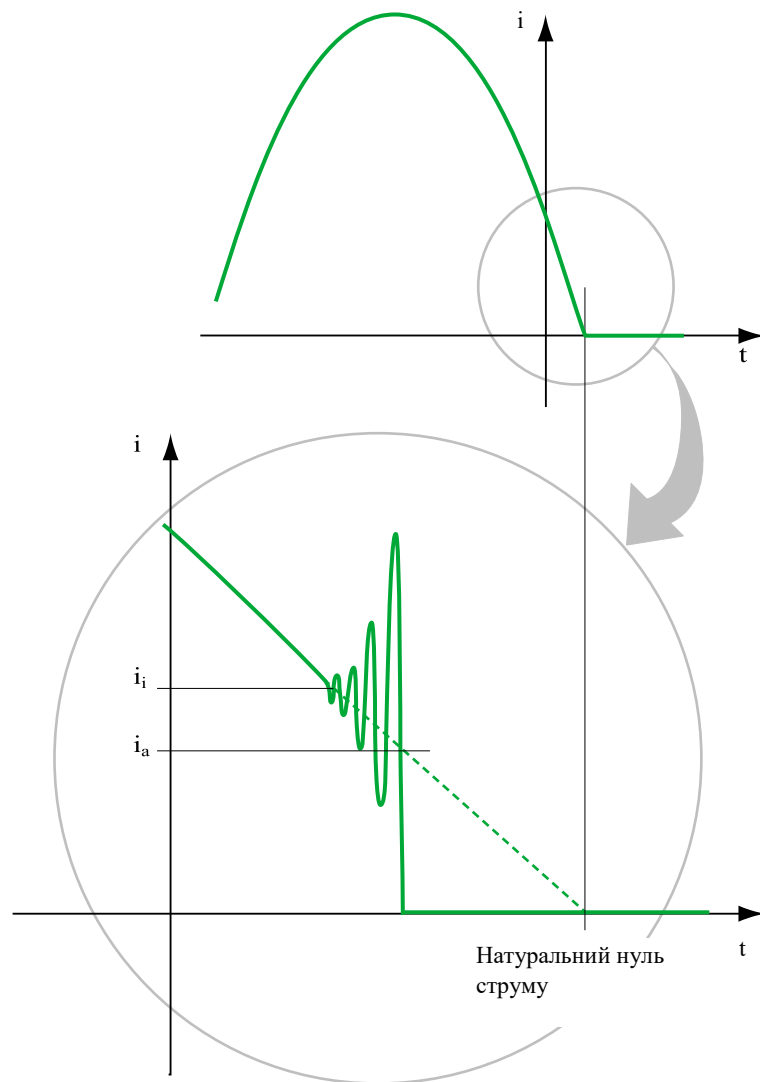


Рис. 1.6. Виникнення дуже слабких перехідних процесів при відключенні струму у випадку резистивного навантаження



- $L_1, C_1$  – котушка індуктивності і ємність, що розташовані зі сторони джерела живлення;  
 $L_2, C_2$  – котушка індуктивності і ємність, що розташовані зі сторони первинної обмотки трансформатора;  
 $L$  – котушка індуктивності для під'єднання зі сторони джерела живлення до вимикача збірних шин або кабелів

Рис. 1.7. Схема ланцюга при відключенні слабого індуктивного струму



$i$  – струм у вимикачі;

$i_i$  – значення струму, що викликає нестійкий стан;

$i_a$  – значення струму обриву.

Рис. 1.8, Коливальний процес на високій частоті або «обрив струму» при відключенні індуктивного струму

Це явище, відоме як «обрив струму», супроводжується перехідною перенапругою, яка виникає головним чином через коливальний стан на стороні навантаження (див. рис. 1.9). Максимальне значення перенапруги на стороні навантаження ( $U_{Cmax}$ ) визначається за таким рівнянням:

$$U_{Cmax}^2 = u_a^2 + \left[ \frac{\eta_m + L_2 + i_a^2}{C_2} \right], \quad (1.2)$$

де:

$u_a$  – напруга обриву;

$i_a$  – струм обриву;

$\eta_m$  – магнітний ККД.

З боку джерела живлення напруга  $U_a$  прагне до величини напруги мережі  $U_n$  під час коливального режиму, яка визначається параметрами  $C_1$  і  $L_1$ . Напруга між контактами вимикача дорівнює різниці цих двох напруг.

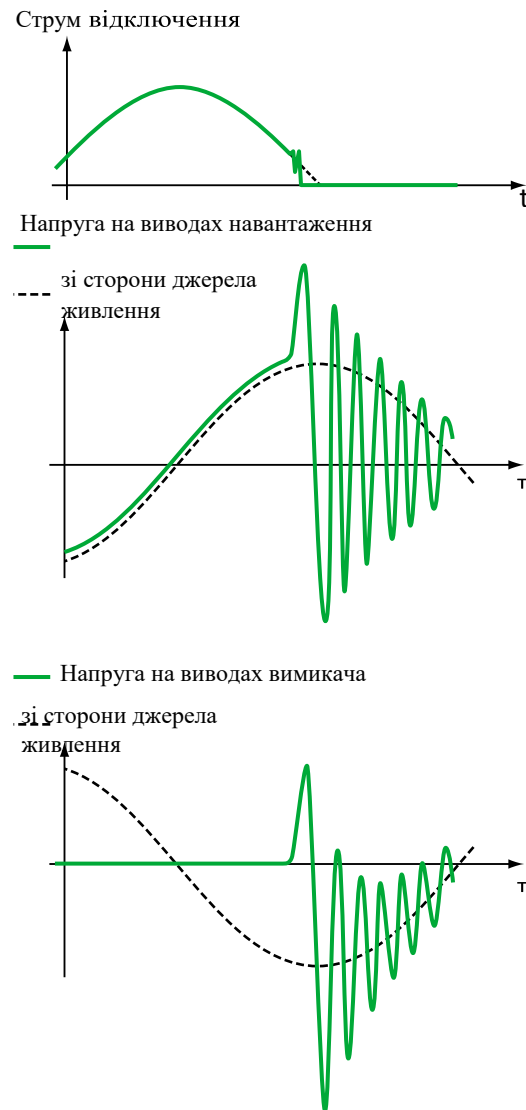


Рис. 1.9. Криві струму і напруги у випадку відключення слабких індуктивних струмів

Це співвідношення наочно показує вплив характеристик мережі, враховуючи, що струм обриву значною мірою залежить від величини  $C_1$  та від типу застосованого пристрою.

### ***Повторне запалювання***

Значні перенапруги можуть виникати і через інше явище — повторне запалювання під час відключення.

Загалом, його уникнути практично неможливо у разі короткого часу горіння дуги, оскільки розходження контактів недостатнє для витримки напруги, що з'являється на виводах пристрою. Повторне запалювання відбувається кожного разу, коли дуга виникає безпосередньо перед проходженням струму через нуль.

Якщо вимикач здатний відключати струм високої частоти, він може здійснити відключення вже при першому проходженні струму через нуль, через кілька мікросекунд після повторного запалювання.

Виникнення нового повторного запалювання цілком можливе через збільшення амплітуди коливань, що повторюється і спричиняє стрибки напруги, які можуть бути небезпечними для навантаження.

### ***Області застосування***

У мережах середньої напруги йдеться про намагнічувальні струми недовантажених або слабонавантажених трансформаторів, електродвигунів та шунтуючих індуктивностей.

#### *Недовантажені або слабонавантажени трансформатори.*

Трансформатори можуть працювати при низькому навантаженні (наприклад, у нічний час). Струми намагнічування при цьому коливаються від кількох ампер до кількох десятків ампер, причому коефіцієнт їх розсіювання може бути дуже високим. Проте навіть якщо струм обривається на піковому значенні, ймовірність виникнення значних перенапруг зазвичай низька через наявність ємності та індуктивності.

При електропостачанні через повітряні лінії ризик перенапруг зменшується завдяки застосуванню розрядників, які обмежують їх величину.

Водночас, відповідно до стандартів для трансформаторів передбачені випробування імпульсами, що дозволяють перевірити їхню здатність витримувати комутаційні перенапруги.

### *Шунтуюча індуктивність*

Ця індуктивність застосовується для компенсації реактивної складової ліній або для запобігання підвищенню напруги у дуже довгих лініях і в лініях з малим навантаженням. Найчастіше шунтуючу індуктивність використовують у мережах високої напруги (ВН), проте вона може застосовуватися й у мережах середньої напруги (СН).

### *Двигуни*

Статорна та роторна обмотки двигуна працюють так, що струм, який вони споживають без навантаження, а також пусковий струм, здебільшого є індуктивним. Через велику кількість комутаційних операцій часто виникають перенапруги, що поступово послаблюють або пошкоджують ізоляцію. Внаслідок цього перенапруги можуть стати критичними, особливо якщо відключення здійснюється під час пуску двигуна.

### *Стандарти на відключення індуктивного струму*

Міжнародних стандартів щодо процедури відключення індуктивного струму не існує, проте в технічному звіті МЕК 61233 наведено вимоги до проведення випробувань вимикачів, які використовуються для живлення двигунів та шунтуючих індуктивностей.

### *Двигуни*

Для вимикачів, розрахованих на номінальну напругу від 1 до 17,5 кВ, передбачено стандартне випробувальне коло, яке моделює блокування ротора двигуна під час лабораторних випробувань.

### *Шунтуюча індуктивність*

Шунтуюча індуктивність у мережах середньої напруги застосовується нечасто, проте іноді її використовують у мережах із напругою 36 кВ.

Лабораторні випробування на трифазних ланцюгах передбачені лише для мереж з номінальною напругою понад 12 кВ.

### **Відключення ємнісного струму**

При відключенні ємнісного струму може з'явитися перенапруга через повторний пробій у період відновлення напруги.

- Теоретично відключення ємнісного струму може проходити без ускладнень. На практиці, коли пристрій відключає струм, напруга на виводах генератора досягає максимального значення, оскільки струм і напруга зсунуті по фазі на  $\pi/2$ . Оскільки конденсатор залишається зарядженим після відключення струму, напруга на виводах вимикача, спочатку рівна нулю, повільно зростає без утворення перехідної відновлювальної напруги, причому її похідна за часом на початку також дорівнює нулю.

- З іншого боку, існує проблема повторного пробію. Після проходження півперіоду напруга мережі змінює знак, і напруга на виводах вимикача досягає подвійного значення пікової напруги. Через це ризик повторного пробію між контактами зростає, особливо враховуючи повільність процесу відключення.

Якщо повторний пробій відбувається на піковій напрузі, конденсатор розряджається на індуктивність ланцюга, утворюючи коливальний струм із амплітудою, що втричі перевищує пікову напругу  $3E$  (див. рис. 1.10). Якщо наступне проходження струму через нуль завершилося успішним відключенням, конденсатор залишається зарядженим до напруги  $3E$ .

При наступній інверсії напруги «е» напруга на виводах вимикача досягає  $5E$ , що може спричинити новий повторний пробій. Такі явища можуть повторюватися при напругах  $5E, 7E$  тощо.

Будь-який повторний пробій, що відбувається через чверть періоду після проходження струму через нуль, може викликати «стрибок напруги», внаслідок чого виникає неприпустимо висока пікова напруга для навантаження.

Проте повторне запалювання, обумовлене характеристиками вимикача, вважається допустимим: амплітуда коливальної напруги на виводах конденсатора залишається меншою за максимальне значення напруги генератора і не становить загрози для вимикача.

Випробування конденсаторів перенапругою проводять при значенні 2,25 від їх номінальної напруги.

Отже, відновлення електричної міцності проміжку між контактами має відбуватися достатньо швидко, щоб уникнути повторного пробію під час проходження четверті періоду.

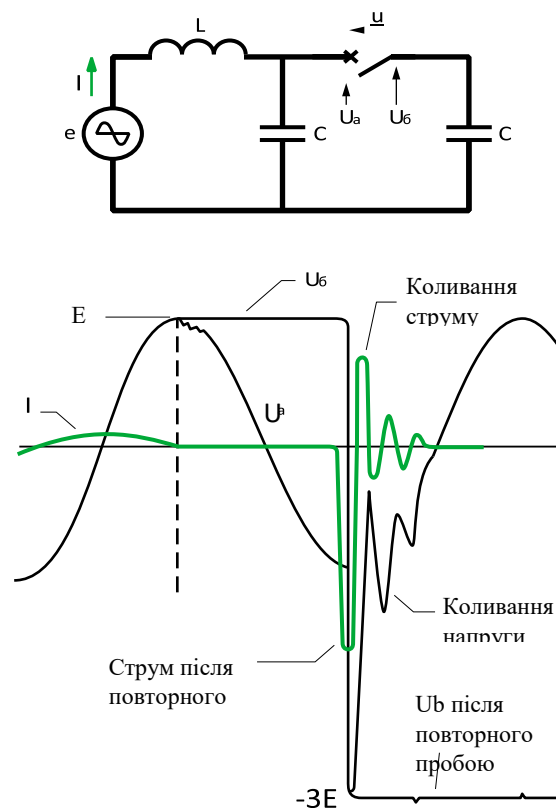


Рис. 1.10. Схема ланцюгів з ємнісним навантаженням у випадку відключення, коли вимикач не виконує достатньо швидко розмикання ланцюга і внаслідок послідовних повторних пробію може виникнути небезпечна перенапруга на навантаженні

## Встановлення ємнісного струму і повторний пробій

При відключенні приладу керування, що живить ємнісні навантаження, виникають явища, характерні для ємнісних ланцюгів [1].

Наприклад, при включенні конденсаторної батареї спостерігаються значні високочастотні коливання струму (рис. 11). Максимальна амплітуда цих коливань визначається за формулою:

$$I_c = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{C}{L_0+L}} \quad (1.3)$$

де:  $L_0$  – індуктивність мережі зі сторони джерела живлення;

$L$  – індуктивність з'єднання з конденсаторною батареєю, зазвичай менше  $L_0$ .

У разі застосування регульованої багатоступеневої конденсаторної батареї це явище посилюється через енергію, накопичену в уже включених конденсаторах: перехідний струм може перевищувати номінальний у сотні разів і мати частоту в кілька кілогерц, що зумовлено низьким повним опором з'єднань між ступенями батареї.

У разі повторного пробою на контактах приладу керування (коли виникає струмопровідна дуга перед зіткненням контактів) підвищений перехідний струм може призвести до передчасної ерозії контактів і навіть їх зварювання. Щоб зменшити вплив цих явищ, послідовно з конденсаторною батареєю підключають обмежувальні дроселі, що забезпечують необхідний повний імпульсний опір.

Отже, для конденсаторної батареї з  $n$  ступенями та питомою ємністю  $C$  попередня формула набуде вигляду:

$$I_c = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{C}{L} \frac{n}{n+1}} \quad (1.4)$$

де:  $L$  – обмежувача індуктивність (імпульсний повний опір), підвищена відносно  $L_0$ .

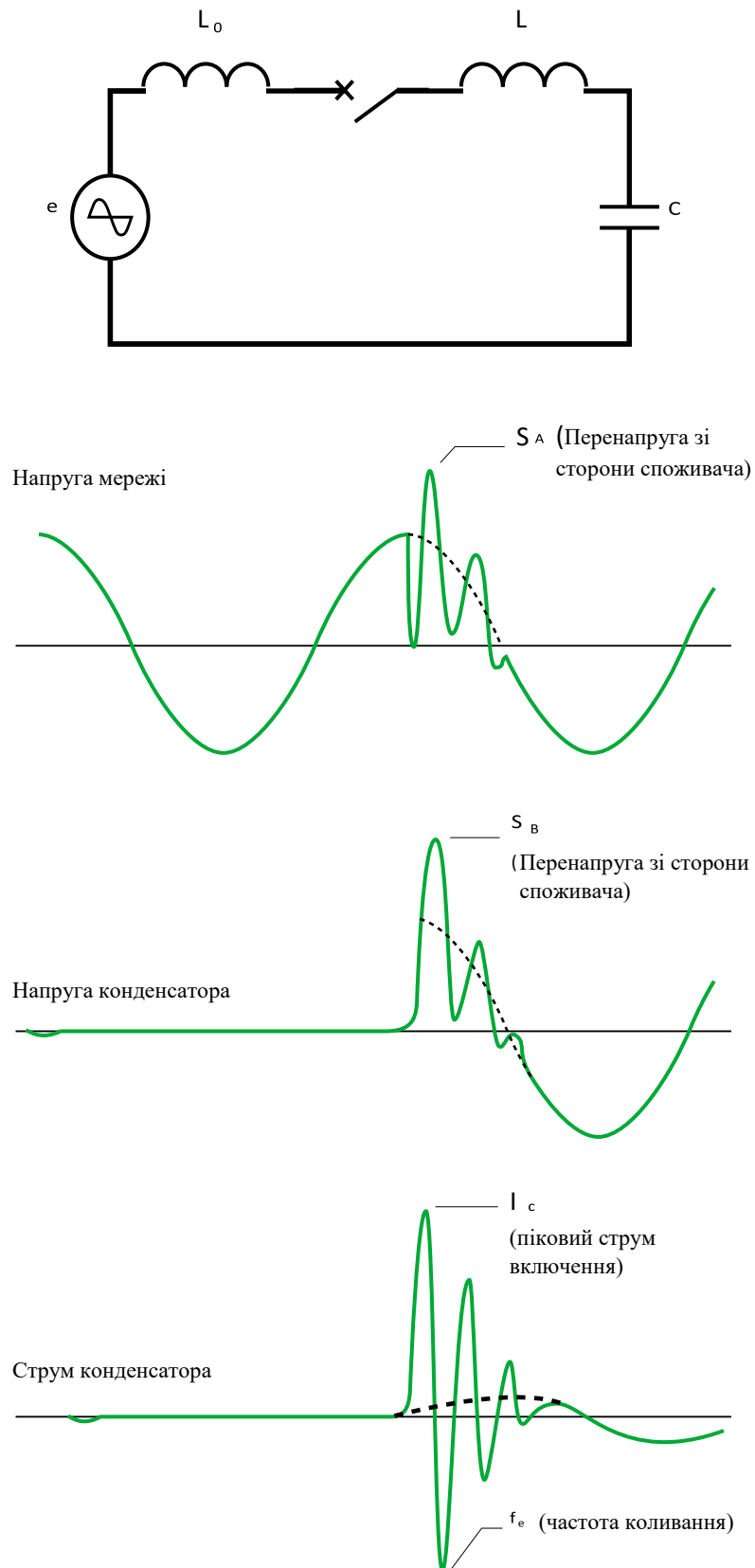


Рис. 1.11. Форма струму і напруги (перенапряга перед перебіжнього стану) у випадку підключення до мережі одноступеневої конденсаторної батареї

## **Висновок**

Серед усіх технологій відключення в мережах середньої напруги (СН) найбільш ефективними є відключення в елегазі та у вакуумі.

На сьогодні жодна інша технологія не здатна повністю замінити ці методи, оскільки вони мають суттєві переваги порівняно з іншими:

- **Безпека:** відсутній ризик вибуху, пожежі чи будь-яких зовнішніх проявів під час відключення.
- **Компактність:** вакуум і елегаз є високоефективними ізоляторами, завдяки чому вакуумні та елегазові пристрої мають менші габарити.
- **Надійність:** у цих пристроях небагато рухомих частин, а енергія керування невелика, що забезпечує спрощене технічне обслуговування, високу експлуатаційну готовність і тривалий термін служби.

Завдяки сучасним обчислювальним засобам для моделювання та симулювання відбувається постійне вдосконалення захисних пристроїв.

Водночас найбільші досягнення у підвищенні експлуатаційної надійності обладнання пов'язані з широким застосуванням пристроїв у готовому корпусі, протестованих у заводських умовах.

## РОЗДІЛ 2

### ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Процес проведення обслуговування електротехніки

Рівень технічного стану електроенергетичного обладнання значною мірою визначає якість продукції, умови праці та безпеку персоналу. Експлуатація обладнання повинна здійснюватися відповідно до «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок користувачів». У випадку наявності спеціальних установок, не передбачених цими правилами, експлуатація здійснюється згідно з інструкціями, затвердженими керівництвом підприємства та погодженими з технічною інспекцією.

Періодичність проведення робіт з експлуатації електрообладнання регламентується «Системою планово-попереджувального ремонту і технічного обслуговування електрообладнання». Ця система охоплює комплекс організаційно-технічних заходів із планування та виконання різних робіт, спрямованих на забезпечення безвідмовної та безпечної роботи установок при мінімальних експлуатаційних витратах.

До основних видів робіт з обслуговування енергообладнання можна віднести:

- Поточне технічне обслуговування передбачає зовнішній огляд обладнання, його очищення від пилу та бруду, а також усунення незначних несправностей, наприклад, підтяжку гвинтів та інші подібні роботи.
- Планове технічне обслуговування включає огляд, очищення, діагностику, виконання простих регулювань, випробувань та дрібного ремонту з заміною окремих деталей без розбирання обладнання і зняття

його з місця установки. Під час цього визначається необхідність проведення позапланового, поточного або капітального ремонту.

- Поточний ремонт енергообладнання включає виконання робіт із технічного обслуговування, очищення та дефектування деталей і вузлів, заміну або ремонт зношених чи пошкоджених елементів, усунення інших несправностей, а також збірку, регулювання, налаштування та післяремонтні випробування.

- Капітальний ремонт проводиться за потребою і передбачає заміну або ремонт деталей і вузлів, що вийшли з ладу або відпрацювали свій ресурс.

- Технічне обслуговування під час зберігання включає комплекс заходів з підготовки обладнання до зберігання, його безпечного зберігання та обслуговування під час зберігання.

Матеріально-технічна база господарства повинна включати пости технічного обслуговування, пункти поточного ремонту та енергоремонтну вимірювальну лабораторію. Пости поточного обслуговування є основною технічною базою монтажних ділянок і призначені для проведення технічного обслуговування та дрібного ремонту обладнання, а також для зберігання запасних частин, вузлів, приладів, інструментів, матеріалів і технічної документації. Їх доцільно розташовувати при пунктах технічного обслуговування технологічного обладнання.

Енергоремонтна вимірювальна лабораторія призначена для діагностики, поточного ремонту, перевірки, наладки та випробувань енергообладнання безпосередньо на місцях його експлуатації, а також для доставки обладнання на пункт поточного ремонту.

Об'єкти матеріально-технічної бази енергетичної служби організуються відповідно до типових проектів.

## 2.2 Склад і схема побудови енергетичної служби господарства і її документації

**Схема побудови служби.** Загальна енергетична служба господарства може включати, залежно від рівня матеріально-технічного забезпечення та масштабів господарства, такі підрозділи: службу газифікації, службу обслуговування холодильного обладнання, службу обслуговування систем диспетчеризації та зв'язку.

Енергетична служба організовує та забезпечує експлуатацію і ремонт електричних ланцюгів господарства, внутрішніх електропроводок, електрообладнання, газових і теплотрас, теплоенергетичного обладнання. Вона відповідає за розвиток та вдосконалення систем електрифікації, газифікації та теплофікації, раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів на стаціонарних установках, дотримання правил охорони праці та техніки безпеки, а також за підготовку та підвищення кваліфікації персоналу, який обслуговує енергетичне обладнання.

Загальна структура енергетичної служби показана на рисунку 2.1. До її складу, залежно від наявної матеріально-технічної бази та потреб енергопостачання господарства, можуть входити й інші підрозділи, крім зазначених на схемі.

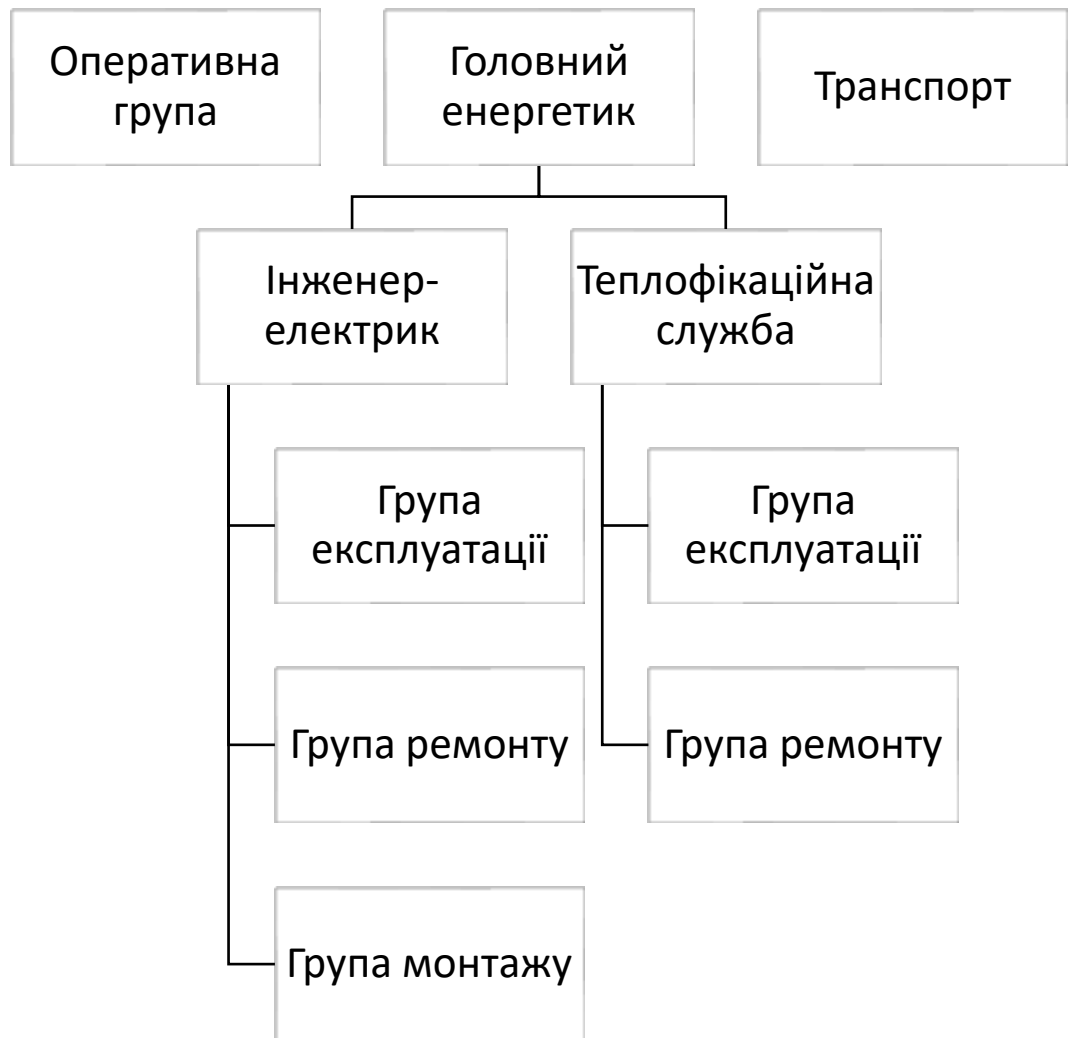


Рис. 2.1 – Структура експлуатаційної служби

Персонал груп експлуатації та ремонту поділяється на бригади, які закріплюються за певними ділянками (монтерськими пунктами), обладнаними постами технічного обслуговування. Бригадирами призначають більш підготовлених електромонтерів, які мають вищий розряд або, при однакових розрядах, вищу групу допуску з техніки безпеки.

До обов'язків керівників бригад належить: забезпечення виконання робіт за графіком і контроль їхнього виконання та витрат матеріалів; ведення журналів обліку робіт та інструктажів з техніки безпеки; складання заявок на деталі та матеріали; контроль за дотриманням членами бригади правил техніки безпеки та інші організаційні функції.

Кількість електромонтерів у складі груп визначається обсягом робіт та трудовими витратами, необхідними для їх виконання.

**Документація.** Діяльність енергетичної служби оформлюється відповідною документацією. Основним документом є енергетичний паспорт господарства, у якому наведено перелік усіх енергетичних установок та їх основні характеристики. Обладнання і установки систематизуються за розділами: енергопостачання, теплопостачання, водопостачання, газифікація, холодильні установки, каналізація, телефонізація та радіозв'язок. У пояснювальній записці до кожного розділу містяться відповідні схеми та короткий опис стану мереж і найбільш енергоємних споживачів. [2]

Інша технічна документація та матеріали оформлюються у вигляді журналів, які ведуться згідно із затвердженою для них формою. До таких журналів відносяться:

1) журнал обліку електроприймачів із пуско-захисною апаратурою та проводки, який використовується для реєстрації електрооснащення виробничих, загальних і культурно-побутових приміщень;

2) графіки проведення технічного обслуговування та ремонту електрообладнання, які бажано розробляти для кожного фізично встановленого пристрою на відповідних об'єктах;

3) журнал реєстрації дефектів, виявлених під час поточного технічного обслуговування та ремонту обладнання;

4) журнал обліку відмов електрообладнання, призначений для фіксації часу та причин його виходу з ладу;

5) журнал реєстрації кількості та тривалості перерв у електропостачанні від енергосистем, причому кожна перерва фіксується окремо;

6) журнал обліку споживачів електроенергії для виробничих потреб; якщо лічильники відсутні, обсяг споживаної енергії приблизно визначається як добуток потужності установки на кількість годин її роботи;

7) оперативний журнал електропостачання (термін зберігання — 3 роки), призначений для фіксації всіх розпоряджень і наказів від енергопостачальної організації;

8) журнал обліку основних та додаткових заходів захисту при обслуговуванні енергетичних установок;

9) журнал проведення перевірок заземлювальних пристроїв;

10) журнал обліку проведення вступного інструктажу з техніки безпеки для нових працівників;

11) журнал інструктажу електромонтерів з техніки безпеки; кожен електромонтер повинен проходити інструктаж щонайменше раз на квартал щодо питань безпеки; сторінки журналу нумеруються, прошиваються та опечатаються; у журналі фіксуються прізвища осіб, що проводять інструктаж, та тих, хто проходить інструктаж;

12) журнал перевірки знань Правил технічної експлуатації та правил техніки безпеки електротехнічного персоналу; перевірка знань проводиться щорічно для персоналу, який безпосередньо обслуговує діючі установки або виконує в них налагоджувальні, ремонтні та інші роботи.

13) журнал перевірки знань з техніки безпеки для персоналу 1-ї кваліфікаційної групи, яка присвоюється працівникам, що обслуговують електрифіковані машини та механізми, а також особам, відповідальним за електрогосподарство підприємства або окремої ділянки.

14) журнал роботи з персоналом, призначений для фіксації проведених навчальних заходів, курсів підвищення кваліфікації та інших заходів з підготовки і навчання працівників.

**Склад штату.** Для визначення чисельності персоналу та розподілу його обов'язків використовуються нормативи, що виражаються в умовних одиницях встановленого обладнання. Розрахунок ведеться або за коефіцієнтами переведення, наведеними в таблиці 2.2, або за обсягом споживаної на виробництві електроенергії.

Зокрема: Посада головного енергетика встановлюється, якщо у господарстві більше 1500 умовних одиниць електроустановок та споживання електроенергії перевищує 1 млн кВт·год. Старший інженер-енергетик при наявності 501–1500 у.о. та споживанні від 0,5 до 1 млн кВт·год. Інженер-електрик – при 251–500 у.о. Старший технік-електрик – при 101–250 у.о. Середнє навантаження на одного електромонтера складає 70 у.о., а річні витрати праці – 1900–1950 годин.

### **2.3. Порядок розрахунку об'ємів робіт по технічному обслуговуванню і ремонту енергообладнання**

При організації планового технічного обслуговування та ремонту енергообладнання із залученням сторонніх організацій важливо правильно визначити обсяг робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання в господарстві, річні трудові витрати на їх виконання, необхідну кількість персоналу та вартість проведення робіт. [6]

Обсяг робіт визначається за числом технічних обслуговувань і ремонтів з урахуванням рекомендацій, при цьому враховується номенклатура обладнання, його кількість та тривалість експлуатації. Усі ці фактори фіксуються в акті інвентаризації енергообладнання, де обладнання групується за номенклатурою, умовами експлуатації, числом годин роботи на добу та місяців на рік, а потім заноситься у таблицю для розрахунку річного обсягу робіт з обслуговування та ремонту.

Після підрахунку умовних ремонтів визначаються необхідні трудові витрати. Використовуються наступні нормативи: на одну умовну одиницю

обслуговування між ремонтами витрачається 0,5 години, на змащування – 0,25 години, на поточний ремонт – 4,8 години, на капітальний ремонт – 12,5 години. Для визначення загальних трудових затрат у годинах суму умовних одиниць по всіх видах обслуговування множать на відповідні нормативи трудомісткості.

#### 2.4 Вибір кабельно-провідникової продукції

Переріз струмоведучих проводів і кабелів вибираємо із умови гранично допустимого нагріву і необхідної механічної міцності:

$$I_{\text{тр.доп.}} \geq I_{\text{мах. тр.доп.}} \quad (2.1)$$

де  $I_{\text{тр.доп.}}$  – тривало допустимий струм нагріву проводу, А.

$I_{\text{мах. д.доп.}}$  - максимальний довгостроковий допустимий робочий струм, А.

Здійснимо розрахунок та підбір проводки для вентилятора. Електродвигун експлуатується під постійним навантаженням, при цьому за максимальний робочий струм приймаємо його номінальне значення.

$$I_{\text{мах. тр.доп.}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}; \quad (2.2)$$

$$I_{\text{мах. тр.доп.}} = \frac{0.37 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.72 \cdot 0.86} = 0.925 \text{ А.}$$

Приймаємо провід марки ПВ1 з мідними жилами. Прокладається проводка в сталевих водогазопровідних трубах під підлогою. Переріз струмоведучої жили,  $S = 1 \text{ мм}^2$ . Для цього перерізу  $I_{\text{тр.доп.}} = 14 \text{ А}$ . Провід ПВ1(1×4).

Внутрішній діаметр труби:

$$D \geq 1,5 \cdot d, \quad (2.3)$$

де  $d$  - діаметр проводу, мм.

Для проводу ПВ1 трижильного з заземлюючою жилою діаметр складає  $d = 9 \text{ мм}$ , отже:

$$D > 1,5 \cdot 9 = 13,5 \text{ мм.}$$

Вибираємо трубу з найближчим стандартним внутрішнім діаметром 15 мм.

Аналогічним чином підбираємо силовий провід. Живлення електроприймачів здійснюється від розподільних шаф типу ШРС1 із запобіжниками НПН2 та розподільного щита типу ПРІ. Для захисту та пуску електродвигунів передбачені електромагнітні пускачі типу ПМЛ із тепловими реле типу РТЛ та кнопками керування.

Підключення пересувних та переносних електроприймачів здійснюється через силові ящики зі штепсельними роз'ємами типу РШ-30 та ШГП-10. [7]

Розподільна частина виконана кабелем АВВГ, прокладеним по будівельних конструкціях на скобах, а також проводами АПВ і ПВ1 (до вентиляторів на віброоснові та в приміщеннях класу В) в легких поліетиленових і водогазопровідних трубах. Вимикач вводу – триполюсний ВА 47-33 на номінальний струм до 160 А, лінійні вимикачі також триполюсні ВА 47-29 на номінальний струм до 25 А.

## **2.5. Відповідальність за експлуатацію електроустановок і рівень кваліфікації персоналу**

Загальна відповідальність за організацію технічної експлуатації електроустановок та їх правильне використання покладається на керівників підприємств і господарств, на балансі яких перебувають ці установки.

На кожному підприємстві адміністрація призначає особу, відповідальну за дотримання правил експлуатації та техніки безпеки, яка носить назву «відповідальний за електрогосподарство» і має відповідну підготовку. До її обов'язків входить забезпечення надійної, економічної та безпечної роботи електроустановок, організація заходів з економії електроенергії та підвищення коефіцієнта потужності, впровадження нових

технологій для підвищення продуктивності праці, своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів і профілактичних заходів, контроль за дотриманням графіків навантаження, обліком електроенергії та звітністю, виконання вимог Держнагляду та енергосистеми, організація навчання, інструктажу та перевірки знань обслуговуючого персоналу, а також своєчасне розслідування аварій та інші пов'язані з цим заходи.

Знання персоналу перевіряє спеціальна комісія: для працівників електролабораторій і тих, хто обслуговує діючі електроустановки або виконує їх наладку, електромонтаж, ремонт чи профілактичні випробування, а також для персоналу, який оформляє розпорядження на ці роботи — перевірка проводиться щороку; для решти працівників — один раз на три роки.

Працівники, що обслуговують технологічні електроустановки, повинні пройти спеціальну підготовку, після якої проводиться перевірка знань; після успішного проходження вони отримують допуск до роботи в електроустановках та відповідну кваліфікаційну групу з техніки безпеки.

## **2.6. Об'єм і норми прийомо-здавальних і профілактичних випробувань електрообладнання**

**Випробування обладнання.** Електроустановки, які були реконструйовані, відремонтовані або повторно вводяться в експлуатацію, повинні проходити прийомо-здавальні випробування відповідно до ПУЕ. Це дозволяє знизити ризик аварійного виходу обладнання з ладу, підвищити його загальну надійність та забезпечити безпеку обслуговуючого персоналу. Пошкодження ізоляції елементів, несправності заземлюючих пристроїв та захисних апаратів від коротких замикань можуть призводити до виходу з ладу електрообладнання, виникнення пожеж і випадків електротравматизму. Тому проведення випробувань також має профілактичну мету.

Основні типи випробувань обладнання включають вимірювання опору ізоляції та перевірку ізоляції підвищеною напругою. Випробування виконують монтажники під час монтажу та налагоджувальний персонал безпосередньо перед введенням обладнання в експлуатацію. Результати оформляються у вигляді відповідних актів і протоколів.

**Опір ізоляції** силових і освітлювальних проводок, обмоток електричних машин та інших елементів електроустановок вимірюють за допомогою мегаомметра. Вимірювання проводять як між різними струмопровідними частинами, так і між провідниками та землею. Перед початком робіт футляр мегаомметра, особливо контакти, ретельно очищають від пилу та перевіряють справність приладу: при обертанні ручки стрілка повинна зупинитися на відмітці «∞» шкали «МОм», а при замиканні зажимів «L» і «Земля» - на відмітці «0» тої ж шкали. Якщо відхилення стрілки перевищує основну похибку приладу (0,8–1 мм), користуватися мегаомметром заборонено. Провідники для підключення повинні мати надійну ізоляцію; дроти в оплітці не застосовують через їх схильність до зволоження. [6]

Випробування ізоляції підвищеною напругою проводять для виявлення локальних дефектів та перевірки її міцності, тобто здатності тривалий час витримувати робочу напругу. Для цього використовують випробувальні установки — трифазні автотрансформатори або індукційні регулятори з вихідною напругою не менше 300 В. Можна також застосовувати три однофазні автотрансформатори з вихідною напругою від 0 до 250 В. [3]

Випробування ізоляції напругою промислової частоти 1000 В можуть замінюватися однохвилинним вимірюванням опору ізоляції мегаометром на напругу 2500 В. Якщо отримане значення опору ізоляції менше нормативного, випробування підвищеною напругою 1000 В проводять обов'язково.

## **Висновок**

Зменшення часу простою обладнання та мереж під час ремонту чи обслуговування, а також значне підвищення продуктивності роботи ремонтно-експлуатаційного персоналу забезпечується своєчасною підготовкою матеріалів для робіт. Її основне завдання – до початку робіт забезпечити наявність необхідних матеріалів, запасних частин і закуплених виробів у потрібних обсягах.

Практика показує, що час, витрачений інженером на опрацювання проектно-конструкторської та технологічної документації, багаторазово окупається за рахунок скорочення трудових витрат і зменшення простою обладнання.

## **РОЗДІЛ 3**

### **ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

#### **3.1 Аналіз існуючої обслуговувальної служби**

Насамперед слід розглянути питання, що стосуються наявної служби з обслуговування господарства. Необхідно проаналізувати її роботу, виявити наявні недоліки та внести відповідні уточнення й дані, зокрема:

- 1) Застаріле випробувальне, монтажне, вимірювальне обладнання та інструмент.
- 2) Кількість запасних частин, якість і потенціал ремонтного фонду.
- 3) Рівень кваліфікації персоналу.

Об'єктивне оцінювання стану обслуговуючої бази та кваліфікації персоналу дає змогу точніше визначити реальний термін експлуатації обладнання та порівняти його із показниками, заявленими виробником. Крім того, така оцінка сприяє підвищенню продуктивності й енергоефективності підприємства, а також позитивно впливає на формування собівартості продукції.

Даний розділ дає змогу чітко окреслити та запропонувати можливі варіанти реалізації проєкту з удосконалення, реконструкції або створення нової ремонтно-обслуговуючої бази.

#### **3.2. Обґрунтування та створення проєкту бази технічної підтримки та обслуговування електротехнічного обладнання**

Запровадження господарського розрахунку надає енергоремонтній службі можливість більш гнучко та раціонально управляти виділеними ресурсами — обладнанням, виробничими площами, персоналом, матеріалами, фондом оплати праці тощо — у межах установлених норм і

завдань. Це створює умови для застосування найефективніших форм організації праці та впровадження прогресивних технологічних процесів. Завдяки ширшому використанню різних форм матеріального стимулювання персоналу з'являється можливість виявляти й реалізовувати внутрішні резерви підвищення продуктивності праці, досягати економічності, покращувати якість технічного обслуговування і ремонту, а також підвищувати рівень безпеки та надійності виробничих фондів підприємства.

Розглядаючи еволюцію системи ремонту обладнання на промислових підприємствах, слід окрему увагу приділити розвитку досвіду та практики технічного обслуговування і ремонту енергогосподарств, оскільки саме ця сфера відіграє ключову роль у забезпеченні стабільної, безпечної та енергоефективної роботи виробничих процесів.

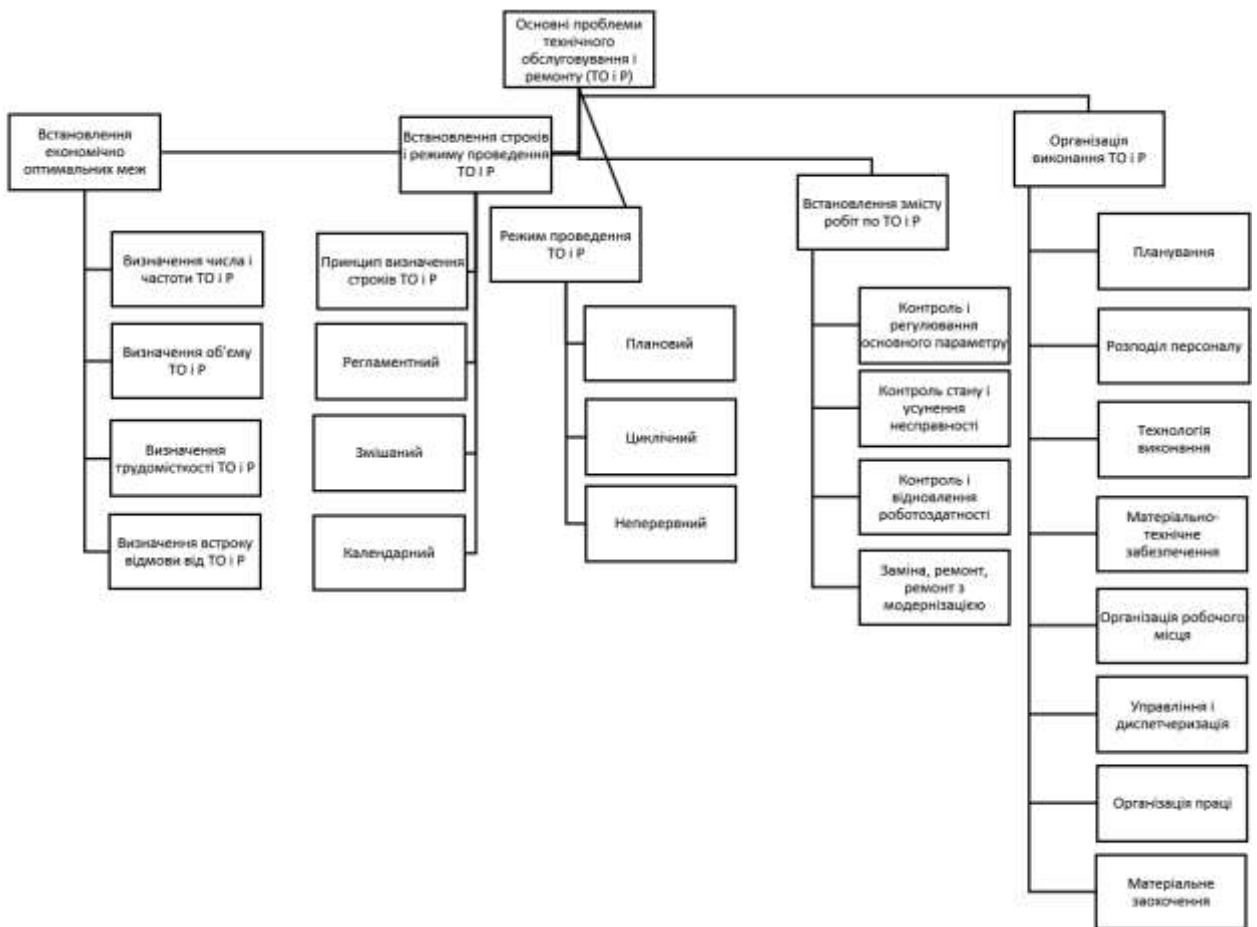


Рис. 3.1 – Складові основних проблем технічного обслуговування і ремонту

## 1. Пряме завдання оптимізації

$$C(L_0) = \min C(L); \quad (3.1)$$

$$Q_j(L) \Leftrightarrow Q_{zj}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (3.2)$$

де  $L$  – множина допустимих рішень:

$$L = (l_1, l_2, \dots, l_n);$$

$C(L)$  – затрати, що характеризують систему технічного обслуговування і ремонту і відповідають рішенню  $L$ ;

$L_0$  – оптимальне рішення, тобто рішення, що мінімізує цільову функцію (1.1) і задовольняє  $m$  обмеженням (1.2);  $Q_j(L)$  – значення  $j$ -тої характеристики ефективності пристрою або характеристики системи технічного обслуговування і ремонту;  $Q_{zj}$  – задане значення  $j$ -тої характеристики ефективності пристрою або системи технічного обслуговування і ремонту.

Як впливає з виразів (1.1) та (1.2), при такому формулюванні завдання побудова системи технічного обслуговування і ремонту з множини  $L$  допустимих рішень передбачає вибір такого варіанта, який мінімізує обраний тип витрат і водночас відповідає встановленим обмеженням. У ролі функції  $G(L)$  можуть розглядатися витрати праці, матеріальних і фінансових ресурсів або ж втрати, пов'язані з перебуванням обладнання у неробочому стані під час виконання заходів із технічного обслуговування, ремонту чи ліквідації наслідків відмов упродовж певного періоду експлуатації. [3]

Обмеженнями  $Q_j(L)$  можуть визначатися додатковими показниками ремонтпридатності обладнання, характеристиками його експлуатаційної ефективності, а також витратами часу, праці та матеріальних ресурсів, необхідних для проведення окремих профілактичних заходів. До таких обмежень також належать витрати на запасні частини, інструменти та приладдя, кількість і рівень кваліфікації спеціалістів, а також технічна

оснащеність організацій і підприємств, що безпосередньо виконують роботи з технічного обслуговування та ремонту.

## 2. Зворотне завдання оптимізації

$$C(L_0) = \max C(L); \quad (3.3)$$

$$C_j(L) \Leftrightarrow C_{3j}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.4)$$

У такому формулюванні задачі необхідно знайти рішення  $L_0$ , яке забезпечує максимальне значення показника ефективності  $Q(L)$  та водночас відповідає встановленим обмеженням щодо певних видів витрат  $C_j(L)$ . Подібно до прямої задачі оптимізації, у цьому випадку як функцію  $Q(L)$  можна розглядати характеристики ефективності роботи обладнання, показники його безвідмовності чи тривалості експлуатації. Конкретний тип задачі оптимізації, а також форма цільової функції та система обмежень визначаються особливостями умов функціонування обладнання і специфікою виробничого процесу.

Визначення складності при розв'язанні задачі побудови оптимальної системи технічного обслуговування і ремонту пов'язане з необхідністю отримання залежностей для цільових функцій (1.1) та (1.3) і функцій обмежень (1.2) та (1.4). Форма цих залежностей визначає вибір математичних моделей і методів розв'язання задачі. Проте на практиці, у реальній роботі працівників відповідних служб, спроба формулювання і розв'язання задач системи ТО і ремонту за принципом розглянутих оптимізаційних задач часто ускладнюється до рівня фактично нерозв'язної проблеми для більшості промислових підприємств.

## **Висновок**

Слід підкреслити, що такий підхід до вирішення проблеми технічного обслуговування і ремонту дозволяє поглянути на існуючу систему ТО і Р основних виробничих фондів підприємства з нової, більш глибокої перспективи. Водночас необхідно відзначити, що застосування математичних моделей та електронно-обчислювальної техніки для розв'язання цих задач (адже без використання ЕОМ рішення навіть приведеного прикладу стає майже неможливим) є раціональним кроком для підвищення ефективності та якості обслуговування, а також забезпечення надійної роботи вузлів і агрегатів у цілому.

## РОЗДІЛ 4

### ПЕРЕВІРКА ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ АПАРАТУ

#### 4.1 Загальна характеристика досліджень

У процесі дослідження науково-публіцистичних матеріалів було підтверджено, що найбільш детального вивчення потребує група контактних з'єднань автоматичних вимикачів.

Їхній вплив на виникнення несправностей оцінюється приблизно у 18%.

Оскільки основним матеріалом для виготовлення контактів досі залишається мідь, слід з високою відповідальністю підходити до оцінки впливу процесів окислення на стан цих контактних з'єднань.

В таблиці 4.1 приведені значення перехідного опору для різних контактних матеріалів до окислення і після окислення при температурі 35<sup>0</sup>С.

Таблиця 4.1

Матеріали контактів	Тривалість окислення, діб	Коефіцієнт $\alpha$		У скільки раз перехідний опір збільшився в результаті окислення
		до окислення	після окислення	
Мідь	2	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$180 \cdot 10^{-4}$	164
Олово	12	$1,56 \cdot 10^{-4}$	$110 \cdot 10^{-4}$	77
Срібло	100	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-4}$	22

Як видно з таблиці, під впливом окислення найбільше зростає перехідний опір у мідних контактів — вже через 2 доби він збільшується більш ніж у 150 разів. Найкраще протистоїть окисленню срібло, у якого за 100 діб перехідний опір зростає лише в 22 рази. Такого різкого збільшення перехідного опору, яке спостерігається у міді, допустити не можна. Тому

застосовують ряд заходів, спрямованих на запобігання окисленню контактних поверхонь.

Контактні поверхні деталей, що формують нерозімкнене контактне з'єднання, покривають шаром олова, кадмію або срібла. Якщо нанесення такого покриття неможливе, контактні поверхні перед з'єднанням змащують тонким шаром технічного вазеліну.

Для контактів, які розмикаються і призначені для тривалої роботи зі струмом, оптимально використовувати контакти зі срібла або металокераміки на срібній основі. Якщо ж застосовуються мідні або інші швидко окислювані матеріали, конструкцію контактних деталей роблять такою, щоб при їхньому дотику відбувалося невелике ковзання поверхонь один по одному, що забезпечує стирання окисної плівки при кожному включенні.

Для контролю стану контактів (струмопровідних частин) під час експлуатації обладнання передбачено вимірювання температури нагріву контактних з'єднань. Це можна робити за допомогою тепловізорів, лазерних або інфрачервоних термометрів, а також ізольованого біметалевого щупа, який короткочасно притискають до місця вимірювання для забезпечення максимально точної реєстрації температури.

#### **4.2. Способи вимірювання температури контактних з'єднань**

За останні роки технології тепловізійного контролю значно розвинулися. Сьогодні компактні портативні інфрачервоні камери, як показано на рисунку 4.1, дозволяють швидко отримувати точні температурні показники простим наведенням на об'єкт. Програмне забезпечення зазвичай забезпечує кольорове кодування зображення, що допомагає користувачам легко визначати актуальні та неактуальні ділянки.



Рис. 4.1. – Використання ручної інфрачервоної камери

Під час перевірки важливо, щоб система була під навантаженням. Термомоніторинг слід проводити під час пікового навантаження або при навантаженні не менше 40% (згідно з NFPA 70B). Теплові втрати від неплотних контактів зростають пропорційно квадрату навантаження, тому при більш високому навантаженні легше виявити окислені контакти.

Водночас слід враховувати охолоджувальний ефект вітру або інших потоків повітря, якщо вимірювання проводяться поза приміщенням.

Дане дослідження є обов'язковим під час проведення діагностики, технічного обслуговування та ремонту, оскільки теплові втрати являють собою втрату електроенергії, що може значно впливати на витрати підприємства.

### **4.3. Забезпечення захисних функцій та експлуатаційні вимоги**

Поточні технічні вимоги застосовуються до вимикачів, які призначені для комутації електричних ланцюгів у номінальних та аварійних режимах, а також під час циклів автоматичного повторного включення (АПВ) у

трифазних мережах змінного струму частотою 50 Гц із номінальною напругою від 6 до 110 кВ включно.

Встановлювані вимикачі повинні забезпечувати:

- високу надійність роботи з мінімальним об'ємом робіт по технічному обслуговуванню і профілактиці;
- високу ремонтпридатність і мінімальні затрати при відновленні.

Конструктивний зв'язок між полюсами вимикача передбачає три полюси на спільній основі з фіксованою міжполюсною відстанню.

Функціональний зв'язок між полюсами забезпечується за допомогою функціонально залежних полюсів із спільним приводом на всі три полюси. Для вимикачів напругою 6–10 кВ допускається виконання з функціонально незалежними полюсами.

Вид приводу:

- пружинний (пружинно-моторний) привід. В конструкції пружинних приводів повинні бути передбачені пристрої, що забезпечують:
  - можливість виконання АПВ;
  - блокування руху контактів вимикача з відключеного положення при не повністю заведених включаючих пружинах.

Енергія приводу, накопичена у зведеній пружині, навіть при тимчасовій відсутності живлення приводу, повинна забезпечувати виконання повного циклу «Відключити – Включити – Відключити». Крім того, має бути передбачена можливість ручного заведення пружини.

- електромагнітний привід.

Незалежно від типу приводу, вимикач повинен мати можливість включення та відключення навіть за відсутності оперативного струму.

У вимикачах напругою 35–110 кВ допускається використання вбудованих заземлювачів або роз'єднувачів за умови, що їхнє положення можна візуально визначити. [4]

Вимикач має бути оснащений індикатором положення (включено/виключено), а також індикатором зарядженого стану пружин приводу.

Сталеві елементи, що піддаються впливу кліматичних умов зовнішнього середовища, повинні мати захисне покриття, виконане методом гарячого цинкування.

У всьому, що не передбачено окремо, вимикачі повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів.

Комплектність поставки:

До комплекту ЗПІ для кожного вимикача повинні входити котушки включення та відключення.

Для партії елегазових вимикачів передбачена поставка одного переносного датчика витоку для контролю витоку елегазу, манометричного індикатора щільності, автоматичного вимикача вторинної комутації, обігрівача та комплекту для заправки вимикачів елегазом.

### **Вимикачі на напругу 6, 10, 35 кВ**

На напругах 6, 10, 35 кВ повинні застосовуватись вакуумні вимикачі.

Механічний ресурс переключень вимикачів напругою 6 і 10 кВ має становити не менше 50 000 циклів «включення–відключення». Комутаційний ресурс повинен забезпечувати щонайменше 100 відключень при допустимому струмі відключення короткого замикання.

Механічний ресурс переключень вимикачів напругою 35 кВ має становити не менше 30 000 циклів «включення–відключення». Комутаційний

ресурс повинен забезпечувати щонайменше 25 відключень при допустимому струмі короткого замикання.

Вимикачі повинні бути призначені для роботи в електричних мережах з ізолюваною нейтраллю.

Електромагнітні приводи повинні бути обладнані пристроями керування електромагнітами включення та відключення, що забезпечують не пряме підключення до мережі оперативного струму, а роботу через спеціальні пускові пристрої, наприклад, за допомогою конденсаторних накопичувачів.

Токи зрізу вимикачів не повинні перевищувати 3 А.

Привід вимикача зовнішньої установки має бути змонтований так, щоб обслуговування проводилося без розбору схеми вимикача.

Полюси вимикачів не повинні містити нагрівальних елементів, заміна яких вимагала б виведення вимикача в ремонт.

Довжина шляху витoku внутрішньої поверхні опорних ізоляторів і тяги вимикачів повинна бути не менше довжини шляху витoku зовнішньої поверхні ізолятора.

### **Вимикачі на напругу 110 кВ**

Для напруги 110 кВ слід застосовувати елегазові вимикачі колонкового типу. Для підстанцій, розташованих у регіонах із можливими дуже низькими температурами (нижче  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), рекомендується використовувати елегазові бакові вимикачі з додатковим контуром обігріву та із застосуванням обігрівальних сорочок.

Механічний ресурс перемикачів вимикачів напругою 110 кВ має становити не менше 10 000 циклів «включення–відключення». Комутаційний ресурс повинен забезпечувати щонайменше 20 відключень при допустимому

струмі короткого замикання, а також не менше 5 000 циклів «включення–відключення» при робочих струмах, рівних номінальному струму вимикача.

Вимикачі повинні бути розраховані для експлуатації в електричних мережах із заземленою нейтраллю, у яких коефіцієнт замикання на землю не перевищує 1,4.

Вимикачі повинні бути оснащені пристроями для контролю тиску газу, приведенного до нормальних атмосферних умов (температура +20 °С, тиск 101,3 кПа). Ці пристрої мають містити допоміжні контакти для подачі попереджувального сигналу при зниженні тиску до рівня сигналізації через витік газу, а також для блокування вимикача при досягненні тиску блокування. У технічних умовах або/і в експлуатаційній документації повинні бути зазначені значення приведенного тиску газу:

- нормований тиск заповнення;
- тиск спрацювання контактів попереджувальної сигналізації витіку газу (газової суміші);
- тиск блокування вимикача.

На вимикачах напругою 110 кВ, приєднання яких відмови у відключенні можуть призвести до значних втрат переданої потужності, повинні встановлюватися два електромагніти відключення.

## РОЗДІЛ 5

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИПРОБУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ, МЕТОДОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ВИПРОБУВАНЬ

### 5.1. Ознайомлення з випробувальним обладнанням.

#### 5.1.1. Апаратна частина

Аналізатор автоматичних вимикачів і мікроомметр моделі СВА1000 являє собою тестовий комплекс «два в одному».

У режимі аналізатора автоматичних вимикачів він дозволяє автономно перевіряти характеристики всіх сучасних вимикачів середньої та високої напруги.

У режимі мікроомметра прилад забезпечує вимірювання контактного опору контакту вимикача, а також опору з'єднань чи інших елементів ланцюга. Крім того, він дозволяє проводити динамічне тестування опору контакту, тобто фіксувати та відображати зміни контактного опору під час його замикання, що дає змогу виявляти приховані дефекти, які інакше залишилися б непоміченими.

Тестер СВА 1000 призначений для контролю основних параметрів вимикачів середньої та високої напруги. Прилад здатний перевіряти масляні, елегазові та вакуумні вимикачі у трифазному режимі як з одним, так і з двома розривами на фазу. Крім того, СВА 1000 може бути оснащений вбудованим мікроомметром, що усуває необхідність застосування окремого приладу для вимірювання контактного опору.

Всі схеми приладу розроблені з урахуванням забезпечення безпечної роботи у шумному середовищі підстанцій середньої та високої напруги.

Далі розглядається передня панель; усі елементи, розташовані на передній панелі, а також основні компоненти всередині тестового набору, наведені нижче.

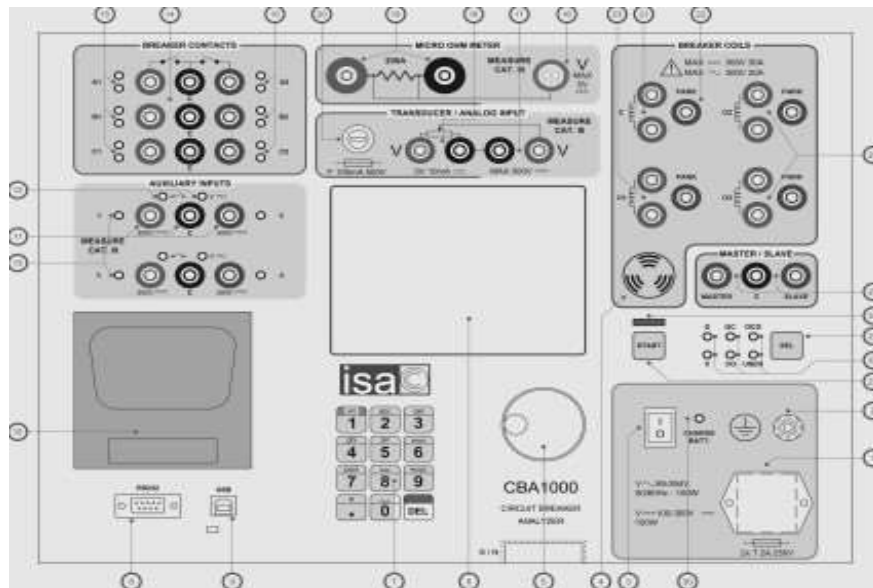


Рис. 5.1. – Зображення робочої панелі виводів та керування пристроєм

- 1) Розетка живлення та головний запобіжник, номінал Т5А, вбудовані в розетку живлення.
- 2) Розетка заземлення.
- 3) Вимикач живлення, зі світлом.
- 4) Зумер: він повідомляє, що тест ось-ось почнеться.
- 5) Ручка керування MENU, з перемикачем.
- 6) Дисплей: перед тестуванням дозволяє вибрати параметри тесту; після запуску тесту він відображає результати тесту. 7) Алфавітно-цифрова клавіатура для введення заголовка тесту.
- 8) Роз'єм послідовного інтерфейсу.
- 9) Інтерфейсний роз'єм USB.
- 10) Розетки допоміжних входів: дві групи по два контакти, ізольовані.
- 12) Допоміжні входи: сухе або вологе освітлення.
- 13) Рівень допоміжних входів: ON = закритий або з напругою.
- 14) Головні контакти вхідні розетки: три фази по дві камери кожна.
- 15) Основні входи світяться: ЗЕЛЕНИЙ = головний вхід ЗАКРИТО; ЧЕРВОНИЙ = головний вхід ВІДКРИТИЙ або резистор попередньої вставки.
- 16) Вхідний роз'єм вимірювання 5 В постійного струму, для схеми мікроомметра.
- 17) Вимірювальні вхідні гнізда для датчиків положення або інших вимірювань.
- 18) Допоміжне живлення 5 В 10 мА для датчика положення.
- 19) Вихідні гнізда високого струму для мікроомметра.
- 20) Запобіжник допоміжного живлення 5 В, F 63 мА 500 В.
- 21) Розетки PARK, не підключені, для безпечного розташування команд котушки.
- 22) Командні розетки ВІДКРИТИ котушки: одна сторона буде підключена до плюса або до мінуса джерела постійного струму. Він запускає фазу 1, якщо є трифазний відкритий варіант.
- 23) Додаткові командні розетки ВІДКРИТИ котушки для фаз 2 і 3: одна сторона буде підключена до плюса або мінуса джерела постійного струму.
- 24) Тип кнопки вибору тесту: при натисканні індикатори (26) рухаються по колу. Якщо не використовується, відображається вибір, здійснений за допомогою ручки (5) і дисплея (6).

- 25) Вибрані тестові лампи. O = відкритий; C = Закрити; OC = відкрити-закрити; CO = закрити-відкрити; OCO = Відкрити - Закрити - Відкрити; USER = запрограмована послідовність тестів.
- 26) Кнопка СТАРТ тесту: при натисканні запускається вибраний тест.
- 27) Індикатори виконання тесту: вони увімкнені, доки тест не буде завершено. Коли увімкнено, подальша команда START не приймається.

## **Перегляд**

За допомогою цього налаштування можна обрати, які канали відображатимуться на екрані, що дозволяє зменшити кількість слідів і зробити відображення більш зручним. Паралельно дисплей автоматично підлаштовується для легшого перегляду результатів тесту. Натиснувши кнопку «Перегляд», відкривається наступне вікно.

Ліва частина екрана слідує за вибором.

Основні контактні лінії означають:

Тонка лінія = відкритий контакт;

Більш товста лінія вказує на те, що резистор перед вставкою закритий.  
Найтовстіша лінія позначає замкнений контакт.

Допоміжні лінії: Тонка = Відкрита; Товстий = закритий.

Наступні рядки показують профілі струмів котушки; їх чотири, якщо активована відповідна опція.

Часова база відображає тривалість тесту та шкалу, що відповідає часу проведення випробування.

## **Параметри тригера**

Цей вибір задає еталон для вимірювання часу; при його натисканні відкривається наступне вікно.

Вибір опції «Струм котушки» означає, що час вимірюється від моменту першого виявлення струму котушки, незалежно від того, відкритий чи закритий контакт, відповідно до послідовності випробувань. Наступне

вікно дозволяє встановити порогове значення струму котушки у відсотках від 1% до 30% обраного діапазону струму. Діапазон котушки для відображення обирається через меню «Налаштування аналогового каналу / котушок».

Раніше цей вибір використовувався у випадках, коли драйвери котушки виконувалися на основі контактів реле, які відскакували, ускладнюючи точне вимірювання часу. Він залишений для порівняння з результатами попередніх випробувань. Крім того, зміна порогу струму впливає на результати синхронізації, оскільки струм котушки через її індуктивність зростає поступово. У СВА1000 керування котушкою здійснюється електронно: фронт напруги крутий, відскоку немає, тому використання внутрішнього тригера є більш точним. Різниця між двома варіантами вибору становить приблизно 1 мс.

Вибір опції «Внутрішній тригер» означає, що час вимірюється від моменту подачі першої команди «Відкрити» або «Закрити» керуючою схемою котушки.

Вибір «Скидання команди котушки» означає, що час вимірювання починається від моменту зникнення команди «Відкрити» або «Закрити» котушку.

Вибір опції «Аналоговий вхід» означає, що вимірювання часу починається в момент, коли сигнал на аналоговому вході перетинає встановлений поріг (вище або нижче). Наступне вікно дозволяє задати значення порогу для аналогового входу.

Вибір «Зовнішній тригер на веденому вході» дозволяє синхронізувати кілька тестових наборів СВА1000. Прилад має головний вихід та вхід Slave (29), що дає змогу з'єднати до 4 пристроїв (1 Master та 3 Slave). У цьому режимі один СВА1000 виступає як головний пристрій, а його головний вихід підключається до всіх інших, вибраних як підпорядковані. Коли головний пристрій розпочинає тест, підпорядковані пристрої фіксують синхронізацію

на головному, допоміжному та аналоговому входах, але не генерують сигнали керування котушкою. Ця функція дозволяє тестувати автоматичні вимикачі з більш ніж двома камерами на фазу, переглядати більше чотирьох допоміжних входів або одночасно контролювати кілька аналогових входів.

Вибір опції «Допоміжний вхід» означає, що вимірювання часу починається в момент увімкнення обраного допоміжного входу або при зміні його стану. Тригер також може спрацьовувати на основі логічної комбінації кількох допоміжних входів. Налаштування здійснюється у наступному вікні.

Якщо оператор відкриває це вікно через SEL, раніше виконаний вибір відтворюється автоматично.

Цей вибір корисний у разі:

Задання команд «Open» у разі наявності опції приводу з чотирма котушками; Встановлення послідовності тестування.

При виборі опції «Відкрити» СВА1000 подає команду «Відкрити» та фіксує часові показники відповідно до інших обраних параметрів. Якщо використовується привід із чотирма котушками, активується обрана фаза відкриття котушки; її вибір здійснюється у наступному вікні.

Вибір «Однофазний цикл» означає, що у серії команд «Відкрити» перша команда подається на фазу А, наступна — на фазу В, далі — на фазу С. Після цього цикл повторюється для всіх наступних команд «Відкрити».

Вибір «Циклувати дві фази» означає, що у серії команд «Відкрити» перша команда подається одночасно на фазах А і В, наступна — на фазах В і С, далі — на фазах С і А. Цей цикл повторюється для всіх наступних команд «Відкрити».

Вибір «Циклувати все» означає, що у серії команд «Відкрити» порядок буде наступним: фаза А, фаза В, фаза С, фази АВ, фази ВС, фази СА, фази АВС. Цей цикл повторюється для всіх наступних команд «Відкрити».

За допомогою опції «Послідовність» користувач може налаштувати бажану черговість тестування. Можна задати послідовність команд «Відкрити» та «Закрити» до 200 команд, встановлюючи затримку між командами ОС у діапазоні від 30 до 999 с. Для приводів із чотирма котушками можливо запрограмувати будь-яку серію команд «Відкрити», а також налаштувати послідовність СОС.

Виконайте тест, який імітує відсутність допоміжної напруги.

Часові затримки та тривалість встановлюються окремо для кожного циклу і не залежать від налаштувань одного тесту.

Користувач повинен забезпечити правильну послідовність часу та черговість команд відкриття та закриття. Команди «Додати» та «Видалити» дозволяють редагувати тестову послідовність, при цьому затримка між двома командами має бути не менше 30 с, оскільки вимикач не можна керувати з коротшими таймінгами.

Команда «Параметри запису» відкриває відповідне вікно.

При першому варіанті запис ведеться безперервно, включаючи затримки між тестами, що підходить лише для коротких випробувань, оскільки велика затримка знижує роздільну здатність екрана та точність вимірювання часу.

При другому варіанті запис здійснюється з максимальною роздільною здатністю навколо команд «Відкрити» або «Закрити», що рекомендується для довгих послідовностей.

### **Параметри запису**

Цей вибір визначає спосіб запису результатів тесту та відкриває відповідне вікно.

Натиснувши «Діаграма HELP», можна відобразити час виконання команд у наступному вікні. Як видно з графіка часу, команду «Закрити»

можна накласти на команду «Відкрити», якщо встановити «Затримку відкриття для закриття» меншу за тривалість відкритої котушки.

Тривалість «Попереднього запуску» застосовується лише до початку тесту (або послідовності).

«Тривалість запису» охоплює всі затримки та повинна перевищувати суму «Попередній тригер» + «Затримка ОС» + «Затримка СО» + таймінги СВ, щоб основна частина тесту не була втрачена. Водночас вона не повинна бути надто великою, адже від неї залежить точність вимірювання результатів та кількість тестових результатів, що можна зберегти в пам'яті. Натиснувши «Діаграма HELP», у наступному вікні надається пояснення цих термінів.

Режим «Два записи» дозволяє проводити вимірювання у два етапи з паузою між ними, що запобігає втраті роздільної здатності. Користувач може задати першу тривалість запису, потім «мертвий час», а потім другу тривалість запису. У цьому режимі контроль струму котушки та аналогового входу не здійснюється. Якщо встановлено відповідний прапорець, з'являється вікно для налаштування цього режиму.

### **Налаштування вимикача та допоміжних каналів**

Цей параметр дозволяє вибрати канали, які будуть контролюватися та записуватися під час тесту; після натискання відкривається відповідне вікно для налаштування.

У першому наборі налаштувань, що стосуються контактів вимикача, користувач може обрати, які контакти підлягатимуть контролю: «A1» — лише для попередніх випробувань; «A1 B1 C1» — для однофазного однокамерного вимикача; «Все» — для двокамерного вимикача. Крім того, доступний вибір перевірки резистора перед вставкою.

У другому та третьому наборах налаштувань можна активувати перевірку допоміжних входів, позначити їх і визначити стан контакту —

вологий чи сухий. Наприклад, стан контактів А1–А2 може відрізнятися від стану контактів А3–А4.

### **Налаштування аналогового каналу / котушок**

У першому наборі налаштувань можна окремо встановлювати діапазони струму для закритої та відкритої котушки.

Обране значення має перевищувати номінальний струм котушки, інакше запис буде обрізано (насичено) у межах вибраного діапазону, що унеможливило вимірювання пікового струму. При цьому неправильний вибір не призведе до пошкодження вимірювальних ланцюгів.

Для аналогового каналу, якщо встановлено прапорець, відображається нижня частина екрана.

Вибір «аналоговий вхід» означає, що канал підключено до будь-якого джерела, окрім датчика руху або тиску, наприклад, до допоміжної напруги, напруги двигуна або струму двигуна. Після цього вибору відкривається відповідне вікно для налаштувань. [10]

Можна позначити аналоговий вхід і вибрати відповідний діапазон напруги. Він повинен бути більшим за номінальний струм котушки, інакше запис буде обрізаний (насичений) на межі вибраного діапазону, і точне вимірювання буде неможливим. При цьому неправильний вибір не призведе до пошкодження вимірювальних ланцюгів.

Вибір «**Перетворювач ходу**» означає, що канал підключається до датчика ходу, і програма перетворює вхідну напругу у фізичні величини: хід, швидкість або прискорення. При цьому враховується, що початковий хід не відповідає 0 В, а кінцевий хід не дорівнює напрузі живлення перетворювача.

Після цього вибору з'явиться наступне вікно.

Ви можете обрати одиницю вимірювання, після чого потрібно ввести штрих, що відповідає максимальному переміщенню перетворювача. Потім

програма запропонує відкрити (або закрити) СВ і відобразить положення відкриття та закриття разом із відповідним штрихом.

Якщо встановити прапорець «Використовувати допоміжний генератор на 5 В для датчика ходу», це означає, що перетворювач необхідно підключити до вихідних роз'ємів 5 В. В іншому випадку потрібно вказати значення зовнішньої напруги живлення.

Вибір опції «Датчик тиску» означає, що канал під'єднаний до датчика тиску, і необхідно перетворити вхідну напругу у значення тиску, враховуючи, що при нульовій напрузі тиск може не дорівнювати нулю. Після цього вибору відкриється наступне вікно.

Можна позначити перетворювач, обрати одиницю вимірювання, задати тиск при 0 В та вказати константу перетворення «В/тиск». На основі цих параметрів на екрані відобразатиметься фактичне значення тиску.

Вибір опції «Затискач струму» використовується для вимірювання струму за допомогою трансформатора, який формує вихідну напругу з певним коефіцієнтом перетворення. Цей коефіцієнт можна запрограмувати у наступному вікні.

### **Перевірка мікроомметра**

Цей вибір доступний лише за наявності відповідної опції; після її натискання відкриється наступне вікно.

Опція «Тест на статичний опір» використовується під час підключення СВА1000 до тестового зразка для вимірювання його опору. Як тестові зразки можуть виступати з'єднання, головні контакти тощо. Опір головних контактів вимірюється у закритому положенні.

Опція «Тест динамічного опору» дає змогу зафіксувати опір головних контактів під час замикання вимикача. Перед початком тесту СВ перебуває у

відкритому стані: CBA1000 подає команду Close, після чого під час замикання контактів через них проходить випробувальний струм, а пристрій вимірює зміни опору в процесі замикання. Результатом тесту є графік (профіль) зміни опору під час замикання. Хоча точність вимірювання опору нижча, ніж у попередньому тесті, цей метод надає додаткову інформацію про реальну поведінку контактів у момент їх замикання.

Якщо вибрати «Тест на статичний опір», відобразиться наступне вікно.

Опція «Номінальний випробувальний струм» визначає значення тестового струму та відповідний діапазон вимірювання опору: 200 А для діапазону 1 мОм, 80 А для діапазону 10 мОм і 25 А для діапазону 100 мОм. Після вибору струму на екрані автоматично відображається відповідний діапазон опору.

Опція «Режим тестування» дає змогу виконати одноразове вимірювання або послідовно провести вимірювання опору всіх контактів вимикача. Якщо вибрано «Тест на фазі вимикача», можна вказати фазу (наприклад, АВ) і контакт, який перевіряється; результати тесту буде подано у зведеній таблиці.

Якщо вибрано «Один тест», відобразиться наступне вікно.

Якщо вибрати «Тест динамічного опору», відобразиться наступне вікно.

Як і раніше, опція «Номінальний випробувальний струм» визначає значення тестового струму та відповідний діапазон вимірювання опору: 200 А для діапазону 1 мОм, 80 А для діапазону 10 мОм і 25 А для діапазону 100 мОм. Після вибору струму на екрані відображається відповідний діапазон опору. Зверніть увагу, що діапазон 1 мОм використовується за замовчуванням.

Так само, опція «Режим тестування» дає змогу виконати одноразове вимірювання або послідовно провести вимірювання опору всіх контактів

вимикача. Якщо вибрано «Тест на фазі вимикача», можна вказати фазу (наприклад, АВ) і контакт, який перевіряється; результати тесту відображаються у зведеній таблиці.

Вибір «Показати діаграму» дозволяє переглянути результат тесту у вигляді графіка залежності опору від часу.

### 5.1.2. Програмне забезпечення TDMS

TDMS — це потужне програмне забезпечення, призначене для керування даними під час проведення приймально-здавальних та експлуатаційних випробувань. У базі даних TDMS зберігаються технічні характеристики високовольтних вимикачів і результати їх випробувань, що забезпечує можливість подальшого аналізу.

Функціональні особливості ПЗ TDMS:

- керування всім функціоналом СВА 1000 з ПК;
- завантаження планів випробувань;
- експорт результатів випробувань на ПК;
- перегляд, редагування, друк і експорт результатів випробувань.

Можливість поєднання кількох результатів випробувань для їх порівняння за допомогою двох курсорів;

- створення планів випробувань і їх наступних завантажень в СВА 1000;
- масштабування результатів для кращого аналізу;
- розширені можливості вимірювань при контролі переміщення, швидкості і прискорення контактів вимикача.

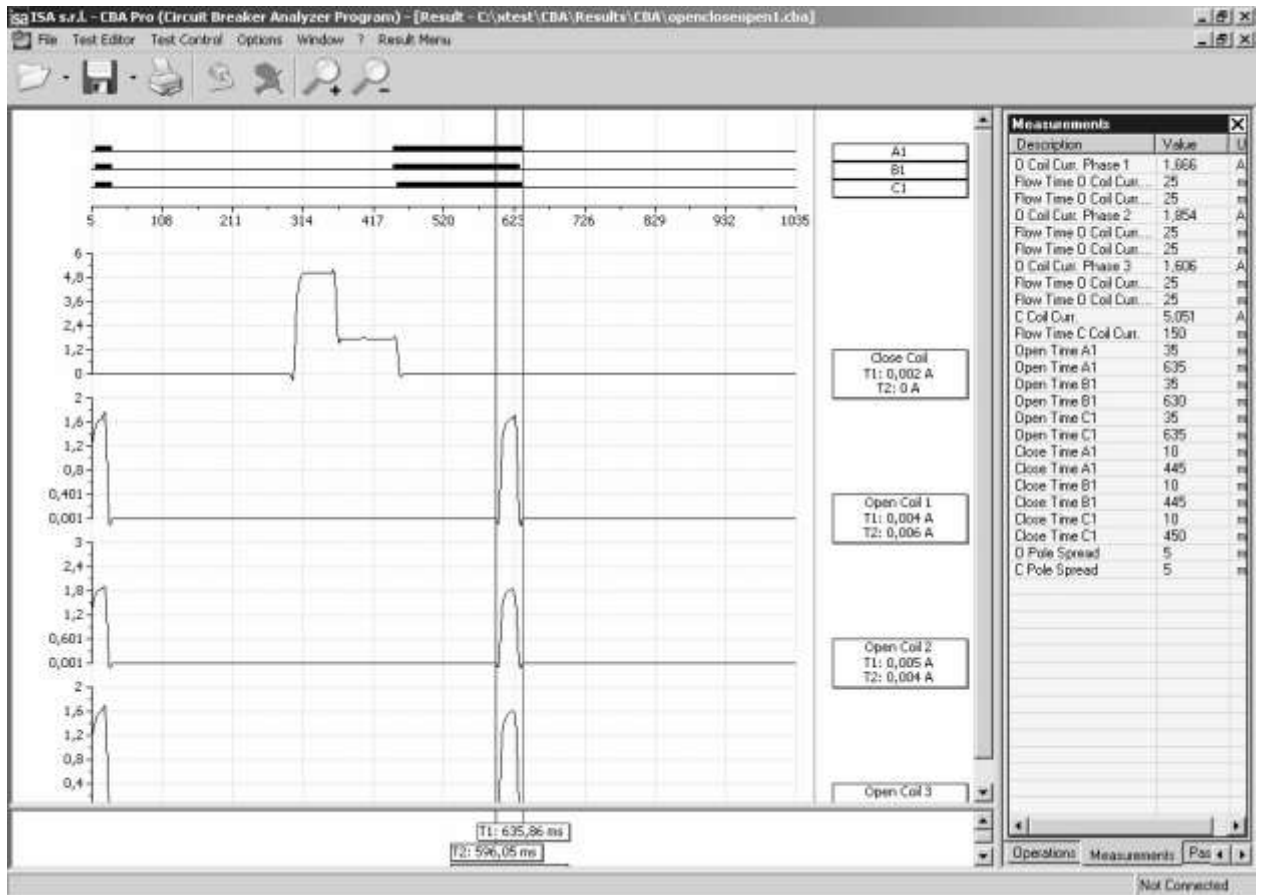


Рис. 5.2 – Візуальне відображення інтерфейсу користувача ПЗ

## 5.2. Технічні характеристики випробувального апарату

### Управління електромагнітами ВКЛ/ВИКЛ

- кількість каналів керування електромагнітами (ЕМ):
  - 1 ЕМ ВКЛ і 1 ЕМ ВИКЛ;
- тип керування: електронний, що забезпечує кращий контроль часових характеристик;
  - максимальна напруга: 300 В постійного струму;
  - максимальний струм: 30 А постійного струму;
  - погрішність вимірювань часу: 0,025% вим.знач. +100 мкс;
- у випадку комплектації чотирма каналами керування ЕМ доступна можливість пофазного відключення вимикача;

- вимірювання струму ЕМ – по одному на канал з можливістю відображення форми сигналу;
- діапазони вимірювань струму ЕМ: 2,5; 10 і 25 А;
- погрішність вимірювань струму ЕМ: 0,5 зм. знач. + 0,1 діап.;
- всі виходи ізольовані один від одного.

### **Контроль основних контактів**

- основних контактів (розриви на фазу) з можливістю перевірки контактів з шунтуючими резисторами;
- діапазом опору шунтуючих резисторів: 25 Ом – 10 кОм;
- випробувальна напруга: 24 В;
- випробувальний струм: 50 мА;
- всі виходи ізольовані один від одного.

### **Контроль допоміжних контактів**

- 4 допоміжних контакти (розділених на 2 групи по два входи в кожен);
- можливість перевірки «сухих» контактів (24 В) або контактів під напругою (20 – 300 В) при випробувальному струмі 2 мА.

### **Частота дискретизації**

20 кГц – 10 кГц – 5 кГц – 2 кГц – 1 кГц – 500 Гц – 200 Гц – 100 Гц, 50 Гц, 20 Гц по вибору оператора.

### **Погрішність вимірювання часу**

100 мкс ± 0,025% від діапазону при частоті 20 кГц.

### **Тривалість запису**

1000 с.

### **Аналогові входи**

- кількість аналогових входів: 4
- 2 для вимірювання струмів ЕМ ВКЛ/ВИКЛ;
- 1 для вимірювання опору в статичному і динамічному режимах, вхідна напруга  $\pm 5$  В;
- 1 для контролю робочого ходу і швидкості контактів, вимірювання напруги АКБ підстанції і т.д., діапазони вхідної напруги  $\pm 5$ ;  $\pm 50$ ;  $\pm 500$  В, по вибору оператора;
- роздільна здатність при вимірювання: 16 біт;
  - аналогові входи ізольовані по відношенню до решти всіх ланцюгів.

### **Вимірювання статичного/динамічного опору контактів 200 А**

- випробувальний струм: 20, 100, 200 А постійного струму;
- діапазони вимірювання опору: 200 мкОм, 1 мОм, 10 мОм або 100 мОм по вибору оператора;
- роздільна здатність: 0,1 мкОм, 1 мкОм, 10 мкОм, 100 мкОм;
- погрішність вимірювання опору: 1% вим. знач.  $\pm 0,2\%$  діапазону.

### **Внутрішня пам'ять**

Об'єм внутрішньої пам'яті становить 128 Мб або 250 результатів.

### **Інші характеристики**

СВА 1000 може працювати як від мережі (змінного або постійного струму), так і від внутрішньої батареї:

- параметри живлення:
  - від 85 до 265 В змінного струму, 50-60 Гц;

- від 100 до 350 В постійного струму;

- тип внутрішньої батареї: NiMh;
- корпус виконаний з алюмінію з відкидною знімною кришкою і ручкою для транспортування;
- габарити: 400 x 300 x 240 мм;
- маса: 10 кг.

### 5.3. Характеристика ходу випробувань

Крива переміщення вказує миттєве положення силового вимикача під час роботи.

Вона надає важливу інформацію, таку, як загальний хід, брязкіт, довжина ходу і положення рухомих контактів і т.д.

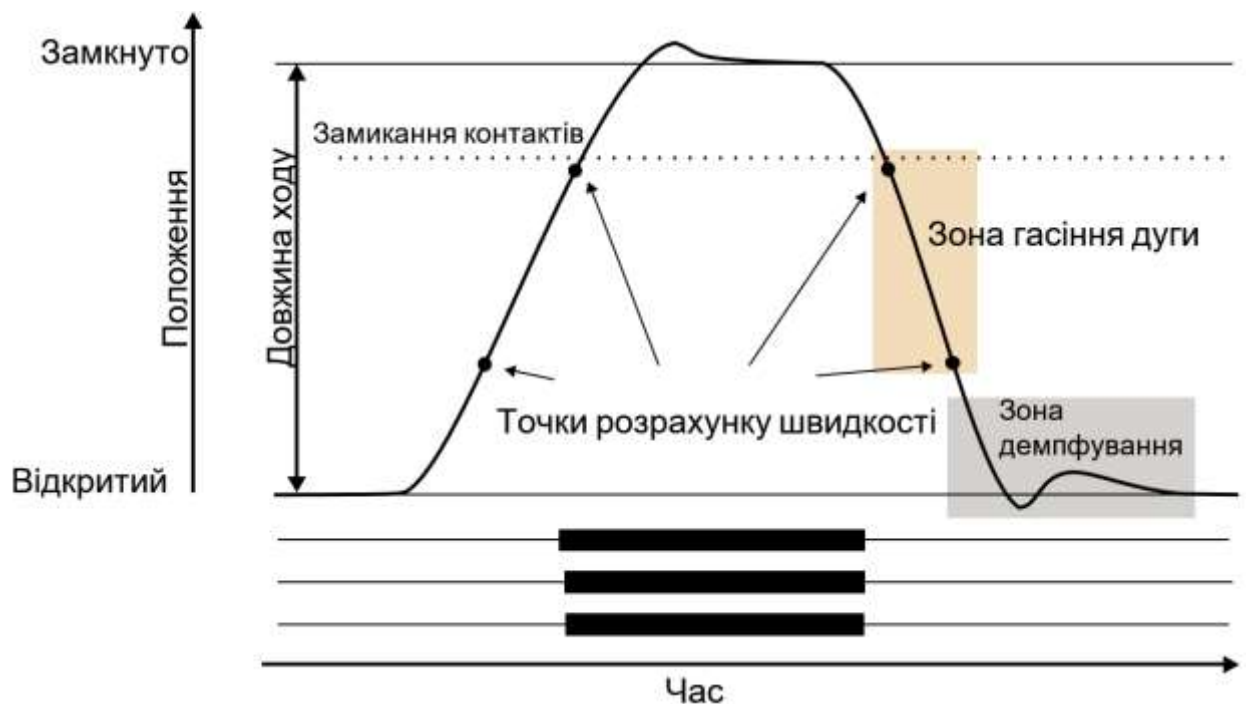


Рис. 5.3 – Досліджувана часо-струмова характеристика

#### 5.4. Схема керування процесом випробувань

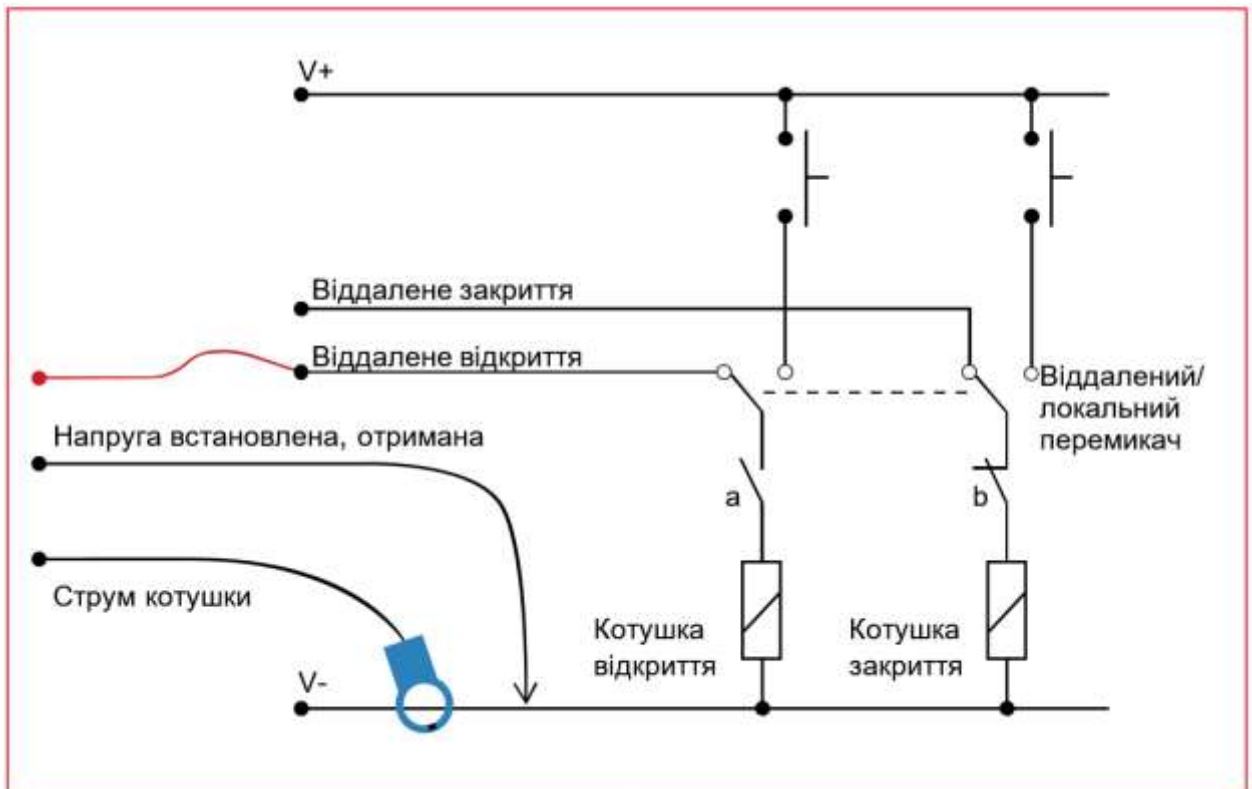


Рис. 5.4 – Схема керування і зняття показників випробування

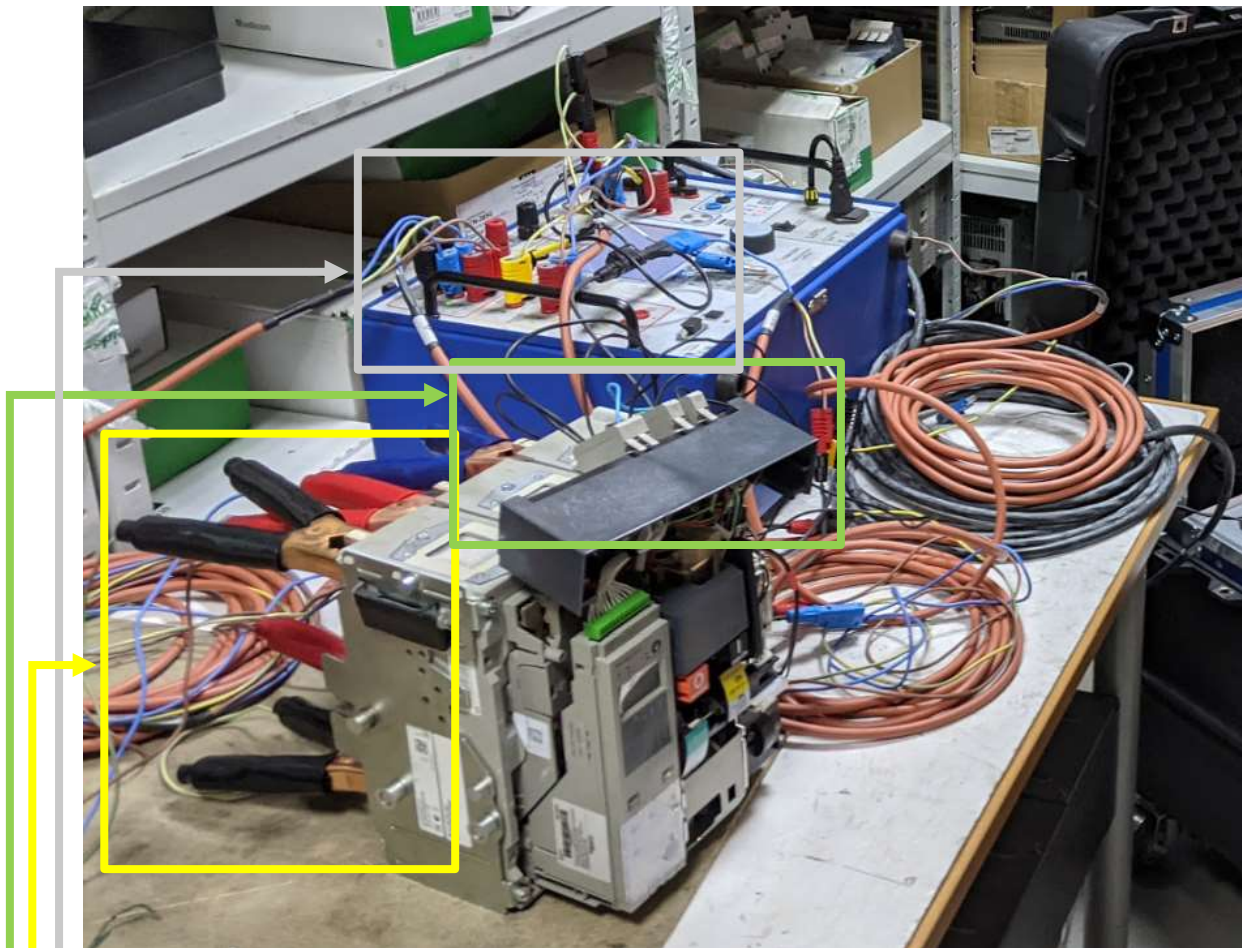
#### 5.5. Етапи випробування силових вимикачів

- Вимірювання опору ізоляції рухомих і напрямних частин з органічних матеріалів, вторинних ланцюгів, а також електромагнітів включення та відключення.
- Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти, включаючи ізоляцію вимикачів відносно корпусу або опорної ізоляції, а також ізоляцію вторинних ланцюгів і обмоток електромагнітів включення та відключення.
- Вимірювання опору постійному струму контактів масляних вимикачів, шунтуючих резисторів дугогасильних пристроїв та обмоток електромагнітів включення і відключення.
- Проведення випробувань вимикача шляхом багаторазового його вмикання та вимикання.

## 5.6. Виконання фізичної схеми керування та вимірювання



Рис. 5.5 – Виконання випробувань вакуумного вимикача в лабораторних умовах



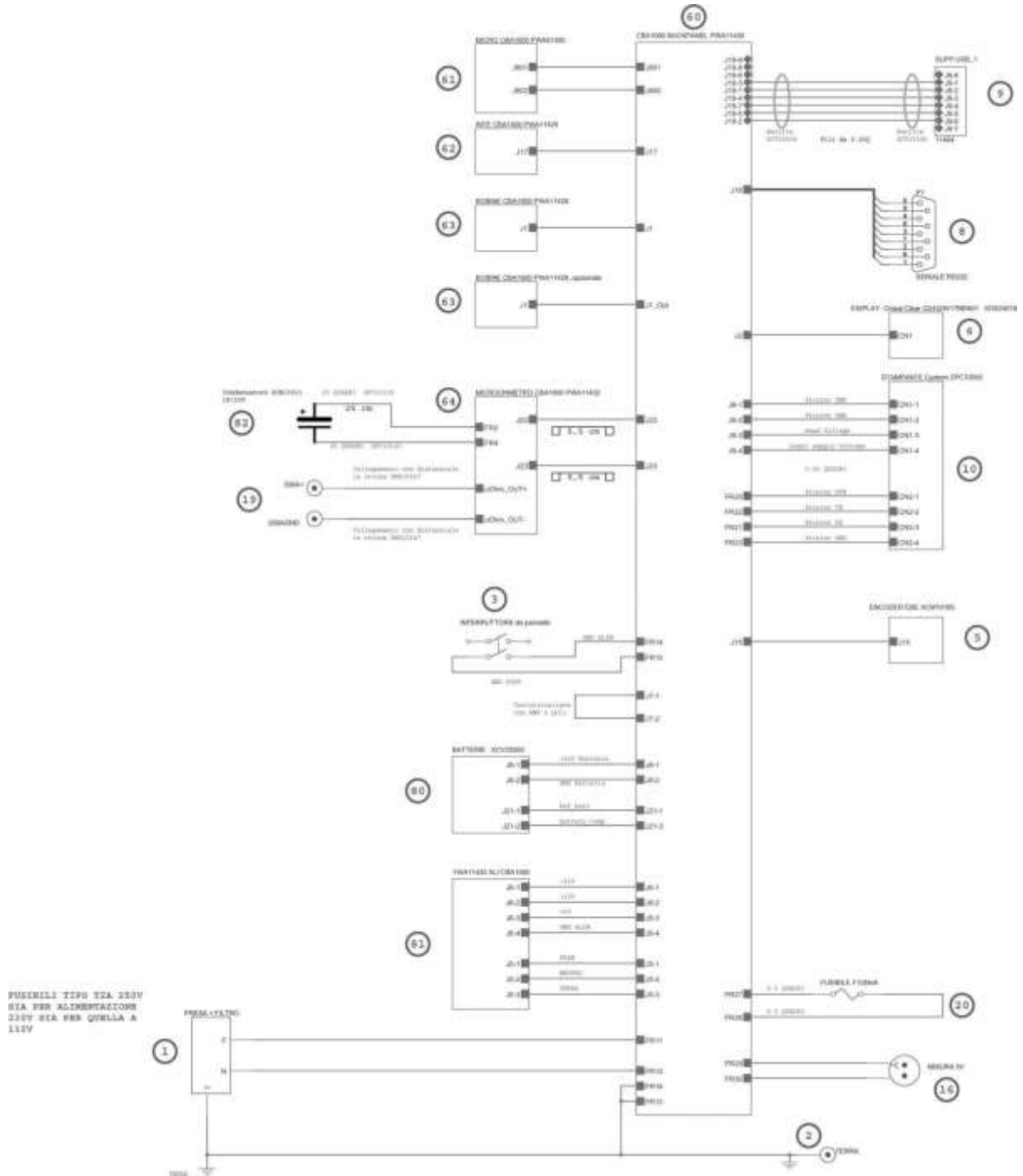
*затискачі типу «крокодил» для вимірювання стану силових контактів;*

*підключення каналів керування: сигнал на включення електромагнітних катушок «Увімкнути» і «Вимкнути»;*

*порти підключення вимірювальних клем до апарату випробувального комплексу.*

Рис. 5.6 Виконання з'єднань

## 5.7. Принципова схема тестування



## 5.7. Відповідність нормативній документації

Випробування силових вимикачів повинно проводитись відповідно до наступних стандартів: СОУ-Н ЕЕ 20.302.2020, розділи 12, 13, 14, 15, 16; ПТЕЕС; ГОСТ 1516.2-97; ДСТУ ІЕС 60947-3:2010; ПУЕ, пункт 1.8

## РОЗДІЛ 6

### ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

#### **6.1. Проведення випробувань з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела струму**

Не дозволяється виконувати електричні випробування обладнання та електричні вимірювання за допомогою випробувальних електроустановок або електротехнічних лабораторій, які не мають відповідного дозволу.

Випробування проводяться бригадами, що складаються щонайменше з двох працівників, при цьому керівник бригади повинен мати групу з електробезпеки IV рівня, а інші члени бригади — групу III. Виконувати випробування дозволяється лише працівникам, які пройшли спеціальну підготовку та перевірку знань схем випробувань і правил безпеки, передбачених цим розділом, а також мають практичний досвід проведення випробувань на діючих електроустановках, здобутий під час стажування тривалістю не менше одного місяця під контролем досвідченого працівника з групою III. Перевірка знань проводиться одночасно з загальною перевіркою знань правил безпеки, при цьому до складу комісії включається спеціаліст з випробування обладнання, який має групу V з електробезпеки для працівників, що проводять випробування електроустановок напругою понад 1000 В, та групу IV для працівників, що працюють з електроустановками напругою до 1000 В. Про результати перевірки робиться відповідний запис у посвідченні та в журналі. [12]

Випробування в електроустановках напругою понад 1000 В проводяться за нарядом. Випробування електродвигунів тієї ж напруги, від яких від'єднані кабелі живлення та заземлені їхні кінці, можуть виконуватися за розпорядженням.

До складу бригади, що проводить випробування, можуть входити ремонтні працівники з групою II для виконання підготовчих робіт, охорони обладнання, що випробовується, а також для здійснення роз'єднання та з'єднання шин.

До початку випробувань керівник робіт зобов'язаний проінструктувати працівників щодо заходів безпеки, необхідних під час проведення випробувань.

До складу бригади, яка виконує ремонт або монтаж обладнання, можуть бути включені працівники налагоджувальних організацій для проведення необхідних випробувань. У цьому випадку відповідальність за безпеку проведення випробувань покладається на керівника робіт або, за його вказівкою, на старшого працівника лабораторії чи налагоджувальної організації з групою IV. При цьому у наряді в рядку «Доручається» робиться відповідний запис про керівника проведення випробувань під час монтажу або ремонту. Вказівки керівника є обов'язковими для виконання всіма членами бригади.

Оформлення роботи нарядом, зняття напруги, розміщення попереджувальних плакатів, огороження робочого місця, перевірка відсутності напруги, встановлення заземлення та допуск до робіт здійснюються відповідно до цих Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [13]

Одночасне проведення випробувань та ремонтних робіт різними бригадами в межах одного приєднання не дозволяється.

Масові випробування ізоляційних матеріалів та виробів (засобів захисту, різних ізоляційних деталей тощо), які проводяться поза електроустановкою напругою понад 1000 В із використанням стендів, де струмовідні частини закриті суцільними огороженнями, можуть

виконуватися одноосібно особою з групою IV в порядку поточної експлуатації.

Блокування повинно забезпечувати повне зняття напруги під час відкривання дверей та унеможливлювати її подачу на стенд у випадку, якщо двері відчинені.

Проведення випробувань пересувною установкою із заземленням її корпусу лише через робочу схему забороняється. Корпус пересувної випробувальної установки має бути заземлений окремим заземлювальним провідником із гнучкого мідного дроту перерізом не менше 10 мм<sup>2</sup>.

Перед випробуванням необхідно перевірити надійність заземлення корпусу.

Перед підключенням випробувальної установки до мережі 380/220 В висновок високої напруги установки повинен бути заземлений.

Переріз мідного проводу, що використовується в випробувальних схемах для заземлення, має становити не менше 4 мм<sup>2</sup>.

Збирання кола для випробування обладнання виконує працівник бригади, що проводить випробування.

Перед початком випробувань виконавець робіт перевіряє правильність збирання кола та надійність робочих і захисних заземлень.

переносні заземлення, встановлені в електроустановці та що перешкоджають проведенню випробувань, можуть бути зняті і повторно встановлені лише за вказівкою особи, яка керує випробуванням, після заземлення висновку високої напруги випробувальної установки.

Місце проведення випробувань, а також з'єднувальні проводи, що під час випробування перебувають під випробувальною напругою, повинні бути огорожені, а біля місця випробування має знаходитися наглядч.

Обов'язки наглядача може виконувати особа, яка проводить приєднання вимірвальної схеми до випробувального обладнання.

Огородження місця випробувань здійснюють працівники бригади, що проводить випробування. Для огороження можуть використовуватися щити, бар'єри, канати з підвішеними на них плакатами «Випробування. небезпечно для життя!» або світлові табло з аналогічним написом.

якщо з'єднувальні проводи, що перебувають під випробувальною напругою, прокладені поза приміщенням електроустановки напругою понад 1000 В — у коридорах, на сходах, в проходах або на території — біля огороження встановлюється охорона з одного або кількох проінструктованих та включених у наряд осіб з групою II для попередження про небезпеку наближення або проникнення за огороження.

Обладнання, що охороняється, вважається таким, що перебуває під напругою.

У разі розміщення випробувальної установки та обладнання, що випробовується, в різних приміщеннях або на різних ділянках РУ дозволяється перебування членів бригади з групою III, які здійснюють спостереження за станом ізоляції, окремо від виконавця робіт.

Члени бригади перед початком випробувань повинні пройти відповідний інструктаж від керівника робіт і розташуватися поза огороженням.

У разі випробувань кабельної лінії, якщо протилежний кінець розміщений у замкненій камері (відсіку) КРУ або в приміщенні, на дверях чи огороженні має бути розміщений плакат «Випробування. небезпечно для життя!». Якщо ці двері та огороження не зачинені на запірний пристрій або випробовується лінія з розібраними на трасі кінцями кабелю, крім розміщення плакатів на дверях, огороженнях і біля розібраних кінців

кабелю, необхідно також виставити охорону з числа працівників бригади з групою II.

Підключення випробувальної установки до мережі 380/220 В слід виконувати через комутаційний апарат з видимим розривом кола або через штепсельну вилку, розташовані на місці керування установкою.

Комутаційний апарат повинен бути обладнаний стопорним пристроєм або між рухомими та нерухомими контактами апарата встановлена ізолювальна накладка.

Провід або кабель, що використовується для живлення випробувальної станції від мережі 380/220 В, повинен бути захищений запобіжниками або автоматичними вимикачами, встановленими в цій мережі. Підключення пересувної випробувальної установки до мережі повинні виконувати представники організації, яка експлуатує цю мережу.

Приєднувати з'єднувальний провід до фази, полюса випробувального обладнання або до жили кабелю та від'єднувати його дозволяється лише за вказівкою особи, що керує випробуванням, і тільки після його заземлення. Заземлення може бути виконане шляхом увімкнення заземлювальних ножів або встановлення переносних заземлень, у тому числі спеціальних лабораторних, обладнаних ізолювальними ручками.

Перед подачею випробувальної напруги керівник робіт повинен:

- правильність збирання схеми та надійність робочих і захисних заземлень;

- упевнитися, що всі члени бригади та працівники, призначені для охорони, перебувають на своїх місцях, що сторонні особи виведені з території та можна подавати випробувальну напругу на обладнання.

- керівник робіт попереджає бригаду про подачу напруги словами «Подаю напругу» і, переконавшись, що попередження почуте всіма членами

бригади, знімає заземлення з виводу випробувальної установки та подає на неї напругу 380/220 В.

З моменту зняття заземлення з виводу установки вся випробувальна установка, обладнання, що випробовується, та з'єднувальні проводи вважаються під напругою, і будь-які през'єднання у випробувальній схемі та на випробувальному обладнанні забороняються.

З моменту подачі напруги забороняється заходити до випробувальної установки або виходити з неї, перебувати на випробувальному обладнанні, а також торкатися корпусу випробувальної установки, стоячи на землі.

Після завершення випробувань керівник робіт повинен знизити напругу випробувальної установки до нуля, відключити її від мережі 380/220 В, заземлити вивід установки та повідомити про це бригаді словами «Напруга знята».

Лише після цього дозволяється виконувати през'єднання проводів або, у разі повного завершення випробувань, від'єднувати їх від випробувальної установки та знімати огороження.

Перед і після випробування ізоляції кабельних і повітряних ліній необхідно розрядити кабель і лінію на землю через додатковий опір, встановити заземлення та переконатися у повній відсутності заряду. Після цього можна знімати плакати.

Особа, яка проводить розрядку, повинна використовувати діелектричні рукавички, захисні окуляри та стояти на ізолювальній основі.

Встановлення і зняття заземлення заземлювальною штангою на високовольтний вивід випробувальної установки, а також приєднання та від'єднання проводів від цієї установки до випробувального обладнання слід виконувати в діелектричних рукавичках однією й тією самою особою.

Під час випробувань та при перез'єднанні незаземлених частин випробувального обладнання вони вважаються під напругою.

На робочому місці оператора має бути встановлена роздільна світлова сигналізація про подачу напруги до 1000 В і понад 1000 В.

При використанні пересувної або стаціонарної випробувальної установки повинні виконуватися такі умови:

- Випробувальна установка повинна бути поділена на два відділи: в одному розташовується апаратура напругою до 1000 В та оператор, який керує установкою, а в другому — все обладнання та струмовідні частини з напругою понад 1000 В;

- Пристрої установки з напругою понад 1000 В повинні бути повністю відокремлені від місць, доступних для доторкання.

- Двері у відділ установки з обладнанням напругою понад 1000 В повинні бути обладнані електричним блокуванням, яке гарантує зняття напруги понад 1000 В під час їх відкривання, а також світловою сигналізацією, що сповіщає про наявність високої напруги на виводі.

Вимірювання мегомметром дозволяється виконувати лише працівникам, які пройшли відповідне навчання. У установках з напругою понад 1000 В такі вимірювання проводяться за нарядом двома особами, з яких одна повинна мати групу IV з електробезпеки.

У установках з напругою до 1000 В вимірювання виконуються за розпорядженням двох осіб, одна з яких повинна мати групу III з електробезпеки.

Вимірювання опору ізоляції мегомметром проводяться на відключених струмопровідних частинах, які попередньо розряджені та заземлені. Заземлення зі струмопровідних частин знімається лише після підключення мегомметра.

Під час вимірювання опору ізоляції мегомметром струмопровідні частини підключаються до з'єднувальних проводів за допомогою ізолювальних штанг. У електроустановках з напругою понад 1000 В додатково слід користуватися діелектричними рукавичками.

Випробування ізоляції ліній, до яких напруга може подаватися з обох кінців, дозволяється виконувати лише після отримання від відповідальної особи другої електроустановки підтвердження (по телефону або іншим способом із зворотним контролем), що лінійні роз'єднувачі та вимикачі відключені, а на обладнанні вивішений плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Перед початком випробувань слід переконатися, що на ділянці електроустановки, до якої підключений випробувальний прилад, немає працівників. Необхідно заборонити будь-кому наблизитися або торкатися струмопровідних частин і, за потреби, виставити охорону для попередження небезпеки.

Для контролю стану ізоляції електричних машин відповідно до методичних вказівок або програми, вимірювання опору ізоляції мегомметром можуть проводитися на зупиненому або обертовому роторі за умови, що машина не збуджена. Такі вимірювання можуть виконуватися оперативними працівниками під час поточної експлуатації або працівниками електролабораторії за відповідним розпорядженням.

Випробування ізоляції роторів, якорів і кіл збудження допускається проводити однією особою з групою III. Для випробувань ізоляції статорів необхідно залучати не менше двох осіб: одна з групою IV, а друга — з групою III.

Під час роботи з мегомметром забороняється торкатися струмопровідних частин, до яких він підключений. Після завершення

вимірювань слід усунути залишковий заряд на струмопровідних частинах шляхом їх короткочасного заземлення.

Проведення вимірювань мегомметром забороняється на одному колі двоколових ліній напругою понад 1000 В, якщо друге коло перебуває під напругою, на одноколовій лінії, що пролягає паралельно з лінією, яка перебуває під напругою понад 1000 В, а також під час грози або при її наближенні.

Дії з приєднання та від'єднання приладів, що спричиняють розрив електричних кіл, які перебувають під напругою до 1000 В, слід виконувати лише після зняття напруги з цих кіл.

Приєднання та від'єднання приладів, що не потребують розриву електричних кіл, дозволяється виконувати під напругою з використанням електрозахисних засобів.

Якщо необхідно вимірювати електричні параметри пристроїв під напругою до 1000 В, слід заземляти металевий корпус переносного приладу та користуватися спеціальними щупами або проводами з ізолювальними ручками.

## **6.2. Роботи з електровимірювальними кліщами і вимірювальними штангами**

В електроустановках напругою понад 1000 В вимірювання електровимірювальними кліщами та вимірювальними штангами виконуються двома особами: одна з групою IV, друга — з групою III.

Ремонтники проводять ці вимірювання за нарядом, оперативні працівники — за розпорядженням.

В установках до 1000 В працювати з електровимірювальними кліщами може одна особа з групою III.

Для вимірювань слід використовувати кліщі з амперметром, розташованим на їх робочій частині; кліщі з винесеним амперметром не допускаються.

У електроустановках напругою понад 1000 В вимірювання проводяться в діелектричних рукавичках і калошах або стоячи на ізолювальній основі, у захисних окулярах. Кліщі слід тримати у висячому положенні, а нагинатися до амперметра під час зняття показників забороняється.

Під час проведення вимірювань слід уникати контакту з приладами, проводами та вимірювальними трансформаторами. [10]

Вимірювання дозволяється виконувати лише на ділянках шин, конструктивне виконання яких та відстань між струмопровідними частинами різних фаз, а також між ними і заземленими частинами, виключають ймовірність електричного пробоя між фазами або на землю через зменшення ізоляційних відстаней при використанні робочої частини кліщів.

На кабелях з напругою понад 1000 В застосування електровимірювальних кліщів дозволяється лише у випадках, коли жили кабелю ізолювані, а відстань між ними становить не менше 250 мм.

Вимірювання електровимірювальними кліщами на шинах напругою до 1000 В слід проводити, стоячи на підлозі або на спеціальних підмостках.

При пофазному вимірюванні струмів за допомогою кліщів в установках напругою до 1000 В, якщо фази розташовані горизонтально, перед початком робіт необхідно обгородити кожен фазу ізолювальною прокладкою. Усі ці операції виконуються в діелектричних рукавичках.

Підніматися на конструкцію або телескопічну вежу для виконання робіт слід без використання штанги. Штангу піднімають за допомогою каната, тримаючи її у вертикальному положенні робочою частиною вгору. Використання металевих канатів для підйому штанги забороняється.

Під час підйому штанги не допускається її розгойдування та удари об тверді предмети.

При підйомі на невелику висоту дозволяється передавати штанги з рук в руки.

Виконання робіт із вимірювальними штангами забороняється під час грози, туману, дощу або мокрого снігу.

Під час роботи зі штангою необхідно дотримуватися встановлених відстаней між струмопровідними частинами та працівником.

Вимірювання на опорах повітряних ліній напругою до 1000 В може виконувати одна особа, стоячи на кігтях (лазах) та надійно закріпившись стропом запобіжного паска до опори.

Забороняється проводити вимірювання на ПЛ, перебуваючи на драбині.

Також забороняється виконання вимірювань на повітряних лініях з опор, які обладнані заземлювальними спусками.

### **6.3. Вимоги безпеки при аварійних ситуаціях**

Електрична схема (електроустановка) підлягає негайному вимкненню у випадках: якщо людина потрапила під напругу; з'явився дим або полум'я з обладнання чи установки; стрілки вимірювальних приладів вийшли за межі шкали; порушилася нормальна робота електричної схеми або сталася пошкодження ізоляції струмоведучих частин.

У випадку виникнення пожежі:

Негайно повідомити про пожежу за телефоном 101, зазначивши точну адресу місця події.

Прийняти заходи для ліквідації пожежі, використовуючи первинні засоби пожежогасіння, наявні в лабораторії та вестибюлі навчального корпусу.

Повідомити про пожежу у найближчі кімнати з метою евакуації людей.

#### **6.4. Вимоги безпеки після закінчення робіт**

Вимкнути живлення електричної схеми (електроустановки) ввідним вимикачем на робочому місці.

Розібрати електричну схему та зложити вимірювальні прилади в місце тривалого зберігання.

Навести порядок на робочому місці.

## ВИСНОВКИ

1. Перспективи використання та розвитку апаратно-програмних комплексів полягають у можливості проведення випробувань різних типів із подальшим отриманням коректних результатів вимірювань та характеристик, при цьому виключається вплив людського фактора на процес обчислень та формування часо-струмових характеристик у вигляді графіків.

2. Досліджуваний випробувальний комплекс забезпечує отримання результатів виконання обов'язкових процедур у вигляді готових даних, які можна безпосередньо заносити до протоколу випробувань.

3. Застосування комплексу СВА 1000 є доцільним і вигідним завдяки високій точності отримуваних даних, достовірності та відповідності виконаних процедур випробування, а також завдяки зручності його використання.

4. Створено нову лабораторну роботу для лабораторії з діагностування електрообладнання.

5. Створено навчальний відеофільм для проведення діагностування комутаційних апаратів із використанням комплексу СВА 1000.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергетику». В редакції від 1 липня 2010 року N 2388-VI
2. Закон України «Про енергозбереження». ( Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, N 15, ст.126 )
3. ДНАОП 0.00. – 1.32 – 01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: ПП „Фірма Гранмн”, 2001. – 117 с.
4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006.
5. Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования. - М; Агропромиздат, 1990. -287 с.
6. Г.П. Ерошенко, А.А. Пястолов. Курсовое и дипломное проектирование по эксплуатации электрооборудования. - М.: Агропромиздат, 1988. - 160 с.
7. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. – Харків, Факт, 2008. – 438 с.
8. Єрмолаєв С.О., Яковлев В.Ф. Эксплуатация і ремонт електрообладнання та засобів автоматизації /За ред. С.О. Єрмолаєва. – К.: Урожай, 1996 – 336 с.
9. Коган Ф.Л. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования – ЗАО «Энергосервис», 2001. – 437

10. Афанасьев Н.А., Юсипов М.А. Система технического обслуживания и ремонта энергохозяйств промышленных предприятий: Энергоатомиздат, 1989 – 516
11. Васильев С.Е., Забарский Б.М., Забокрицкий Е.И., Холодовский Б.А. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики/ Наукова думка. Київ, 1971 – 614
12. Образцов В.А. Уход за контактами низковольтных аппаратов, Москва, Госэнергоиздат, 1959 – 59
13. Дорошев К.И. Выключатели и измерительные трансформаторы в КРУ 6-220 кВ/ Москва, Энергоатомиздат, 1990 - 150
14. Theoleyre Serge, MV breaking techniques, ETC 193, 1999
15. Dong Q., Song X., Gong C., Hu C., Rui J., Wang T., Xia Z., Wang Zh. Voltage Regulation Strategies in Photovoltaic-Energy Storage System Distribution Network: A Review. Energies. 2025; 18(11): 2740. DOI:10.3390/en18112740.
16. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 1 жовт. 2014 р.
17. №902-р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80> (20.01.2018).
18. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Вісник НАН України. Київ, 2015. № 12. С. 19-26.
19. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. Технічна електродинаміка. Київ, 2011. №1. С. 46-53.
20. Кириленко О.В., Павловський В. В., Лук'яненко Л.М., Трач І.В. Проблеми інтеграції відновлювальних джерел електроенергії в "слабкі" електричні мережі. Технічна електродинаміка. Київ, 2012. № 3. С. 25-26.

21. Sumeet Trivedi, Chattopadhyay D. Voltage Sag Mitigation in the Distributed Generation System with STATCOM. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2013. Vol.3, No 10. P.153-159.
22. Mahmud M.M.A., Pota H.R., Hossain M.J. Partial Feedback Linearizing Controller Design for a DSTATCOM to Enhance Voltage Stability of Distribution Network with Distributed Generation. 2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), 30 Oct.-2 Nov. 2012. Auckland, New Zealand, 2012. P.1-6.
23. Hossain M.J., Pota H.R., Mahmud M.A. Decentralized STATCOM/ESS Control for Wind Generators. Smart Power Grids. Heidelberg, 2012. P. 401–437
24. Лежнюк П.Д., Нікіторович О.В., Жан-П'єр Нгома. Компенсація реактивної потужності асинхронних генераторів на малих гідроелектростациях. Наукові праці ВНТУ. Вінниця, 2008. № 2. С.1-6.
25. Mohamed Shawky El Moursi, Zeineldin H.H., James L. Kirtley, Khaled Alobeidli. A Dynamic Master/Slave Reactive Power Management Scheme for Smart Grids With Distributed Generation. IEEE Transactions on Power Delivery. 2014. Vol.29, No 3. P. 1157–1167.
26. Casavola A., Franze G., Menniti D., Sorrentino N. Voltage regulation in distribution networks in the presence of distributed generation: A voltage set-point reconfiguration approach. Electric Power Systems Research.

ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ РОБІТ			
№	Найменування, опис роботи	Позначка про виконання	
		успішно ✓	не успішно/не виконано ✗
1	Доступні фактичні електричні схеми (мережеве живлення)		
2	Необхідні додаткові заходи безпеки в щитовому приміщенні, ЗІЗ (Окуляри / Шолом і коридок / Рукавиці / Ізоляційні рукавиці / Одяг, захищений від дугового спалаху / Ізоляційний килимок)		
3	Доступний відповідний детектор напруги		
4	Доступний та перевірений евакуаційний шлях		
5	Доступні відповідні вогнегасники		
6	Контактне ім'я осіб на випадок надзвичайних ситуацій (наприклад, пожежна команда, екстрений контакт)		
7	Робоча зона розмічена і заблокована		
8	Вимкнути основні джерела живлення		
9	Вимкнути допоміжні / резервні джерела живлення		
10	Зняти запобіжники / вимкнути автоматичні вимикачі		
11	Випробувальний стенд зібрано без подачі напруги		
12	За допомогою мультиметра перевірити правильність виконання збірки випробувальної схеми		
13	Після того, як пункт 12 виконано успішно, перейти до виконання випробувань		

## ОГЛЯД ТА ДЕФЕКУТВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ

<b>Огляд корпусу</b>	<b>Відповідність</b>
Відсутність слідів жирових плям, надмірного пилу або конденсату	
Відсутність ознак перегріву або тріщин, які зменшують механічну міцність корпусу і таким чином, його здатність витримувати коротке замикання	
Перевірка цілісності, наявності тріщин на рукоятці ручного зведення механізму	
Перевірка цілісності, люфту механічних клавів «On», «Off»	
Перевірка цілісності кнопки «Reset», відсутність перешкод натисканню	

<b>Перевірка пристрою і механізму шасі</b>	<b>Відповідність</b>
Перевірка дугогасильних камер на наявність корозії, слідів нагару, жирових плям	
Перевірка стану силових контактів на наявність корозії, слідів нагару, сторонніх елементів	
Перевірка механізму на наявність пилу, бруду	
Перевірка механізму на достатню кількість змащувального матеріалу	
Перевірка механізму на наявність стуків, сторонніх вібрацій при операціях замикання, розмикання, зведення пружини	

### 1. Технічні дані

Тип	CEi-12/1250-25 kA
Виробник	COOPER(NINGBO) ELECTRIC CO., LTD
Серійний №	196339

Ном. напруга, кВ	12
Роб. напруга, кВ	10
Ном. струм, А	1250

### 2. Вимірювання опору ізоляції при $t = 6^{\circ}\text{C}$ .

№	Об'єкт вимірювань	Опір ізоляції, МОм						Нормова не значення
		Фаза А – «земля», фаза В, фаза С	Фаза В – «земля», фаза А, фаза С	Фаза С – «земля», фаза А, фаза В	Міжконтактний проміжок			
					Фаза А	Фаза В	Фаза С	
Робоча напруга мегаомметра 2500 В								
1.	Ізоляція опорних і рухомих частин	Більше 99900	Більше 99900	Більше 99900	Більше 99900	Більше 99900	Більше 99900	Не менше 3000 МОм
Робоча напруга мегаомметра 1000 В								
2.	Ізоляція вторинних кіл привода вимикача	18000						Не менше 1 МОм

Примітка: При вимірюванні опору ізоляції всі кола, які не були задіяні у вимірюваннях, були закорочені і заземлені.

### 3. Вимірювання опору постійному струму струмопровідного контура кожного полюса при $t = 6^{\circ}\text{C}$

Параметр	Струмопровідний контур			Примітки
	А-А	В-В'	С-С'	
Виміряне значення, мкОм	23,41	23,39	23,37	
Приведене до температури $+75^{\circ}\text{C}$ , мкОм	30,11	30,09	30,06	
Дані заводу-виробника, мкОм	<250	<250	<250	

#### 4. Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти

4.1 Випробування ізоляції полюса відносно землі та інших полюсов				
Назва параметра	Фаза А – «земля», фаза В, фаза С	Фаза В – «земля», фаза А, фаза С	Фаза С – «земля», фаза А, фаза В	Результат випробувань
Значення випробувальної напруги, (кВ)	37,8	37,8	37,8	Витримала
Тривалість випробувань (хв.)	1	1	1	
4.2 Випробування ізоляції межконтактних проміжків				
Назва параметра	А – А1	В – В1	С – С1	Результат випробувань
Значення випробувальної напруги, (кВ)	37,8	37,8	37,8	Витримала
Тривалість випробувань (хв.)	1	1	1	
4.3 Випробування ізоляції вторинних кіл				
Назва параметра	Ізоляція вторинних кіл			Результат випробувань
Значення випробувальної напруги, (кВ)	1			Витримав
Тривалість випробувань (хв.)	1			
<u>Примітки:</u>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Випробування проводились шляхом подачі напруги від високовольтного джерела змінного струму частотою 50 Гц плавно від 0 до нормованого значення. Під час випробувань всі струмоведучі частини, на які не подавалась напруга були заземлені, були заземлені.</li> <li>2. Випробування основної ізоляції проводилось при включеному положенні вимикача.</li> <li>3. Випробування ізоляції між контактних проміжків проводилось при виключеному положенні вимикача</li> </ol>			

#### 5. Перевірка мінімальної напруги спрацювання вимикача

Параметр	Номинальна напруга привода вимикача, В	Значення напруги привода вимикача при випробуваннях, В	Відносне значення напруги привода вимикача при випробуваннях	Нормоване значення	Результат випробувань
Цикл «Вмикання»	220	187	0,85 U <sub>ном.</sub>	не більше 0,85 U <sub>ном.</sub>	Включився
Цикл «Вимикання»	220	143	0,65 U <sub>ном.</sub>	не более 0,65 U <sub>ном.</sub>	Виключився

*Примітка:* Напруга на кола привода вимикача подавалась поштовхом.

## 6. Перевірка часових характеристик вимикача при номінальній напрузі на приводі вимикача

Параметр	Вимірний	Норма заводу-виробника	Результат вимірювань
Час включення, мс	2,8	<3	Відповідає
Час виключення, мс	2,7	<3	Відповідає

*Примітка:* В таблиці наведене найбільше значення часу вмикання і вимикання окремого полюса із декількох комутацій.

## 7. Випробування вимикача багаторазовим включенням і відключенням

Випробування проводились за наступними операціями без затримки часу при номінальній напрузі на приводі вимикача:

- включення – 5 разів;
- відключення – 5 разів;

## 7. Інформація щодо наявності та стану засобів вимірювальної техніки

Назви величин, що вимірюють-ся, та об'єктів вимірювань	Назва і умовне позначення ЗВТ	Заводський номер ЗВТ	Основні метрологічні характеристики ЗВТ	Дата наступної перевірки ЗВТ
Електричний опір	Мікроомметр ЦС4105	60207086	0,00001-50 Ом± 2,5 %	7 жовтня 2024 р.

	Мегаомметр KYORITSU модель 3125	WO 165082	від 0 до 99900 МОм, 2500 В, від 0 до 1990 МОм 1000 В, $\delta = \pm 5 \% + 3 \text{dgt}$ , DC = 0-5100В, $\delta = \pm 5 \% + 3 \text{dgt}$	9 жовтня 2024 р.
Напруга	Вольтметр Э545	6742	10-600 В $\pm 0,5 \%$	7 жовтня 2024 р.
Час	Секундомір Механічний СОПрр-2а-2-010	8749	0-60 хв. $\pm 0,2 \text{ с}$	11 листопада 2024 р.
	Осцилограф цифровий	DS1EB120400283	0-10 хв. $\pm 0,0002 \text{ с}$	9 грудня 2024 р.
Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти	Апарат АИИ-70, Сертифікат Укрметтестстандарт №306-3838 від 7 жовтня 2019	№6079/123	Uном 50-кВ Umax 70-кВ $\delta = \pm 3\%$	6 жовтня 2025 р.

**Висновок:** Вимикач вакуумний випробуваний відповідно до п.п. 1.8.119 – 1.8.124 ПУЕ-2017 та методики-заводу-виробника. Виміряні параметри відповідають вимогам діючих нормативних документів і даним заводу-виробника. Вимикач може бути ввімкненим на робочу напругу 10 кВ.

**Випробування проводили:**

Представник ТОВ «Шнейдер Електрик Україна»			
	Інженер-лаборант	Мельник Данило	
	Завідувач вимірювальної лабораторії	Наливайко Віталій Адамович	
дата	посада	ім'я	підпис

Представник замовника		
дата	ім'я	підпис