

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 636.5(075)

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувача кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

проф., д.т.н. /Каплун В.В./
(підпис)

доц.к.т.н. /Окушко О.В./
(підпис)

« » 2024 р.

« » 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ВТРАТ У ТРИФАЗНИХ
СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПОТУЖНІСТЮ ДО
400кВА»**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

к.т.н доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сорокін Д.С.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Корчевський В.П.
(ПІБ)

Київ – 2024 рік

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

к.т.н доцент _____ **Окушко О.В.**
(ступінь, звання) (підпис) (ПІБ)
« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Корчевському Вадиму Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Аналіз джерел втрат у трифазних силових трансформаторах потужністю до 400 кВА»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024р. № 1666 С

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 11. 2024

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Розрахунки втрат електроенергії
2. Нормативні дані за втратами електроенергії
3. Планові заходи щодо зниження втрат електроенергії

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Трифазні силові трансформатори та їх використання в сучасній електроенергетиці
2. Аналіз джерел втрат в трифазних силових трансформаторах
3. Розрахунок втрат та методи їх зменшення
4. Охорона праці та безпека життєдіяльності

Дата видачі завдання «27» 09 2024 р.

Керівник магістерської роботи _____
(підпис)

Сорокін Д.С.
(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Корчевський В.П.
(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота обсягом 75 сторінок (18 рис. і 1 табл. Та 2 графіка) включає реферат, перелік скорочень, вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел з 9 найменувань.

Об'єктом дослідження є трифазні силові трансформатори потужністю до 400кВА

Предмет дослідження – є основні джерела втрат у трифазних силових трансформаторах

Методи дослідження:

- а) розрахунок втрат активної та реактивної електричної енергії;
- б) методи зменшення втрат в обмотках електричної енергії;
- в) методи зменшення втрат в магнітопроводі та інші;

Мета роботи – Метою роботи є виявити та охарактеризувати основні джерела енергетичних втрат у трифазних силових трансформаторах потужністю до 400кВА, розробити пропозиції щодо зниження втрат для підвищення їх ефективності та довговічності. Результатом роботи є проведення аналізу джерел втрат трифазних силових трансформаторів, провести необхідні дослідження та моделювання для поліпшення роботи силового трансформатора виконання розділу охорона праці та безпеки життєдіяльності.

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1.....	7
ТРИФАЗНІ СИЛОВІ ТРАНСФОРМАТОРИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Трансформатор та його конструктивні елементи.....	7
1.2 Порівняльний аналіз сучасних трансформаторів в залежності від їх будови.....	16
1.3 Розгляд заходів які дозволяють покращувати роботу трансформатора.....	20
РОЗДІЛ 2.....	25
АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ВТРАТ В ТРИФАЗНИХ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ.....	25
2.1 Дослідження втрат та їх причин в трансформаторах	25
2.2 Моделювання процесів для поліпшення роботи трансформатора.....	28
2.3 Висновки використання обраних методів дослідження.....	34
РОЗДІЛ 3.....	35
РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ.....	35
3.1 Розрахунок втрат трифазних трансформаторів	35
3.2 Порівняння отриманих результатів.....	42
3.3 Висновки теми дослідження.....	43
РОЗДІЛ 4.....	44
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	44
4.1 Пожежна безпека	44
4.2 Електробезпека	54
4.3 Заходи з охорони праці.....	65
Висновки.....	74
Список літератури та електронних джерел інформації.....	75

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕЕ – електрична енергія

ЕРС – електрорушійна сила

ХХ – холостий хід

КЗ – коротке замикання

ВСТУП

На сьогоднішній день немає ні одного житлового кварталу, фабрики, заводів, де б не використовувались трифазні силові трансформатори. Даний пристрій може як підвищувати напругу так і зменшувати і переважних випадках для живлення електроспоживачів, яким необхідне стале дотримання напруги. Трансформатор істотно змінив свою конструкцію та дизайн з роками параметри якого дозволяють подавати живлення споживачам з істотним навантаженням. Побудова силових трансформаторів є трудомістким процесом який включає багато етапів які виконують інженерно-технічні робітники та починається з технічного завдання, проектування до виготовлення готового до експлуатації силового трансформатора.

РОЗДІЛ 1

ТРИФАЗНІ СИЛОВІ ТРАНСФОРМАТОРИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

1.1 Трансформатор та його конструктивні елементи

Трансформатор це статичний електромагнітний пристрій, що складається з двох чи більшого числа індуктивно зв'язаних обмоток і призначений для перетворення за допомогою електромагнітної індукції одного класу напруги в інший мережі змінного струму. Трансформатори по конструкції є двухобмоточними це трансформатори з двома гальванічно не зв'язаними обмотками, а також трьох- і багатообмоточні трансформатори з трьома і більш гальванічно не зв'язаними обмотками. В даних трансформаторах передача енергії з первинного кола трансформатора у вторинне відбувається за допомогою електромагнітного поля [1,10с].

За призначенням трансформатори поділяються на силові, регулювальні, спеціальні, сигнальні та інші.

Силовий трансформатор використовується для перетворення електричної енергії в електричних мережах або для безпосереднього живлення приймачів енергії. Силові трансформатори поділяють на декілька різновидів це загального призначення, які застосовуються для живлення мереж або приймачів електричної енергії, що не потребують особливі умови роботи, і не відрізняються характером навантаження або режимом роботи та трансформатори спеціального призначення котрі призначені для живлення мереж або приймачів енергії, що мають особливі умови роботи, характер навантаження та режим роботи.

Силовий трансформатор є самою головною частиною електричної мережі. Їх відрізняють по способу охолодження – маслонаповнені та сухого виконання, по кількості обмоток – двухобмоточні і трьохобмоточні, за кількості фаз – однофазні та трьохфазні.

Принцип дії трансформатора заснований на явищі електромагнітної індукції. Якщо первинну обмотку трансформатора ввімкнути в мережу джерела змінного струму, то по ній протікатиме змінний струм, який збудить в осерді трансформатора змінний магнітний потік. Магнітний потік, пронизуючи витки вторинної обмотки трансформатора, індукує в ній ЕРС. Під дією цієї ЕРС по вторинній обмотці і через приймач енергії протікатиме струм. Таким чином електрична енергія яка трансформується, передається з первинного кола в вторинне, але з іншою трансформованою напругою, на яку розрахований електроприймач енергії, який підключений до обмотки вторинної напруги.

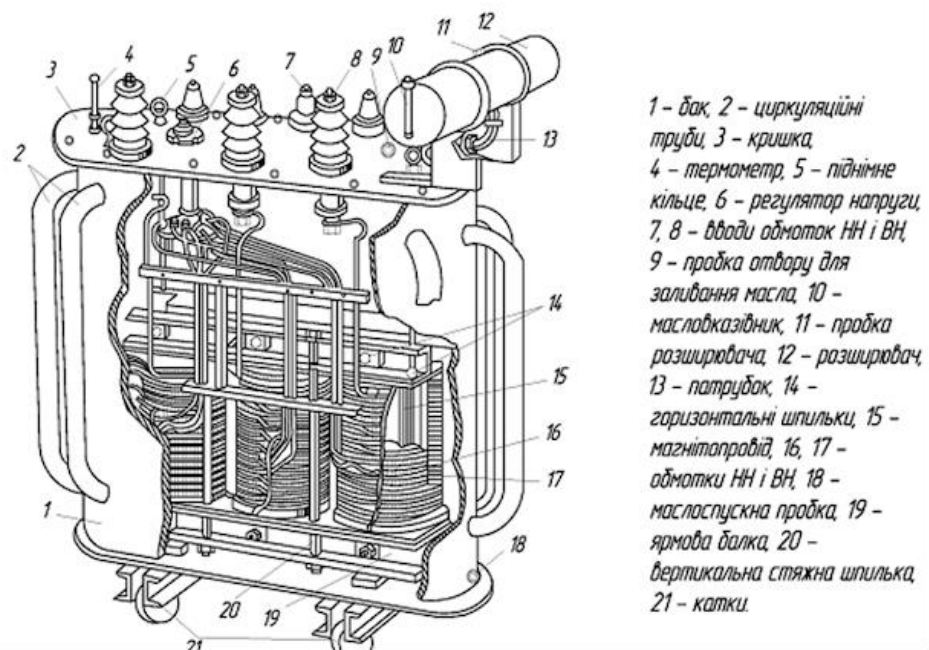


Рис 1.1 – Будова силового трифазного масляного трансформатора

Для поліпшення магнітного зв'язку між первинною та вторинною обмотками, їх розміщують на сталевому магнітопроводі. Щоб зменшити втрати від впливу вихрових струмів магнітопроводи трансформаторів складають із тонких пластин електротехнічної сталі з нанесенням ізоляції яку виконують жаростійким лаком. Електротехнічна сталь яка використовується в трансформаторі сталь є двох типів - гаряче та холоднокатаною.

Обмотки які використовуються в трансформаторах мають різну конструкцію, спосіб укладання, намотування, схем з'єднань елементів обмотки. На сьогоднішній день в сучасних трансформаторах використовуються одно, дво та багат шарові циліндричні обмотки та неперервні і гвинтові обмотки, які виконуються круглими чи прямокутними проводами.

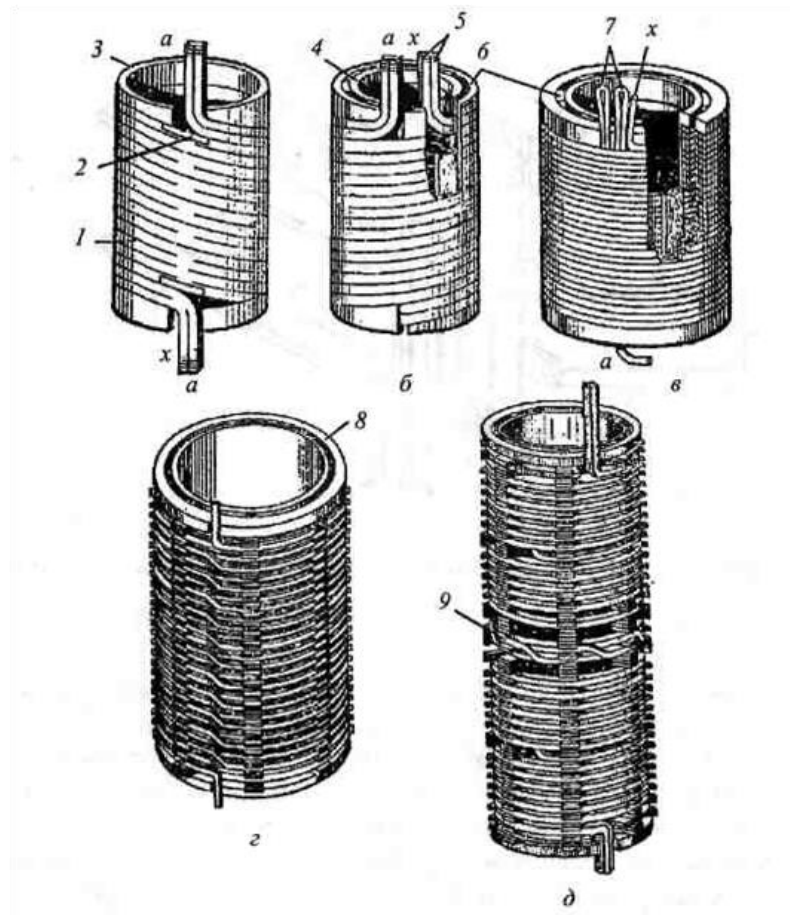


Рис 1.2 - Циліндричні обмотки силових трансформаторів: а - одношарова; б - двошарова; в - багат шарова; г - безперервна; д - гвинтова

Магнітопровід є основною магнітною системою силового трансформатора по якій замикається основний магнітний потік. Тим часом на магнітопроводі кріпляться обмотки, відведення перемикачі різного типу та інші деталі трансформатора його активної частини.

Магнітопровід виконують з тонких пластин електротехнічної сталі які ізолювані одна які покриті ізоляційним матеріалом . Жаростійке ізоляційне покриття зазвичай наносять на металургійному заводі де виготовляється сталь; плівку ізоляційного лаку виготовляють на заводі з виготовлення трансформатору після різання (штампування) пластин.

Магнітопроводи трансформаторів виконують двох типів: стержньового та броньового.

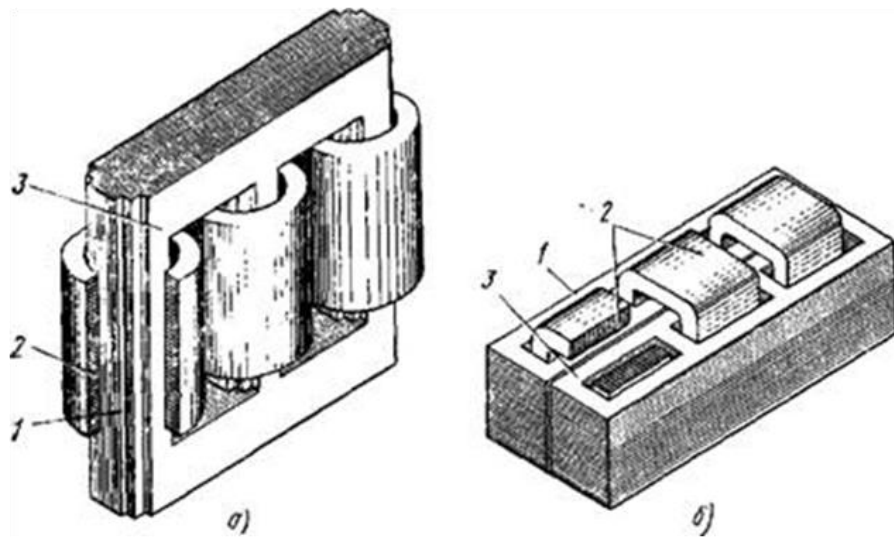


Рис 1.3 - Основні типи конструкцій магнітопроводів: а - стержньова; б - броньова; 1 - стержень; 2 - обмотки; 3 – ярмо

Бак силового трансформатора призначений для установки в ньому його обмоток та найголовніше це масла яке слугує для охолодження трансформатора . Кришка закриває бак і одночасно є підставою для установки розширювача, введів, приводів перемикаючих пристроїв, балона термосигналізатора, підйомних кілець і інших деталей. Місце роз'єму кришки з баком ущільнюють гумовою смугою, що укладається на раму в уступ між виступаючим торцем обичайки і отворами в рамі.

До деталей трансформатора належать розширювач, запобіжна труба, газові реле, перемикач, вводи, пробивний запобіжник і термосифонний фільтр. Ці деталі розміщені на кришці трансформатора.

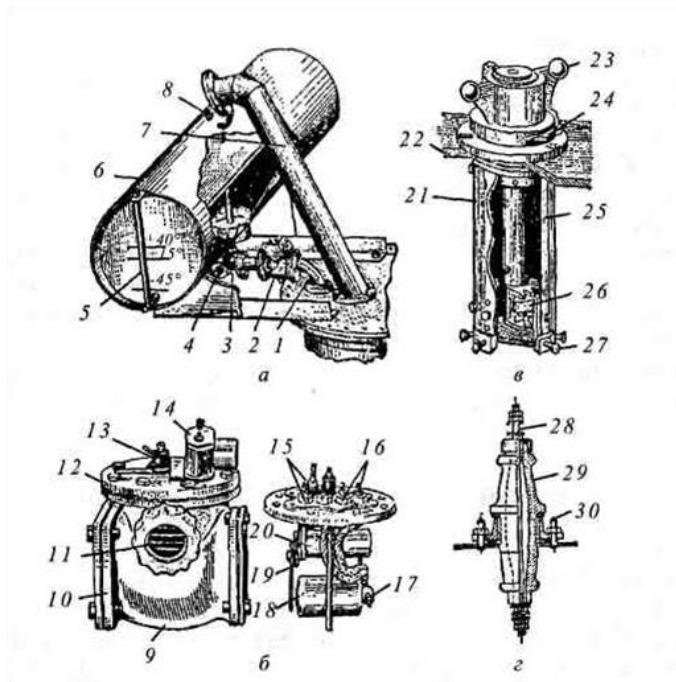


Рис 1.4 - Деталі силового трансформатора: а - пристрій розширювача і запобіжної труби; б - пристрій газового реле ПГ-22; в - перемикач ТПСУ-9-120/10; г - знімальний ввід; 1 - маслопровод; 2 - газове реле; 3 - пробковий кран; 4 - відстійник; 5 - маслопоказчик; 6 - розширювач; 7 - запобіжна труба; 8 - пробка маслоналивного отвору; 9 - корпус реле; 10 - фланець; 11 - оглядове вікно; 12 - кришка; 13 - кран для випуску накопичених в реле газів; 14 - коробка затисків; 15 - затискачі кола сигналізації; 16 - затискачі кола вимикання; 17 і 19 - ртутні контакти кола вимикання і сигналізації; 18 і 20 - нижній і верхній поплавки; 21 - паперово-бакелітовий циліндр; 22 - кришка трансформатора; 23 - ковпак привода; 24 - показчик знаходження перемикача; 25 - паперово-бакелітова трубка; 26 - сегментний контакт; 27 - нерухомий контакт з болтом; 28 - струмопровідний стержень; 29 - фарфорова деталь вводу; 30 - шпилька кріплення вводу до кришки трансформатора.

Розширювач служить для забезпечення постійного заповнення бака трансформатора маслом, а також для зменшення поверхні дотику масла з повітрям і захисту таким чином його від зволоження і окислення. Крім того, розширювач компенсує зміну об'єму масла в бакові при коливаннях температури. Під час нагрівання масла і збільшенні його об'єму надлишок

масла переходить із бака в розширювач, а потім, зі зниженням температури і зменшенням об'єму масла в баку, повертається знов у бак трансформатора. Встановлено, що зміна температури масла у межах від -35 до $+70^{\circ}\text{C}$ викликає зміну його об'єму близько на 8%, тому об'єм розширювача розраховують на цей надлишок масла. Зміна об'єму масла особливо відчутна в потужних трансформаторах, кількість масла в яких досягає декількох тонн.

Розширювач має форму циліндричного корпусу, який кріпиться до кришки трансформатора за допомогою двох сталевих кронштейнів. Розширювач з'єднаний з боком трансформатора маслопроводом 1, кінець якого на 50-70 мм виступає всередину розширювача, для того, щоб забруднене масло, що осіло на дно розширювача не могло потрапити в бак.

У процесі роботи трансформатора із-за постійної зміни об'єму у баку повітря то витісняється з розширювача, то знову засмоктується в нього, тому кажуть що в трансформатор потрапляє повітря. При потраплянні повітря до трансформатора волога, що потрапила разом з атмосферним повітрям в розширювач, конденсується, поступаючи в його нижню частину, а звідти в спеціальний відстійник. Для спускання води і забрудненого масла на дні відстійника є спеціальна пробка. У деяких трансформаторів розширювачі не мають відстійника і для спускання бруду служить пробка, що закручена в дно розширювача.

Рівень масла в розширювачі контролюють за допомогою маслопоказчика 5, який складається з скляної трубки, що розміщена в металевому корпусі, і закріплений на торцевій частині розширювача за допомогою кутників і патрубків.

Діє він згідно з законом сполучених посудин. На склі та корпусі маслопоказчика червоною фарбою нанесені риски, що відмічають допустимі верхні та нижні межі рівня масла в розширювачі.

На торці розширювача (рядом з маслопоказчиком) нанесені цифри, що показують нормальний рівень масла в розширювачі при різних температурах навколишнього повітря.

Запобіжна труба встановлюється на силових трансформаторах потужністю 1000 кВА і більше. Це сталевий циліндр, що з'єднаний з баком трансформатора. Верхній кінець запобіжної труби закритий скляним диском (діафрагмою), а нижній – з фланцем, що прикріплений болтами до кришки трансформатора.

Запобіжна труба служить для запобігання вибуху бака трансформатора при недопустимому підвищенні в ньому тиску внаслідок внутрішніх аварійних процесів, викликаних розкладанням масла та інтенсивним утворенням газів. Якщо тиск досягає небезпечної величини, то діафрагма запобіжної труби руйнується і таким чином забезпечує викид газів і масла назовні.

Газове реле 2 встановлюють у розсічку маслопровода (мал. 4, а), що з'єднує розширювач з баком трансформатора. Воно служить для сигналізації і вимикання силового трансформатора при виникненні внутрішніх пошкоджень, які викликають місцеві нагрівання. Унаслідок цього розкладається масло або ізоляція проводів й утворюються гази. До таких пошкоджень належать виткові замикання, міжфазні короткі замикання, "пожежа" сталі магнітопровода тощо.

У трансформаторах найчастіше використовують газові реле ПГ-22, загальний вигляд і внутрішня будова яких показано на мал. 4, б. В середині металевих корпусів 9 реле розміщені рухомі герметично запаяні металеві циліндри поплавки 18 і 20. На поплавах закріплені скляні колбочки, в яких вмонтовані контакти і налита небагато ртуті. Контакти - колбочки верхнього поплавка служать для замикання кола звукового сигналу, а нижнього – для замикання кола вимикання трансформатора.

Під час нормального режиму роботи трансформатора резервуар реле заповнений трансформаторним маслом, поплавки 18 і 20 підняті, контакти 17 і 19 у колбочках з ртуттю не замкнуті. При слабкому газоутворенні, що характеризує незначне пошкодження всередині бака трансформатора, гази повільно піднімаються вгору і, накопичуючись у резервуарі, витісняють з

нього масло. Рівень масла в реле понижується, внаслідок чого верхній поплавков опускається. При цьому ртуть в його колбочці переливається і замикає контакти кола сигналу, викликаючи дію захисту "на сигнал". Якщо газоутворення значне, що свідчить про серйозні пошкодження всередині трансформатора, то виникає сильний рух масла з бака трансформатора у розширювач. Потік масла, проходячи через реле, перекидає нижній поплавок, ртуть в його колбочці замикає коло вимикання і захист вимикає трансформатор від мережі. Газове реле спрацьовує і при зниженні рівня масла в баку, що приводить до виходу масла з реле.

Перемикачі. Для регулювання напруги трансформатори комплектуються перемикачами.

Перемикач – це контактний пристрій, за допомогою якого здійснюється перемикання відгалужень обмоток на стороні ВН і зміна таким чином коефіцієнта трансформації.

Трансформатори потужністю до 1000 кВА мають три ступені регулювання напруги (+5% і -5%).

У трансформаторах потужністю 100-1000 кВА напругою (на стороні ВН) 10 кВ використовують перемикачі ТПСУ-9-120/110.

Перемикач ТПСУ-9-120\10 (мал. 4, в) складається з паперово-бакелітового циліндра 21, в якому закріплені нерухомі контакти 27 і паперово-бакелітова трубка 25 з встановленими на ній рухомими сегментними контактами 26. Кінець трубки виведений за межі кришки 22 трансформатора і з'єднаний з ковпаком 23, що має покажчик положення перемикача 24 з стопорним болтом, який фіксує положення перемикача. Щоб виконати перемикання, необхідно викрутити стопорний болт і повернути ковпак 23 на 120°.

У трансформаторах використовують перемикачі інших типів; однак дія всіх перемикачів ґрунтується на одному принципі і відрізняються вони головним чином конструкцією окремих деталей.

Вводи силових трансформаторів (мал. 4, г) служать для ізоляції кінців обмоток, що виходять з бака і приєднання їх до різних елементів електроустановки. Вводи характеризуються великою різноманітністю форм, конструкцій і розмірів, що залежать від напруги, потужності та установки (зовнішньої або внутрішньої) трансформатора. Ізольюючим елементом вводу служить фарфоровий ізолятор. Ізолятор вводу трансформатора внутрішньої установки має гладку або дрібно ребристу поверхню, а вводу трансформатора зовнішньої установки – великі ребра парасолько подібної форми. Це набагато збільшує розрядні відстані, що навіть при сильному дощі та великому забрудненні ізолятора дає змогу уникати розрядів по його поверхні.

Термосифонний фільтр служить для неперервного відновлення (регенерації) трансформаторного масла, що наявне у баку або розширювачі трансформатора. Це сталевий циліндр, що заповнений спеціальною поглинаючою речовиною (сорбентом), в якості якого використовують переважно силікагель. Циркуюючи через термосифонний фільтр, масло очищується, а його початковий склад, якість і властивості відновлюються шляхом поглинання силікагелем продуктів старіння масла, що особливо інтенсивно утворюється при тривалій роботі трансформатора в режимі частих перевантажень.

Системи охолодження трансформаторів.

Система М (ONAN) – природне масляне охолодження до 16 000 кВт.

Система Д – масляне охолодження дуттям і природною циркуляцією масла до 80 000 кВт.

Система ДЦ (OFAF) – масляне охолодження дуттям і примусовою циркуляцією масла 63 000 кВт і вище.

Система Ц (OFWF) Ц – масляно-водяне охолодження з примусовою циркуляцією масла 160 000 кВт і вище.

1.2 Порівняльний аналіз сучасних трансформаторів в залежності від їх будови

Сучасна електроенергетична галузь постійно змінюється та вдосконалюється.

Тому й силові трансформатори не є виключенням. До одних з сучасних типів трансформатора відносять сухі трифазні силові трансформатори [2,3с].

Сухі силові трансформатори на відмінну від масляних трансформаторів мають низку переваг. Дані трансформатори суттєво відрізняються від будови вибухонебезпечних масляних трансформаторів, які, з метою усунення небезпеки загоряння трансформаторного масла та ізоляційного матеріалу, необхідно розміщувати у спеціально обладнаних приміщеннях дотримуючись багатьох вимог до споруд де розташовані дані пристрої. Якщо взяти до уваги масляні силові трансформатор порівнюючи їх з сухими трансформаторами, то вони вимагають постійного технічного обслуговування, що веде до додаткових капіталовкладень.

На даний момент більша частина закордонних та українських виробників виготовляють сухі трансформатори по двом технологіям вакуумної або безвакуумної.

Проведемо аналіз вакуумної технології виробництва сухих силових трансформаторів.

Під час виготовлення трансформаторів сухого типу за вакуумною технологією обмотки трансформатора заливаються у вакуумі епоксидним компаундом з кварцовим наповнювачем, процес підготовки якого відбувається у вакуумі.

Перевага даної інновації є в тому, що вона дозволяє забрати зі складу ізоляції різні домішки, газові мікропорожнини, що суттєво погіршує діелектричну міцність ізоляції, дія яких спричиняє швидке зношення ізоляції і знижує термін служби. Обмотка трансформатора в результаті вакуумної обробки отримує міцну, закриту з усіх боків, епоксидну оболонку

товщиною 5...20 мм, яка надає обмотці необхідної жорсткості і захищає її від вологи та впливу агресивного середовища.

Відзначимо найбільш суттєві особливості обмоток та магнітопроводу сухих силових трансформаторів, виготовлених за вакуумною технологією заливання обмоток .

Відмінною конструктивною особливістю термообробленої обмотки ВН сухих силових трансформаторів з литою ізоляцією є те, що вона виготовляється із застосуванням автоматичного намотування та складається з виконаного з алюмінієвої фольги набору котушок. Ізоляція між витками здійснюється за допомогою поліефірної плівки. Кожна котушка армується скловолокном, піддається глибокому сушінню і потім заливається у вакуумі епоксидною смолою класу F, змішаною з кварцем і тригідроксид алюмінію. Така технологія виготовлення обмотки ВН забезпечує низький рівень напруги між сусідніми провідниками. Незначна різниця потенціалів між сусідніми витками обмотки дозволила у трансформаторах з литою ізоляцією відмовитися від застосування міжшарової ізоляції і тим самим зменшити габарити котушок та забезпечити високу якість литої ізоляції, що покриває всі провідники.

Обмотка ПН сухих силових трансформаторів, виготовлених за вакуумною технологією, також виконується з алюмінієвої фольги, ізольованої діелектричною плівкою класу F. Особливістю цієї обмотки є те, що вона, після попереднього просочення і подальшої вакуумної обробки, набуває досить високої механічної міцності, що дозволяє не тільки зберігати цілісність трансформатора при температурних деформаціях та аварійних струмах КЗ, що багаторазово перевищують номінальний робочий струм трансформатора, але й на порядок знизити в обмотці втрати на вихрові струми порівняно з втратами в обмотках звичайного виконання.

Магнітопровід, що є одним з найважливіших елементів трансформатора, виготовляється з магнітної пластини з орієнтованою

зернистою структурою, яка захищена від питомих втрат енергії та має високу магнітну проникність.

Попри виготовлення силових трансформаторів сухого типу за вакуумною технологією заливання обмоток, сухі трансформатори виготовляють також за іншою технологією. Наприкінці 70-х років минулого століття фірма ASEA — LEPPER розробила без вакуумну технологію виготовлення силових трансформаторів сухого типу. Особливістю цієї технології є те що обмотка ВН силового трансформатора виготовляється шляхом почергового намотування шару обмотки та міжшарової ізоляції, що складається з ровінгу, насиченого епоксидним компаундом без наповнювача, причому намотування проводиться на мокро при атмосферному тиску. Трансформатори з обмотками, виконаними за такою технологією, отримали назву «РЕЗИБЛОК» оскільки такі обмотки мають вигляд монолітного блоку, посилені скловолокном, просоченим епоксидним компаундом, і тому після подальшої спільної термообробки здатні витримувати значні зусилля КЗ. Механічна міцність обмотки такого трансформатора унеможливорює виникнення тріщин в обмотках і гарантує тривалий термін експлуатації трансформаторів цього типу.

До основних переваг трансформаторів типу RES/BLOC відносяться такі:

- ✓ низькі втрати ХХ та КЗ
- ✓ висока динамічна міцність обмоток
- ✓ лінійний розподіл атмосферної перенапруги
- ✓ ефективна система природного охолодження
- ✓ малошумність
- ✓ виключно висока вибухо та пожежобезпека

Трансформатори RESIBLOC пройшли тривалі випробування за температури навколишнього середовища -60°C , які довели, що цей тип трансформаторів перевершує за своїми характеристиками вимоги існуючих стандартів.

Порівнюючи основні переваги сухих (епоксидних) трансформаторів типу CAST RESIN, що виконані за вакуумною технологією, та трансформаторів типу RESIBLOC, що виконані за безвакуумною технологією можна зробити висновки що ці два типи трансформаторів є надійними по пожежобезпеці; вологостійкості та екологічній безпеці. Але попри це трансформатори виконані по безвакуумній технології мають переваги порівняно з т трансформаторами виконаними за вакуумною технологією оскільки мають кращу механічну міцність, динамічну стійкість до сил КЗ, стійкість до високих та низьких температур.

1.3 Розгляд заходів які дозволяють покращити роботу трансформатора

Інновації в технології виготовлення силових трансформаторів для підвищення ефективності їх роботи

Удосконалення основного дизайну

Магнітопровід силового трансформатора є критично важливим компонентом, який впливає на його ефективність і продуктивність. Традиційні магнітопроводи трансформаторів зазвичай виготовляються з листів електротехнічної сталі, які призводять до втрат енергії через вихрові струми та гістерезис. При цьому останні досягнення пов'язані з побудовою магнітопроводу призвели до розробки нових металевих і нанокристалічних ядер, які забезпечують значно менші втрати в магнітопроводі порівняно з традиційними матеріалами [3,5с].

Аморфні металеві магнітопроводи виготовлені з некристалічного сплаву, який має хороші магнітні властивості, які є ідеальними для магнітопроводів трансформаторів. Дані елементи мають низькі втрати, що робить їх достатньо ефективними та є енергозберігаючими. Такими ж властивостями володіють нанокристалічні ядра які складаються з крихітних кристалічних зерен, що призводить до зменшення втрат на вихрові струми. Інтегруючи ці передові матеріали сердечника в силові трансформатори, виробники можуть значно підвищити їхню ефективність і сприяти збереженню енергії.

На додаток до вдосконалених матеріалів сердечника, для подальшого підвищення ефективності трансформатора впроваджуються інноваційні конструкції сердечників, такі як ступінчасті сердечники та сердечники з розподілом потоку. Ступінчасті сердечники мають унікальну ступінчасту конструкцію, яка допомагає зменшити втрати в сердечнику та покращити регулювання напруги. Подібним чином ядра для розподілу потоку розроблені для мінімізації витоку потоку та підвищення загальної продуктивності. Ці

досягнення в конструкції сердечника є ключовими факторами підвищення ефективності сучасних силових трансформаторів.

Сучасні ізоляційні матеріали

Використання сучасних ізоляційних матеріалів має важливе значення для забезпечення надійної та ефективної роботи силових трансформаторів протягом достатнього часу. Ізоляційні матеріали, такі як папір і масло, використовуються в виробництві силових трансформаторів протягом достатньої кількості років. Але винайдення сучасних ізоляційних матеріалів вносить інноваційну технологію в конструюванні силових трансформаторів але й підвищує їх ефективність.

Одним із передових здобутків в галузі ізоляційних матеріалів є використання синтетичних ефірних рідин як альтернатива мінеральному маслу. Дані ефірні рідини як олії на рослинній основі, є безпечним для середовища та обслуговуючого персоналу та мають підвищену пожежну безпеку.

Крім того, впровадження передових композитних ізоляційних матеріалів, таких як арамідні та епоксидні матеріали, дозволило виробникам покращити теплові та електричні властивості ізоляції трансформатора. Ці матеріали забезпечують покращену механічну міцність, термічну стабільність і діелектричну міцність, що сприяє загальній ефективності та надійності силових трансформаторів.

Розумні системи моніторингу та контролю

Сучасний світ вже не можливо представити без використання комп'ютерно-інтегрованих систем моніторингу та управління які є значним нововведенням в технології конструювання силових трансформаторів. В традиційній особливості при обслуговуванні трансформаторів досить часто використовуються перевірки та технічне обслуговування для контролю їх стану та продуктивності які не можливі без людського фактору. Але поява сучасних інтелектуальних систем моніторингу та керування, таких як датчики різної конфігурації, пристрої моніторингу та контролю параметрів

а також стану що дає змогу в дистанційному форматі контролювати стан і продуктивність трансформатора.

Використовуючи сучасні датчики різної будови які дають змогу проводити вимірювання таких параметрів як температура, вологість, вібрація, що в свою чергу дає змогу виробникам отримати інформацію пов'язану з роботою силових трансформаторів. Ці данні дають змогу застосовувати заходи технічного обслуговування які дозволяють раніше виявляти несправності що в процесі роботи підвищує надійність і ефективність трансформаторів. Крім того, діагностика в реальному часі та можливості дистанційного керування дозволяють операторам приймати обґрунтовані рішення та оптимізувати продуктивність трансформатора, сприяючи загальній енергоефективності.

Крім того, впровадження алгоритмів прогнозного технічного обслуговування та інтелектуальної аналітики ще більше розширює можливості інтелектуальних систем моніторингу та управління. Використовуючи аналіз даних і алгоритми машинного навчання, оператори можуть передбачати можливі збої, оптимізувати графіки технічного обслуговування та приймати рішення на основі даних, щоб максимізувати ефективність і термін служби трансформатора. Інтеграція цих передових технологій революціонує спосіб моніторингу та управління силовими трансформаторами, що призводить до підвищення ефективності та продуктивності.

Ефективне охолодження та розсіювання тепла

Ефективне охолодження та розсіювання тепла є ключовими аспектами конструкції силового трансформатора, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність і надійність трансформатора. Традиційні трансформатори часто використовують масляні системи охолодження, які мають обмеження щодо розсіювання тепла та впливу на навколишнє середовище. Однак останні досягнення в технологіях охолодження призвели

до розробки більш ефективних і екологічних рішень для охолодження силових трансформаторів.

Одним із найбільш значних досягнень у сфері охолодження трансформаторів є застосування охолоджуючих рідин на основі натуральних складних ефірів, які забезпечують покращену теплопровідність і чудове розсіювання тепла порівняно з традиційним мінеральним маслом. Ці вдосконалені охолоджуючі рідини дозволяють силовим трансформаторам працювати при нижчих температурах, зменшуючи втрати енергії та підвищуючи загальну ефективність. Крім того, природні ефірні рідини мають менший вплив на навколишнє середовище та є біологічно розкладаними, що робить їх більш екологічним варіантом для охолодження трансформатора.

На додаток до вдосконалених охолоджуючих рідин, інноваційні конструкції охолодження, такі як примусове повітря та обмотки з підвищеною теплопровідністю, впроваджуються для покращення розсіювання тепла та підвищення ефективності трансформатора. Системи примусового повітряного охолодження використовують зовнішні вентилятори для покращення процесу конвективної теплопередачі, тоді як обмотки з підвищеною теплопровідністю забезпечують кращий розсіювання тепла всередині трансформатора. Ці досягнення в технологіях охолодження відіграють важливу роль у забезпеченні оптимальної роботи та ефективності силових трансформаторів.

Інтеграція цифрових технологій

Використання цифрових технологій таких як Інтернету речей (IoT), штучний інтелект (AI) і хмарні платформи інтегрує індустрію силових трансформаторів в більш сучасне русло і сприяє підвищенню ефективності та продуктивності. Сучасні датчики та пристрої за підтримки Інтернету речей встановлюються для збору даних у режимі реального часу про роботу трансформаторів, умови навколишнього середовища та показники продуктивності, надаючи операторам важливу інформацію про стан і ефективність роботи трансформаторів.

Попри це використання штучного інтелекту та машинного навчання застосовується для аналізу великого обсягу інформації, що генерується силовими трансформаторами, що забезпечує прогнозне обслуговування, діагностику несправностей та оптимізацію роботи трансформаторів. Ці рішення на основі штучного інтелекту дають операторам можливість завчасно вирішувати потенційні проблеми, оптимізувати енергоефективність і максимізувати термін служби силових трансформаторів. Хмарні платформи забезпечують централізоване та доступне сховище даних, аналізу та керування трансформаторами, що забезпечує безперебійну співпрацю та прийняття рішень різними зацікавленими сторонами.

Інтеграція цифрових технологій також забезпечує дистанційний моніторинг, контроль і управління активами, дозволяючи операторам оптимізувати продуктивність і ефективність трансформатора з будь-якої точки світу. Використовуючи потужність цифрового зв'язку та інтелекту, силові трансформатори стають більш надійними, ефективними та чутливими до мінливих вимог енергетичної галузі.

Підсумовуючи, останні інновації в технології силових трансформаторів сприяють підвищенню ефективності, надійності та продуктивності. Ці досягнення змінюють майбутнє енергетичної галузі, починаючи від передових конструкцій сердечників та ізоляційних матеріалів і закінчуючи розумними системами моніторингу, ефективними технологіями охолодження та цифровою інтеграцією. Використовуючи ці інновації, виробники та оператори можуть внести внесок у практику сталого використання енергії та задовольнити зростаючий попит на ефективну передачу та розподіл електроенергії. Оскільки галузь продовжує розвиватися, безперервний розвиток технології силових трансформаторів відіграватиме вирішальну роль у формуванні енергетичного ландшафту на довгі роки.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ВТРАТ В ТРИФАЗНИХ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

2.1 Дослідження втрат та їх причин в трансформаторі

До основних втрат в трансформаторі належать втрати міді та втрати заліза.

Причини втрат міді

Втрати трансформатора складають з себе втрати міді та втрати заліза. Втрати міді є втратами, які викликані активним опором трансформатора, коли первинний і вторинний струм трансформатора протікає через обмотку трансформатора. Так як обмотка трансформатора переважно виконана з мідного дроту тому вони мають назву мідні втрати. Втрати міді є також втратами навантаження які пропорційні квадрату струму навантаження. Обмотка силового трансформатора має потребу в великому обсязі мідного дроту тому саме цей мідний дріт має опір, коли трансформатор знаходиться в режимі номінального навантаження тому ця величина опору буде в струмі, споживати певну потужність і перетворюватися на тепло, ця частина втрата - споживання міді[4,1с].

Причини втрати заліза

Втрати заліза мають відношення до споживання енергії залізним магнітопроводом у магнітному ланцюзі трансформатора при номінальній напрузі (вторинний відкритий ланцюг). Втрати в залізі це один з різновидів втрат холостого ходу, їх величина залежить від первинної напруги трансформатора. Це не має нічого спільного зі значенням втрат у залізі, чи є вторинна сторона трансформатора без навантаження. Втрати заліза поділяються на втрати на вихрові струми, втрати на гістерезис і додаткові втрати заліза. Серед цих втрат втрати на вихрові струми та втрати на гістерезис пов'язані з матеріалом сердечника самого трансформатора.

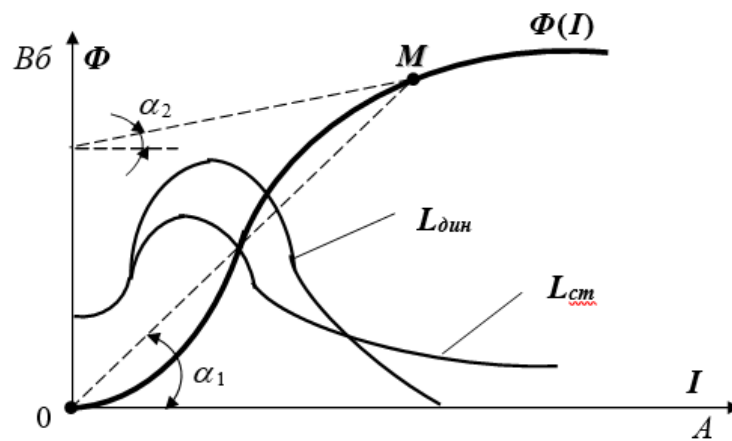


Рис 2.1- Процес утворення вихрових струмів

Визначення статистичної індуктивності [5,2с].

$$L_{ст} = w + \frac{\Phi}{I} = m_L \tan \alpha_1, \text{ Гн} \quad (2.1)$$

Визначення динамічної індуктивності

$$L_{дин} = w + \frac{d\Phi}{dI} = m_L \tan \alpha_2, \text{ Гн} \quad (2.2)$$

Масштаб індуктивності визначається за формулою

$$m_L = \frac{m_{w\Phi}}{m_I} = m_L \tan \alpha_2, \text{ Гн/см} \quad (2.3)$$

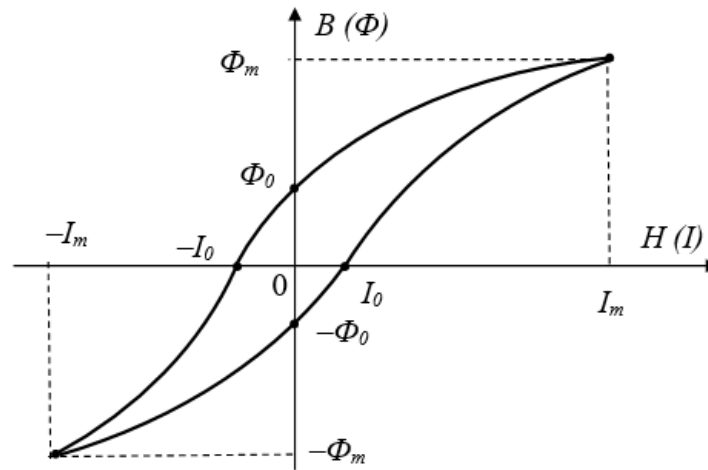


Рис 2.2 – Втрати на гістерезис

Втрати активної потужності на гістерезис визначаються за формулою

$$\Delta P_{\Gamma} = r_{\text{МГ}} \cdot I_{\text{а}}^2, \quad \text{кВт} \quad (2.4)$$

2.2 Моделювання процесів для поліпшення роботи трансформатора

Моделювання будемо виконувати в програмі FEMM 4.0.1

Запускаємо програму FEMM 4.0.1, вибираємо в головному меню пункт нове завдання (New) і у вікні вибираємо пункт Magnetism Problem (Магнітостатична задача) – (Рис 2.2). Спершу задаємо основні параметри завдання: одиниці виміру – міліметри (Millimeters) та товщину пристрою (Depth). Завдання вищевказаних параметрів для завдання, що розглядається, наведено на (Рис 2.3)

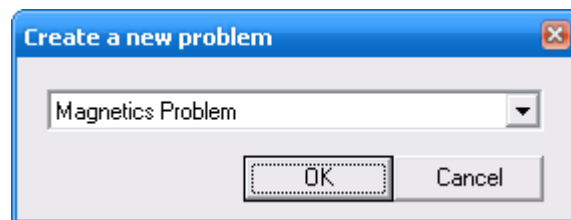


Рис 2.2 - Вибір магнітостатичної задачі

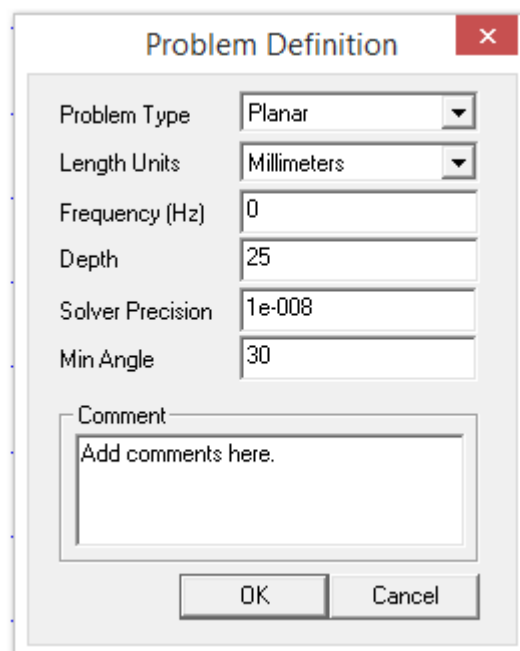


Рис 2.3 - Формулювання задачі

Побудова геометрії починаємо з розташування точок відповідно до їх координат.

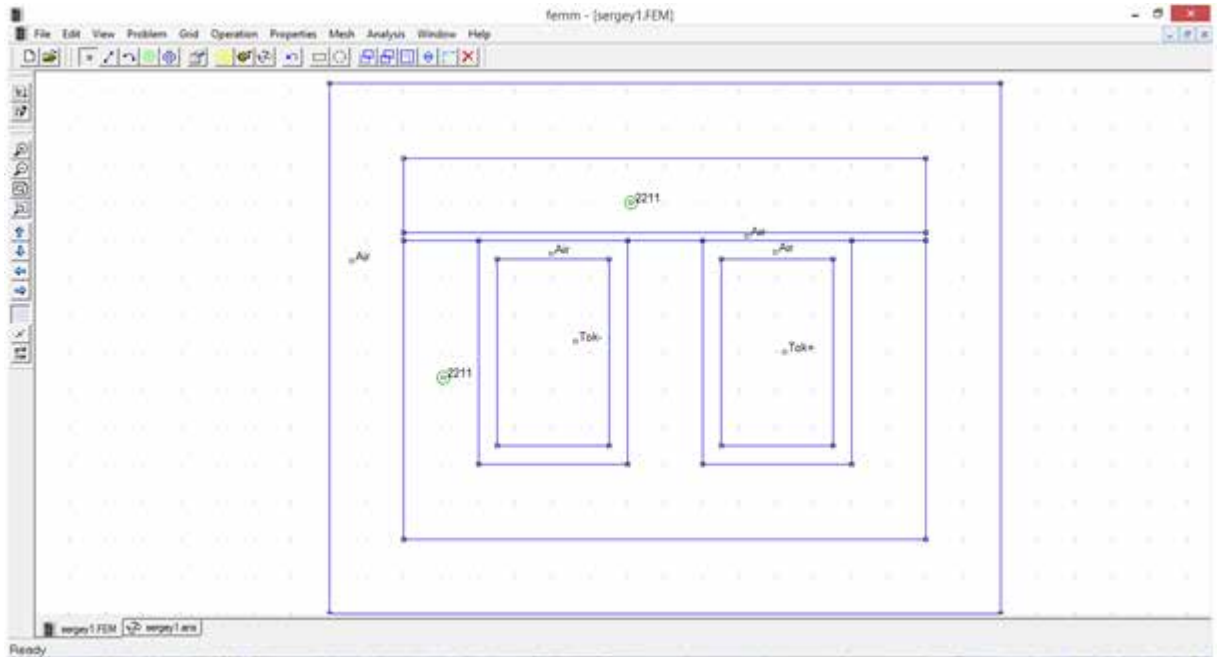


Рис 2.4 - Створення ліній

Задаємо чи створюємо власні матеріали у редакторі матеріалів. Редактор викликається через головне меню Properties – Materials Library. Для електромагніту, що розглядається, потрібно задати наступні матеріали (Рис 2.5):

- повітря (Air),
- електротехнічна сталь 221 ,
- котушка зі струмом (Ток + та Струм -).

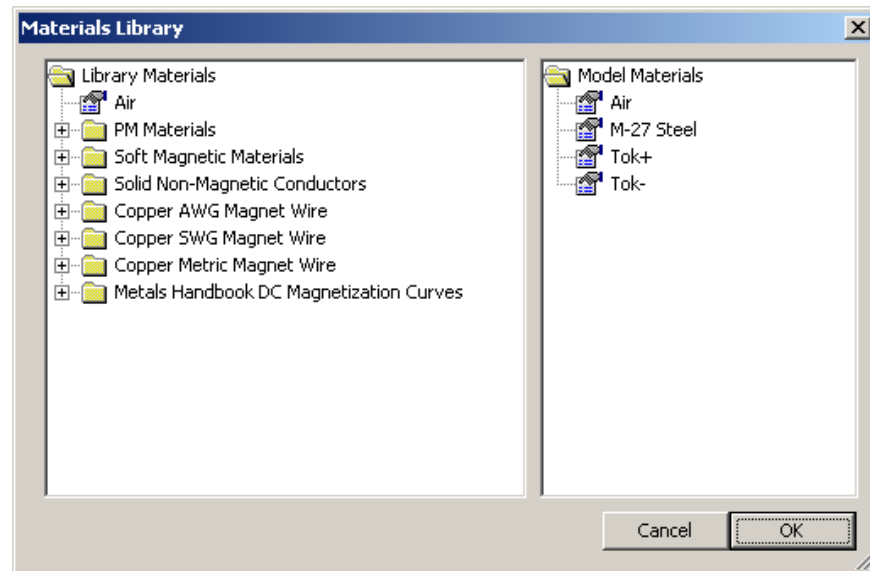


Рис 2.5 - Бібліотека матеріалів

Щільність струму в котушці розраховується за формулою

$$J_k = \frac{I_k \cdot w_k}{S_k} = \frac{800}{400} = 2 \text{ mA} / \text{m}^2 \quad (2.5)$$

где S_k - поперечний переріз однієї котушки.

Задаємо матеріали на побудованій моделі.

Створюємо нульові граничні умови ($A = 0$) – Рис 2.6 Редактор граничних умов викликається через головне меню Properties – Boundary. У вікні вибираємо Add Property.

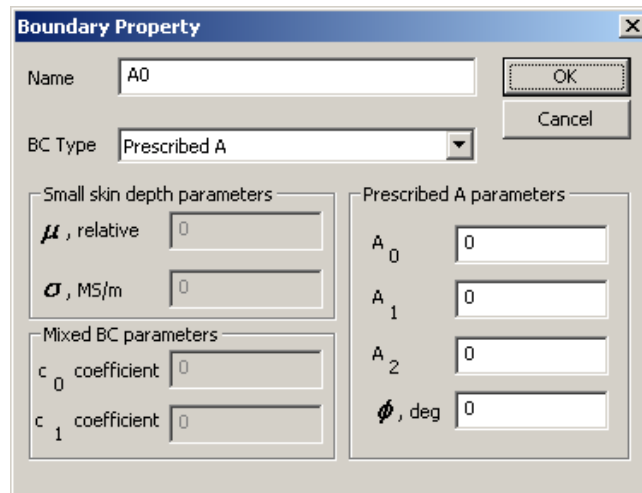


Рис 2.6 - Граничні властивості

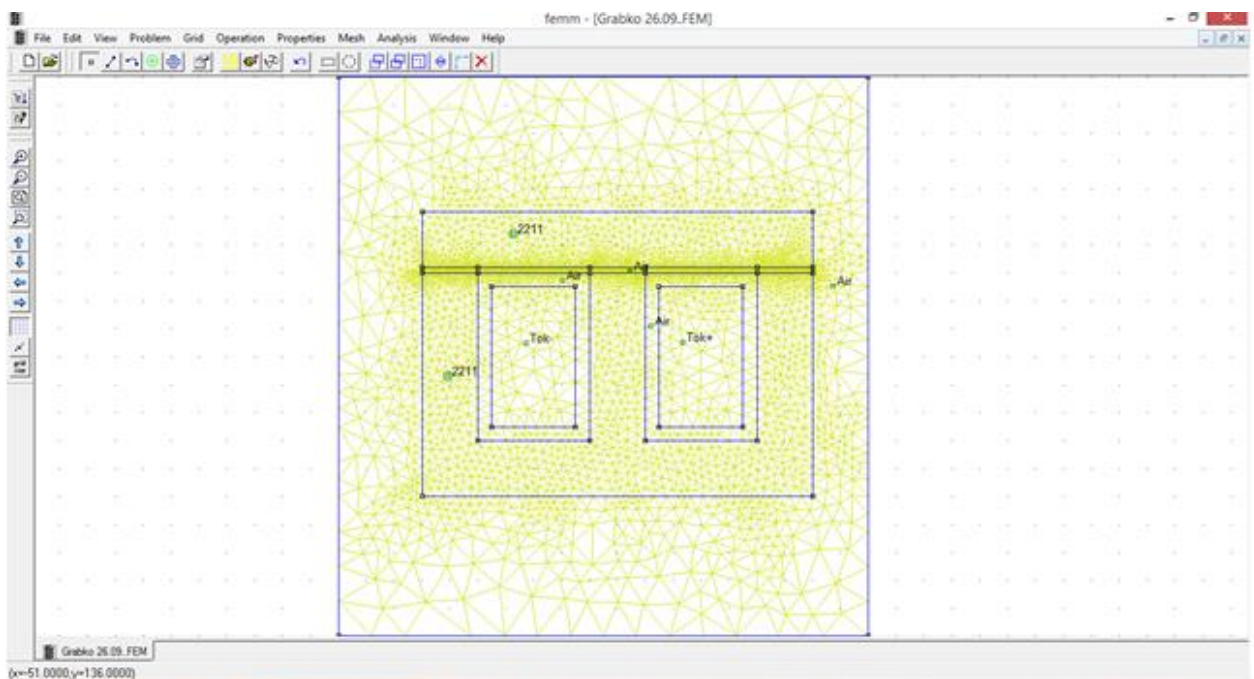


Рис 2.7 - Побудова сітки

Побудова моделі закінчена і після збереження файл створеної геометрії можна приступити до розрахунку.

В результаті розрахунку можна переглянути розподіл ліній магнітної індукції (Рис 2.8) та колірну картину магнітної індукції (Рис 2.10).

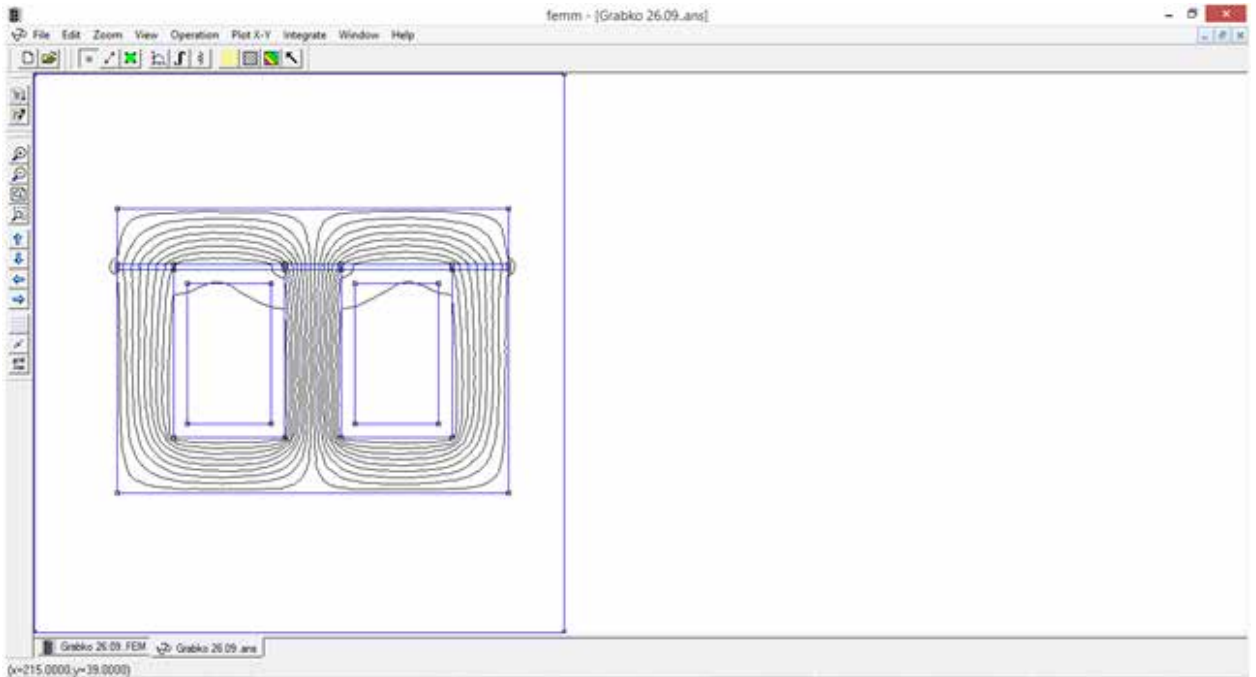


Рис 2.8 - Розподілення силових ліній магнітного потоку

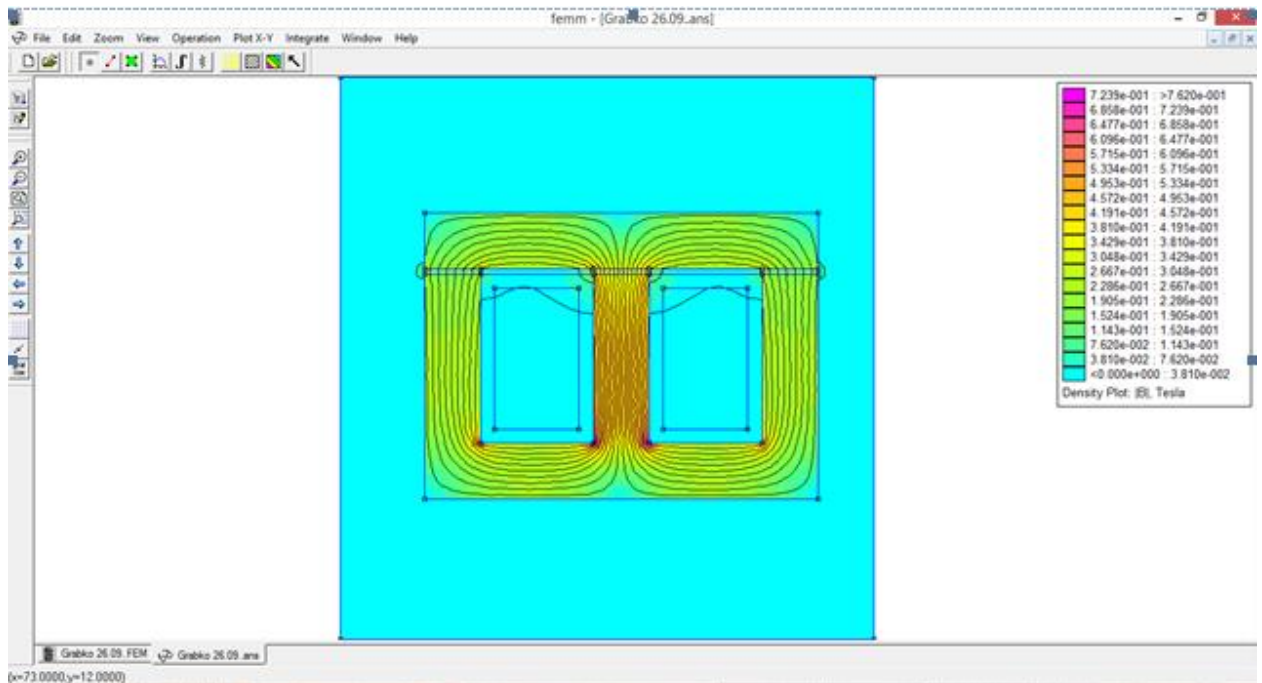


Рис 2.9 - Кольорове зображення розподілення магнітного потоку

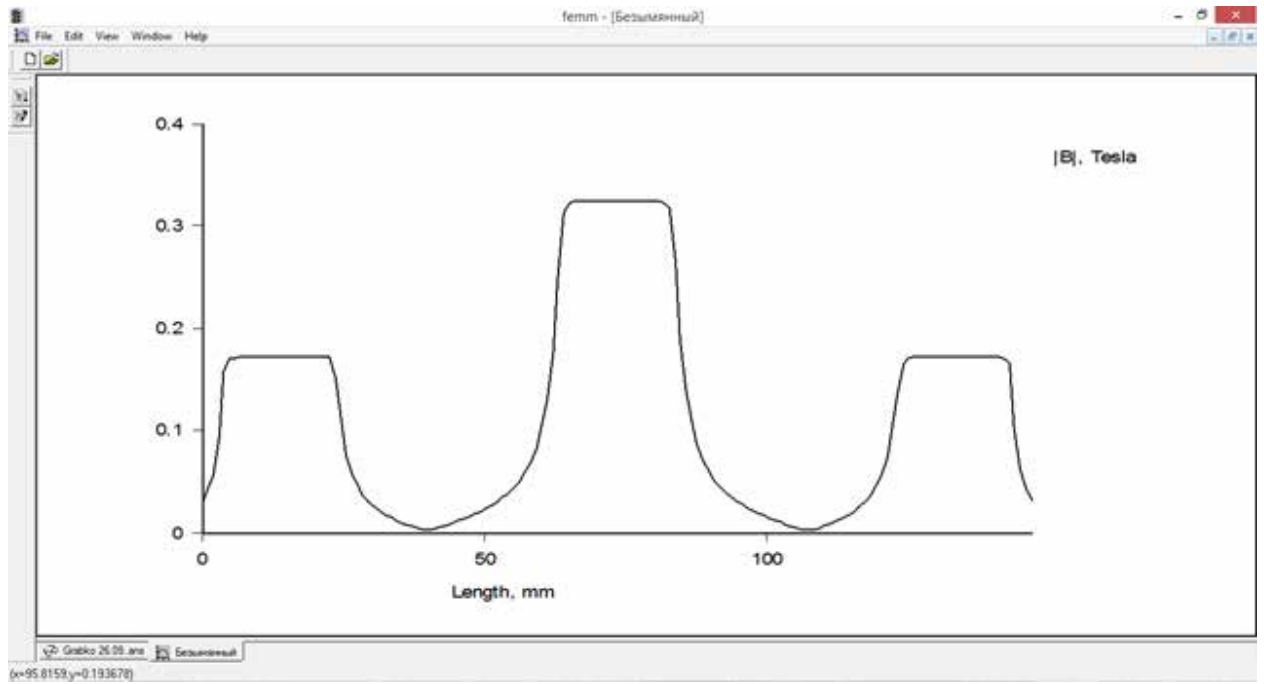


Рис 2.10 - Графік зміни індукції в повітряному зазорі

2.3 Висновки використання обраних методів

Під час розгляду даного розділу були використано різні методи дослідження такі як аналіз інформації використовуючи різні джерела та моделювання яке виконувалося в спеціалізованій програмі. Втрати в трансформаторі це в основному втрати в міді з якої складаються переважно обмотки силових трансформаторів та втрати заліза які відбуваються в магнітопроводі . Провівши також моделювання в програмі можна зробити висновки що самі головні складові трансформатора і є причинами втрат які залежать від навантаження та від номінальної напруги яка подається на первинну обмотку.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТА МЕТОДИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

3.1 Розрахунок втрат трифазних силових трансформаторів

Паспортні дані силових трансформаторів

Таблиця 3.1

Тип трансформатора	S_n , кВА	Напруга ВН U_{1n} , кВ	Напруга НН U_{2n} , кВ	Схема та група з'єднання	Втрати, Вт		$u_k\%$, %	$i_0\%$, %	D , м
					P_o	$P_{к.н}$			
ТМ 25/10	25	10	0,4	Y/Z _H -11	135	690	4,7	3,2	0,08
ТМ 40/10	40	10	0,4	Y/Z _H -11	190	1000	4,7	3,0	0,1
ТМ 63/10	63	10	0,4	Y/Y _H -0	240	1280	4,5	2,8	0,11
ТМ 100/10	100	10	0,4	Y/Z _H -11	365	2270	4,7	2,6	0,12
ТМ 160/10	160	10	0,4	Y/Y _H -0	510	2650	4,5	2,4	0,16
ТМ 250/10	250	10	0,4	Y/Y _H -0	740	3700	4,5	2,3	0,16

Проведемо розрахунок втрат активної та реактивної енергії в залежності від паспортних даних трансформаторів

Втрати активної електроенергії розраховуються за формулою

$$\Delta W_P = \Delta W_{P_{xx}} + \Delta W_{P_{к.з.}} = \Delta P_{xx} T_{п} + K_3 \Delta P_{к.з.} T_{р}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.1)$$

Коефіцієнт завантаження розраховується за формулою

$$K_3 = \frac{S_{\Phi}}{S_n} \quad (3.2)$$

Фактична потужність трансформатора розраховується за формулою

$$S_{\Phi} = \sqrt{P_{\Phi}^2 + Q_{\Phi}^2}, \text{ Ква} \quad (3.3)$$

Фактичне споживання активної енергії визначається за формулою

$$P_{\Phi} = \frac{WP_{\Phi}}{T_p}, \quad \text{кВт} \quad (3.4)$$

Фактичне споживання реактивної енергії визначається за формулою

$$Q_{\Phi} = \frac{WQ_{\Phi}}{T_p}, \quad \text{кВар} \quad (3.5)$$

Втрати реактивної потужності розраховуються за формулою

$$\Delta WQ = \Delta WQ_{\text{хх}} + \Delta WQ_{\text{к.з.}} = \Delta Q_{\text{хх}} T_{\text{п}} + K_3 \Delta Q_{\text{к.з.}} T_p, \quad \text{кВар} \cdot \text{год} \quad (3.6)$$

При холостому ході втрати розраховуються

$$\Delta Q_{\text{х.х.}} = S_{\text{н}} \cdot \frac{I_{\text{хх}}}{100}, \quad \text{кВар} \quad (3.7)$$

При короткому замиканні

$$\Delta Q_{\text{к.з.}} = S_{\text{н}} \cdot \frac{U_{\text{к.з.}}}{100}, \quad \text{кВар} \quad (3.8)$$

Відповідно за формулами проводимо розрахунки

Для трансформатора 25 кВА

$$P_{\Phi} = \frac{2750}{168} = 16,3 \quad \text{кВт} \quad (3.9)$$

$$Q_{\Phi} = \frac{2750 \cdot 0,8}{168} = 13,09 \quad \text{кВар} \quad (3.10)$$

$$S_{\Phi} = \sqrt{16,3^2 + 13,09^2} = 20,9 \text{кВА} \quad (3.11)$$

$$K_3 = \frac{20,9}{25} = 0,83 \quad (3.12)$$

$$\Delta WQ = 0,135 \cdot 720 + 0,83^2 \cdot 0,69 \cdot 168 = 177,05 \quad \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (3.13)$$

$$\Delta Q_{\text{х.х.}} = 25 \cdot \frac{3,2}{100} = 0,8 \text{ кВар} \quad (3.14)$$

$$\Delta Q_{\text{к.з.}} = 25 \cdot \frac{4,7}{100} = 1,1 \text{ кВар} \quad (3.15)$$

$$\Delta WQ = 0,8 \cdot 720 + 0,83^2 \cdot 1,1 \cdot 168 = 703,3 \text{ кВар} \cdot \text{год} \quad (3.16)$$

Для трансформатора 40 кВА

$$P_{\Phi} = \frac{4500}{168} = 26,7 \text{ кВт} \quad (3.17)$$

$$Q_{\Phi} = \frac{4500 \cdot 0,8}{168} = 21,4 \text{ кВар} \quad (3.18)$$

$$S_{\Phi} = \sqrt{26,7^2 + 21,4^2} = 34,2 \text{ кВА} \quad (3.19)$$

$$K_3 = \frac{34,2}{40} = 0,85 \quad (3.20)$$

$$\Delta WP = 0,19 \cdot 720 + 0,85^2 \cdot 1 \cdot 168 = 305,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.21)$$

$$\Delta Q_{\text{х.х.}} = 40 \cdot \frac{3}{100} = 1,2 \text{ кВар} \quad (3.22)$$

$$\Delta Q_{\text{к.з.}} = 40 \cdot \frac{4,7}{100} = 1,8 \text{ кВар} \quad (3.23)$$

$$\Delta WQ = 1,2 \cdot 720 + 0,85^2 \cdot 1,8 \cdot 168 = 1082,4 \text{ кВар} \cdot \text{год} \quad (3.24)$$

Для трансформатора 63 кВА

$$P_{\Phi} = \frac{6500}{168} = 38,6 \text{ кВт} \quad (3.25)$$

$$Q_{\Phi} = \frac{6500 \cdot 0,8}{168} = 30,9 \text{ кВар} \quad (3.26)$$

$$S_{\Phi} = \sqrt{38,6^2 + 30,9^2} = 49,4 \text{ кВА} \quad (3.27)$$

$$K_3 = \frac{49,4}{63} = 0,78 \quad (3.28)$$

$$\Delta W P = 0,24 \cdot 720 + 0,78^2 \cdot 1,28 \cdot 168 = 303,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.29)$$

$$\Delta Q_{x.x.} = 63 \cdot \frac{2,8}{100} = 1,7 \text{ кВар} \quad (3.30)$$

$$\Delta Q_{к.з.} = 63 \cdot \frac{4,5}{100} = 2,8 \text{ кВар} \quad (3.31)$$

$$\Delta W Q = 1,7 \cdot 720 + 0,78^2 \cdot 2,8 \cdot 168 = 1510,1 \text{ кВар} \cdot \text{год} \quad (3.32)$$

Для трансформатора 100 кВА

$$P_{\Phi} = \frac{9500}{168} = 56,5 \text{ кВт} \quad (3.33)$$

$$Q_{\Phi} = \frac{9500 \cdot 0,8}{168} = 45,2 \text{ кВар} \quad (3.34)$$

$$S_{\Phi} = \sqrt{56,5^2 + 45,2^2} = 72,3 \text{ кВА} \quad (3.35)$$

$$K_3 = \frac{72,3}{100} = 0,72 \quad (3.36)$$

$$\Delta W P = 0,365 \cdot 720 + 0,72^2 \cdot 2,27 \cdot 168 = 460,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.37)$$

$$\Delta Q_{\text{х.х.}} = 100 \cdot \frac{2,6}{100} = 2,6 \text{ кВар} \quad (3.38)$$

$$\Delta Q_{\text{к.з.}} = 100 \cdot \frac{4,7}{100} = 4,7 \text{ кВар} \quad (3.39)$$

$$\Delta W Q = 2,6 \cdot 720 + 0,72^2 \cdot 4,7 \cdot 168 = 2440,5 \text{ кВар} \cdot \text{год} \quad (3.40)$$

Для трансформатора 160 кВА

$$P_{\Phi} = \frac{16000}{168} = 95,2 \text{ кВт} \quad (3.41)$$

$$Q_{\Phi} = \frac{16000 \cdot 0,8}{168} = 76,1 \text{ кВар} \quad (3.42)$$

$$S_{\Phi} = \sqrt{95,2^2 + 76,1^2} = 121,8 \text{ кВА} \quad (3.43)$$

$$K_3 = \frac{121,8}{160} = 0,76 \quad (3.44)$$

$$\Delta W_P = 0,51 \cdot 720 + 0,76^2 \cdot 2,65 \cdot 168 = 624,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.45)$$

$$\Delta Q_{\text{х.х.}} = 100 \cdot \frac{2,4}{100} = 2,4 \text{ кВар} \quad (3.46)$$

$$\Delta Q_{\text{к.з.}} = 100 \cdot \frac{4,5}{100} = 4,5 \text{ кВар} \quad (3.47)$$

$$\Delta W_Q = 2,4 \cdot 720 + 0,76^2 \cdot 4,5 \cdot 168 = 2164,6 \text{ кВар} \cdot \text{год} \quad (3.48)$$

Для трансформатора 250 кВА

$$P_\Phi = \frac{24500}{168} = 145,8 \text{ кВт} \quad (3.49)$$

$$Q_\Phi = \frac{24500 \cdot 0,8}{168} = 116,6 \text{ кВар} \quad (3.50)$$

$$S_\Phi = \sqrt{145,8^2 + 116,6^2} = 186,6 \text{ кВА} \quad (3.51)$$

$$K_3 = \frac{186,6}{250} = 0,74 \quad (3.52)$$

$$\Delta W_P = 0,74 \cdot 720 + 0,74^2 \cdot 3,7 \cdot 168 = 873,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.53)$$

$$\Delta Q_{\text{х.х.}} = 100 \cdot \frac{2,3}{100} = 2,3 \text{ кВар} \quad (3.54)$$

$$\Delta Q_{\text{к.з.}} = 100 \cdot \frac{4,5}{100} = 4,5 \text{ кВар} \quad (3.55)$$

$$\Delta WQ = 2,3 \cdot 720 + 0,74^2 \cdot 4,5 \cdot 168 = 2069,9 \text{ кВар} \cdot \text{год} \quad (3.56)$$

3.2 Порівняння отриманих результатів

Розрахунок втрат виконувався для силових трансформаторів різної номінальної потужності від 25 до 250 кВА , можна зробити висновок що отримані результати залежать від паспортних даних трансформатора такі як втрати холостого ходу, втрати короткого замикання, напруга короткого замикання, струм холостого ходу , а також від коефіцієнта завантаження та від календарного числа роботи трансформатора , кількості годин роботи трансформатора під навантаженням.

3.3 Висновки теми дослідження

В даній роботі було розглянуто аналіз джерел втрат в трифазних силових трансформаторах . Був проведений огляд трифазних трансформаторів , їх будова в залежності від типу це маслонаповнені та сухого виконання включаючи їх конструктивні особливості: магнітопровід , обмотки.

Також було розглянуто інновації які дозволяють поліпшити роботу трансформатора такі як використання сучасних ізоляційних матеріалів, використання розумних систем моніторингу та контролю, використання систем ефективного охолодження та розсіювання тепла. Також було виконання аналіз джерел втрат та їх вплив на трансформатор , головними втратами в трансформаторі є втрати міді та втрати заліза , було проаналізовано вплив гістерезису та вихрових струмів на оптимальну роботу трансформатора. Також за допомогою програми FEMM 4.0.1 виконано моделювання досліджуючи зміну магнітного потоку та величин індукції в магнітопроводі. Також були проведені аналітичні розрахунки втрат в трансформаторах як реактивної та активної складової та зроблені певні висновки

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1 Пожежна безпека

Пожежна небезпека електроустановок зумовлена наявністю в електрообладнанні яке використовуються ізоляційних матеріалів які підтримують горіння. Горючою є ізоляція обмоток електричних машин, трансформаторів, різних електромагнітних пристроїв таких як контактори, реле, прилади автоматики . Конденсатори з паперово-масляною ізоляцією є також горючою. Небезпечною яка може спричинювати пожежі є ізоляція проводів і кабелів.

Різновиди лаків та компаунди, трансформаторне масло, бітум, каніфоль, сірка та інші електроізоляційні і конструкційні матеріали є також горючими та пожежонебезпечними [7,10с]

Електроізоляційні матеріали які використовуються в електричних машинах, трансформаторах і апаратах за їх нагрівостійкістю поділяються на сім класів за ГОСТ 8865-70. Кожний клас має гранично припустимі робочі температури. Теплота, яка виділяється ізольованими провідниками при проходженні по них електричного струму, викликає підвищення температури. Коли по провіднику протікають достатні перевантаження по струму і особливо при проходженні струмів КЗ температура ізоляції зростає настільки, що в більшості випадків спричинює загоряння.

Саму значну пожежонебезпеку спричиняють маслонаповнені апарати та пристрої такі як силові трансформатори, маломасляні та масляні вимикачі високої напруги, кабелі з паперовою ізоляцією, просоченою маслом.

При роботі силових трансформаторів масляного виконання можливе міжвиткове коротке замикання який в частині обмотки (витку) спричинює настільки велику величину струму, що в кінцевому випадку спричинює розкладання ізоляційного матеріалу з виділенням горючих газів. При відсутності нормального релейного захисту, що дає змогу відключати пошкоджений трансформатор, можливий вибух газової суміші з

руйнуванням стінок кожуха та наступним викидом палаючого масла в приміщення.

Масляні вимикачі високої напруги з більшим обсягом масла, які ще використовуються на електропідстанціях також небезпечні через можливість вибуху та викиду палаючого масла. Такі випадки мали місце, коли розривна потужність вимикача виявлялася недостатньою для гасіння електричної дуги, що утворюється між контактами в момент розриву кола при КЗ. Сьогодні застосовують маломасляні вимикачі, які практично не представляють пожежної небезпеки.

Достатню безпеку також складають масло наповнені кабелі високої напруги з паперовою ізоляцією. Загоряння ізоляції кабелю можливо при тривалому проходженні струмів перевантаження та коротких замиканнях при відмові (невідключені) спрацювання максимального струмового захисту.

Робота електродвигунів під час перевантаженням або від живлення двох фаз тривалий час внаслідок неприпустимого перегріву обмоток також може призвести до загоряння ізоляції їх обмоток. Значну пожежну небезпеку представляють комутаційні апарати відкритого типу та відкриті плавкі запобіжники, у яких при відключенні струмів, а також при перегорянні плавкої вставки виникає небезпечне іскроутворення. Тому, як правило, рубильники, перемикачі та плавкі запобіжники слід застосовувати закритого виконання.

Зварювання під час якого утворюється електрична дуга також може спричинити виникнення пожежі, попри це також робоче місце електрозварювальника наповнене достатня кількість часток розплавленого металу.

Також причиною виникнення пожежі може бути лампа розжарювання, якщо її номінальна потужність не є рівнозначною типу світильника, і як наслідок це призводить до перегріву контактних з'єднань і проводів також можливе загоряння ізоляції проводу чи кабелю. Суттєву небезпеку також несуть електронагрівальні прилади побутового та виробничого характеру що

також може призвести до пожежі.

Надаючи значення пожежній небезпеці електроустановок, ПУЕ(Правила Улаштування Електроустановок) встановлюють певні заходи вимог до електрообладнання при проектуванні та монтажі та експлуатації.

Вимоги пожежної безпеки при експлуатації електроустановок

Електричні машини та апарати, які знаходяться в електроустановках, повинні мати захист ізоляційного матеріалу від дії навколишнього середовища та бути пожежобезпечними та запобігати виникнення вибуху.

Проектування електричних мереж та монтаж електрообладнання напругою до 1000 В пожежонебезпечних установок слід виконувати відповідно до ПУЕ, розділ VII «Електрообладнання спеціальних установок» та Інструкцією ВСН 294-72.

Використання електропроводок

Монтаж відкритої електропроводки який виконується в пожежонебезпечних зонах дозволяється виконувати по негорючим конструкціям і поверхнях виконаними ізольованими проводами АПВ, АППВ, проводка яка виконується в сталевих трубах проводами марок ПРТО та АПРТО, в пожежонебезпечних зонах усіх класів використання неізольованих проводів суворо заборонено.

Згідно нормативних документів по експлуатації електроустановок в пожежонебезпечних зонах різних класів можуть застосовуватися електричні машини з класами напруги до 10 кВ за умови, що їх оболонки мають ступінь захисту за ГОСТ 17494-72.

Частини електричних машин які під час своєї роботи мають іскри за повинні знаходитися не менше 1 м від горючих речовин.

Електричні апарати, шафи, прилади, та клемники, що очищуються від пилю використання чистого повітря спрямованим під тиском та апарати і прилади в маслонаповненому виконанні як виняток становить кисневі установки та підйомні механізми).

Монтаж розподільних пристроїв напругою вище 1000 В в пожежоне-

безпечних приміщеннях не є рекомендованим, але при потребі допускається якщо застосовуються щити і шафи закритого виконання. Допускається в спорудах усіх класів відкритий монтаж КТП(комплектних трансформаторних підстанцій) з трансформаторами сухого типу, встановленими з відповідною вимогою безпеки у вигляді огороження.

Також дозволяється в даних зонах розміщувати закриті трансформаторні підстанції з маслонаповненими трансформаторами, але за умови що двері камер трансформаторів і комплектних конденсаторних установок(ККУ) не виходять в пожежонебезпечні приміщення.

Засоби гасіння пожеж

Залежно від обставин, які склалися гасіння пожежі можна виконати такими способами:

перекрити доступ кисню в зону горіння

охолодити зону займання до температури нижче температури самогоріння

виконати розбавлення горючих речовин негорючими

інтенсивно зменшувати вплив хімічних реакцій у полум'ї;

Речовини, які використовуються для гасіння пожеж, перебувають в рідкому, твердому, пароподібному та газоподібному стані і мають спеціальні властивості до яких належать високий ефект гасіння пожежі, є нешкідливими та безпечними для людини під час зберігання та користування. Засоби гасіння пожежі мають подвійний вплив на процес горіння.

Вода охолоджує зону горіння нижче температури самозаймання та розводить горючі речовини як негорюча речовина. Виконувати гасіння пожежі в електроустановках в яких є проходить горіння легкозаймистих речовин хімічної природи водою заборонено. В більшості випадків електроустановки можуть перебувати під напругою, тому гасити пожежі водою не можна, оскільки це призведе до ураження електричним струмом. Горючі речовини, які є легшими чим вода спливають на її поверхню та продовжують горіння це в свою чергу призводить пожежі більших

масштабів.

Піну застосовують для гасіння пожежі твердих речовин, які не можливо погасити водою. Піна швидко не дає доступу повітря до зони горіння. Тому є ефективнішою за воду.

Дозволяється також використання піска для гасіння пожежі в електроустановках які знаходяться під напругою, автомобілів, двигунів внутрішнього згорання. Переваги піску є те що він охолоджує зону горіння, що в свою чергу припиняє доступ повітря, що в кінцевому випадку припиняє реакцію горіння.

Вуглекислота сприяє швидкому утворенню великої кількості газу і як наслідок утворенню снігу з температурою -79 градусів, який ефективно й інтенсивно відбирає теплоту в зоні загорання. Вогнегасниками даного типу дозволяється гасіння усіх речовин, які не дозволяється гасити водою.

Пожежні засоби призначаються для ліквідації пожеж на початку та їх зупинення та поділяються на:

пожежні машини та установки;

первинні засоби пожежогасіння, пожежні інструменти, вогнегасники;

пожежна сигналізація, установки автоматичного пожежогасіння.

Пожежні машини призначені для виготовлення вогнегасних речовин: газу, повітряномеханічної піни, аерозольних сумішей, порошоків, снігоподібної маси. Вони бувають стаціонарні і пересувні.

Первинні засоби пожежогасіння встановлюють на спеціально обладнаних щитах. Щити встановлюють з певними нормами щоб до найвіддаленішої будівлі було 100 м, до сховищ з вогнебезпечними матеріалами не більше 50 м.

Засоби для гасіння пожежі помічають червоним кольором, а їх надписи та на щитах роблять білим кольором.

Вогнегасником є переносний пересувний пристрій який призначений для гасіння пожежі який під тиском випускає вогнегасну речовину .

Переносні вогнегасники є оперативними засобами для ліквідації

невеликих пожеж.

Також є пересувні вогнегасники які знаходяться на колесах або візку. П Вогнегасники виготовляють різних типів такі як рідинні, вуглекислотні, порошкові.

Рідинний вогнегасник це вогнегасник в якому речовиною для гасіння є вода або вода з домішками, даними вогнегасниками заборонено гасити пожежі електроустановках, які знаходяться під напругою.

Повітряно-пінний вогнегасник це вогнегасник, речовиною для гасіння в якому є водяний розчин . Цей вогнегасник використовується для гасіння речовин твердої групи.

На деяких підприємствах продовжують використовувати хімічно-пінні вогнегасники ВХП-10, випуск яких вже припинено (рис. 4.1).

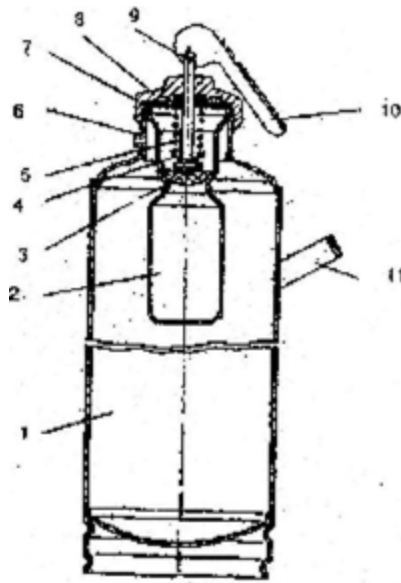


Рисунок 4.1 - Вогнегасник хімічний пінний ВХП-10:

1 - корпус; 2 - стакан; 3 - клапан; 4 - шайба упорна; 5 - пружина; 6 - сприск; 7 - кільце ущільнювальне; 8 - кришка; 9 - шток; 10 - важіль запуску; 11 - ручка.

Для того щоб вогнегасником можна було користуватися, треба проколоти мембрану та прочистити отвір сприска, повернути ручку на 180°, перевернути вогнегасник догори нижньою частиною та трохи потрусити.

Використання даного вогнегасника на протязі 60 секунд при цьому довжина струменя рідини становить близька 8 метрів.

Вуглекислотний вогнегасник є приладом багаторазового використання з зарядом вуглекислоти. Його переважно використовують середині приміщень.

Об'єм вуглекислотних вогнегасників ВВ-2 та ВВ-5 становить 2 і 5 літрів , дані вогнегасники наповнюють речовиною діоксиду вуглецю під тиском 7 МПа (рис. 4.2). Даний вогнегасник необхідно використовувати виконуючи правила техніки безпеки, по перше направити розтруб на місце во згорання і відкрити вентильний механізм. Зазвичай використовують таку довжину струменя як 1,5-3 м з тривалістю використання вогнегасника 30-40 секунд.

Порошковий вогнегасник це вогнегасник, всередині якого знаходиться спеціальна речовина у вигляді порошку, що витискується з корпусу під тиском. Зазвичай його використовують для гасіння твердих об'єктів.

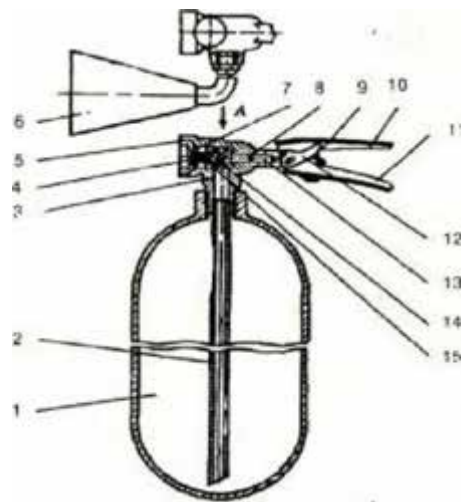


Рисунок 4.2 - Вуглекислотні вогнегасники ВВ-2 та ВВ-5:

1 - корпус; 2 - трубка сифонна; 3 - головка; 4 - запобіжна мембрана; 5 - гайка; 6 - розтруб; 7 - шайба; 8 - кільце ущільнювальне; 9 - запобіжна чека; 10 - важіль керування клапаном; 11 - ручка; 12 - кулачок; 13 - шток; 14 - клапан; 15 - пружина

Для вогнегасної речовини використовується порошок П-ІА.

Щоб привести вогнегасник в робоче положення необхідно: зняти ковпачок (12); кнопкою в кришці вогнегасника (14) вдарити об твердий предмет та направити струмінь порошку на місце локалізації пожежі. Тривалість дії даного вогнегасника до 10 секунд.

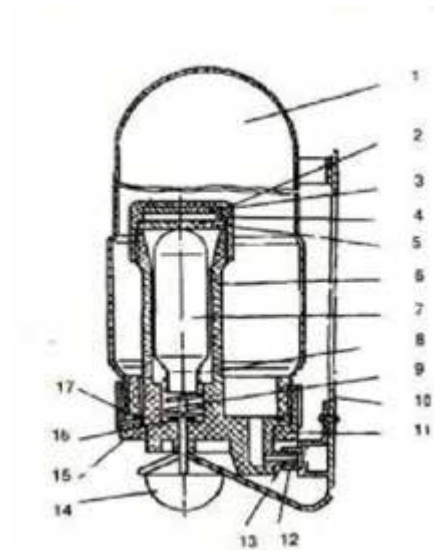


Рисунок 4.3 - Ручний порошковий вогнегасник ВП-1:

1 - корпус; 2 - кришка стакана; 3 - сітка; 4 - фільтр; 5 - прокладка гумова; 6 - стакан; 7 - балон з робочим газом; 8 - пружина; 9 - голка; 10 - кронштейн; 11 - гайка накидна; 12 - ковпачок; 13 - розпилювач; 14 - кнопка; 15 - головка; 16 - шайба ущільнювальна; 17 - кільце ущільнювальне.

Принцип дії і застосування вогнегасників майже однакові. Але відміною їх рисою є приведення їх в робоче положення. Тому кожний вогнегасник в залежності від його типу має інструкцію правильного використання і застосування.

Важливою частиною пожежної безпеки також є ручний пожежний інструмент призначений для ліквідації наслідків пожежі і складається з таких інструментів як гаки, ломи, сокири, пожежні відра, ножиці по металу.

Даний інструмент завжди розміщується в межах доступності готовим для використання в будь який момент. Використання пожежного

інструменту, різних типів вогнегасників ознайомлюють на вступному інструктажі на робочому місці.

Внутрішнє протипожежне водопостачання здійснюється пожежними кранами, які встановлюються на висоті 1,35 м від підлоги всередині приміщень

біля виходів, у коридорах, на сходових клітках. Кожний пожежний кран споряджається прогумованим рукавом та пожежним стволом. Довжина рукава - 10 або 20 м. Продуктивність кожного крана повинна бути не меншою, ніж 2,5 л/с. Витрати води на зовнішнє пожежогасіння беруться в залежності від ступеня вогнестійкості будівель, їх об'єму, категорії пожежо- і вибухонебезпеки виробництва у межах від 10 до 40 л/с.

Системи автоматичного пожежогасіння

В будівлях і спорудах з пожежонебезпечним виробництвом встановлюються автоматично діючі спринклерні або дренчерні системи для гасіння пожеж.

Спринклерні установки можуть бути водяні, повітряні і змішані. Це система труб прокладених по стелі. Вода в труби потрапляє із водогінної мережі. Спринклерні головки закриті легкоплавкими замками, що розраховані на спрацювання при температурі 72, 93, 141, та 182°C. Площа змочування одним спринклером становить від 9 до 12 м², а інтенсивність подачі води - 0,1 л/с/м. Важлива частина установки - контрольно-сигнальний клапан, який пропускає воду в спринклерну мережу, при цьому одночасно подає звуковий сигнал, контролює тиск води до і після клапана.

Повітряна система спринклерної установки застосовується в неопалюваних приміщеннях. Трубопроводи в таких системах заповнені не водою, а стисненим повітрям. Вода в них лише досягає клапана, а у випадку зривання головки спочатку виходить повітря, а потім вода. Змішані системи влітку заповнюються водою, а взимку - повітрям.

Дренчерні установки обладнуються розбризкувальними головками, які постійно відкриті. Вода подається в дренчерну систему вручну або

автоматично при спрацюванні пожежних сповіщувачів, котрі відкривають клапан групової дії.

4.2 Електробезпека

Виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

Система технічних засобів і заходів електробезпеки

Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки поділяються на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блоківки безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж; компенсацію ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, в електроустановках застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмовідних частин. Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність потраплянь людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в

електроустановках, що живляться від ізолюваної від землі мережі за умови відсутності фаз із пошкодженою ізоляцією. ГОСТ 12.1.009-76 розрізняє ізоляцію:

- робоча виконує нормальну роботу електроустановок та захищає від ураження електричним струмом обслуговуючий персонал
- додаткова забезпечує захист персоналу від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції
- подвійна має в своєму складі робочу і додаткову ізоляцію
- підсилена має поліпшену робочу ізоляцію, яка має такі властивості як і подвійна.

При проектуванні електроустановок опір ізоляції повинен бути в межах 1 кОм/В, коли технічні умови не потребують більш жорстких вимог відповідно до чинних нормативних актів. Для забезпечення ефективної роботи електроустановок та безпеки під час їх експлуатації необхідно проводити вимірювання стану ізоляції який характеризується електричною міцністю ізоляції, електричним опором. Для електроустановок напругою більше 1000 В виконують всі види випробування ізоляції, при напрузі до 1000 В – контролюється насамперед електричний опір і електрична міцність. Є прийнятно-здавальні випробування, які виконуються під час пусконаладжувальних робіт, післяремонтні які виконуються під час реконструкції електромереж та міжремонтні які виконуються в терміни згідно нормативних актів. Вимірювання опору переносних світильників, переносного електричного ручного інструменту проводиться кожні 6 місяців, зварювального устаткування один раз рік. Величина опору ізоляції повинна бути не менше 0,5 МОм, а для переносного електроінструменту – 1 Мом [8,13с].

Закриття струмоведучих частин для безпеки персоналу. Якщо взяти до уваги данні про електротравматизм то більшість електричних травм є пов'язаними з дотиком до струмоведучих частин електроустановок. В більшості випадках в установках до 1000 В небезпека електротравм

пов'язана з можливим дотиком до неізолюваних струмоведучих частин електроустановок, а в електроустановках більше 1000 В електротравматизм можливий й при дотику до ізолюваної струмоведучої частини. До основних заходів для недоступності струмоведучих частин є використання захисних огорожень, закритих комутаційних апаратів, розміщення неізолюваних струмоведучих частин на безпечній відстані що унеможлиблює ненавмисне доторкання до них інструментом на висоті.

Застосування блокувань безпеки використовується в електроустановках при експлуатації яких пов'язана з періодичним оглядом огорожених струмоведучих частин, комутаційних апаратах, ненавмисне вимкнення яких може призвести до трагічних наслідків аварії чи нещасного випадку.

Головне призначення блокувань безпеки це заборонити доступ до струмоведучих частин без зняття напруги, уникнути помилкові оперативні дії персоналу під час експлуатації електроустановок, дотримання електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання без попереднього відключення його від джерела живлення. До основних видів блокувань безпеки відносять механічні, електричні та електромагнітні.

Механічні блокування безпеки виконуються в більшості випадків у вигляді механічних конструкцій.

Електричні блокування виконують розрив мережі живлення своїми спеціальними контактами які змонтовані на дверях огороження, розподільних щитах та шафах. Під час дистанційного управління електрообладнанням контакти блокування включати в кола управління пускового апарату разом з органами пуску. Це унеможлиблює подачу напруги на установку без замикання контактів електричного блокування.

До одного з варіантів електричних блокувань можна віднести поблокове виконання електричних апаратів, щитів і пультів управління з застосуванням закритих штепсельних рознімів. При видаленні такого блоку з загального

корпуса пульта (стійки) штепсельні розніми розмикаються, і напруга з блоку знімається автоматично.

Електромагнітні блокування знайшли своє застосування в більшості високовольтному обладнанні підстанцій такі як вимикачі, роз'єднувачі, заземлюючі ножі які використовуються в відкритих і закритих розподільних установках головною метою якого є логічна послідовність вмикання і вимикання обладнання. Їх переважно виконують, у вигляді стержневих електромагнітів. Стержень даного електромагніта при ввмкненні живлення його обмотки під дією пружини заходить у гніздо корпусу органа управління даного обладнання, що в свою чергу не дозволяє керувати даним органом. При подачі живлення на обмотку електромагніта його осердя втягується в котушку електромагніта, що забезпечує розблокування органа управління даним електрообладнанням і можливість необхідних маніпуляцій даним органом.

Одним з важливих елементів електроустановок є знаки розрізнення які допомагають персоналу орієнтуватись при виконанні монтажних робіт, ремонтних робіт, технічного обслуговування що забезпечує безпечне виконання робіт. До цих знаків відносять : маркування електроустаткування , проводів ,кабелів та шин , встановлення бірок , написів.

Монтаж електричних мереж які ізолювані від землі. Під час потрапляння людини під напругу від однофазної мережі та якщо відсутнє пошкодження ізоляції фаз, то через людину проходить величина струму з опором 10 Ом.

Коли присутні небезпечні умови праці то без дотримання техніки безпеки з недопущенням електротравм повине бути постійним, що передбачає автоматичне відключення електрообладнання в якій наявна пошкоджена ізоляція. Якщо взяти до уваги до нормативну документацію , різного характеру підприємств монтаж електричної мережі ізолюваної від землі повинен бути релкйний захист для контролю параметрів ізоляції. На

даний момент серед споживачів як промислового та побутового характеру найбільше застосування знайшли мережі які мають глухозаземлену нейтраль.

Захисне розділення електричних мереж. Як відомо щл опір ізоляції проводів та кабелів електричних мереж відносно землі та ємнісна складова струму замикання на землю залежні від довжини мережі та її периферії. Рациональний розподіл електричної мережі на певні частини, які є електрично не пов'язаними між собою за допомогою розподільних трансформаторів з коефіцієнтом трансформації який дорівнює одиниці дозволяє покращити опір ізоляції і зменшити величину ємності що дозволяє ефективно та безпечно працювати електроустановкам.

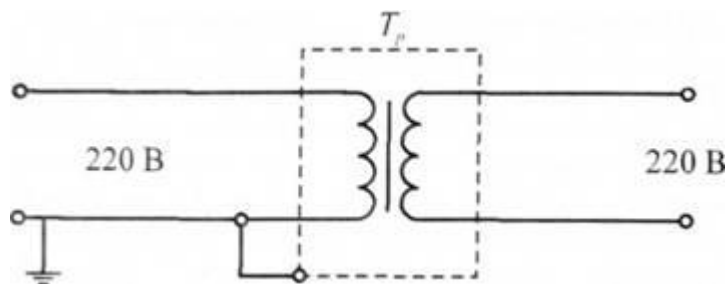


Рис 4.2 - Схема розділювального трансформатора

При користуванні схемою розділювального трансформатора як один засобів захисту електромереж потрібно дотримуватись певних вимог безпеки:

- повинна бути підвищена міцність самої конструкції та підвищений опір ізоляції
- даний трансформатор дозволяє живлення тільки одного електроприймача з апаратами захисту не більше 15 А
- не можна заземлювати вторинну обмотку трансформатора
- необхідно в обов'язковому порядку заземлювати корпус трансформатора

– номінальна напруга зі сторони низької обмотки трансформатора повинна бути не більше 380 В

Використання невеликих напруг. До низьких напруг які безпечно застосовувати відносять напруги 12-42 В змінного струму частотою 50 Гц і не більше 110 В постійного струму.

Напруга величиною 42 В змінного і 110 В постійного струму використовуються за умов де присутня підвищена небезпека електричних травм, для підключення ручного електроінструменту, ручних переносних ламп, світильників.

Напруга величиною 12 В змінного струму переважно застосовується для живлення переносних світильників де можливий великий ризик ураження електричним струмом. Але в більшості випадків дані світильники напругою 12 В живляться від стаціонарних електричних мереж, тому більшість пунктів живлення має спеціально обладнання для цього розетки які відрізняються від стандартних розеток. Коли немає можливості виконати стаціонарну мережу напругою 12В, виконують електричне живлення за допомогою знижувального трансформатора.

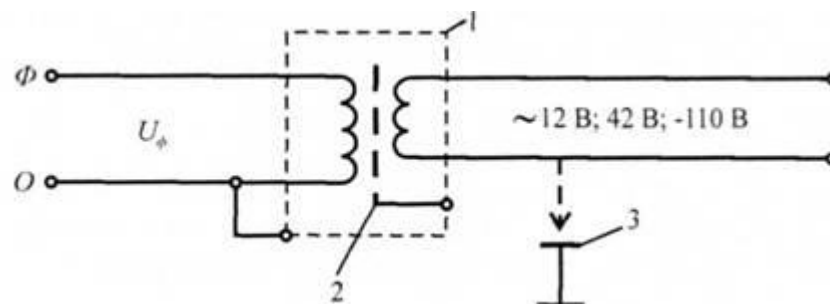


Рис 4.3 - Схема знижувального трансформатора:

1 – корпус трансформатора; 2 – заземлений екран; 3 – пробивний запобіжник

Підтримуючи заходи безпеки знижувальні трансформатори обмотки високої та низької напруги є не пов'язаними та є роз'єднаними спеціальним екраном. Передбачений в трансформаторі захист від пливу напруги обмотки

певинної на вторинну тому один з виводів вторинної обмотки заземлюється через захисний апарат такий як запобіжник пробивного типу.

Компенсація ємнісної складової струму замикання на землю. Як ми описували вище що мережах з ізольованою нейтраллю однофазних замикань на землю через людину при однофазному дотиці до струмовідних частин в величині струму присутня як активна так і ємнісна складова.

Щоб зменшити ємнісну складову струму замикання на землю використовують реактори, які являють собою спеціальні котушки які мають певну величину індуктивності та вмикаються нейтраллю мережі та заземленням створюючи спеціальний ефект.

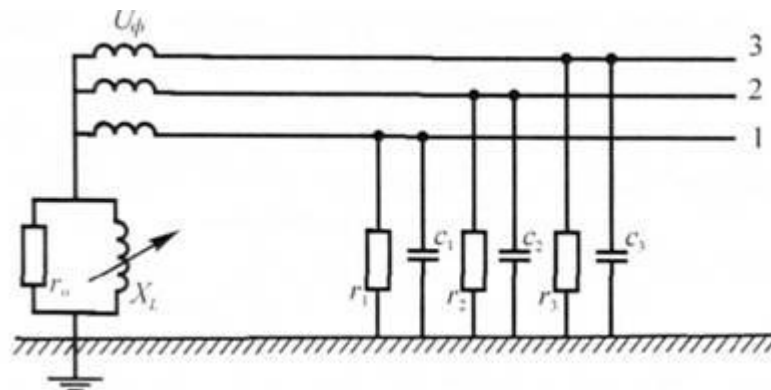


Рис 4.4 - Компенсація ємнісної складової струму замикання на землю

Величина активного опору реактора є близькою до опору ізоляції фазних проводів відносно землі що створює свого роду ізольований режим нейтралі. Попри це маючи певні величини індуктивності реактора та ємності мережі, можна компенсувати струм мережі. Конструктивні особливості реакторів дозволяють їм змінювати величину індуктивності в автоматичному форматі.

Застосування вирівнювання потенціалів. Даний захід застосовується для захисту від ненавмисного доторкання або від потрапляння під вплив крокової напруги в електромережах. Дана методика виконується наступним чином за рахунок спеціального підвищення потенціалу поверхні на якій

знаходиться людина до потенціалу струмоведучих частин до яких вона можливе випадкове доторкання.

Технічні заходи які попереджають виникнення електричних травм при потраплянні напруги на неструмоведучі частини електроустановок

Присутність напруги на неструмоведучих частинах електричних мереж можлива при пошкодженні ізоляції або іншої аварійної ситуації. До основних найпоширеніших технічних заходів для уникнення електротравматизму людини при замиканнях на корпус належать захисне заземлення, захисне занулення, пристрої захисного вимкнення.

Захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання з землею металевих неструмоведучих частин електроустановок, які можуть опинитись під напругою.

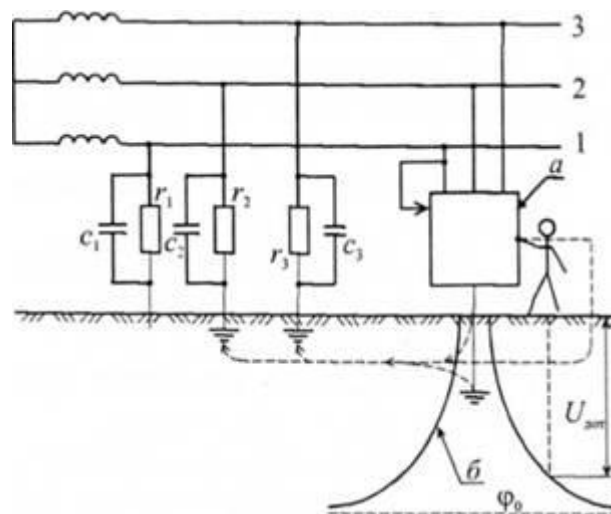


Рис 4.5 - Принципова схема функціонування захисною заземлення:
а – електроустановка; б- розподіл потенціалів на поверхні землі в зоні розтікання струму

Коли в установці пошкоджено ізоляція фазного провідника 1 (показано стрілкою на рис. 4.5 корпус електрообладнання опинеться під напругою. Коли людина доторкається в даному випадку до корпусу установки то це

буде рівноцінно доторканню до неізолюваного провідника. В результаті цього виникне мережа струму, аналогічна наведеній на рис 4.5

Коли заземлення знаходиться паралельно людині то воно буде як додатковий провідник для протікання струму тому величина струму замикання на землю буде розподілятися між даним провідником і людиною пропорційно обернено опорам, що в кінцевому випадку забезпечить захист людини від ураження електричним струмом.

Захисне заземлення виконується:

- в електроустановках напругою 380 В і 440 В постійного струму всіх не залежно від категорії електробезпеки
- в електроустановках напругою більше 42 В змінного струму та 110 В постійного струму
- в електроустановках , що знаходяться в вибухонебезпечних зонах.

Заземленню підлягають:

- корпуси електричних машин, силових трансформаторів
- металеві елементи розподільних щитів, шаф, щитів управління
- кабельні муфти , кабелі як високої та низької напруги
- металоконструкції виробничого обладнання, на якому є споживачі електроенергії

Не підлягають заземленню неструмоведучі частини електромереж, які розташовані на заземлених металоконструкціях .

Тому перш за все надійність та безпечність захисного заземлення залежить від опору заземлюючого пристрою та згідно нормативним документами повинна мати такі значення.

- 10 Ом для трансформаторів та генераторів до 100 кВА
- 4 Ом більше 100 кВА.

Величина опору заземлюючого пристрою електроустановок живляться більше 1000 В складає

- не більше 0,5 Ом в мережах з ефективно заземленою нейтраллю;
- в мережах з ізолюваною нейтраллю більше 10 Ом

До складу захисного заземлення входить заземлюючий пристрій та провідники які з'єднують заземлюючий пристрій з електроустановками, яке заземлюється.

В практичній складовій для заземлюючого провідника застосовують або мідні провідники перерізом 4 мм або сталеві стержні діаметром близько 5-10 мм. Заземлювачі з заземлюючими провідниками з'єднують між собою зварюванням, а до обладнання болтовим з'єднанням або ж зварюванням.

Заземлюючі пристрої поділяються на природні та штучні. В якості природних заземлюючих пристроїв використовуються прокладені в землі трубопроводи, оболонки кабелів, арматура будівель, що контактує з землею тощо. Штучні заземлюючі пристрої – це спеціально закладені в землі металоконструкції, призначені для захисного заземлення. В якості штучних заземлювачів прикладають в землю електроди.

Закладені в ґрунт вертикальні електроди, з'єднані металевою смугою в загальну мережу, використовуються, переважно, для цехових заземлюючих пристроїв при значній кількості електроустановок, що заземлюються, заземлюючих пристроїв відкритих трансформаторних підстанцій тощо. У цьому випадку заземлюючий пристрій виконується у вигляді контурного або виносного заземлення .

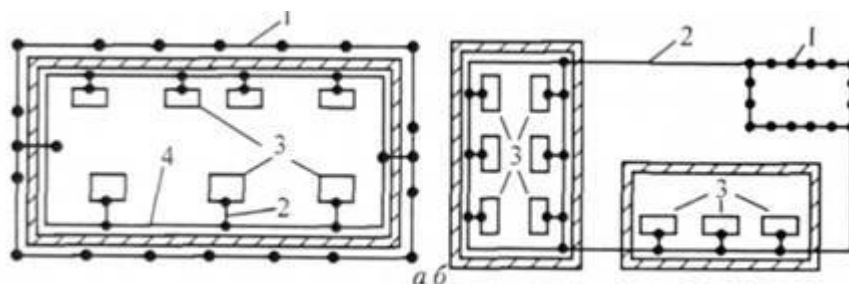


Рис 4.6 - Контурне (а) і виносне (б) заземлення:

- 1 – заземлюючі пристрої; 2 – заземлюючі провідники;
3 – обладнання, що заземлюється; 4 – внутрішня магістраль (контур)
заземлення

У випадку контурного заземлення в приміщенні відкрито, по будівельних конструкціях, споруджується внутрішній контур заземлення 4, з яким за допомогою з'єднувальних провідників 2 з'єднуються неструмовідні елементи обладнання 3, що заземлюється. Ззовні приміщення в ґрунті на глибині 0,7... 1,0 м споруджується контурний заземлюючий пристрій 1 (вертикальні електроди, з'єднані горизонтальним електродом).

4.3 Заходи з охорони праці

Основним завданням експлуатаційного ремонту і технічного обслуговування трансформаторних підстанцій є забезпечення надійного електропостачання споживачів [9,8с].

Належна технічна експлуатація силових трансформаторів повинна мати включати в себе надійне та безвідмовне проведення робіт пов'язаних з експлуатацією .

Планово-попереджувальні рем проводяться для недопущення появи і уникнення певних несправностей та пошкоджень. До даних робіт відносять:

- Огляди систематичного характеру
- виконання технічного обслуговування
- проведення капітальних ремонтів
- Виконання своєчасних вимірювань і спеціальних випробувань

Виконання планових оглядів силових трансформаторів виконуються по спеціальному графіку який затверджений керівником відповідальним за електрогосподарство, з частотою огляду раз в пів року. Виконання позачергових оглядів трансформаторів виконують після вимкнень внаслідок аварійної ситуації, виникненні перевантаження електрообладнання, зміна атмосферного фронту та погоди , за рішенням керівника .

Під час даних оглядів необхідно перевірити інженерний стан обладнання , відповідність його вимогам нормативно – правовій та технічній документації , дані огляди можна виконувати без відключення живлення.

Технічне обслуговування електромереж має ряд заходів, які спрямовані на запобігання елементів силових трансформаторів від передчасного зносу, для виявлення та заміну некоректно працюючого обладнання, для підтримання параметрів та показників електроустановки необхідній нормативно-технічній документації.

Обсяги, періодичність та терміни проведення технічного обслуговування трансформаторних підстанцій регулюються документацією

вищого керуючого інженерно-технічного робітника та за результатами певного огляду обладнань, випробувань електроустаткування та профілактичних робіт.

Під час технічного обслуговування виконується планове усунення неполадок та певних дефектів силового трансформатора. Виявленні дефекти трансформаторної підстанції усуваються оперативно.

Головна мета капітального ремонту полягає в коректній роботі електрообладнання що нормальну роботу шляхом встановлення сучасних деталей які мають кращі параметри ніж попередні пристрої устаткування.

Але важливою складовою при даному ремонті виконується також є перевірка всіх складових елементів трансформаторної підстанції з виявленням неполадок, виконання певним вимірювань та випробувань як високовольтних так і низьковольтних.

Термін проведення капітального ремонт трансформаторних підстанції виконується 1 раз в 8 років. Виконання капітального ремонту та технічного обслуговування високовольтних вакуумних та масляних вимикачів виконується згідно нормативно-технічної документації. Також вплив певних факторів таких як незадовільний стан будівлі де знаходиться електрообладнання, певні несправності можуть впливати на зміну графіків пов'язаних з технічним обслуговування погоджується в обов'язковому порядку за рішенням вищого інженерно-технічного керівництва відповідальним за електрогосподарство.

Під час проведення капітального ремонту обов'язково робиться запис в паспорті трансформаторної підстанції, а виконані роботи описуються в акті приймання трансформаторної підстанції з капітального ремонту, ця документація зберігається в паспорті трансформаторної підстанції до наступного капітального ремонту. Члени комісії з приймання трансформаторної підстанції при виконанні капітального ремонту затверджуються з вищого інженерного керівництва.

Роботи, які необхідно виконати в порядку поточної експлуатації, затверджуються вищим інженерним керівництвом. При виконанні технічного обслуговування і капітального ремонту необхідно повністю вимикати електроустановки, виконання даних робіт відбувається переважно в весняну та літню пора року, але є й певні виключення.

Після виконання технічного обслуговування та капітального ремонту електрообладнання повинно бути в стані надійності та безпечних умов експлуатації. Відповідно до посадових обов'язків майстра з ремонту і технічного обслуговування трансформаторних підстанцій до його повноважень належать такі види робіт.

Слідкувати за виконанням завдань підлеглим ремонтним персоналом планового та відновлювальних ремонтних робіт які виконані після аварійних ситуацій або аномальних режимів та виконання технічного обслуговування електрообладнання яке закріплене за даними працівниками.

Виконує періодичні огляди трансформаторних підстанцій, перевіряє те стан електроустановки, виконує роботи пов'язані з введенням та виведенням з ремонту обладнання

Є відповідальним за складське господарство пов'язане з прийманням та зберіганням електрообладнання, яке використовується під час ремонтних робіт, та є відповідальним за матеріали, запчастини, електроінструменту слюсарного інструменту. Проводить різного роду інструктажі обслуговуючому персоналу пов'язаних з кваліфікованим та безпечним виконанням робіт

Виконує оформлення та подає заявки на виведення в ремонт обладнання, проводить перевірку робочих місць, забезпечує поетапне проведення робіт з дотримання всіх необхідних заходів безпеки.

Є відповідальною особою за дотримання правильних дій при ремонті електрообладнання які дозволяють в певні строки виконати поставлене завдання;

Після виконаних робіт пов'язаних з ремонтом та технічним обслуговуванням майстер повинен перевірити виконану роботу, та бере участь в їх випробуванні та введенні в експлуатацію електрообладнання електроустановки

Виконує оформлення нормативної документації пов'язаних з виконаною роботою, виконую підрахунок кількості робочих годин, трудомісткості процесу та матеріалів;

Виконує необхідні роботи пов'язані з замовленням матеріалів та їх використання

Відповідальний за виконання робітників правил з охорони праці, правил технічної та безпечної експлуатації електроустановок, правил пожежної безпеки, трудового та виробничого розпорядку підприємства.

Окрім цього майстер є членом групи з розслідування аварій та інших порушень які призвели до нещасних випадків, значних збитків та матеріальних ресурсів та бере участь в прийнятті положень які запобігають різних порушень при роботі.

Є відповідальним за інноваційну складову з організацією ремонту та технічного обслуговування електрообладнання.

Правила забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації та ремонті електрообладнання силових трансформаторів

Загальні положення

Дія даної інструкції поширюється на виконання всіх служб ремонту підприємств.

Інструкція по охороні праці під час монтажу силових трансформаторів
Дана інструкція стосується ремонтних працівників які повинні пройти інструктаж, перед виконанням роботи пов'язаної з монтажом обладнання силових трансформаторів і електричних апаратів масляного типу які є на даному підприємстві.

Виконання робіт пов'язаних з монтажом електрообладнання силових трансформаторів дозволяється виконувати робітникам які досягли 18 років, та які пройшли певні етапи включаючи:

Спеціалізований медичний огляд і які мають дозвіл згідно огляду пр виконувати роботи в діючих електроустановках;

Мають необхідну професійно-технічну або вищу освіту в залежності від вимог які представляються до робочого персоналу, чи пройшли підготовку в учбових комбінатах та підвищення кваліфікації безпосередньо на підприємствах де вони працюють ;

Пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, з присвоєнням групи з електробезпеки

Спеціалізоване навчання та перевірку знань з пожежної безпеки;

вступний інструктаж який проводиться інженерами з охорони праці;

первинний інструктаж який проводиться вже безпосередньо на робочому місці

Працівники повинні знати правила трудового розпорядку на робочому місці, порядок переміщення по території об'єкта, місця відпочинку під час обідньої перерви, дата початку та закінчення роботи .

До виконання роботи бригада ремонтного персоналу повинна пройти первинний інструктаж на робочому місці де допускатч дає вказівки з дотриманням необхідних правил безпеки окрім цього працівники повинні знати правила надання первинної медичної допомоги в залежності від характеру травм.

Виконання робітниками роботи повинна бути та яка прописана в наряді після інструктажа керівника робіт.

Паління сигарет дозволено тільки в спеціально для цього місцях, де є урни.

Роботи які необхідно виконувати на робляться тільки тільки за допомогою спеціального монтажного поясу, драбин, підйомно-транспортних механізмів з дотриманням правил безпеки.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

Керівник робіт повинен

перевірити готовність обладнання та елементів необхідних для ремонту чи монтажних робіт

виконати налагодження виробничих процесів з можливістю взаємодії з різними будівельно-монтажними за відповідності проектною документацією виконання робіт, з застосуванням різних машин, механізмів та їх злагодженої роботи.

Провести ознайомлення робочого персоналу з правилами внутрішнього розпорядку підприємства .

Провести первинний інструкта для робітників до якого відноситься:

характер і методи безпечного виконання робіт

порядок прильного пересування по території підприємства в залежності від робочих місць

розповісти про наявність особливо небезпечних зон , відкритих каналів , траншей, відкритих прорізів, отворів в перекриттях та стінах, які несуть певну небезпеку для безпечного виконання роботи персоналом

Про порядок дії при розвантажувальних та складальних робіт пов'язаних з електрообладнанням та матеріалами

місця живлення зварювальних трансформаторів, трансформаторів безпеки, електричного інструменту, електричного електроосвітлення .

порядок та місця установки вантажно-підйомного обладнання та іншого переліку механізмів для роботи;

порядок роботи з пристроями роботи яких пов'язані з роботою на висоті

розміщення діючих електроустановок та зон по яким заборонено пересування

пункти надання першої та швидкої медичної допомоги , розташування пожежної охорони, особи відповідальної за виконання даних робіт з числа керівництва;

виконати перевірку з охорони праці та електробезпеки, пожежної безпеки з можливістю виконувати специфічні роботи пов'язаних з можливим виникнення небезпечних факторів, до них відносять зварювальні роботи, монтаж кабелонесучих конструкцій, тощо.

видавати наряд-допуск ремонтному персоналу при виконанні робіт пов'язаних з підвищеною небезпекою якщо є потреба з проведенням цільового інструктажу і виконавши запис в журнал реєстрації інструктажів з охорони праці. Підписи осіб які приймають участь в інструктажі є обов'язковими

попереджувати робітників що приєднання та від'єднання від мережі електрообладнання, механізмів, електроінструменту, крім робіт які пов'язані з оперативним перемиканням в електричних мережах необхідно здійснювати будівельного за наказом вищого керівництва відповідальним за живлення електромережі, якщо відсутні інші домовленості.

До переліку заходів які повинні виконати електромонтажники належать:

підготовка робочого місця прибравши всі предмети, які не використовуються для електромонтажу, зробити вільний доступ та проїзди до робочого місця, виконати перевірку освітлення для комфортних умов роботи, перевірити огорожі, та певні перекриття.

Виконати перевірку драбин, перевіривши інвентарні номер драбини, що зазначений в журналі, а також дату виконання наступного випробування;

Елементи висотних робіт та площадки мостового крану, які потрібно для монтажу електрообладнання силових трансформаторів повинні мати по всій ділянці де виконуються роботи спеціальну захисну огорожу певної висоти згідно нормативним актам

Виконувати всі роботи за допомогою засобів індивідуального захисту, в спеціальних діелектричних інструментах, перед цим перевіривши їх робочий стан

Необхідно перевірити що маслозабірна яма закрита необхідним захистом, підготовлені дренажні насоси , працює вентиляційна установка

Також необхідно всі допоміжні засоби необхідні перед монтажом силового трансформатора

Перевірити рейкову колію по яким буде відбуватися транспортування силового трансформатора з місця його привезення до місця встановлення на монтажний майданчик з наявністю вантажопідіймальною технікою та механізмами.

Вимоги техніки безпеки під час виконання роботи

При виконанні робіт пов'язаних з монтажом силових трансформаторів заборонено працювати на вулиці при сильному вітрі, грози, туману та інших ускладнених погодних умов

Виводи обмотки високої та обмотки низької напруг силових трансформаторів під час виконання електромонтажних робіт необхідно закорочувати та виконувати заземлення до закінчення виконання електромонтажних робіт . Перед початком сушіння силових трансформаторів під дією електричного струму бак трансформатора в обов'язковому порядку заземлюється.

Роботи пов'язані з силовим трансформатором виконують за допомогою спеціальних засобів які використовуються для роботи на висоті.

При виконанні строплення силових трансформаторів , його піднімають за спеціальні вуха призначені для транспортування та монтажу заводом який виготовив трансформатор, в випадках коли відбувається сильне відхилення стропів по вертикалі більше чим на 30° потрібно використовувати спеціальну траверсу. Виконувати роботи пов'язані з вантажною технікою з використання стропування електроустаткування, механізмів , дозволяється виконувати робітникам, які пройшли спеціальне навчання, здали екзамен та необхідний документ згідно нормативно-технічній документації.

Категорично забороняється виконувати демонтаж вантажопідіймальної техніки яка використовується для монтажу електрообладнання

Коли відбувається переміщення трансформатора по рельсах при необхідності його зупинки необхідно підставляти спеціальний елемент під його колеса який являє блокувальний механізм від випадкового руху трансформатора

Забороняється вставляти частини тіла та порушувати безпеку праці при переміщенні трансформатора підймальним механізмом .

Забороняється робити різного характеру роботи і перебувати біля або на трансформаторі , його елементах під час його переміщення.

Працювати всередині трансформатора якщо це передбачено при виконанні монтажних та налагоджувальних робіт необхідно тільки за умов, коли між кришкою і баком трансформатора є необхідні прокладки, які міцно утримують елементи активної частини трансформатора.

Заборонено виконувати монтажні роботи коли активна частина бака силового трансформатора знаходиться під впливом вантажо-підймального механізму.

Коли виконують промивку елементів активної частини силового трансформатора використовуючи гаряче масло потрібно бути в брезентовому костюмі, використовувати шкіряні черевики та спеціальні маслостійкі рукавиці.

Для дотримання безпеки зі сторони люка силового трансформатора необхідно щоб знаходився людина яка спостерігає за виконанням роботи всередині трансформатора та для зв'язку монтажним персоналом при виникненні ситуацій різного характеру

Висновки

В даній кваліфікаційній роботі магістра було розглянуто аналіз джерел втрат в трифазних силових трансформаторах. Результатом роботи є проведення аналізу джерел втрат трифазних силових трансформаторів, було проведено необхідні дослідження та моделювання для поліпшення роботи силового трансформатора, виконані розрахунки для трансформаторів, виконано розділ охорона праці та безпеки життєдіяльності.

Список літератури та електронних джерел інформації

1. https://boigor.blogspot.com/2020/04/blog-post_64.html
2. <https://www.tor-trans.com.ua/ua/drytrans.html>
3. <https://www.canwindg.com/uk/a-news-innovations-in-power-transformer-technology-for-enhanced-efficiency>
4. <http://ua.scotech-electrical.com/info/the-cause-of-transformer-loss-88793587.html>
5. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/enf/etem_2/3/index3.html
6. <http://ua.scotech-electrical.com/info/how-to-calculate-the-power-loss-of-transformer-65561990.html>
7. https://ohorona-praci.ucoz.ua/OPVG/Lekcii/tema_7.pdf
8. <https://studies.in.ua/bjd-gandzyuk/969-1810-sistemi-zasobv-zahodv-schodo-elektrobezpeki.html>
9. <https://studfile.net/preview/4395337/page:4/>