

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТ-
РІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ

ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

навчальної дисципліни «Монтаж та експлуатація електрообладнання
електроенергетичних систем» обов'язкових компонент
освітньо-професійної програма першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти

Електромеханіка

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.01.2023 № 1

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Протокол від 19.12.2022 № 5

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 27.01.2023 № 1

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 10.12.2022 № 8.

Розробники:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання,
к.т.н., доцент, викладач, Шокарьов Д.А..

Рецензенти:

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

Структура навчальної дисципліни

Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (заочна форма навчання)

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		Лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	
ТЕМА № 1 Умовні графічні та буквені позначення на електричних схемах.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 2 Електротехнічні та будівельні правила і норми.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 3 Класифікація електроустановок.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 4 Класифікація приміщень.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 5 Організація безпеки праці при монтажі.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 6 Електромонтажні матеріали.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 7 Електромонтажні вироби і деталі.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 8 Електромонтажні механізми, інструменти та пристосування.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 9 Інструменти і пристрої для з'єднання і окінцювання жил проводів і кабелів.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 10 Загальні поняття монтажу	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	

енергообладнання.							
ТЕМА № 11 Основні види та типи схем.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 12 Приймання об'єкту під монтаж	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 13 Технологія монтажу електричних проводок.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 14 Технологія виконання контактних з'єднань.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 15 Електрообладнання жилих будівель.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 16 Особливості монтажу електропроводок об'єкта.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 17 Основні характеристики та монтаж установок для освітлення та опромінення	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 18 Технологія монтажу заземлюючих пристроїв.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 19 Технологія монтажу електроприводів.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 20 Монтаж повітряних ліній.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 21 Монтаж силових трансформаторів	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 21 Монтаж силових трансформаторів.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
ТЕМА № 23 Монтаж низьковольтних комплектних пристроїв.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	К/р на 15 хвил.
ТЕМА № 24 Загальні напрямки розвитку енергозберігаючих технологій.	5	0,25	0	0,25	0,166	4,33	
Всього за семестр № 2	120	6	0	6	4	104	залік

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ВИВЧЕННЯ СПОСІБ СУШКИ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Навчальна мета заняття— вивчити способи сушіння ізоляції обмоток електродвигунів.

Кількість годин - 1 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять: 1-3

План проведення заняття.

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

Методичні вказівки

При самостійній підготовці до практичної роботи необхідно попередньо ознайомитись із конструкцією електродвигунів.

За підсумками самостійної підготовки складається звіт, який має містити перелік видів випробувань та відповіді на Навчальні питання. У ході практичної роботи необхідно розрахувати час сушіння та опір ізоляції обмоток асинхронного двигуна. Захист практичної роботи оцінюється диференціально та враховується під час контролю знань на іспиті.

1.1.Короткі теоретичні відомості

Способи сушіння ізоляції обмоток електродвигунів

У процесі експлуатації або навпаки, у процесі бездіяльності електродвигунів опір ізоляції обмоток може впасти до критичної позначки. Відбувається це через насичення ізоляції обмоток вологою.

Нижня межа опору ізоляції встановлена на позначці 0,5 МОм. При значеннях нижче цього експлуатація електродвигуна може призвести до небажаних наслідків – поломки електродвигуна. У такій ситуації проводиться сушіння обмотки.

Абсолютний опір, МОм, ізоляції для електричних машин, що пройшли капітальний ремонт, має бути не менше 0,5 МОм за температури 10 – 30 °С.

Існує кілька способів сушіння ізоляції, зупинимося на найпопулярніших. У разі значного зниження опору ізоляції обмотки двигуна її потрібно підсушити зовнішнім нагріванням, методом втрат у сталі або струмом короткого замикання. Зовнішнє нагрівання застосовують у тому випадку, якщо машина сильно відволожилася. Для

цього ізоляцію обмоток обдувають гарячим повітрям (рис. 1.1), використовуючи повітродувки з калориферами, лампи розжарювання та нагрівальні опори.

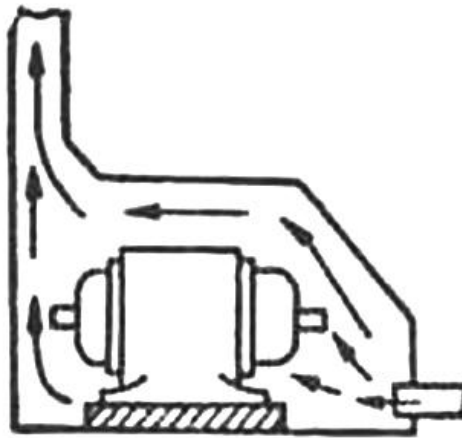


Рис. 1.1. Схема обдування ізоляції обмоток

Потужність нагрівальних елементів – $3 \div 10$ кВт. Одночасно можна пропускати через обмотки струм. Величину струму при цьому підтримують у межах $0,4 \div 0,7$ номінального струму електродвигуна. Для швидкохідних двигунів (вище 1000 об/хв) беруть нижні межі струму, а тихохідних (нижче 1000 об/хв) – вищі значення струму.

Критерієм зволоженості ізоляції обмоток електродвигунів служить опір ізоляції та відношення між опорами, виміряними через 60 і 15 с, зване коефіцієнтом абсорбції $K_{абс} = R_{60''} / R_{15''}$.

Коефіцієнт абсорбції завжди більше одиниці та збільшується в міру висихання ізоляції.

Включення електродвигунів, що знову вводяться в експлуатацію, а також пройшли капітальний ремонт зі зміною обмоток без сушіння, можливе на підставі результатів вимірювань, передбачених «Інструкцією з визначення можливості включення обертових електричних машин змінного струму без сушіння». Електродвигуни підлягають сушінню у разі зниження опору ізоляції, зменшення коефіцієнта абсорбції або збільшення коефіцієнта нелінійності порівняно з нормами, наведеними в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Нормовані значення характеристик ізоляції

Категорія електродвигуна	Опір ізоляції, МОм	Коефіцієнт абсорбції, не менше	Коефіцієнт нелінійності, K_n
Електродвигун потужністю понад 5000 кВт	Не менше значень, отриманих за формулою (1), при температурі обмотки 75 °С	1,3	Не більше 3
Електродвигун потужністю менше 5000 кВт	Не менше 1 МОм на 1 кВ номінальної напруги електродвигуна за температури обмотки 75 °С	1,2	

Коефіцієнт нелінійності

У машин, що мають зволожену ізоляцію, залежність струмів витоків від прикладеної випрямленої напруги нелінійна. Нелінійність тим більше, чим більше напруга, що прикладається. Нелінійність зволоженої ізоляції пов'язана з явищем іонізації, що настає при певній напрузі, та різким збільшенням у зв'язку з цим струму витoku.

Критерієм звоженості ізоляції служить коефіцієнт нелінійності K_n , що є ставленням опору ізоляції постійному струму, що визначається за значенням струму витoku при мінімальній випробувальній напрузі рівному $0,5U_{ном}$, до опору, що визначається за значенням струму витoku при $U_{ном}$

$$K_n = \frac{0,5U_{ном} \times I_{1,0}}{I_{0,2} \times U_{норм}}$$

де $I_{0,2}$ – струми $I_{1,0}$ витoku через 1 хв після застосування випробувальних напруг, рівних $U_{норм}$ і половині номінальної напруги електричної машини $0,5U_{норм}$.

Коефіцієнт нелінійності ізоляції, стан якої вважатимуться задовільним, має бути більше 3.

Мінімальне значення опору ізоляції при 75 °С обмоток електродвигунів R_{60} потужністю 5000 кВт і більше, при якому вони можуть працювати, визначається за формулою, МОм,

$$R_{60''} = \frac{U_{ном}}{1000 + 0,01S_{ном}},$$

де $U_{ном}$ - Номінальна лінійна напруга. В; $S_{ном}$ - Номінальна потужність, кВА .

Якщо опір ізоляції, визначений за формулою, буде нижче 0,5 МОм, то мінімальне допустиме значення приймають рівним 0,5 МОм.

Опір ізоляції обмотки зменшується зі збільшенням її температури.

Практично опір ізоляції вимірюється за температури обмотки значно нижче 75 °С. У цих випадках значення $R_{60''}$ отримане за формулою слід перерахувати шляхом множення її на температурний коефіцієнт, значення якого для інтервалу температур 10 – 75 °С наведені нижче:

Температура, °С	75	70	60	50	40	30	20	10
Температурний коефіцієнт, K_t	1	1,2	1,7	2,4	3,4	4,7	6,7	9,4

Найменші значення опору ізоляції обмоток електродвигунів потужністю до 5000 кВт включно, залежно від температури, наведені нижче:

Температура, °С	10	20	30	40	50	60	75
Опір ізоляції, МОм	60	40	30	20	15	10	6

Ротори синхронних електродвигунів не піддаються сушінню, якщо опір ізоляції обмотки при 10 - 30 ° С перевищує 0,2 МОм.

Для перевірки стану ізоляції після поточних та капітальних ремонтів, а також ремонтів з частковим або повним перемотуванням обмоток необхідно порівняти характеристики ізоляції ($R_{60''} > R_{60''} / R_{15''}, K_n$) з даними попередніх вимірювань та випробувань. Якщо ізоляція обмоток не задовольняє вимогам, викладеним вище, то електродвигун необхідно сушити. У процесі сушіння видаляється вологість, що міститься в ізоляції обмоток Сушіння електродвигунів може проводитися зовнішнім нагріванням струмом від стороннього джерела живлення, втратами в активній сталі Вибір методу сушіння залежить від типу електродвигуна, ступеня зволоженості ізоляції та наявності необхідного обладнання.

Перед сушінням електродвигун продувають сухим стисненим повітрям, перевіряють відсутність сторонніх предметів. Обмотку, що сильно відволожилася, можна сушити тільки шляхом зовнішнього нагріву і

лише в кінцевій стадії сушіння нагріваючим струмом. Орієнтовним критерієм допустимості сушіння струмом є опір ізоляції: 50 кОм – для обмотки статора та 20 кОм – для обмотки ротора синхронного електродвигуна. За будь-якого методу сушіння швидкість підйому температури обмотки повинна бути не більше 4 – 5 °С/год, тому що при більшій швидкості зростання температури можливі місцеві перегрівки окремих частин електродвигуна та пошкодження ізоляції через різні коефіцієнти лінійного розширення міді, ізоляції та активної сталі. При нагріванні електричним струмом найбільша температура в гарячому місці обмотки або сталі повинна бути не більше 80 °С при вимірюванні термометром, 100 °С при вимірюванні методом опору і 90 °С при вимірюванні терморезистором. При сушінні струмом корпус електродвигуна має бути заземлений. На рис. 1.2 показаний вид електродвигуна, підготовленого для сушіння статора ізоляції.

При сушінні зовнішнім нагріванням температура обмотки і сталі, виміряна термометром, не повинна перевищувати 100 °С.

Втрати в осерді статора при сушінні методом втрат створюються змінним магнітним потоком частотою 50 Гц аналогічно випробуванню активної сталі статора.



Рис. 1.2. Статор електродвигуна

Перед сушінням перевіряють розточування статора, оскільки наявність у ній сторонніх предметів може призвести до замикання пакета та його оплавлення. У процесі підвищення температури індукція повинна бути 0,8 – 1,0 Тл. При досягненні температури, коли передбачається сушити електродвигун, індукцію необхідно зменшити до 0,4 – 0,6 Тл. Її можна регулювати зміною числа витків напруги, що підводиться.

При сушінні методом втрат у сталі температура лобових частин обмотки буде нижчою, ніж температура пазової частини. Тому для вирівнювання температур в обмотку слід подавати змінний струм,

з'єднавши три фази в розімкнений трикутник і подавши напругу від частини обмотки, що намагнічує.

При сушінні постійним струмом його значення, як правило, дорівнює 50 - 70% номінального. Як джерело струму можна використовувати двигун-генератор. При сушінні три фази обмотки статора з'єднують послідовно. Для можливості регулювання струму схему живлення включають реостат. Середню температуру міді обмотки можна визначити за формулою

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + t_1) - 235,$$

де t_1 , t_2 - Температура в холодному стані і в процесі сушіння; R_1 , R_2 - Опір постійному струму обмотки в холодному стані та в процесі нагрівання; 235 – постійний коефіцієнт для міді.

Для додаткового нагрівання використовують калорифери. Один кінець кабелю від джерела постійного струму приєднують до однієї із фаз обмотки статора, а інший кінець – до загальної точки з'єднаних між собою двох інших фаз. Для рівномірного нагрівання обмотки доцільно перемикає кінці фаз двічі на добу. Доцільно цю роботу поєднати з вимірюванням показників ізоляції. Якщо джерело постійного струму не регульоване, то схему встановлюють реостат. Вимикання здійснюють поступовим зниженням напруги. До початку сушіння електродвигун утеплюють азбополотним . У першу добу сушіння значення струму підтримують постійним у межах 90 – 130 А з максимальною роботою калориферів задля забезпечення інтенсивного відведення вологи з поверхні ізоляції. Після прогріву протягом 24 год піднімають температуру обмотки до 80 - 90 ° С зі швидкістю нагрівання 2 - 3 ° С на годину. Перший вимір опору ізоляції ($R_{60''}$, $R_{15''}$) роблять через 48 год, наступні через кожні 12 год із записом у журналі сушіння. Сушіння переривають при виконанні наступних умов: опір ізоляції обмотки статора при температурі 80 – 90 ° С по закладеним терморезисторам має бути не менше 1000 МОм і має значення протягом трьох-п'яти вимірювань. При температурі обмотки 80 - 90 ° С коефіцієнт абсорбції повинен бути не менше 1,6 і має значення, що встановилося.

При температурі обмотки 20 - 30 ° С коефіцієнт абсорбції має бути не менше 1,3. Після досягнення цих параметрів вимірюють струми витоку.

Зразковий графік сушіння показано на рис. 1.3.

Після відключення нагрівання та охолодження статора до температури 20 – 30 °З знімають залежність струмів витоку від випробувальної напруги постійного струму. Напруга піднімають ступенями по 3 кВ за максимального значення 18 кВ постійного струму.

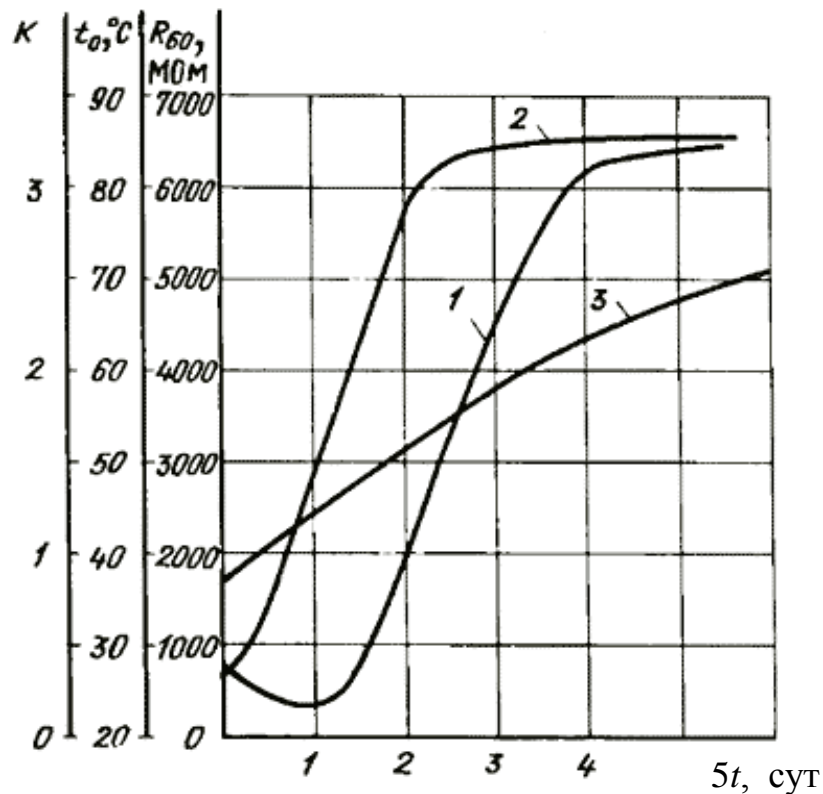


Рис. 1.3. Зразковий графік сушіння обмотки статора електродвигуна: 1 – опір ізоляції; 2 – температура обмотки; 3 – коефіцієнт абсорбції

Обмотку статора вважають висушеною, якщо виконані такі умови:

у період витримки напруги на якомусь із ступенів струм витоку не зростає; струм витоку на шаблі не перевищує більш ніж удвічі струму витоку на попередньому шаблі; на будь-якому ступені напруги коефіцієнт нелінійності менше 3; Струм витоку при 18 кВ не вище 50 мкА, коефіцієнт абсорбції при 20 - 30 ° С більше 1,3.

Якщо одне з вищезгаданих вимог при вимірі не виконується, то випробування припиняють і обмотку сушать протягом 2 - 3 діб . Зазвичай час сушіння становить 3 - 5 діб . Орієнтовна тривалість сушіння електричних машин наведено у табл. 1.2.

Для прискорення сушіння обмотки, нагріті до граничної температури, доцільно періодично охолоджувати до температури навколишнього середовища. При цьому ефективність термічної дифузії виходить тим більшою, чим швидше охолоджуються поверхневі шари ізоляції.

Таблиця 1.2

Орієнтовна тривалість
сушіння електричних машин

Електричні машини	Мінімальний час, год, для досягнення температури		Тривалість сушіння, год	
	50 °C	70 °C	загальна	мінімальна після досягнення встановленого опору ізоляції, МОм
Малої та середньої потужності	2 - 3	5 - 7	15 - 20	3 - 5
Великої потужності відкритого виконання	10 - 16	15 - 25	40 - 60	5 - 10
Великої потужності закритого виконання	20 - 30	25 - 50	70 - 100	10 - 15

У процесі сушіння нагрівати обмотки і сталь потрібно поступово, тому що при швидкому нагріванні температура внутрішніх частин машини може досягти небезпечного значення, тоді як нагрівання зовнішніх частин буде ще незначним. Швидкість підйому температури обмотки під час сушіння має перевищувати 4 – 5 °З в годину. Відповідно до ПТЕ електроустановок споживачів вимірювання опору ізоляції щодо корпусу машини та між обмотками проводять для обмоток електричних машин напругою до 660 В включно мегомметром на 1000 В, а у електричних машин напруга вище 660 В – мегомметром на 2500 В.

Однак згідно з ГОСТ 11828-75 опір обмоток електричних машин на номінальну напругу до 500 В включно вимірюють мегомметром, розрахованим на 500 В, обмоток електричних машин на номінальну напругу вище 500 В - мегомметром на 1000 В. Отже, ПТ ізоляції мегомметр.

Вимір опору ізоляції проводиться при температурі обмоток 75 °C. Якщо опір ізоляції обмоток було виміряно при іншій температурі, але не нижче 10 °C, вона може бути перерахована на температуру 75 °C.

Перед сушінням ізоляції обмоток електричних машин приміщення повинно бути очищене від сміття, пилу та бруду. Електричні машини

повинні бути ретельно оглянуті та продуті стисненим повітрям. Під час сушіння вимірюють опір ізоляції кожної обмотки електричної машини по відношенню до заземленого корпусу машини та між обмотками.

Щоразу перед виміром необхідно усувати залишкові заряди в ізоляції, при цьому обмотку заземлюють на корпус на 3 – 4 хв. Крім того, при сушінні обмоток електричних машин необхідно вимірювати температуру обмоток, навколишнього повітря, струм сушіння. Практично в результаті сушіння обмоток електричних машин опір ізоляції при температурі 75°C має бути не нижчим від даних табл. 1.1.

Сушіння обмоток електричних машин способом індукційних втрат у сталі. В останні роки впроваджені раціональні способи сушіння електродвигунів індукційними втратами сталі статора при нерухомих машинах, не пов'язані з проходженням струму безпосередньо в обмотках. При цьому способі сушіння є два різновиди: втратами активної сталі статора і втратами в корпусі статора.

Нагрів електродвигунів здійснюється втратами на перемагнічування і вихрові струми в активній сталі статора електродвигуна змінного струму або індуктора машини постійного струму від змінного магнітного потоку, що створюється в машинах, в сердечнику статора і корпусі машини.

Змінний магнітний потік створюється спеціальною обмоткою, що намагнічує, намотується на корпус машини по зовнішній поверхні його з протягуванням провідників під станину (рис. 1.4, а) або на корпус і підшипникові щити (рис. 1.4, б), змінний магнітний потік може бути також створений індукційними втратами в активній сталі статора та корпусі електричної машини (рис. 1.4, в).

Ротор асинхронної або синхронної машини повинен бути виїнятий для можливості намотування на статор витків, що намагнічують.

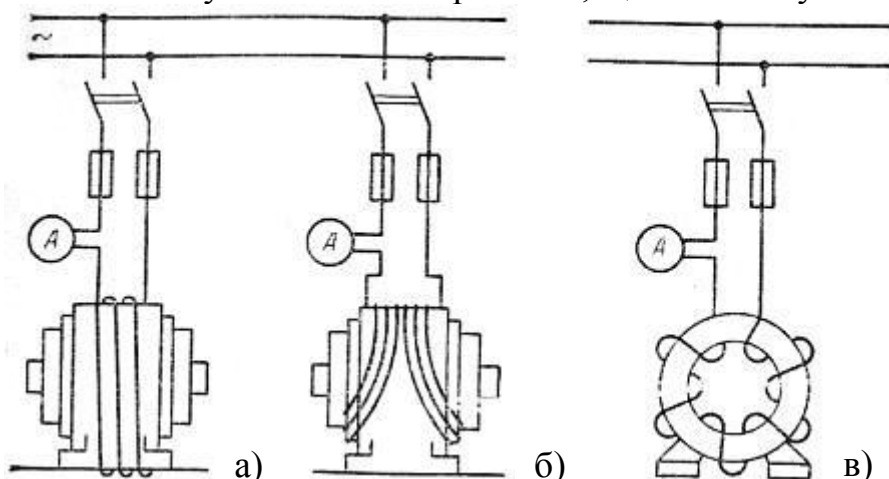


Рис. 1.4. Сушіння електричних машин за рахунок індукційних втрат у сталі: а – у корпусі машини, б – у корпусі та підшипникових щитах, у – у корпусі та активній сталі статора

Обмотка, що намагнічує, виконується ізольованим проводом, переріз і кількість витків визначається відповідним розрахунком.

У процесі сушіння опір ізоляції обмоток електричних машин у період сушки знижується, надалі зростає і, досягнувши деякого значення, стає постійним. На початку сушіння опір ізоляції вимірюють через кожні 30 хв, а при досягненні температури - через кожну годину.

Результати заносять до журналу сушіння і одночасно викреслюють криві (рис. 1.5) залежності опору ізоляції та температури обмоток від тривалості сушіння. Виміри опору ізоляції, температури обмоток та навколишнього середовища продовжують до повного охолодження електричної машини. На рис. 1.6 показаний вид сушильної камери для сушіння ізоляції обмоток електричного двигуна. Сушіння обмоток електричної машини припиняють після того, як опір ізоляції буде при постійній температурі практично незмінним протягом 3 - 5 год і $K_{абс}$ буде не нижче 1,3.

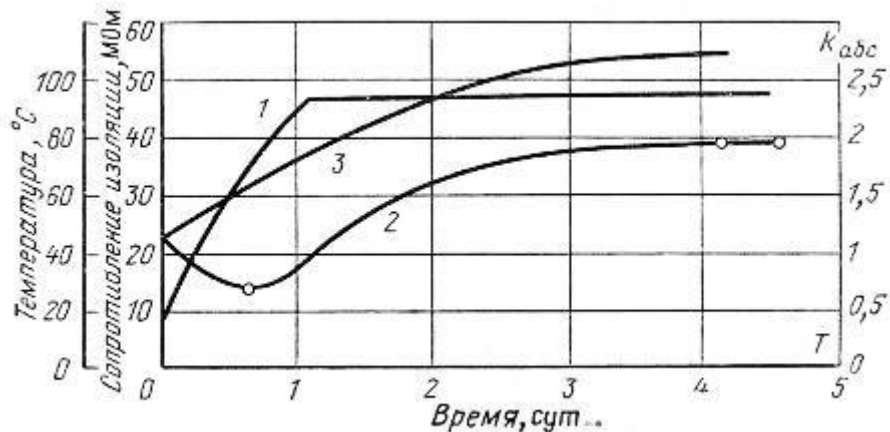


Рис. 1.5. Криві залежності опору ізоляції 2, коефіцієнта абсорбції 3 та температури обмотки 1 електричної машини від тривалості сушіння



Рис. 1.6. Сушильна піч для сушіння ізоляції обмоток електричних двигунів

1.2. Виконання розрахунків за тривалістю сушіння та визначення опору ізоляції електродвигуна

Для кожного студента задається своя величина вихідного опору ізоляції обмоток статора та температура, за якої проводився замір ізоляції. Розрахувати необхідний час сушіння приведення опору ізоляції до нормативної величини. При розрахунках використовувати криві рис. 1.3.

III. Порядок проведення заключної частини заняття. Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

Навчальні питання

1. Навіщо проводиться замір ізоляції електродвигунів?
2. Опір ізоляції обмотки зменшується чи збільшується зі збільшенням температури?
3. Що таке коефіцієнт нелінійності?
4. Що таке коефіцієнт абсорбції?
5. Які існують способи сушіння ізоляції?
6. Чому нормують швидкість підйому температури обмотки під час сушіння?

Список використаної літератури

1. Полуянович, Н. К. Монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 140610 напряму підготовки 140600 – «Електротехніка, електромеханіка та електротехнології». - СПб. : Лань, 2012. - 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Міхеєв, Г. М. Електростанції та електричні мережі: діагностика та контроль електрообладнання. - Москва: Додека -XXI, 2010. - 224 с.

3. Обсяг та норми випробувань електрообладнання [Електронний ресурс]: РД 34.45-51.300-97 / РАТ «ЄЕС Росії». - Новосибірськ: Сибірське університетське видавництво, 2008.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ЗАЗОРІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНАХ

Навчальна мета заняття— вивчити засоби вимірювання повітряних зазорів в електричних машинах.

Кількість годин - 1 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять: 1-3

План проведення заняття.

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

Методичні вказівки

Під час підготовки до практичної роботи необхідно попередньо ознайомитися з конструкцією електричних машин.

Самостійно ознайомитись із теоретичними положеннями, підготувати відповіді на Навчальні питання. Заняття проходять в інтерактивній формі, а також можуть проходити у вигляді усного опитування за теоретичними положеннями.

Короткі теоретичні відомості

Реальні асинхронні машини (АМ) зазвичай мають нерівномірний повітряний зазор у радіальному та осьовому напрямках, що викликається причинами технологічного та експлуатаційного характеру. Нерівномірність повітряного зазору викликається ексцентриситетом ротора щодо осі статора, еліптичність ротора, конусність статора або ротора, неспіввісність статора і ротора та інших причин. Найчастіше нерівномірність буває зумовлена ексцентриситетом ротора. Ексцентриситет ротора може виникати через технологічні неточності в процесі виготовлення машини, а також може бути наслідком підробітку підшипників в процесі експлуатації. Згідно зі статистичними даними, відносний еквівалентний ексцентриситет в асинхронних двигунах (АД) може становити 0,1 - 0,8, а іноді доходити до 1 (зачіплення ротора об статор).

Наявність ексцентриситету в АМ негативно впливає на роботу машини. Через ексцентриситет в повітряному зазорі машини з'являються додаткові гармоніки магнітного поля, виникає сила одностороннього магнітного тяжіння, що діє на ротор машини і прикладена в бік мінімального повітряного зазору, яка прагне збільшити ексцентриситет і значно зменшити критичну швидкість обертання валу. При значній

величині ексцентриситета може статися прилипання ротора до статора, внаслідок чого пуск двигуна стане неможливим, крім того, відбувається збільшення споживаної потужності та зменшення ККД. Заміри повітряних зазорів у електричних машин постійного струму і синхронних машин з явно вираженими полюсами виробляються під кожним полюсом проти середини черевика; у асинхронних машин і синхронних машин з неявно вираженими полюсами при невеликих діаметрах ротора (до 500 – 600 мм) – у чотирьох діаметрально протилежних точках, при великих діаметрах ротора – у восьми точках.

При вимірі повітряних зазорів перевіряють биття ротора та еліпсність статора. Повітряні зазори перевіряють щупом з обох боків під однією з розмічених точок ротора при постійному повороті в розмічених точках статора (метод обходу однією точкою ротора).

Вимірювальний щуп – інструмент для вимірювання дуже малих відстаней контактним способом, що є набором тонких металевих пластинок різної товщини з нанесеним на них розміром (товщина пластинки). У зазор вводять пластинки набору до тих пір, поки наступна по товщині пластинка не перестане поміщатися у зазор, що вимірюється.

Встановивши оптимальне положення статора, повітряні зазори заміряють під однією точкою статора всіх розмічених точок ротора (визначають биття ротора). Результати повітряних зазорів повинні бути в межах, визначених у таблиці 2.1.

Ексцентриситет – показує «ступінь витягнутості» еліпса (ставлення різниці великої та малої півосі до їх суми) або, у техніці, відхилення осі обертання ротора від його геометричного центру.

Величина ексцентриситету ротора і граничне його значення під час експлуатації задається підприємством-виробником для машин, що ще не працювали в період початкового пуску. Ексцентриситет має бути в межах, зазначених підприємством-виробником.

Таблиця 2.1

Допустимі значення повітряних зазорів
в електричних машинах

Тип електричної машини	Допуск значень повітряних зазорів
Машини постійного струму	Повітряні зазори, заміряні під серединами основних полюсів: – при зазорах 3 мм і нижче та петлевій обмотці якоря можуть відрізнятися від середньоарифметичного значення всіх зазорів не більше ніж на 10 %; - При зазорах вище 3 мм - не більше ніж на 5%.
	При хвильовій обмотці ці допуски можуть бути

	збільшені вдвічі. Повітряні зазори, заміряні під серединами додаткових полюсів, можуть відрізнятись від середньоарифметичного значення всіх проміжків не більше ніж на 5% у всіх випадках.
Асинхронні машини	Нерівномірність зазору між статором і ротором трохи більше 10 %.
Синхронні машини	Зазори, виміряні проти середини полюсів, можуть відрізнятись від середньоарифметичного значення всіх зазорів не більше ніж на 10% для тихохідних машин і на 5% для швидкохідних.

Для виміру повітряних зазорів електричних машин застосовують набори щупів з пластин завтовшки від 0,1 до 3 мм, шириною від 6 до 13 мм. Довжина таких пластин становить 350 – 600 мм. Для виміру великих повітряних зазорів застосовують спеціальні клинові щупи. Такі щупи можуть забезпечити вимірювання з точністю до 0,1 мм від 0,5 до 15 мм.

Крім виміру повітряних зазорів щупами застосовується електромагнітний спосіб вимірювання повітряних зазорів.

Існує універсальний спосіб контролю нерівномірності повітряного зазору в електричних машинах будь-яких габаритів та типів: постійного струму, асинхронних, лінійних двигунів тощо, а також отримання детальної картини геометрії повітряного зазору магнітопроводу. У пропонованому способі довільно вибирають дві бази, щодо яких виробляють виміри: одну на рухомій масі-роторі випробуваної електричної машини, іншу на нерухомій масі-статорі. На вибраних базах встановлюють вимірювачі електромагнітного поля.

На одну з фаз машини змінного струму подають регульовану постійну напругу. Встановлюють струм порядку 0,5 від номінального значення, цим забезпечують лінійну залежність вихідного сигналу від зміни повітряного зазору, тобто створюють таку напруженість магнітного поля в магнітопроводі, яка знаходиться на лінійній ділянці кривої намагнічування даної магнітної ланцюга. Приводять у обертання рухому масу випробуваної електричної машини та вимірюють одночасно сигнали з вимірювачів електромагнітного поля, розташованих на рухомій та нерухомій масах електричної машини. У порівнянні сигналів, знятих з вимірювачів, розташованих на рухомій і нерухомій масах, судять про величину і характер нерівномірності, а саме: ексцентриситет, викликаний неспіввісністю осі обертання ротора по відношенню до осі розточування статора; ексцентриситет, еліпсність і биття поверхні заліза ротора по відношенню до осі обертання.

***Датчик Холла** – датчик магнітного поля. Аналогові датчики Холла – перетворюють індукцію поля на напругу. Величина, показана датчиком, залежить від полярності поля та його сили.*

Регулювання зазорів здійснюється шляхом підбору відповідних металевих прокладок під лапи станин статора та розвороту його в поперечному напрямку щодо поздовжньої осі.

Порядок виконання

Визначити проміжки в асинхронному двигуні. Розрахувати ексцентриситет ротора.

III. Порядок проведення заключної частини заняття. Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

Навчальні питання

1. Навіщо роблять виміри повітряних зазорів в електричних машинах?
2. Які причини можуть впливати на нерівномірність повітряних проміжків?
3. Які параметри вимірюють під час вимірювання повітряних зазорів?
4. Які існують способи виміру повітряних зазорів?
5. Які прилади використовують для вимірювання зазорів в електричних машинах способом вимірювання електромагнітного поля?
6. Які недоліки у способі вимірювання зазорів контактним способом?
7. При якому способі вимірювань проміжків знімається повна картина профілю заліза рухомих і нерухомих мас машини і з'ясовується характер нерівномірності?
8. Що вимірює датчик Холла?
9. Що таке ексцентриситет ротора?
10. Як регулювати проміжки в електричних машинах?

Список використаної літератури

1. Полуянович , Н. К. Монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 140610 напряму підготовки 140600 – «Електротехніка, електромеханіка та електротехнології». - СПб.: Лань, 2012. - 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Міхеєв, Г. М. Електростанції та електричні мережі: діагностика та контроль електрообладнання. - Москва: Додека -XXI, 2010. - 224 с.

3. Обсяг та норми випробувань електрообладнання [Електронний ресурс]: РД 34.45-51.300-97 / РАТ «ЄЕС Росії». - Новосибірськ: Сибірське університетське видавництво, 2008. - 240 с.
<http://www.biblioclub.ru/book/57318/>

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. ВИВЧЕННЯ СПОСОБІВ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ РЕМОНТУ СТАЛЕВИХ ЛИСТІВ ШИХТУВАНИХ СЕРДЯНИКІВ

Навчальна мета заняття— вивчення методів перевірки якості ремонту шихтованих сердечників.

Кількість годин - 1 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять: 1-3

План проведення заняття.

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

Методичні вказівки

При самостійній підготовці до практичної роботи необхідно попередньо ознайомитися з конструкцією двигунів та генераторів постійного та змінного струму.

Короткі теоретичні відомості

Підвищений нагрів активної сталі статора. Нагрів активної сталі статора може виникнути через перевантаження, а також від замикання в листах шихтування сердечника при слабкому пресуванні на заводі-виробнику. При слабкому пресуванні сердечника відбуваються мікрорушення листів шихтівки з частотою перемагнічування 100 Гц, а також підвищена вібрація активної сталі.

У процесі вібрації активної сталі відбувається стирання ізоляції листів. Листи з пошкодженою ізоляцією контактують між собою і в сталевому неізольованому пакеті, що утворився, вихрові струми нагрівають сердечник. При цьому може відбутися розширене замикання по всій розточці статора або місцеве.

Залежно від площі замикання в листах може виникнути так звана «пожежа в залізі», що сильно перегріває ізоляцію і призводить до її пошкодження. Це небезпечне у великих синхронних машинах, особливо у турбогенераторах.

Випробування стали статора

Випробування проводиться при пошкодженнях сталі, частковій або

повній переклинівці пазів, частковій або повній заміні статора обмотки до укладання і після заклинівки нової обмотки.

Перші випробування активної сталі (якщо вони не виконувались з наведених нижче причин) проводяться на всіх генераторах потужністю 12 МВт і більше, що пропрацювали понад 15 років, а потім через кожні 5-8 років у турбогенераторів і при кожній виїмці ротора - у гідрогенераторів.

У генераторів потужністю менше 12 МВт випробування проводиться при повній заміні обмотки та при ремонті сталі, за рішенням головного інженера енергопідприємства, але не рідше ніж 1 раз на 10 років.

Визначається за допомогою приладів інфрачервоної техніки або термопар найбільший перегрів зубців (підвищення температури за час випробування щодо початкової) та найбільша різниця нагрівання різних зубців не повинна перевищувати 25 і 15 °С.

Питомі втрати сталі не повинні відрізнятися від вихідних даних, більш ніж на 10%. Позбавляються такого небезпечного явища в активній сталі наступним чином:

- великі синхронні машини мають вимірювальні засоби за струмом та потужністю (амперметри та ватметри), тому рівень навантаження легко контролюється, і заходи щодо зниження навантаження можна вжити швидко. Нагрів обмотки та активної сталі контролюється за допомогою термопар, закладених у статор для вимірювання температури обмотки та сердечника;

- у разі замикання активної сталі, особливо місцевого характеру, це явище виявляється у працюючій машині тільки на слух. Виникає свербляча вібрація, і її чутно приблизно там статора, де замкнута активна сталь. Для усунення цього явища машину слід розібрати. Зазвичай великі синхронні двигуни виготовляють з подовженими валами, що дозволяє зняти щити і зрушити статор, в якому можна працювати.

Потім для ущільнення сталі в зубці забивають клини з текстоліту, промазані одним з лаків, що клеять (№ 88, МЛ-92 та ін.). Перед розклинанням зубців активну сталь ретельно продувають сухим компресорним повітрям.

Якщо з будь-якої причини виникло замикання та оплавлення заліза в зубцях, пошкоджені ділянки ретельно вирубують, зачищають, між листами заливають лак повітряного сушіння та листи розклинують. Якщо після цього свербляча вібрація не зникає, слід повторити розклинання до повного зникнення вібрації активної сталі.

У високовольтних великих машинах перевірку якості ремонту та шихтування листів проводять індукційним способом.

У Росії її за кордоном широко поширений *електромагнітний спосіб контролю стану ізоляції між листами електротехнічної сталі шихтованих сердечників статорів електричних машин.*

Спосіб полягає в тому, що в випробуваному сердечнику за

допомогою обмотки, що намагнічує, намотаної навколо цього сердечника, створюють кільцевий змінний магнітний потік з низьким рівнем індукції (не більше 0,1 Тл). Встановлюють опорний сигнал рівним сигналу індуктивного датчика-сканера, встановленого на бездефектному місці розточування сердечника, після чого цим датчиком здійснюють сканування поверхні розточування сердечника при постійному опорному сигналі. При цьому місцеві дефекти ізоляції листів виявляють у порівнянні сигналу датчика та опорного сигналу.

Метод заснований на припущенні, що при порушенні ізоляції в тілі сердечника утворюється замкнутий контур (контур ушкодження), активний опір якого набагато менший за індуктивний, що, в свою чергу, тягне за собою синфазність ЕРС, індукованої в контурі пошкодження кільцевим потоком, і породженого нею струму. .

На рис. 3.1 показано частину сердечника електричної машини з датчиком контролю ізоляції шихтованих листів.

Сканування внутрішньої поверхні досліджуваного сердечника проводиться датчиком з феромагнітним осердям, посередині якого розміщується чутливий елемент, в даному випадку - котушка. Кінці осердя в процесі перевірки своїми скануючими поверхнями проходять над поверхнею осердя (конкретно – над поверхнями сусідніх зубців), приймаючи на себе частину потоку осердя, внаслідок чого в котушці датчика наводиться ЕРС.

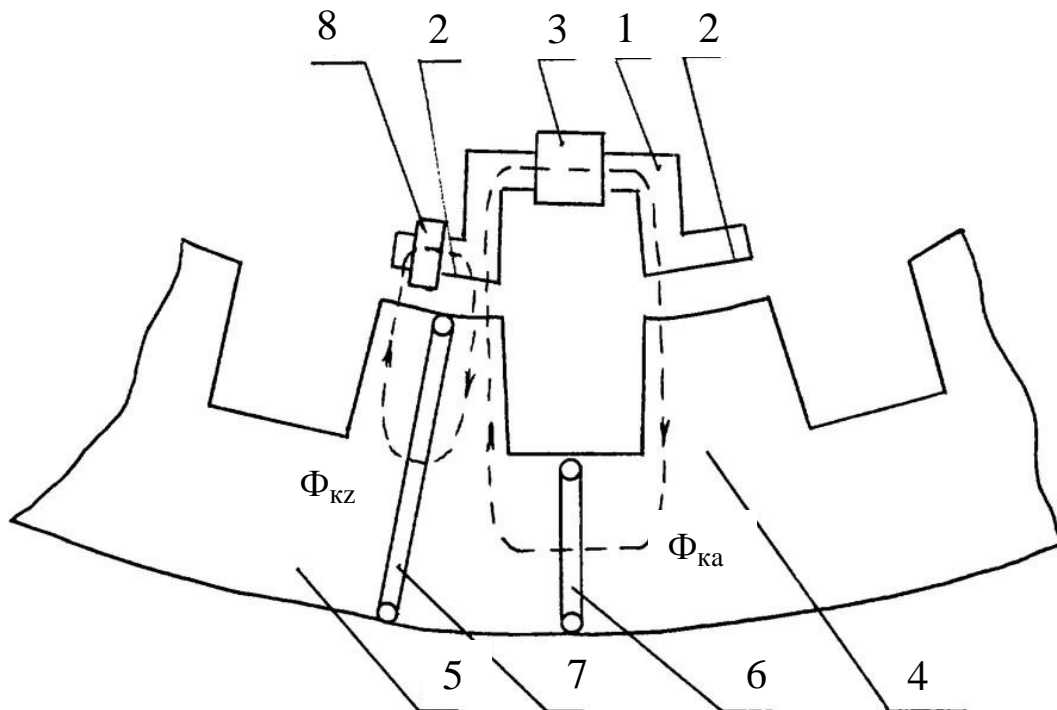


Рис. 3.1. Датчик для контролю ізоляції листів шихтованих сердечників електричних машин: 1 – феромагнітний сердечник датчика; 2 - скануючі поверхні сердечника датчика; 3 – перший чутливий елемент

датчика (котушка), що розташовується між скануючими поверхнями; 4 - зубець досліджуваного сердечника; 5 – ярмо досліджуваного сердечника; 6 – еквівалентний контур протікання струмів у місці пошкодження ізоляції у пазовій зоні; 7 – еквівалентний контур протікання струмів у місці пошкодження ізоляції у зубцевій зоні; 8 – другий чутливий елемент, що розташовується на скануючій поверхні сердечника

Наявність дефекту в якомусь місці визначається по різниці фаз між ЕРС котушок скануючого та опорного нерухомого датчиків. Опорний датчик має ту саму конструкцію, що і скануючий. Під час сканування опорний датчик нерухомо розташовується на якомусь бездефектному ділянці робочої поверхні осердя. Скануючі поверхні скануючого датчика розташовують у верхній частині та в пазах зубця. Таким чином, за один прохід перевіряється і пазова і зубцова зони.

Якщо випадково датчик все ж таки виявиться на пошкодженій ділянці (це виявиться в процесі випробувань), величина сигналу різниці в даному місці є характеристикою якості ізоляції листів.

Порядок виконання

Для ознайомлення з конструкцією пропонується розібрати та зібрати статор асинхронного електродвигуна. Визначити, чи є ознаки вібрації листів шихтованого сердечника та «пожежі в залізі» під час попередньої роботи електродвигуна. Підготувати відповіді Навчальні питання.

III. Порядок проведення заключної частини заняття. Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

Навчальні питання

1. Чим небезпечні замикання між листами шихтованого осердя?
2. Якими методами виявляються дані замикання?
3. На чому заснований електромагнітний спосіб контролю стану ізоляції між листами електротехнічної сталі шихтованих сердечників статорів електричних машин?
4. Як усуваються замикання між листами шихтованого сердечника?

Список використаної літератури

1. Полуянович Н. К. Монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 140610 напряму підготовки 140600 – «Електротехніка, електромеханіка та електротехнології». - СПб.: Лань, 2012. - 400 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Міхеєв, Г. М. Електростанції та електричні мережі: діагностика та контроль електрообладнання. - Москва: Додека -XXI, 2010. - 2 24 с.

3. Обсяг та норми випробувань електрообладнання [Електронний ресурс]: РД 34.45-51.300-97 / РАТ «ЄЕС Росії». - Новосибірськ: Сибірське університетське видавництво, 2008. - 240 с.
<http://www.biblioclub.ru/book/57318/>

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4. ВИВЧЕННЯ СПОСІБ ЦЕНТРОВКИ ВАЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Навчальна мета заняття— вивчити способи з'єднання та центрування валів, порядок вивірювання валів. Навчитися проводити центрування валу електродвигуна з приводним механізмом по напівмуфтах.

Кількість годин - 1 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять: 1-3

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

Методичні вказівки

На занятті студенти знайомляться зі способами з'єднання та центрування валів, порядком їх вивірювання.

Звіт повинен містити порядок проведення центрування та відповіді на Навчальні питання. Захист практичного заняття оцінюється диференціально та враховується під час контролю знань на іспиті.

4.1. Короткі теоретичні відомості

Для нормальної роботи підшипників і самої електричної машини вали електричної машини і приводного механізму, що з'єднуються, повинні становити єдиний вал. Пристроями, що служать для з'єднання валів між собою, є муфти, призначення яких передавати крутний момент від валу електродвигуна приводного механізму.

Муфти підбирають за характером валів, що з'єднуються, і крутний - момент. Види муфт, що застосовуються для з'єднань електричних машин, наведено на рис. 4.1. Типи та характеристики муфт наведені в табл. 4.1. Для передачі моменту, що обертає, від валу до муфти використовуються шпонки, які вставляються в пази муфт і валів. З усіх видів шпонок найбільше широко застосовуються призматичні, розміри яких вибирають в залежності від діаметра валу.

Під центруванням валів розуміють їх установку в таке взаємне положення, при якому вали електродвигуна і приводного механізму є продовженням один одного. При цьому положення валів відносно один одного може бути різним залежно від типу муфт і їх компенсаційних здібностей в радіальному і осьовому напрямках і відрізнятися на значення не наведених в табл. 4.2.

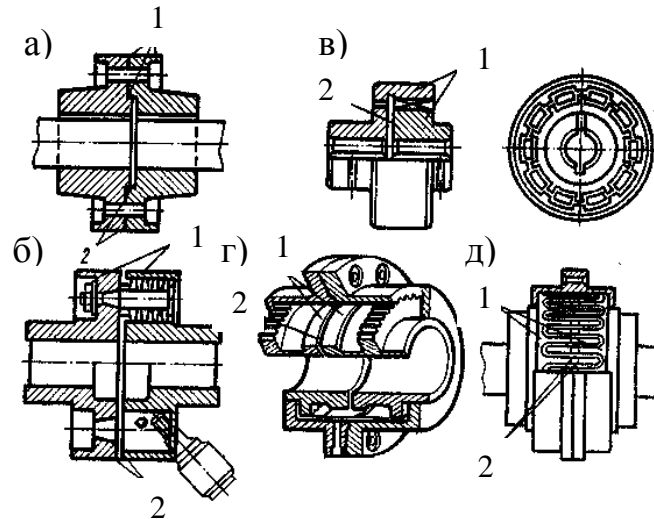


Рис. 4.1. Види муфт для з'єднання валів електричних машин:

а - Жорстка фланцева; б – втулково-пальцева; в - Пружна з гумовими пластинами; г – зубчаста; д – змінної жорсткості (пружинна); 1 , 2 – точки вимірювання радіального та торцевого биття

Таблиця 4.1

Типи та характеристики муфт

Муфти	Властивості, характер з'єднання	Допуск на усунення валів (компенсаційна здатність муфти)		Область застосування
		радіальний, мм	кутовий, град.	
Жорстка фланцева	Не допускає зміщення	0	0	Для з'єднання строго співвісних валів
Втулково-пальцева з пластинами із прогумованої тканини	Допускає відносний поворот валів	0,3 – 0,6	1	Для з'єднання співвісних валів та пом'якшення ударів за допомогою пружних елементів
Зубчаста	Те саме	0,7 - 4,8	1	Для співвісних валів з великим крутним моментом
Пружинна	Те саме	1,0 - 2,0	1,25	Для з'єднання співвісних валів та пом'якшення ударів за

				допомогою пружних елементів
--	--	--	--	--------------------------------

Перед вивіркою валів після насадки напівмуфт на вали перевіряють торцеве та радіальне биття напівмуфт індикаторами годинного типу. Максимально допустимі биття наведено у табл. 4.3. Потім проводять перевірку взаємного розташування валів. Кутовий перекис валів заміряється також по напівмуфт, причому значення, наведені в табл. 4.2 відносяться до вимірів, проведених на відстані 300 мм від валу. Тому при вимірах на інших відстанях необхідно робити пропорційний перерахунок.

Таблиця 4.2

Допустима неспіввісність валів

Частота обертання, об / хв	Допустима неспіввісність валів для муфт, мм			
	твердої (фланцевої)		втулково- пальцевий з пруж. елементами	зубчастої
	Підшипники ковзання	Підшипники кочення		
3000	0,03	0,04	0,08	0,08
1500	0,04	0,04	0,08	0,08
750	0,08	0,08	0,1	0,15
500	0,08	0,08	0,15	0,20

Таблиця 4.3

Максимально допустимі биття напівмуфт

Тип муфти	Допустиме биття напівмуфт, мм, при частоті обертання об/хв	
	3000 – 1500	1000 і нижче
Жорстка (фланцева)	0,02	0,03
Втулково-пальцева з пружними елементами	0,03	0,05
Зубчаста	0,06	0,06

Спочатку проводять візуальну перевірку за допомогою центрошукача (мал. 4.2), потім точну перевірку за допомогою скоб. Візуальна перевірка взаємного розташування валів проводиться за ризиками, нанесеними на обід напівмуфти через 90° центрошукачем. Кутник центротримувача встановлюється на обід напівмуфти 1 таким чином, щоб лінійка 3 прилягала до торцевої площини напівмуфти, розмічувальна лінійка 4 встановлюється на обід напівмуфти. Ризики наносять на обід підлозі муфти і торцевої площини по лінійках 3 та 4.

Пристосування повертається на 90° , точність установки 90° перевіряється за допомогою двигуна з установкою лінійкою 3. Повертаючи таким чином пристрій, наносять чотири ризики (рис. 4.3) через 90° на обід напівмуфти. Якщо діаметри двох напівмуфт рівні, а муфти зміщені один щодо одного на величину d , Потрібно один з валів пересунути по вертикалі, або вбік.

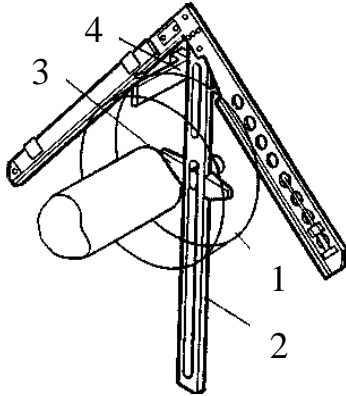


Рис. 4.2. Центрошукач :

1 – муфта, 2 – лінійка, 3 – настановна лінійка, 4 – розмічувальна лінійка

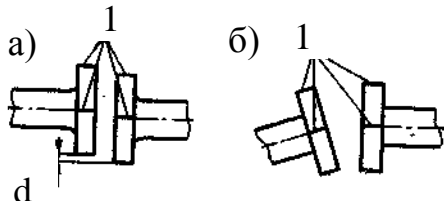


Рис. 4.3. Попередня вивірка валів електричних машин:

а – паралельне усунення, б – кутове усунення (1 – ризики)

Можна процентрувати машини під час установки сталевую лінійкою на напівмуфтах (рис. 4.4). Радіальне биття A і осьове биття *вимірюють* через кожні 90° при одночасному повороті обох валів. Вимірювання виробляють у верхній, нижній та двох бокових точках. Якщо розмір A у верхній точці відрізняється від розміру A в нижній точці, але при повороті валів не змінюється, значить підлозі муфти мають однаковий діаметр, і різниця в розмірах утворилася від зсуву центру валів.

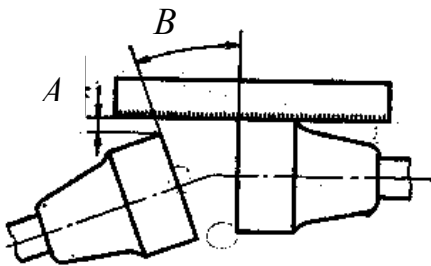


Рис. 4.4. Попереднє центрування валів по лінійці

Точна перевірка центрування валів проводиться по напівмуфтах за допомогою центрувальних скоб (рис. 4.5). Перевірку зазорів між вимірювальними болтами і скобами проводять у чотирьох діаметрально протилежних точках шляхом спільного провертання валів через 90° . Результати вимірювань записують, як зображено на рис. 4.6. Різниця - показань у чотирьох діаметрально протилежних точках повинна бути не

більше значень, зазначених у табл. 4.2.

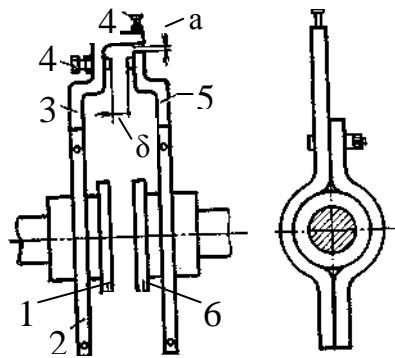


Рис. 4.5. Установка центрувальних скоб на вали:
1, 6 - напівмуфти машин, 2 - хомути, що стягують, 3 - зовнішня скоба, 4 - вимірювальні болти, 5 - внутрішня скоба

Якщо з будь-якої причини вал приводного механізму неможливо - провертати одночасно з валом двигуна, то перевірку неспіввісності валів можна проводити методом обходу однією точкою, як зображено на рис. 4.7. Радіальне зміщення вимірюють за допомогою регулювального штифта 4, осьове зміщення - за допомогою щупів, виробляючи виміри при провертанні валу двигуна через 90° .

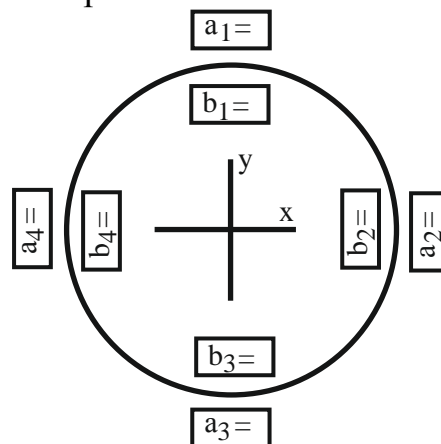


Рис. 4.6. Порядок запису результатів вимірювань під час центрування

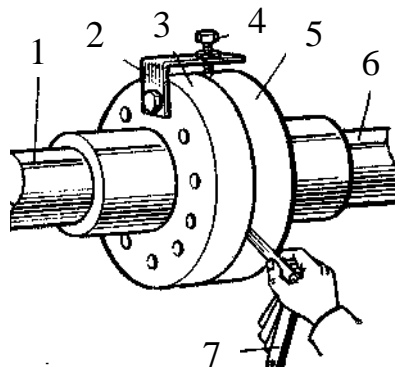


Рис. 4.7. Центрівка валів методом обходу однієї точки:

1 – вал двигуна; 2 – центрувальна скоба; 3, 5 – напівмуфти двигуна та механізму; 4 – штифт; 6 – вал приводного механізму; 7 – шуп

Для визначення переміщення підшипників при регулюванні взаємного становища валів можна скористатися методом розрахунку. Цим методом визначають горизонтальні та вертикальні переміщення підшипників:

$$y_1 = \frac{a_1 - a_2}{2} + \frac{b_1 - b_3}{2} \frac{\ell_1}{r}; \quad y_2 = \frac{a_1 - a_3}{2} + \frac{b_1 - b_3}{2} \frac{\ell_2}{r};$$

$$x_1 = \frac{a_2 - a_4}{2} + \frac{b_2 - b_4}{2} \frac{\ell_1}{r}; \quad x_2 = \frac{a_2 - a_4}{2} + \frac{b_2 - b_4}{2} \frac{\ell_2}{r};$$

де y_1 і x_1 – горизонтальне та вертикальне переміщення підшипника, найближчого до муфти; y_2 і x_2 – горизонтальне та вертикальне переміщення підшипника, далекого від муфти; ℓ_1 – Відстань від муфти до найближчого підшипника; ℓ_2 – Відстань від муфти до далекого підшипника; r – Відстань від центру валу до точки вимірювання осьового зазору; $a_1 - a_4$ – Значення радіальних зазорів, виміряних в діаметрально протилежних точках; $b_1 - b_4$ – значення осьових зазорів, виміряних у діаметрально протилежних точках.

Регулювання положення валів роблять підбиттям сталевих клинів під фундаментну плиту.

4.2. Вимірювання биття

Биття частин, що обертаються, визначають індикатором годинного типу.

Для вимірювання радіального биття валу індикатор встановлюють на площину роз'єму стояка підшипникового або на інше жорстке підставу (рис. 4.8). Окружність, що перевіряється ділять на вісім рівних частин, вимірювальний стрижень індикатора встановлюють у верхній частині поверхні, що перевіряється, попередньо стрілку його встановлюють на нуль. Повертаючи ротор (вручну або краном), записують показання індикатора при кожному з восьми положень валу. Для легшого повертання ротора шийку валу змащують олією. Запис показань індикатора ведуть зі знаком "+" або "-" залежно від напрямку відхилення його стрілки. Різниця в показаннях індикатора свідчить про ексцентричність поверхні, що перевіряється або викривлення валу.

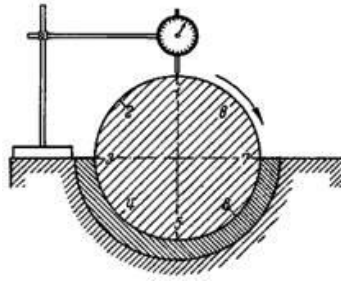


Рис. 4.8. Перевірка радіального биття

Розмір викривлення валу стосовно його осі дорівнює половинці биття. Для отримання правильних вимірів необхідно перед відрахуванням величини биття переконатись у правильному встановленні індикатора та надійності його закріплення. Для цього перед відліком трохи постукують рукою по індикатору; якщо після стукання стрілка індикатора встановиться в попереднє положення, це вкаже на правильну установку індикатора. Доказом того, що індикатор не був зміщений при вимірах, є збіг його показань при вторинному вимірі биття в точці з показаннями при першому вимірі в тій же точці. Щоб уникнути спотворення показань, треба при кожному вимірі послаблювати трос, яким повертають ротор; необхідно також перевірити щільність установки вкладишів у розточуванні стояка і переконатися у відсутності зачеплення ротора за будь-які частини. Щоб виключити випадкові помилки, виміри повторюють двічі-тричі, кілька зрушуючи кожен раз індикатор вздовж осі. Допустиме биття шийок валів становить 0,02 мм для діаметрів 100-200 мм і 0,03 мм для діаметрів більше 200 м. У місцях встановлення ущільнень биття не повинно перевищувати 0,05-0,06 мм. Допустиме биття валу ротора в інших місцях становить 0,06-0,08 мм для швидкохідних машин (3000 об/хв) та 0,10-0,12 мм – для тихохідних.

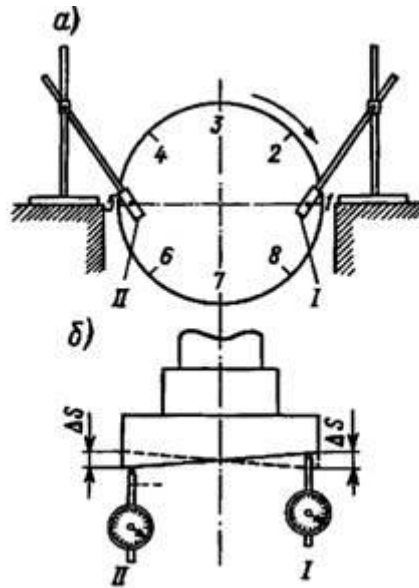


Рис. 4.9. Перевірка осьового биття напівмуфти

Осьове биття торця напівмуфти перевіряють двома індикаторами, встановленими в діаметрально протилежних точках торця напівмуфти (рис. 4.9) на однаковій відстані від осі обертання. Застосування двох індикаторів виключає помилки, пов'язані з можливими осьовими зсувами ротора в процесі вимірювання.

Тут також коло напівмуфти поділяють на парну кількість рівних частин, наприклад, на вісім. Вимірювальні стрижні індикатора впирають у торець напівмуфти з відривом 10-15 мм від краю. Биття торця напівмуфти визначають на основі восьми пар показань індикаторів відповідно до восьми різних положень ротора. Для знаходження величини биття торця напівмуфти на якомусь діаметрі визначають суму показань обох індикаторів для однієї і тієї ж точки торця муфти при двох положеннях валу - до і після його повороту на 180° .

Таблиця 4.4

Результати вимірювань биття

Номер точки, (рис. 9, а)	Покази індикатора (мм)		Сума показань індикаторів (мм)
1	0,00	0,00	0,00
2	+ 0,01	- 0,02	- 0,01
3	- 0,03	+ 0,01	-0,02
4	- 0,05	+ 0,02	+ 0,07
5	+ 0,08	0,00	+ 0,08
6	+0,04	- 0,01	+ 0,03
7	+ 0,05	- 0,07	- 0,02
8	+ 0,04	- 0,01	+ 0,03
Биття по діаметрам, мм			

1-5	2-6	3-7	4-8
- 0,04	- 0,02	0,00	+ 0,02

Позитивне значення величини биття, виміряне індикатором, вказує на те, що точка 1 по відношенню до точки 5 виступає у бік індикатора. Якщо індикатори встановлені на різній відстані від осі обертання, биття слід віднести до відстані між вимірювальними стрижнями індикаторів.

Результати вимірювань та підрахунків рекомендується подати у табличній формі за зразком табл. 4.4. Як очевидно з прикладу, наведеного у табл. 4.4 найбільше биття буде на діаметрі 1-5 в точці 5. Щоб виключити випадкові помилки, вимірювання повторюють два-три рази, зміщуючи кожен раз індикатори ближче до центру на 5-10 мм. Крім того, щоб перевірити відсутність зміщення індикаторів при вимірюваннях, ротор встановлюють у початкове положення (1-5) і повторно проводять два вимірювання; різниця між показаннями індикаторів за відсутності їх зміщення повинна дорівнювати початковій різниці.

Допустимі радіальні та осьові биття складають: для жорстких муфт 0,03-0,04 мм, для напівжорстких - не більше 0,06 мм. Для жорстких муфт швидкохідних машин, наприклад турбогенераторів, осьове биття не повинно перевищувати 0,02-0,03 мм. Биття колектора перевіряють при повільному провертанні якоря. Наявність проміжків між пластинами дуже ускладнює вимірювання биття колектора за звичайної форми кінця вимірювального стрижня. Для усунення цього недоліку на кінець стрижня індикатора надягають плоский наконечник. Допустиме биття колекторів швидкохідних машин з окружною швидкістю колектора до 50 м/с, наприклад, турбозбудників не повинно перевищувати 0,02-0,03 мм, в тихохідних машинах може бути допущено без шкоди для роботи машини значно більше биття.

4.3. Порядок проведення роботи

Розмітити напівмуфти центрошукачем. Заміряти зазори в муфті методом обходу однієї точки, занести результати вимірів в наведені нижче таблиці. Розрахувати горизонтальне та вертикальне переміщення валу.

Номер точки, (Рис. 4.6)	Величина зазору (мм)
A1	
A2	
A3	
A4	
B 1	

В 2	
У 3	
В 4	
У1	
У2	

ℓ_1 - Відстань від муфти до найближчого підшипника (мм)	
ℓ_2 - Відстань від муфти до далекого підшипника (мм).	

Величини переміщень горизонтальних (X1, X2) та вертикальних (У1, У2), (мм)			
У1		X1	
У2		X2	

ІІІ. Порядок проведення заключної частини заняття. Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

4.4. Навчальні питання

1. Які муфти використовуються для з'єднання валів?
2. Навіщо проводиться центрування валів?
3. У чому суть методів центрування валів?
4. Як перевірити биття напівмуфт?

Рекомендована література

1. Полуянович, Н. К. Монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 140610 напряму підготовки 140600 – «Електротехніка, електромеханіка та електротехнології». - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Нейштадт, Е. Т. Лабораторний практикум по предмету «Монтаж, експлуатація та ремонт електроустаткування підприємств та установок»: Навчальний посібник для уч-ся технікумів. - М.: Вища школа, 1991. - 111 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5. ВИВЧЕННЯ СПОСІБ СУШКИ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРІВ

Навчальна мета заняття Зрозуміти фізичну сутність параметрів, якими можна будувати висновки про стан ізоляції. Ознайомитись із способами сушіння ізоляції обмоток трансформаторів.

Кількість годин – 0,5 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення заняття: 1-3

План проведення заняття.

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

5.1. Порядок виконання

Самостійно ознайомитись із теоретичними положеннями, підготувати відповіді на Навчальні питання. Заняття проходять в інтерактивній формі, а можуть проходити у вигляді усного опитування за теоретичними положеннями.

5.2. Короткі теоретичні відомості

Можливість включення трансформаторів без сушіння, а також необхідність сушіння визначаються технічними умовами, викладеними в інструкції з контролю стану ізоляції трансформаторів перед введенням їх в експлуатацію за комплексом параметрів:

стану олії;

опору ізоляції обмоток $R_{60''}$;

коефіцієнту абсорбції $R_{60''} / R_{15''}$;

тангенсу кута діелектричних втрат $tg\delta$ обмоток

де $R_{15''}$ - п'ятнадцятисекундне значення опору ізоляції в МОМ; $R_{60''}$ - Однохвилинне значення опору ізоляції в Мом.

Ступінь зволоженості ізоляції характеризується коефіцієнтом абсорбції, рівним відношенню виміряного опору ізоляції через 60 секунд після застосування напруги мегомметра ($R_{60''}$) до виміряного опору ізоляції через 15 секунд ($R_{15''}$), при цьому $K_{абс} = R_{60''} / R_{15''}$.

Тобто виміряти опір ізоляції через 15 сек після підключення мегомметра і подачі напруги, а також через 60 сек. Потім друге значення розділити на перше, це коефіцієнт абсорбції.

Ізоляція вважається досить сухою, якщо $K_{abc} = R_{60''} / R_{15''} \geq 1,3$. Коефіцієнт абсорбції практично залежить від розмірів і потужності об'єкта.

Фізична сутність коефіцієнта: будь-яка електрична ізоляція має електричну ємність. Струм абсорбції відбиває процес заряду шарів діелектрика через опір попереднього шару. З зволоженням ізоляції опір знижується, а ємність збільшується, тому для зволоженої ізоляції струм має більше значення і швидше спадає до 0. У сухої ізоляції опір великий, заряд конденсатора протікає повільно, тому початкове значення струму мало, а струм спадає тривалий час. З цього випливає, що чим більша ізоляція зволожена, тим коефіцієнт абсорбції буде меншим. Але треба враховувати той факт, що при збільшенні температури ізоляції значення коефіцієнта абсорбції зменшується, і навпаки, при зниженні – збільшується.

Тангенс кута діелектричних втрат

Діелектричними втратами називають енергію, що розсіюється в електроізоляційному матеріалі під впливом на нього електричного поля.

Здібність діелектрика розсіювати енергію в електричному полі зазвичай характеризують кутом діелектричних втрат, а також тангенсом кута діелектричних втрат. При випробуванні діелектрик розглядається як діелектрик конденсатора, у якого вимірюється ємність і кут δ , що доповнює до 90° кут зсуву фаз між струмом і напругою в ланцюгу ємності. Цей кут називається *кутом діелектричних втрат*.

Вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат

Для вимірювання ємності та кута діелектричних втрат (або $\tan \delta$) еквівалентну схему конденсатора представляють як ідеальний конденсатор з послідовно включеним активним опором (послідовна схема) або як ідеальний конденсатор з паралельно включеним активним опором (паралельна схема). На рис. 5.1 наведено векторну діаграму струмів і напруг у діелектриці.

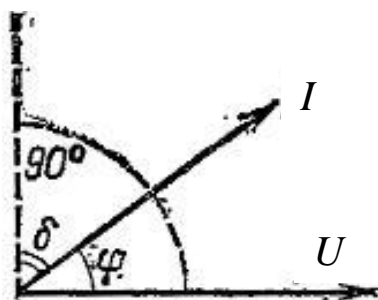


Рис. 5.1. Векторна діаграма струму та напруги в діелектриці з втратами

Значення кута діелектричних втрат зазвичай не перевищує сотих або десятих часток одиниці (тому кут діелектричних втрат прийнято виражати у відсотках), а втрати для схем заміщення

$$P = U^2 \omega \operatorname{tg} \delta, \quad \operatorname{tg} \delta = 1/(\omega CR),$$

де U - напруга, P - Втрати активної потужності, R - активний опір, C - ємність вимірюваного об'єкта, ω - Кутова частота.

Значення втрат пропорційно квадрату прикладеного до діелектрика напруги та частоті.

Значення тангенсу кута діелектричних втрат ($\operatorname{tg} \delta$) нормується для температури 20 °С, тому вимірювання слід проводити при температурах, близьких до нормованої (10-20 °С). У цьому діапазоні температур зміна діелектричних втрат невелика, і для деяких типів ізоляції виміряне значення може порівнюватися без перерахунку з нормованим для 20 °С. В ізоляції, що перебуває під впливом змінної напруги, відбувається поглинання деякої кількості електроенергії, яка перетворюється на тепло. Енергія (потужність), що поглинається в одиницю часу, визначає собою діелектричні втрати в ізоляції. Якби діелектричних втрат не було, кут зсуву фаз ϕ між напругою на ізоляції і струмом, що проходить через ізоляцію, дорівнював би точно 90°.

В ізоляції, виконаній з будь-яких застосовуваних матеріалів, за наявності діелектричних втрат кут зсуву фаз між напругою та струмом менше 90°.

Втрати P у діелектриці пропорційні куту діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$. Чим більше $\operatorname{tg} \delta$, тим за інших рівних умов більше діелектричні втрати, тобто якість діелектрика гірша. При додатку до ізоляції змінної напруги процес зарядки ємностей та протікання струму через опір схеми повторюється кожний період. Повний струм, що встановився, буде визначатися двома складовими: I_a - активною складовою струму, що залежить від опору ізоляції, і I_c - реактивної складової, що залежить від геометричної ємності. Так як діелектричні втрати залежать не тільки від властивостей та стану ізоляції, а й від прикладеної напруги, то за значенням активної складової струму ще не можна судити про якість ізоляції.

Тангенс кута діелектричних втрат характеризує загальний стан ізоляції, і насамперед її зволоженість, незалежно від геометричних розмірів. Параметр $\operatorname{tg} \delta$ практично не залежить від розмірів діелектрика, так як зі зміною його розмірів пропорційно змінюються активна і реактивна складові струму, що протікає через діелектрик, а також надійність ізоляції по відношенню до теплового пробою і загальне старіння ізоляції. Кут діелектричних втрат ізоляції змінюється в залежності від загального стану ізоляції. Якщо ізоляція відволожилася або в ній

з'явилися сторонні включення, викликані іонізацією повітряних включеннях, то $tg\delta$ різко збільшується. Кут діелектричних втрат у великих об'єктів дозволяє судити тільки про середній стан ізоляції, так як місцеві та зосереджені дефекти в ізоляції великого обсягу виміром $tg\delta$ виявляються погано або взагалі не виявляються. Це можна пояснити тим, що збільшення I_a викликається в таких випадках погіршенням невеликої частини об'єму ізоляції, а I_c практично залишається незмінним та визначається всім об'ємом ізоляції. У об'єктів з малими геометричними розмірами $tg\delta$ можуть бути виявлені місцеві і зосереджені дефекти. Вимірюванням діелектричних втрат перевіряються ізоляція прохідних ізоляторів, введів та обмоток конденсаторів, трансформаторів, трансформаторів струму, а також довгих кабелів та інші види ізоляції (крім порцелянової). Вимірювання діелектричних втрат широко застосовується в лабораторних умовах та ремонтних майстерень для перевірки ізоляції після ремонту, а також для контролю діелектричних втрат масел та мас.

Підготовка до вимірів

Якщо електрофізичні показники визначають у пробі, взятій із трансформатора, або у пробі, підготовленій для заповнення бака, її попередню обробку не проводять.

При випробуванні олії після транспортування або зберігання на складі визначають електрофізичні показники сухої олії, проводячи її попереднє сушіння. Для цього масло пропускають через лійку, що фільтрує, при температурі 60...80 °С і надлишковому тиску 1333...2666 Па (10...20 мм рт. ст.) з подальшою витримкою за таких умов в тонкому (5...10 мм) шарі протягом 50 хв.

Після цього проводять вимірювання опору ізоляції обмоток $R_{60''}$, коефіцієнта абсорбції $R_{60''} / R_{15''}$, тангенсу кута діелектричних втрат.

На підставі проведених вимірювань роблять висновок про необхідність або відсутність необхідності сушіння ізоляції.

Для приведення опору ізоляції до нормативної величини застосовують різні види сушіння ізоляції.

Розрізняють такі види сушіння: *контрольний прогрів*, *контрольна підсушка* та *сушіння*. Всі види сушіння мають одну мету – привести ізоляцію трансформатора в стан, що відповідає вимогам і нормам.

При незначному (поверхневому) зволоженні ізоляції має проводитися контрольне підсушування трансформаторів. Для трансформаторів напругою 110 кВ замість контрольного підсушування допускається контрольне прогрівання в маслі без вакууму до температури верхніх шарів олії, що перевищує вищу температуру, вказану в паспорті

трансформатора: на 5 °С – при прогріванні методом короткого замикання або постійним струмом та на 15 °С – при прогрівання індукційним методом або циркуляцією олії через електронагрівачі

Замір температури повинен проводитися термометрами опору, встановленими у верхніх шарах олії. Тривалість прогріву при температурі 5-15 °С повинна становити не менше 36 годин для трансформаторів 110 кВ потужністю менше 80 МВА; 54 год для трансформаторів 110 кВ потужністю 80 МВА і більше. Якщо після контрольного прогріву характеристики ізоляції не відповідають граничним нормам, то має бути виконано контрольне сушіння.

Ставлення R_{60}'' / R_{15}'' не нормується, його необхідно враховувати під час вирішення питання про відмову від сушіння трансформаторів. Зазвичай ці відносини для невологих обмоток за нормальної температури 10-30 °З рівні: для обмоток до 35 кВ – щонайменше 1,3; для обмоток 110 кВ та вище – 1,5-2. Для зволжених обмоток та обмоток, що мають місцеві дефекти в ізоляції, це відношення наближається до 1.

Паперово-масляна ізоляція в трансформаторах розрахована на надійну роботу лише за умови її високих ізоляційних властивостей – опору, електричної міцності, ємності та малих діелектричних втрат. Ці чинники передусім залежить від ступеня зволоженості ізоляції.

Завдяки своїй капілярній структурі паперова ізоляція дуже гігроскопічна. Трохи менш гігроскопічно трансформаторна олія. Тому, перебуваючи на повітрі, активна частина, навіть просочена олією, зволожується. Крім того, у старих трансформаторів без осушувачів повітря ізоляція зволожується і в процесі тривалої експлуатації. Навіть ізоляція новостворених обмоток має підвищену вологість.

Термодинамічний процес сушіння полягає в тому, що ізоляція нагрівається, і волога переміщається з її внутрішніх пір до поверхні, а потім у навколишнє середовище. Чим вище температура нагріву ізоляції, тим більша різниця між парціальними тисками в сусідніх шарах ізоляції і тим інтенсивніше сушіння, тому ізоляцію нагрівають до температури 100-105 °С. У той самий час ефективно знижувати тиск у навколишньому просторі, т. е. створювати вакуум.

Контрольний прогрів трансформаторів проводиться в одному з наступних випадків:

- характеристики ізоляції не відповідають нормам; тривалість зберігання трансформатора без доливної олії перевищує встановлений термін, але не більше 7 міс ;
- Час перебування активної частини на повітрі при злитому маслі перевищує норми, але не більше ніж удвічі;
- за наявності ознак зволоження олії або при значеннях $\Delta C/C$ (для трансформаторів, що транспортуються без олії), що перевищують норми.

Контрольний прогрів виробляють з маслом без вакууму методами:

постійного струму,
короткого замикання,
індукційним,
методом циркуляції нагрітої олії.

Температура верхніх шарів масла при контрольному прогріві не повинна перевищувати 75°C і бути не більше ніж на 15°C вище за паспортну при прогріванні індукційним методом і методом циркуляції і не більше ніж на 5°C вище за паспортну при прогріванні методом постійного струму або методом короткого замикання. Контрольний прогрів закінчується при температурі верхніх шарів олії, що перевищує на 5°C температуру, до якої виробляють прогрів. Контрольний прогрів методами постійного струму та короткого замикання забороняється проводити до отримання позитивних результатів наступних вимірювань: даних холостого ходу при зниженій напрузі; опору обмоток постійного струму та коефіцієнта трансформації при обраному положенні перемикачів; опору ізоляції обмоток, а також у разі виявлення будь-яких дефектів активної частини.

Контрольна підсушка проводиться у таких випадках:

– характеристики ізоляції після контрольного прогріву не відповідають нормам;

- Наявність ознак зволоження масла або порушення герметичності.

Контрольна підсушка відрізняється від контрольного прогріву тим, що вона проводиться із застосуванням вакууму $46,5\text{ кПа}$ (350 мм рт. ст.) при температурі верхніх шарів олії, що дорівнює 80°C .

Контрольне підсушування проводиться в тому випадку, якщо в результаті контрольного прогріву характеристики ізоляції не відповідають нормам. У процесі контрольного підсушування через кожні 12 год проводять циркуляцію масла через трансформатор протягом 4 год. Підсушування припиняють, коли характеристики ізоляції приходять у відповідність до норм, але не раніше ніж через 36 год після того, як температура верхніх шарів масла досягла 80°C для трансформаторів потужністю до $80\,000\text{ кВА}$.

Схема контрольного підсушування наведено на рис. 5.2.

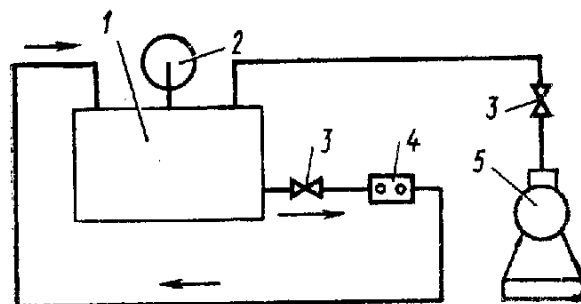


Рис. 5.2. Схема контрольного підсушування: 1 - бак трансформатора; 2 – вакуумметр; 3 – кран; 4 – насос; 5 – вакуумнасос

Якщо в результаті контрольного підсушування трансформатора в маслі характеристики ізоляції не відповідатимуть нормам, то трансформатор підлягає сушінню.

Сушіння проводиться у таких випадках:

- На активній частині або в баку виявлено сліди води;
- трансформатор зберігався без олії або без доливки олії більше 1 року;
- індикаторний силікагель зволожений, втратив блакитний колір;
- перебування активної частини повітря вдвічі і більше перевищує встановлений час;
- характеристики ізоляції трансформатора після контрольного підсушування не відповідають нормам.

Сушіння трансформаторів. Сушіння активної частини за наявності стаціонарних сушильних печей, що є на всіх великих електроремонтних підприємствах, може проводитися як вакуумним, так і безвакуумним методами. За відсутності печей сушіння роблять методом індукційних втрат у сталі бака.

Сушіння вакуумним методом здійснюється у вакуум-сушильних шафах і забезпечує швидке і високоякісне сушіння з невеликими енергетичними витратами. Найбільш економічним є паровий обігрів, менш економічний електрообігрів. Вакуум-сушильна піч для сушіння трансформаторів I - II габаритів показано на рис. 5.3. Застосовуються печі як з верхнім, так і з бічним завантаженням з дверима, що герметично закриваються.

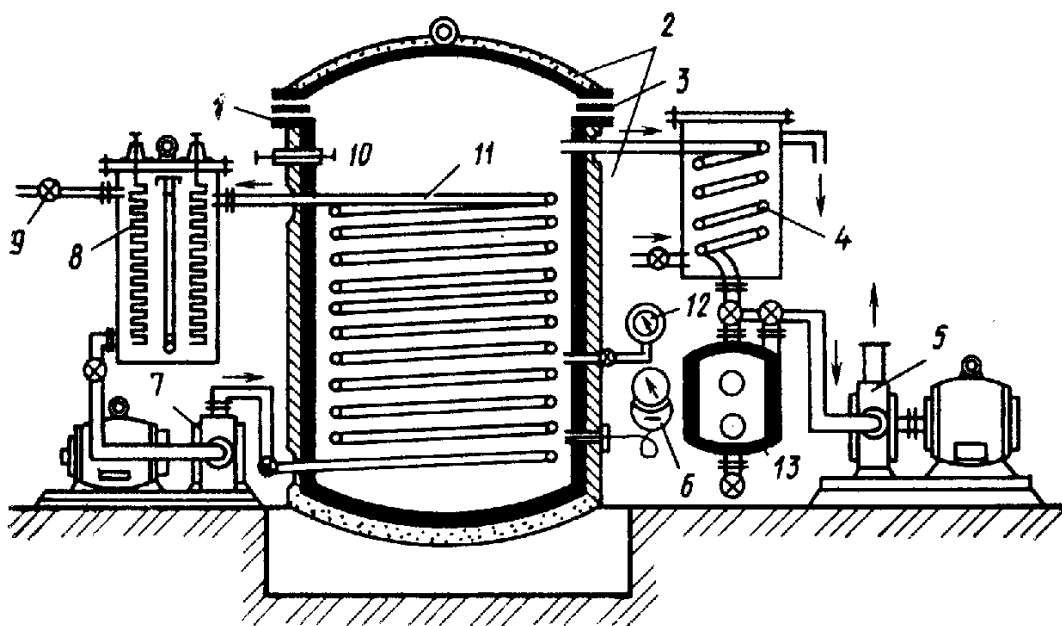


Рис. 5.3. Вакуум-сушильна піч для сушіння активних частин трансформаторів I - II габаритів: 1 – бак зі знімною кришкою; 2 – теплоізоляція; 3 – ущільнення; 4 – водяний охолоджувач; 5 – вакуумний насос; 6 – термометр; 7 – циркуляційний насос; 8 – водяний котел з електронагрівачами; 9 – поживна труба; 10 – прохідний ізолятор для вимірювання опору ізоляції; 11 - змієвик нагріву; 12 - вакуумметр; 13 – конденсатозбірник

Активну частину трансформатора завантажують у піч. Попередньо для контролю сушіння кінці обмоток з'єднують між собою провідником та виводять назовні через прохідний ізолятор. Сушіння починають з прогріву при вакуумі 8085 кПа, поступово збільшуючи температуру до 95-105 °С. Прогрів трансформаторів потужністю до 100 кВ А триває протягом 3 год, а більшою потужністю - 5 год. По закінченні прогріву вакуум рівномірно підвищують і протягом 15 хв встановлюють залишковий тиск близько 40 кПа, який витримують 1 год. підвищують до максимально можливого і висушують до кінця.

У процесі сушіння вологу з колонки конденсатора відбирають щогодини, її кількість та значення опору ізоляції записують до журналу сушіння. Коли протягом 3 год поспіль (за трьома вимірами) виділення вологи з колонки не буде, а показання мегомметра відповідатимуть нормам, обігрів відключають (закривають пару), зупиняють вакуум-насоси, вакуум поступово знімають краном для впуску повітря, піч розгерметизують.

Дуже ефективним з точки зору подальшої експлуатації є безпосереднє заливання активної частини олією в печі. В цьому випадку масло заповнює пори ізоляції, які раніше були зайняті вологою.

Тривалість вакуумного сушіння залежить від ступеня зволоженості ізоляції обмоток, ємності печі, потужності вакуумних насосів та герметичності ущільнень. Вона повинна тривати не менше 14 год. Характерний графік вакуумного сушіння представлений на рис. 5.4.

Достоїнствами вакуумного сушіння є швидкість, висока якість та стабільна технологія, а недоліками – необхідність постійно підтримувати у справному стані складне та дороге обладнання та у зв'язку з цим високі експлуатаційні витрати (у сушильному відділенні має бути організоване цілодобове чергування); необхідність підтримки дуже глибокого вакууму, який важко підтримувати, тому що ущільнення печі зношуються швидко, а заміна їх складна та дорога.

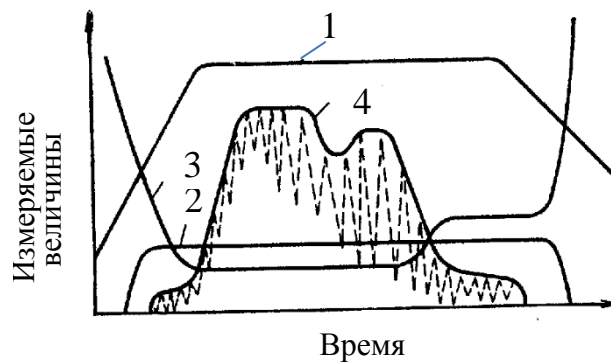


Рис. 5.4. Криві сушіння ізоляції обмоток трансформатора: 1 – температура обмоток; 2 – вакуум; 3 – опір ізоляції; 4 – крива, що обгинає, виділення конденсату

Безвакуумне сушіння здійснюється у стаціонарних тупикових печах з електричним, паровим, індукційним чи калориферним підігрівом. Активну частину трансформатора завантажують на візок, заочують у піч, піч закривають і включають обігрів. Сушіння ведеться природно довше, ніж у вакуумній печі. Критерій закінчення сушіння один – опір ізоляції, що відповідає нормам, повинен мати значення, що встановилося протягом 3-4 год. обмотки ПН щодо обмоток ВН, приєднаних до корпусу; з'єднаних між собою обмоток ВН і ПН щодо корпусу. Для можливих вимірів усі вивідні кінці обмоток ВН з'єднують між собою, кінці обмоток ПН також з'єднують між собою. Від цих з'єднань, а також від ярмових балок (корпусу) виводять назовні дроти.

При безвакуумному методі сушіння не потрібні ущільнення, а використовуються електрична та теплова ізоляція вивідних дротів від гарячих металевих частин печі. Контроль температури печі здійснюється термопарами чи іншими термодатчиками. Для прискорення процесу сушіння ближче до її закінчення рекомендується проводити одну-дві 20-хвилинні продування печі теплим або навколишнім сухим повітрям для видалення пари, що скупчилися в ній. При калориферному обігріві печей цього не потрібно, тому що в печі повітря постійно циркулює.

Сушіння активної частини може проводитися такими способами: у вакуум-сушильних шафах або печах, у сушильних шафах або печах без вакууму, у власному баку вихровими струмами (індукційний спосіб), у власному баку струмами короткого замикання, у власному баку постійним струмом, у власному баку струмами нульової послідовності, у власному баку сухим гарячим маслом, у камері або у власному баку сухим, гарячим повітрям від тепловоздуховки. Кожним із цих способів можна досягти високоякісного сушіння активної частини. Однак витрати на обладнання, безпосередні енергетичні витрати на нагрівання, відведення надлишків теплоти, циркуляцію та інше будуть неоднакові. Тому кожного виду сушіння застосовують свої методи.

Сушіння методом постійного струму . Для прогріву трансформатора постійним струмом необхідно пропускати через його обмотки (зазвичай використовують обмотки ВН та СН) струм, близький до номінального. Для рівномірного прогріву бажано забезпечити послідовну або паралельну сполуку всіх трьох фаз обмоток. Іноді застосовують схеми з послідовним з'єднанням обмоток тільки двох фаз або схеми, в яких дві фази з'єднані паралельно, а третя послідовно включена.

Напруга, що підводиться для прогріву до трансформатора, залежно від схеми з'єднання його обмоток складе (В)

$$U_{np} = I_{\max} R_{\phi} k,$$

де I_{\max} - максимальний фазний струм обмотки, що прогрівається, R_{ϕ} - Опір фази обмотки при 15 ° С, Ом; $k = 0,84 \div 0.9$ – коефіцієнт, що враховує зміни опору R_{ϕ} при нагріванні;

– при паралельному з'єднанні всіх трифазних обмоток

$$U_{np} = 2I_{\max} R_{\phi} k,$$

– при двох фазах, з'єднаних паралельно та включених послідовно з третьою

$$U_{np} = 3I_{\max} R_{\phi} k.$$

На початку прогріву до досягнення температури верхніх шарів олії 40 °С допускається прогрів струмом, рівним 1,2 номінального . У процесі прогрівання термосигналізаторами контролюється температура верхніх шарів олії. Температуру обмотки, що прогрівається, визначають за її омичним опором R_z (який вимірюють в процесі прогріву) за допомогою співвідношення:

$$t_z = \frac{R_z}{R_x} (235 + t_x) - 235,$$

де R_x і t_x - опір та температура обмотки, зазначені у паспорті трансформатора.

Час нагріву становить не менше 10 год, рахуючи з моменту включення трансформатора.

Сушіння методом короткого замикання . Для сушіння струмами короткого замикання одну з обмоток замикають коротко, а на іншу подають напругу короткого замикання, що визначається за паспортними даними трансформатора. Схеми включення обмоток трифазних трансформаторів у своїй методі прогріву наведено на рис. 5.5.

Потужність для прогріву P_{np} трифазних трансформаторів визначається формулами, кВт:

– при втратах короткого замыкания (P_K) меньше 500 кВт та температурі обмоток $75\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$P_{np} = \frac{1}{2} P_K,$$

де $P_K = 500$ кВт. При $P_K > 500$ кВт потужність $P_{np} = 0,49 P_K$.

Якщо живлення подається на обмотку меншої потужності, то струм прогріву (I) визначають за формулою

$$I_{np} = I_{ном} \sqrt{P_{np} / P_K},$$

де $I_{ном}$ - Номінальний лінійний струм обмотки, що живиться, А.

Якщо потужності обмоток не дорівнюють і живлення подається на обмотку більшої потужності, то струм прогріву визначають за формулою

$$I_{np} = I_{ном} \sqrt{P_{np} / P_K P_{2ном} / P_{1ном}},$$

де $P_{1ном}$ – номінальна потужність (велика) обмотки, що живиться, кВт·А ;

$P_{2ном}$ – номінальна потужність (менша) обмотки, замкнута коротка, кВт·А .

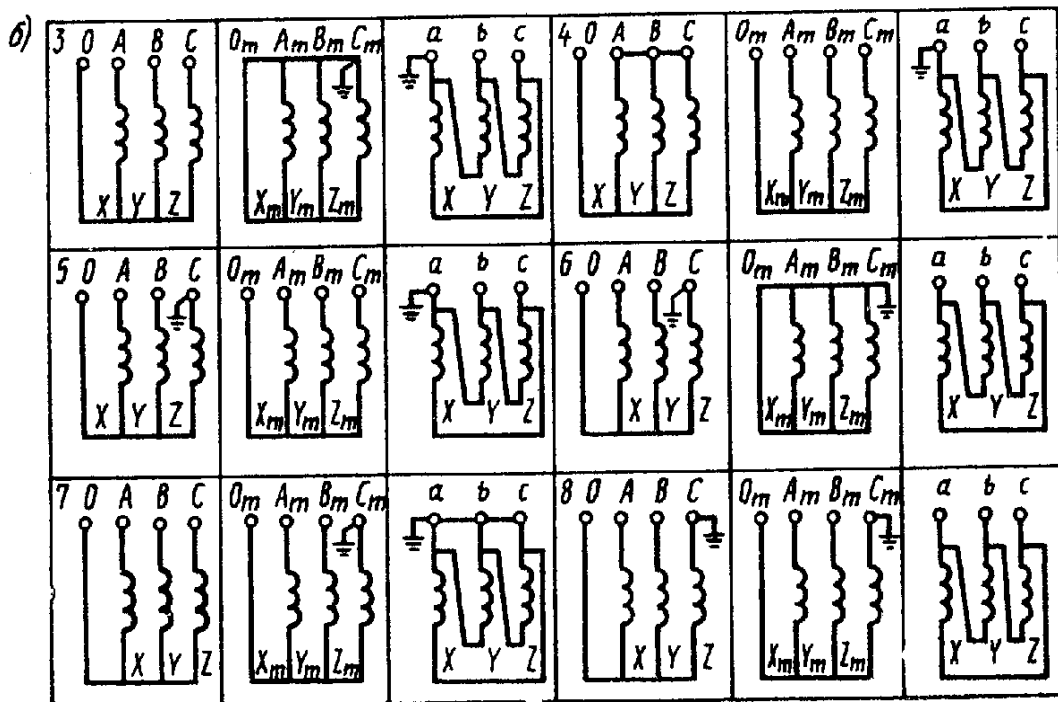
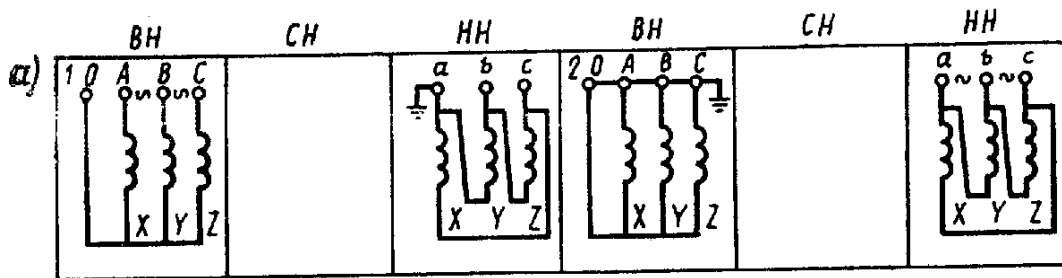


Рис. 5.5. Схеми включення обмоток трифазних трансформаторів при сушінні методом короткого замикання: а – двообмотувальні трансформатори (1-2); б – триобмотувальні трансформатори (3-8)

При цьому має дотримуватися співвідношення

$$I_{np} \leq 0,71 I_{ном}.$$

Напруга прогріву трансформатора, коли потужності обмоток рівні та не рівні, а живлення подається на обмотку більшої потужності, визначають за формулою

$$U_{np} = \frac{U_k U_{ном}}{100} \frac{I_{np}}{I_{ном}},$$

де U_k - Напруга к.з . (%) пари обмоток, що беруть участь у прогріві; $U_{ном}$ – номінальна напруга обмотки, що живиться, кВ.

Якщо потужності обмоток, що беруть участь у прогріві, не рівні , і живлення подається на обмотку меншої потужності, то напруга прогріву визначають за формулою

$$U_{np} = \frac{U_k U_{ном}}{100} \frac{I_{np}}{I_{ном}} \frac{P_{2ном}}{P_{1ном}}.$$

Прогрівання методом короткого замикання (як і прогрівання постійним струмом) забороняється проводити у разі виявлення несправностей, зазначених вище.

Сушіння методом циркуляції нагрітої олії . Цей метод дозволяється використовувати для сушіння активної частини трансформатора без демонтажу на місці його встановлення та від'єднання від мережі лише з вимкненням.

Бак трансформатора з'єднують двома маслопроводами (всмоктуючим і нагнітаючим) із системою примусової циркуляції олії. В систему включають маслонагрівач , фільтри та масляний насос. Схема сушіння може бути і незамкнутою, коли зволожене масло, що поглинуло з ізоляції вологу, більше не використовують, а поступово замінюють сухим гарячим маслом до повного висушування ізоляції.

При незамкненій схемі якість сушіння вища, але потрібна велика кількість олії (приблизно десятикратна від кількості олії в баку). При замкнутій схемі масло не встигає, як слід, просушуватись і потрапляє в бак трансформатора не таким гігроскопічним, як свіже, тому сушіння триває довше.

Існує також небезпека, що масло в замкнутій системі прийде в повну непридатність, його залишки потраплять у канали обмоток і магнітопроводу і сприятимуть швидкому погіршенню свіжого масла, що знову залите. Цей спосіб сушіння особливо пожежонебезпечний і

рекомендується застосовувати лише у виняткових випадках, коли можливість застосування інших методів сушіння відсутня.

Сушіння активної частини в баку струмами нульової послідовності . Цей метод полягає в тому, що до однієї з обмоток трифазного трансформатора підводять знижену однофазну змінну напругу і обмотки з'єднують так, щоб магнітні потоки, що збуджуються в стрижнях, мали однакові значення і напрямки у всіх стрижнях. Замикаючись через повітря, металеві деталі і бак, вони викликають у них втрати від вихрових струмів, чим і створюється нагрівання.

При цьому способі сушіння, як і при індукційному теплота йде від металевих частин через паперову ізоляцію до проводів, тому спосіб неекономічний.

Для трансформаторів I -II габаритів зі схемою з'єднання «зірка-зірка» і номінальною напругою 6300/230 В напруга (В), що підводиться до обмотки ПН,

$$U = 200 / \sqrt{P_{ном}},$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А .

Необхідність підбору напруги при інших схемах з'єднання обмоток досвідченим шляхом, а також необхідність розпаювання обмоток при з'єднанні однієї з обмоток трикутник або зигзаг - серйозні недоліки методу. Тому сфера застосування його вкрай обмежена.

Сушіння методом індукційних втрат у сталі бака - Найпоширеніший метод сушіння активних елементів трансформаторів.

Бак трансформатора утеплюють, обмотують обмоткою, що намагнічує. Вона може бути однофазною (що цілком достатньо для трансформаторів I – II габаритів) або трифазною. До обмотки підключають джерело змінного струму від силової збірки 220 або 380/220 через дво- або триполюсний автомат або рубильник.

При проходженні струму по обмотці в сталевих стінках бака збуджується магнітний потік, який, замикаючись по периметру бака, викликає в ньому вихрові струми, що нагрівають бак. Теплота від бака передається активній частині.

Попередні розрахунки за емпіричними формулами визначають кількість витків намагнічуючої обмотки, а при сушінні в залежності від фактичної температури змінюють кількість витків. Для цього обмотка, що намагнічує, може бути виконана з одним-двома регульовальними відгалуженнями (рис. 5.6).

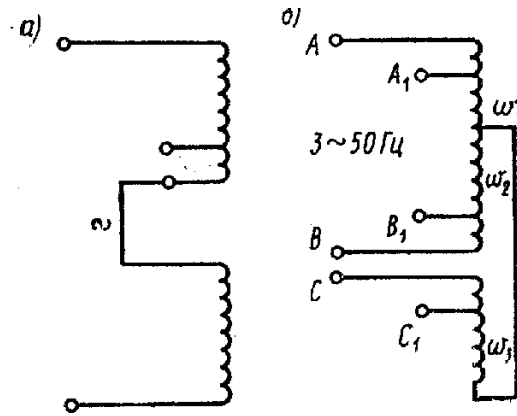


Рис. 5.6. Схема обмотки, що намагнічує: 1 – схема однофазної обмотки; 2 – схема трифазної обмотки, з'єднаної у зірку

Сушіння активної частини можна проводити як з маслом, так і без олії, і в залежності від цього механізм сушіння діє по-різному. Олія є теплоносієм і одночасно гігроскопічним середовищем, що відбирає вологу з ізоляції. У маслі доцільно сушити активну частину з промасленими обмотками, тобто при ремонті без заміни обмоток. Нові обмотки сушать без олії.

Для прискорення сушіння передбачають примусову циркуляцію повітря в порожнині бака, для чого на одному з отворів в кришці бака встановлюють періодично витяжний вентилятор.

Температуру ізоляції на різних висотах обмоток, верхнього та нижнього ярма, стінки бака та повітря у верхній частині бака контролюють термопарами. Температура ізоляції підтримується не більше 95-105 °С, а стінок бака не більше 110-130 °С.

На початку сушіння, після того як температура обмоток досягне 85-100 °С, у баку утворюють вакуум 200 мм рт. ст. (27 кПа) для видалення парів із бака. Надалі вакуум зменшують і до закінчення сушіння доводять до гранично допустимого даної конструкції. Типовий діапазон робочого вакууму 40-50 кПа.

У процесі сушіння вимірюються температури та опору ізоляції. На початку сушіння вимірювання проводять кожні 4 год, а до закінчення сушіння – щогодини. Параметри записують до журналу сушіння.

Сушіння закінчується, коли значення опору ізоляції, що встановилося, відповідне нормам, продовжує залишатися незмінним протягом 6 год. Після цього відключають індукційну обмотку, дають охолонути активній частині до 60-70 °С, ущільнюють всі отвори нижньої частини бака, і заливають сухим трансформаторним маслом.

Розрахунок параметрів індукційної обмотки ведуть в такий спосіб. Потужність індукційної обмотки нагріву, кВт

$$P_{об} = \Delta p \ell h,$$

де Δp - Питома витрата потужності, кВт / м³, Який визначається за табл. 5.1; ℓ - Периметр бака, м; h - Висота бака, м.

Таблиця 5.1

Питома витрата потужності для прогріву трансформатора

Периметр бака трансформатора, м	Питома витрата потужності Δp , кВт/м ³
До 10	до 1,8
Від 11 до 15	Від 2 до 2,8
16 – 20	2,9 - 3,6
21 – 26	3,7 – 4

Число витків обмотки, що намагнічує, при живленні однофазним струмом частотою 50 Гц

$$\omega = AU / \ell,$$

де A - Коефіцієнт, що залежить від питомої витрати потужності, що визначається за табл. 5.2; U - Напряга живлення обмотки на магнічування; ℓ - Периметр бака трансформатора, м.кв.

Струм в обмотці, А

$$I = \frac{P_{об} 10^3}{U \cos \varphi},$$

де $P_{об}$ - Потужність обмотки нагріву бака, кВт; U - Напряга живлення, В; $\cos \varphi$ вибирають рівним 0,5-0,6.

Таблиця 5.2

значення коефіцієнтів A

Питома витрата потужності Δp , кВт/м ³	A	Питома витрата потужності Δp , кВт/м ³	A	Питома витрата потужності Δp , кВт/м ³	A
0,75	2,33	1,35	1,77	2,4	1,44
0,8	2,26	1,4	1,74	2,5	1,42
0,85	2,18	1,45	1,71	2,6	1,41
0,9	2,12	1,5	1,68	2,7	1,39
0,95	2,07	1,6	1,65	2,8	1,38
1,0	2,02	1,7	1,62	2,9	1,36
1,05	1,97	1,8	1,59	3,0	1,34
1,1	1,92	1,9	1,56	3,25	1,31
1,15	1,88	2,0	1,54	3,5	1,28

1,2	1,84	2,1	1,51	3,75	1,25
1,25	1,81	2,2	1,49	4,0	1,22
1,3	1,79	2,3	1,46	-	-

Перетин дроту намагнічуючої обмотки, мм²

$$S = I / j,$$

де I - Струм в обмотці, А ; j - Допустима щільність струму, А/мм².

Для мідних неізолюваних дротів $j = 6$ А/мм² для ізолюваних дротів $j = 3 \div 3,5$ А/мм²; для алюмінієвих неізолюваних дротів $j = 5$ А/мм²; для ізолюваних $j = 2 \div 2,5$ А/мм².

5.3. Порядок проведення роботи

Здійснити вимірювання опору ізоляції обмотки $R_{60''}$, $R_{15''}$, розрахувати коефіцієнт абсорбції.

6. **III. Порядок проведення заключної частини заняття.** Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

Навчальні питання

1. У чому суть процесу сушіння?
2. Які види сушіння застосовують і у яких випадках?
3. У чому сутність різних методів сушіння, їх переваги та недоліки .
4. У яких випадках забороняється проводити контрольне прогрівання методами постійного струму та короткого замикання?

Список використаної літератури

1. Фролов, Ю. М. Основи електропостачання: навч. посібник для студентів вузів / Ю. М. Фролов, В. П. Шалякін . - Санкт-Петербург: Лань, 2012, - 480 с.

http://e.lanbook.com/books/emelent.php?pll_cid=25&pll_id=454

2. Кудрін, Б. Н. Системи електропостачання: навч. посібник [для студ. вузів, які навчаються за спеціальністю «Електропостачання» напрямки підготовки «Електроенергетика»]. - Москва: Академія, 2011. - 352 с.

3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. - Новосибірськ: Сибірське університетське видавництво, 2011. - 192 с.

<http://www/bibioclub.ru/index.php?page=book&id=57238>

4. Анчарова , Т. В. Довідник з електропостачання та електрообладнання промислових підприємств та громадських будівель / Т. В. Анчарова , [та ін.]; за заг. ред. С. І. Гамазіна [та ін]. - М.: Видавничий дім МЕІ, 2010. - 745 с.

5. Красник , В. В. Правила влаштування електроустановок у питаннях та відповідях: посібник для вивчення та підготовки до перевірки знань. - М.: ЕНАС, 2009. - 512 с.

<http://www/bibioclub.ru/index.php?page=book&id=58077>

6. Разгільдєєв, Г. І. Експлуатація систем електропостачання (технічне обслуговування електроустаткування): навч. посібник [для студентів вузів, які навчаються за спеціальністю 140211 «Електропостачання»] / ГОУ ВПО « Кузбас . держ. техн. ун-т» Кемерово, 2010. - 156 с.

7. Анцев , І. Б. Основи проектування систем електропостачання: [Довід. посібник] / НОУ ДПО «Учеб. метод. центр " Электро Сервіс" - СПб., 2010. - 664 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6. ВИВЧЕННЯ ОБСЯГУ І НАСЛІДНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІСЛЯ МОНТАЖУ

Навчальна мета заняття: вивчити обсяг та послідовність випробувань силових трансформаторів . Навчитися _ вимірювати опір _ ізоляції обмоток силових трансформаторів .

Кількість годин – 0,5 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення заняття: 1-3

План проведення заняття.

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

Силові трансформатори , що вводяться в експлуатацію , повинні піддаватися прийомоздавальному випробуванню відповідно до вимог ПУЕ .

Обсяг _ випробувань входять :

1. Вимірювання характеристик ізоляції : R_{60} ; R_{60} / R_{15} ; $\tan \delta$; C_2 / C_{50} ; $\Delta C_2 / C$.
2. Випробування підвищеним напругою промислової частоти :
 - а) ізоляції обмоток разом із введеннями;
 - б) ізоляції доступних стяжних шпильок , пресуючих кілець та ярмових балок.
3. Вимірювання опору обмоток постійного струму.
4. Перевірка коефіцієнта трансформації .
5. Перевірка групи з'єднання трифазних трансформаторів та полярності висновків однофазних трансформаторів .
6. Вимірювання струму та втрат холостого ходу.
- 7 . Перевірка роботи перемикаючого пристрою та зняття круговий діаграми .
8. Випробування бака з радіаторами гідравлічним тиском .
9. Перевірка системи охолодження .
10. Перевірка стану силікагелю .
11. Фазування трансформаторів .
12. Випробування трансформаторної олії.
13. Випробування вводів .
14. Випробування включенням поштовхом на номінальне напруга .

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЗА ВИПРОБУВАННЯМИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Випробування електрообладнання повинні проводитися з дотриманням вимог правил техніки безпеки .

1. Електричні випробування ізоляції електрообладнання та відбір проби трансформаторної олії для випробувань необхідно проводити за температури ізоляції не нижче 5 °С, крім обумовлених у Нормах випадків , коли вимірювання слід проводити при більш високою температурі . В окремих випадках (наприклад , при прийнятно-здавальних випробуваннях) за рішенням технічного керівника енергопідприємства вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат , опору ізоляції та інші вимірювання на електрообладнанні на напругу до 35 кВ включно можуть проводитися при більш низькою температурі . Вимірювання електричні характеристики ізоляції , вироблені при негативних температурах, повинні бути повторені в можливо більше короткі терміни при температурі ізоляції не нижче 5 °С.

2. Порівняння характеристик ізоляції повинно проводитися при одній і тій же температурі ізоляції або близьких її значення (розбіжність - не більше 5 ° С). Якщо це неможливо , повинен застосовуватися температурний перерахунок відповідно до інструкцій з експлуатації _ конкретних видів електрообладнання .

3. Випробування та вимірювання слід проводити у певній послідовності . Так, небайдуже , наприклад , що випробувати спочатку – електричну міцність ізоляції або трансформаторна олія. При випробуваннях підвищеним напругою у разі поганої якості олії може статися пробій ізоляції . Виткову ізоляцію відчують після випробування головної ізоляції , так як у випадку пробою витковий ізоляції під час випробувань підвищеним напругою дефект у витках не буде виявлено . Неприпустимо також вимірювати опір обмоток постійному струму до досвіду короткого замикання . При цьому досвід у разі поганого якості паяння схеми або поганого стану контактів у перемикачах , відведення може підгоріти або перегоріти . Якщо після цього досвіду не виміряти опір обмоток постійному струму , то дефект залишиться невиявленим .

4. Під час проведення кількох видів випробувань ізоляції випробуванню підвищеним напругою повинні передувати інші види її випробувань .

5. Вимірювання характеристик ізоляції проводять при температурі ізоляції не нижче 10 °С не раніше ніж через 12 годин після заливання олією. Значення характеристик ізоляції повинні бути не нижче наведених у табл. 6. 1-6.4 .

6.

Таблиця 6.1

Найменші допустимі опори ізоляції $R_{60''}$
обмоток трансформаторів

Значення $R_{60''}$, МОм, при температурі, °С							
Температура ізоляції	10	20	30	40	50	60	70
Масляні трансформатори до 35 кВ	450	300	200	130	90	60	40
Масляні трансформатори 110 кВ	900	600	400	260	180	120	80

Таблиця 6.2

Найбільші значення $\tan \delta$ для трансформаторів до 35 кВ

Значення $\tan \delta$ %, при температурі обмоток, °С							
Температура ізоляції	10	20	30	40	50	60	70
Масляні трансформатори до 35 кВ	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,0
Масляні трансформатори 110 кВ	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3	3,0	4,0

Таблиця 6.3

Найбільші значення C_2 / C_{50} для трансформаторів

Значення відношення C_2 / C_{50} вимірюного при температурі обмоток, °С			
Температура ізоляції	10	20	30
Масляні трансформатори до 35 кВ	1,1	1,2	1,3
Масляні трансформатори 110 кВ	1,05	1,15	1,25

Для сухих силових трансформаторів значення $R_{60''}$ при температурі 20 - 30 °С наведені у табл. 6.4.

Значення коефіцієнта абсорбції $k = R_{60''} / R_{15''}$ повинно бути не менше 1,3 при температурі виміру від 10 до 30 °С.

Таблиця 6.4

Найменші допустимі значення опорів $R_{60''}$
обмоток сухих силових трансформаторів

Номінальну напругу трансформаторів, кВ	Опір ізоляції, МОм
До 1	100
1÷6	300
Більше 6	500

Випробування підвищеним напругою : а) ізоляції обмоток разом з водами у відповідність до норм, представленими в таблиці л. 6.5. Тривалість випробування 1 хв (дане випробування для масло - наповнених — —

трансформаторів необов'язково); б) ізоляції доступних стяжних шпильок , що пресують кілець та ярмових балок виробляється напругою 1 - 2 кВ протягом 1 хв у разі огляду активною частини .

Таблиця 6.5

Випробувальне напруга промислової частоти
ізоляції силових ма з лонаповнених трансформаторів
та трансформаторів з полегшеною ізоляцією
(Сухих і маслonaповнених)

Клас напруги обмотки, кВ	Випробувальна напруга по відношенню до корпусу та інших обмоток, кВ , для ізоляції:	
	нормальною	полегшеною
До 0,69	4,5	2,7
3	16,2	9
6	22,5	15,4
10	31,5	21,6

Вимірювання опору обмоток постійному струму виробляють на всіх відгалуженнях , якщо для цього не потрібно виїмки сердечника. Значення опору не повинно відрізнятися більше ніж на 2% від значення , отриманого на такому ж відгалуженні інших фаз, або від паспортних даних .

Перевірка коефіцієнта трансформації проводиться на всіх щаблях перемикачання . Коефіцієнт трансформації не повинен відрізнятися більше ніж на 2% від значень, отриманих на тому ж відгалуженні інших фаз, або від паспортних даних .

Перевірка групи з'єднання Виготовляється лише за відсутності паспортних даних .

Вимірювання струму та втрат холостого ходу проводиться для трансформаторів понад 1000 кВ·А за номінального або зниженому напругу з перерахуванням на номінальну напруга . Струм холостого ходу не нормується .

Зняття _ круговий діаграми виробляється на всіх положеннях перемикача . Кругова діаграма не повинна відрізнятися від діаграми заводу-виробника .

Випробування бака з радіаторами гідравлічним тиском виробляють тиском стовпа олії, висоту якого над рівнем заповненого розширювача приймають : для трубчастих та гладких баків 0,6 м; для хвилястих та радіаторних баків 0,3м. Якщо протягом 3 год при температурі олії не нижче 10 ° С не спостерігається течі , то бак вважають герметичним .

Перевірка системи охолодження . Режим пуску та роботи охолоджених пристроїв повинен відповідати інструкції заводу-виробника .

Перевірка стану силікагелю . Індикаторний силікагель повинен мати рівномірну блакитне забарвлення зерен . Зміна кольору свідчить про зволоження силікагелю . Для відновлення _ властивостей силікагель прожарюють у печах.

Випробування трансформаторної олії . Пробу олії з трансформатора відбирають. після доливки (або заливки) та відстою протягом не менше 12 годин для трансформаторів до 35 кВ включно . Відбір проби олії виробляють з спеціально призначеного для цього крана (або пробки), що є на баку трансформатора.

Взяте на пробу олію випробовують на вміст механічних домішок , виваженого вугілля , на кислотне число, реакцію в однієї витяжки , температуру спалаху . При цьому пробивне напруга олії має бути не менше 25 кВ для трансформаторів напругою до 15 кВ включно .

Випробування вводів виробляють по наступним параметрам: опір ізоляції вимірювальної та останньої обкладок вводів , виміряне щодо сполучної втулки (виробляють мегаомметром на 1 - 2,5 кВ), не повинно бути менше 1000 МОм ;

тангенс кута діелектричних втрат , вимірний при напрузі 3 кВ, не повинен перевищувати 3 % за номінального напрузі введення від 3 до 15 кВ;

випробування вводів підвищеним напругою виробляють для вводів , встановлених на трансформаторах, протягом 1 хв разом із обмотками за нормами табл. 6.5 . Введення вважають витримали випробування , якщо при цьому не спостерігалось пробою , що ковзають розрядів , виділень газу , а також якщо після випробувань не виявлено місцевого перегріву ізоляції .

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Вимірювання характеристик ізоляції виробляють за температури ізоляції не нижче 10 °С не раніше ніж через 12 год після закінчення заливання олією. Вимірювання виробляють за схемами табл. 6.6 . При вимірі всі вводи обмоток однієї напруги з'єднують разом , інші обмотки та бак трансформатора повинні бути заземлені . На початку вимірюють $R_{15''}$ і $R_{15''} / R_{60''}$, потім інші показників та ізоляції .

Таблиця 6.6

Схеми вимірювання характеристик ізоляції трансформаторів

Двообмотувальні трансформатори		Триобмотувальні трансформатори	
Обмотки, на яких вимірюються	Частини трансформаторів, що заземлюються.	Обмотки, на яких вимірюються	Заземлювані частини обмоток
ПН ВН	Бак, ВН Бак, ПН	ПН СН	Бак, СН, ВН Бак, ВН, ПН

ВН+НН	Бак	ВН ВН+СН ВН+СН+ПН	Бак, ПН, СН Бак, ПН Бак
-------	-----	-------------------------	-------------------------------

За температуру ізоляції трансформатора, що не піддавався нагрівання, приймають температуру верхніх шарів олії. Для трансформаторів без масла температура визначається термометром, встановленим в кишеню термосигналізатора на кришці бака, причому кишеня слідує заповнювати олією.

Якщо температура олії нижче 10°C , то для виміру характер рис тик ізоляції трансформатор повинен бути нагрітий. При нагріванні трансформатора температури ізоляції обмоток приймають рівною середньої температурі обмоток ВН, яка визначається за опором обмотки постійному струму. Вимірювання зазначеного опору виробляють не раніше ніж через 60 хв після відключення нагрівання обмотки струмом і не раніше ніж через 30 хв після відключення зовнішнього обігріву. Опір ізоляції вимірюють мегаомметром на 2500 В з верхнім межею не нижче 10 МОм. Перед початком кожного вимірювання випробувана обмотка повинна бути заземлена на час не менше 2 хв для зняття можливого ємнісного заряду.

Для наведення значень $R_{60"}$, виміряних на заводі, до температури вимірювань на монтажі t_1 , а також для визначення нормованих значень $R_{60 \text{ при}}$ температурах, не кратних десяти, виробляють перерахунок за допомогою коефіцієнта k_2 , який має наступні значення:

$t_2 - t_1, ^{\circ}\text{C}$	5	10	15	20	25	30	35
k_2	1,23	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4	4,15
$t_2 - t_1, ^{\circ}\text{C}$	40	45	50	55	60	65	70
k_2	5,1	6,2	7,5	9,2	11,2	13,9	17

III. Порядок проведення заключної частини заняття. Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

Запитання по темі заняття

1. Які види випробувань трансформатора виробляють після монтажу?
2. У чому полягає фізична сутність характеристик ізоляції:
 $R_{60"}$; $R_{60"}/R_{15"}$; $\text{tg } \delta$; C_2/C_{50} ; $\Delta C_2/C$?
3. Як виробляють випробування підвищеним напругою промислової частоти:
 - а) ізоляції обмоток разом із введеннями;
 - б) ізоляції доступних стяжних шпильок, пресуючих кілець та ярмових балок.
4. Для чого виробляють вимір опору обмоток постійному струму?
5. Для чого виготовляється перевірка коефіцієнта трансформації?

6. В яких випадках проводять перевірку групи з'єднання трифазних трансформаторів та полярності висновків однофазних трансформаторів ?
7. Для чого вимірюють струм і втрати холостого ходу трансформатора ?
8. Для чого перевірка роботи перемикаючого пристрої та зняття круговий діаграми ?
9. Для чого Виконується випробування бака з радіаторами гідравлічним тиском ?
10. Для чого проводиться перевірка системи охолодження ?
11. В яких випадках проводиться перевірка стану силікагелю ?
12. Для чого Виконується фазування трансформаторів ?
13. Для чого Виконується випробування трансформаторного масла ?
14. В яких випадках випробування вводів зізнаються успішними ?
15. Для чого виробляють випробування включенням поштовхом на номінальне напруга ?

Список використаної літератури

- 1 . Міхеев, Г. М. Електростанції та електричні мережі: діагностика та контроль електрообладнання. - Москва: Додека -XXI, 2010. - 224 с.
2. Полуянович , Н. К. Монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 140610 напряму підготовки 140600 – «Електротехніка, електромеханіка та електротехнології». - СПб.: Лань, 2012. - 400 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767
3. Обсяг та норми випробувань електрообладнання [Електронний ресурс]: РД 34.45-51.300-97 / РАТ «ЄЕС Росії». - Новосибірськ: Сибірське університетське видавництво, 2008. - 240 с.
<http://www.biblioclub.ru/book/57318/>

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7. ВИВЧЕННЯ НАСЛІДНОСТІ РОЗДІЛКИ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ З ПАПЕРОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ ДО 10 кВ

Навчальна мета заняття– навчити проводити обробку кабелю з паперовою ізоляцією.

Кількість годин – 0,5 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять: 1-3

План проведення заняття.

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

Методичні вказівки

При самостійній підготовці до практичної роботи необхідно вивчити призначення та види кабельних муфт, їх позначення та порядок обробки силового кабелю по [1, 2], попередньо визначивши стан ізоляції.

За підсумками самостійної підготовки складається звіт, у якому слід навести маркування муфт, їх найпоширеніші типи та відповіді Навчальні питання. Захист практичної роботи оцінюється диференціально та враховується під час контролю знань на іспиті.

7.1. Короткі теоретичні відомості

При монтажі кабельних ліній виникає необхідність з'єднувати кабелі між собою (для чого застосовують з'єднувальні та відгалужувальні муфти) та під'єднувати кабелі до різних електричних апаратів та пристроїв (для чого застосовують кінцеві закладення та кінцеві муфти).

Для виконання муфт і закладень спочатку проводиться ступінчаста обробка кабелю. Перед обробкою кабелю проводять випробування паперової ізоляції кабелю, занурюючи стрічки паперової ізоляції, прилеглі до оболонки і жили, парафін, нагрітий до 150 °С . Ознакою наявності вологи є потріскування та утворення піни. В цьому випадку від кінця кабелю відрізають ділянки довжиною 250-300 мм і проводять повторну перевірку. Операцію проводять до одержання позитивних результатів. Якщо волога проникла глибоко, кабель бракують. Технологія виконання оброблення кабелю залежить від призначення муфти або закладення, її матеріалу та номінальної напруги, при якому вона повинна застосовуватися.

У маркування муфт і закладок входять літерні та цифрові символи,

кожен з яких має своє розшифрування.

На початку позначення ставиться буква, що визначає призначення - муфти (закладення):

С – муфта сполучна;

Про - муфта відгалужена ;

Ст - муфта стопорна;

СП – муфта перехідна;

КВ - муфта (закладення кінцева внутрішньої установки);

КН - муфта кінцева зовнішньої установки.

Після маркування, що визначає призначення, ставиться буква, що позначає матеріал муфти:

Ч – чавун;

С-свинець;

А – алюміній;

Е – епоксидний компаунд;

Р – гума;

Сл - стрічка , що самоклеїться;

Б - сталева вирва, що заливається бітумним складом.

Після позначення матеріалу ставляться літери, що визначають різні характеристики муфт і закладень:

ТБ – з термоусаджуваними полівінілхлоридними трубками;

Н – із трубками із найритової гуми;

Т – із тришаровими трубками;

З (у поєднанні Р_з) – із заповненням ізоляційним складом;

Сл – з підмотуванням із самоклеючих стрічок;

В – з корпусом, що має поздовжній роз'єм у вертикальній площині;

С – що відливається у знімній формі;

Про – овальної форми;

К-круглої форми.

Якщо перед позначенням виконання муфти (закладки) стоїть буква П, це означає, що муфта призначена для кабелів з пластмасовою ізоляцією.

Найбільш поширеними муфтами та загортаннями для кабелів з паперовою ізоляцією на напругу до 10 кВ є наступні:

- Сполучні муфти - СЧ, СЕ, СЕ (на 1 кВ); СС, СЕ, СЕ (на 6 і 10 кВ);

– кінцеві закладення та муфти внутрішньої установки для сухих приміщень КВЕ_{ТВ}, КВР (на 1 кВ); КВЕ_{ТВ}; КВ_Т (на 6 та 10 кВ);

– кінцеві закладення та муфти для вологих приміщень – КВЕ_{ТВ}, КВЕ_Т (на 1 кВ); КВЕ_{ТВ}; КВ_Т (на 6 та 10 кВ);

– кінцеві закладення та муфти для сирих та особливо сирих приміщень – КВЕ_П (на 1 кВ); КВЕ_П (на 6 та 10 кВ);

– кінцеві закладення та муфти для жарких та сухих приміщень – КВЕ_{ТВ}, КВ_{сл}, КВЕ_Т (на 1 кВ); КВЕ_{ТВ}, КВЕ_Н, КВЕ_Т, КВЕ_{до} (на 6 і 10 кВ).

7.2. Порядок виконання робіт

Для виконання робіт на робочому столі повинні бути такі матеріали та інструменти: ножівка -бронерізка ; монтерський ніж; плоскогубці; складаний метр; напилек; ключ для зняття гофрованої оболонки; суворі нитки; набір заземлювальних проводів; оцинкований сталевий дріт діаметром 1-1,5 мм; сталевий дріт діаметром 2 мм.

Операції над елементами кабелю, які відсутні у виданому для обробки кабелі, не проводять.

Якщо зняття бітумної подушки проводиться з використанням -розчинників, то в приміщенні забороняється застосування відкритого вогню.

Обробку в залежності від її призначення (для сполучних муфт або кінцевих закладень) слід проводити відповідно до рис. 7.1. Розміри обробки кабелів дано в табл. 7.1 та 7.2. У табл. 7.2 Розмір Ж (довжину оброблених жил) визначають залежно від умов приєднання кабелю. Цей розмір не повинен бути меншим за 150 мм при $U = 1$ кВ , 250 мм при $U = 6$ кВ і 400 мм при $U = 10$ кВ. Розмір Р слід приймати рівним 30 мм (він визначається обраним способом віконця жил). У табл. 7.1 Розмір Г визначається способом з'єднання жил ($Ж = I + Г$). Для муфт, розташованих усередині будівель, $Б = 0$ і $А = В$. У чисельнику стоять цифри для броньованих кабелів, у знаменнику – для кабелів із пластмасовою ізоляцією. Розміри для обробки кабелю до 10 кВ наведені в табл. 7.2.

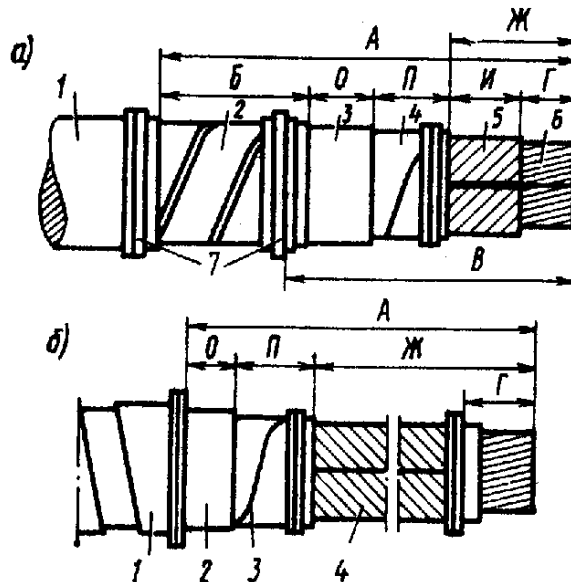


Рис. 7.1. Види обробок: а – обробка кінця трижильного кабелю з поясною паперовою ізоляцією (1 – зовнішній покрив, 2 – броня, 3 – свинцева або алюмінієва оболонка, 4 – поясна ізоляція, 5 – ізоляція жил, 6 – жили кабелю, 7 – дротяні бандажі) ; б - обробка кінця трижильного кабелю з паперовою ізоляцією для монтажу кінцевих закладень (1 - броня,

2 - оболонка, 3 - поясна ізоляція, 4 - жила в заводській ізоляції)

Таблиця 7.1

Розміри обробки кабелів з паперовою ізоляцією до 10 кВ
при монтажі сполучних та відгалужувальних муфт

Маркорозмір муфти	Розміри обробки, мм (рис. 7.1, а)					
	А	Б	Про	П	Ж	у
СС-60	330	60	70	25	175	270
СС-70	345	60	70	25	190	285
СС-80	370	60	70	25	215	310
СС-90	380	60	70	25	225	320
СС-100	405	60	70	25	250	345
СС-110	450	60	70	25	294	390
СЕ-3×50-10	395/315	-	120	20	190	-
СЕ-3×95-10	420/340	-	120	20	215	-
СЕ _м -3×50-1	-	-	80	10	106	56

Таблиця 7.2

Розміри обробки кабелів до 10 кВ
при монтажі кінцевих муфт
та закладення внутрішньої установки

Маркорозмір муфти або закладення	Розміри, мм (рис. 7.1 б)		
	А	Про	П
КВЕ 3х35-6 КВЕ 3х35-10 КВЕ _т 3х35-6	Ж +55	35	20
КВЕТ 3х35-10 КВЕ 3х70-10 КВЕ _т 3х70-10	Ж +70	50	20
КВР - 1 -КВР-4	Ж +90	60	20

Роботу слід виконувати відповідно до технологічної карти (табл. 7.3)
та рис. 7.1 а або б.

Таблиця 7.3

Технологічна карта обробки кабелю
з паперовою ізоляцією

Операція	Спосіб виконання
1	2
Зняття броні зі сталевих стрічок	На відстані А від кінця кабелю накладають бандаж із дроту $d = 2$ мм. Джутовий покрив розмотують від кінця кабелю до бандажа і не зрізають, а залишають для подальшого захисту шаблі броні від корозії.
Те саме	На відстані Б від першого бандажа накладають другий бандаж із такого ж дроту. Бронеленти надрізають по кромці другого бандажу, після чого їх розмотують та видаляють.
Видалення подушки	Стрічки подушки розмотують та видаляють. Бітумний склад ретельно змивають. При цьому допускається нагрівання подушки швидким вогнем
Надрізання оболонки	На відстані О від зрізу броні виконують перший кільцевий надріз, але в відстані П +5 від першого – другий. Надрізи роблять обережно, на половину товщини оболонки.
Зняття свинцевої оболонки	Від другого кільцевого надрізу до кінця кабелю виконують два поздовжні надрізи на відстані 10 мм один від одного. Смужку між надрізами видаляють до другого кільцевого надрізу та знімають оболонку
1	2
Зняття гладкої алюмінієвої оболонки	Від другого кільцевого надрізу до кінця кабелю виконують надріз гвинтової лінії, встановивши різець ножа під кутом 45° до осі кабелю. За допомогою плоскогубців видаляють оболонку
Зняття гофрованої алюмінієвої оболонки	Надрізають оболонку на відстані 10-15 мм у виступу гофра, відгинають надрізану частину оболонки на крок і надривають її далі на 25-30 мм; закріплюють смужку оболонки в прорізі ключа (рис. 7.2) і, повертаючи ключ за годинниковою стрілкою, намотують на нього смужку оболонки до дротяного бандажу
Видалення поясної ізоляції	Розмотують стрічки напівпровідного (чорного) паперу та поясної ізоляції та обривають їх біля краю оболонки.
Згинання жив	Жили трохи розводить убік і згинають за шаблоном. Без шаблону жили згинають поступовим пересуванням обох рук жилою, не допускаючи крутих переходів і пошкодження паперової ізоляції. Радіус вигину має бути не менше 10-кратного діаметра жили або висоти її сектора
Зняття паперової ізоляції	Знімають ізоляцію жил на ділянці, довжину якого визначають способом віконця або з'єднання; попередньо біля місця зрізу на ізоляцію накладають бандаж двома-трьома витками суворих ниток. Потім роблять оконцювання або з'єднання жил
Видалення оболонки над поясним ступенем	Надрізають і знімають ділянку алюмінієвої або свинцевої оболонки, залишену раніше між двома кільцевими надрізами.

ізоляції	Торці, що залишилися оболонки обробляють, видаляючи гострі краї і задирки
Оформлення ступеня поясної ізоляції	На відстані П від зрізу оболонки накладають бандаж із суворих ниток та обробляють стрічки поясної ізоляції до бандажу.
Те саме напівпровідного паперу	Пасок напівпровідного паперу, що залишився на кабелі, завдовжки 5 мм закріплюють на кінці бандажом з двох витків суворих ниток.
Розбирання кінця свинцевої оболонки	За відсутності під свинцевою оболонкою напівпровідного паперу оболонку відгинають рівномірно по всьому колу за допомогою розбирання.
Вибір перерізу мідного багатодротяного провідника	Перетин дроту заземлення має бути для кабелів перетином жил до 10 мм^2 - 6 мм^2 ; $16-25 \text{ мм}^2$ - 10 мм^2 ; $50-120 \text{ мм}^2$ - 16 мм^2 ; $150-240 \text{ мм}^2$ - 25 мм^2
Вибір довжини дроту заземлення при сполучних муфтах	Довжина дроту заземлення повинна забезпечити його послідовне приєднання до оболонок (екранів), броні та металевих корпусів муфт.
Те ж саме, при кінцевих муфтах та закладеннях	Те ж саме, але вільний кінець дроту заземлення повинен служити для приєднання до опорної конструкції муфти (загортання) або до мережі заземлення
Приєднання дроти заземлення до оболонки	Провід заземлення закріплюють на оболонці бандажом з сталевого оцинкованого дроту діаметром 1-1,5 мм і припаюють припоєм. Попередньо місце паяння очищають та облуджують
1	2
Те саме, але до броні кабелю	Приєднують при стрічковій броні до обох бронелентів, а при дротяній - до всіх зволікань бандажом з дроту, а потім паянням. Попередньо місце паяння очищають та облуджують
Те саме, але до болта заземлення муфти або опорної конструкції	Провід заземлення закінчують наконечником способом зварювання, паяння або опресування

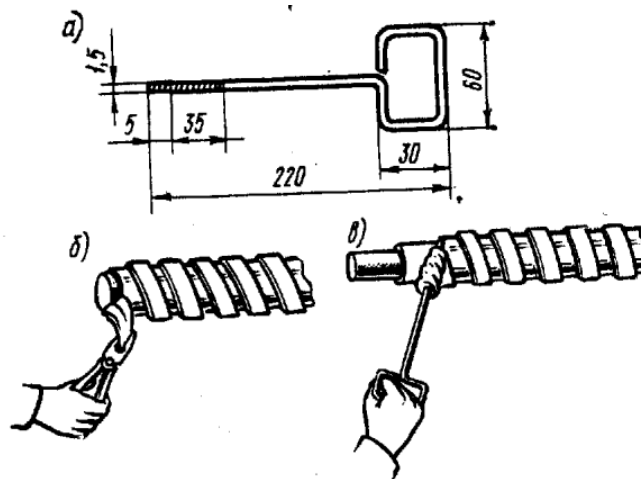


Рис. 7.2. Видалення гофрованої алюмінієвої оболонки та розміри ключа: а – ключ; б – відгинання оболонки плоскогубцями; в – нагортання оболонки на ключ

7.3. Виконання практичної роботи

Здійснити обробку кабелю відповідно до даних методичних вказівок. Записати послідовність дій на звіт.

III. Порядок проведення заключної частини заняття. Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

Навчальні питання

1. Для чого роблять ступінчасту обробку кабелів?
2. Розшифруйте марку муфти або загортання, для якої проводилася обробка кабелю.
3. Розшифруйте марку кабелю, на якому проводилася обробка.

Список використаної літератури

1. Полуянович , Н. К. Монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 140610 напряму підготовки 140600 – «Електротехніка, електромеханіка та електротехнології». - СПб. : Лань, 2012. - 400 с.
2. Нейштадт , Е. Т. Лабораторний практикум по предмету «Монтаж, експлуатація та ремонт електрообладнання підприємств та установок». - М.: Вища школа, 1991. - 111 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8. ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ У КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ

Навчальна мета заняття— вивчити методи визначення місць ушкодження у кабельних лініях.

Кількість годин – 0,5 (заочна форма).

Місце проведення : аудиторія коледжу

Література, методичне та матеріально-технічне забезпечення занять: 1-3

План проведення заняття.

I. Порядок проведення вступу до заняття Вступ до заняття. Проведення попереднього контролю теоретичних знань, практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття

Методичні вказівки

Під час підготовки до практичної роботи необхідно попередньо ознайомитися з конструкцією кабелів та пристроєм прокладання кабелів у траншеях.

8.1. Короткі теоретичні відомості

Відносні методи визначення місць ушкодження . Незважаючи на проведення профілактичних випробувань, при експлуатації мають місце ушкодження (випадкові відмови) кабельних ліній (КЛ). Як правило, це пробій ізоляції, рідше розрив фаз.

Пошкоджений кабель від'єднується з обох кінців від обладнання та за допомогою мегомметра визначається характер пошкодження: вимірюється опір ізоляції між кожною фазою та заземленою металевією оболонкою та між кожною парою фаз. Вимірювання проводять з одного кінця кабелю. Фазні жили іншого кінця кабелю розімкнені (для визначення замикань) або замкнуті та заземлені (для визначення обривів).

Результати вимірювань можуть не виявити характеру пошкодження, оскільки перехідний опір у місці ушкодження може бути досить високим, зокрема, через затікання місця пробою ізоляції маслоканіфольним складом (запливає пробою) у кабелях з паперовою просоченою ізоляцією.

Для зниження перехідного опору ізоляція кабелю у місці ушкодження пропалюється. Для цього на кабель подається напруга, достатня для пробою ізоляції у місці пошкодження. Після деякого часу повторення пробойів перехідний опір у місці пошкодження зменшується, розрядна напруга знижується, а струм розряду збільшується. Ізоляція пропалюється цим струмом, перехідний опір у місці ушкодження зменшується.

Після визначення характеру пошкодження вибирається спосіб та

апаратура для визначення місця ушкодження кабелю.

За точністю визначення місця ушкодження розрізняють відносні та абсолютні методи. Відносні методи мають певну похибку і дозволяють визначити лише зону ушкодження. Це імпульсний, петльовий та ємнісний методи.

Точне місце ушкодження дозволяють знайти абсолютні методи, такі як індукційний і акустичний.

Імпульсним методом визначається зона однофазного чи багатofазного замикання, зона обриву будь-якої кількості фазних жил.

У пошкоджену лінію надсилається еталонний електричний імпульс. На екрані вимірювального приладу, проградуєваному в мкс, вимірюється інтервал часу t_x між моментом подачі імпульсу та моментом приходу імпульсу, відбитого від місця пошкодження (рис. 8.1).

Швидкість поширення електромагнітних хвиль у силових кабелях практично не залежить від перерізу та матеріалу жил і становить 160 ± 3 м/мкс. Відстань до місця ушкодження обчислюється як $\ell_x = 80t_x$, м. Для випадку, наведеного на рис. 8.1 зона пошкодження знаходиться на відстані $\ell_x = 80 \times 3,5 = 280$ м від місця вимірювання.

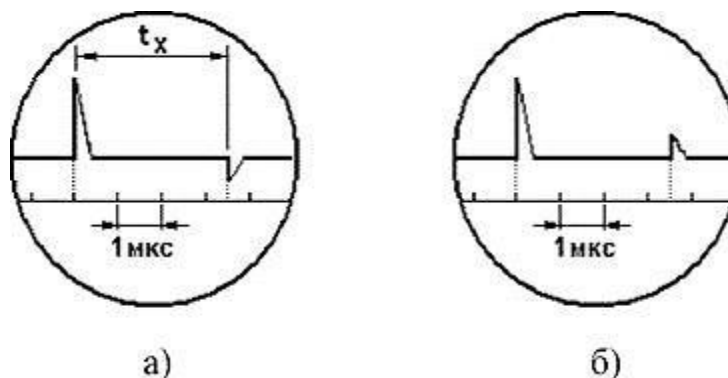


Рис. 8.1. Екран приладу щодо зони пошкодження кабелю імпульсним методом: а – при замиканні; б – при обриві

По знаку відбитого імпульсу судять характер пошкодження. Якщо надісланий і відбитий імпульс різного знака – пошкодження типу замикання (рис. 8.1, а), якщо одного знака – пошкодження типу обрив (рис. 8.1, б).

Петльовий метод застосовується для визначення зони однофазних та двофазних замикань на землю. Цей метод заснований на вимірі омичного опору жил кабелю до місця ушкодження.

На одному кінці кабелю замикаються нормальна та ушкоджена жили (утворюється петля). Вимірювання проводяться з іншого кінця кабелю (рис. 8.2). Для вимірювання опорів може використовуватися R_2 , R_4 наприклад, міст постійного струму.

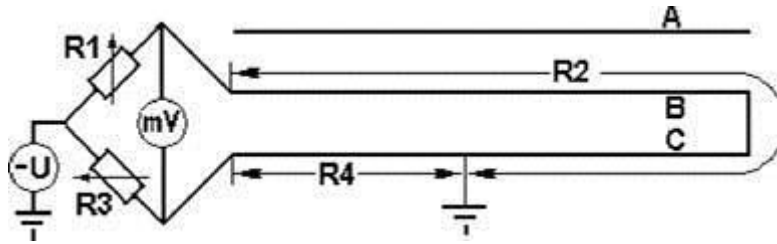


Рис. 8.2. Схема визначення зони ушкодження петльовим методом

В одну діагональ моста включається джерело постійної напруги $-U$, в іншу - вимірювальний прилад, наприклад: mV . Регульованими опорами R_1 досягається рівновага мосту – нульове показання мілівольтметра R_3

Відомо, що рівновага мосту досягатиметься при виконанні співвідношення

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4},$$

де R_2 – опір нормальної жили та ділянки пошкодженої жили від кінця кабелю до місця ушкодження; R_4 – Опір ділянки пошкодженої жили від початку кабелю до місця пошкодження.

Оскільки опір жили кабелю пропорційний його довжині, зона пошкодження після досягнення рівноваги моста визначається нескладними обчисленнями

$$\ell_x = \frac{2\ell R_3}{R_1 + R_3},$$

де ℓ – Довжина кабелю.

Ємнісний метод дозволяє визначити зону обриву фазних жил кабелю. Метод базується на вимірі ємності між кожною житловою та заземленою металевою оболонкою кабелю.

Нехай виміряна ємність обірваної жили становить C_x , а виміряна ємність цілої жили – C . Відстань до місця урвища складає

$$\ell_x = \ell \frac{C_x}{C}.$$

При обриві трьох фазних жил ємність кабелю розраховується за відомим виразом

$$C = \frac{b_0 \ell}{314},$$

де b_0 – Питома ємнісна провідність кабелю, що визначається за довідковими даними.

Абсолютні методи визначення місць ушкодження. Індукційний метод дозволяє визначити місце багатofазних замикань у кабелі після успішного пропалювання ізоляції у місці ушкодження. Метод заснований на уловлюванні магнітного поля, створюваного навколо кабелю струмом, що протікає по ньому. Уловлювання поля здійснюється за допомогою спеціальної пошукової котушки, що має магнітний сердечник для концентрації поля.

За двома пошкодженими жилами кабелю пропускається струм високої частоти (800...1000 Гц) від звукового генератора G (рис. 8.3).

Чутний частотний діапазон – діапазон звукових частот, чутних людському вуху. Чутний діапазон лежить в інтервалі від 20 до 20000 Гц, але для більшості технічних досліджень розглядаються лише частоти в інтервалі приблизно від 40 до 11000 Гц.

Навколо кабелю утворюється магнітне поле високої частоти. Помістивши в поле пошукову котушку, з'єднану через підсилювач з навушниками, можна прослуховувати звуковий сигнал. Обслуговуючий персонал, просуваючись трасою КЛ, прослуховує цей звуковий сигнал.

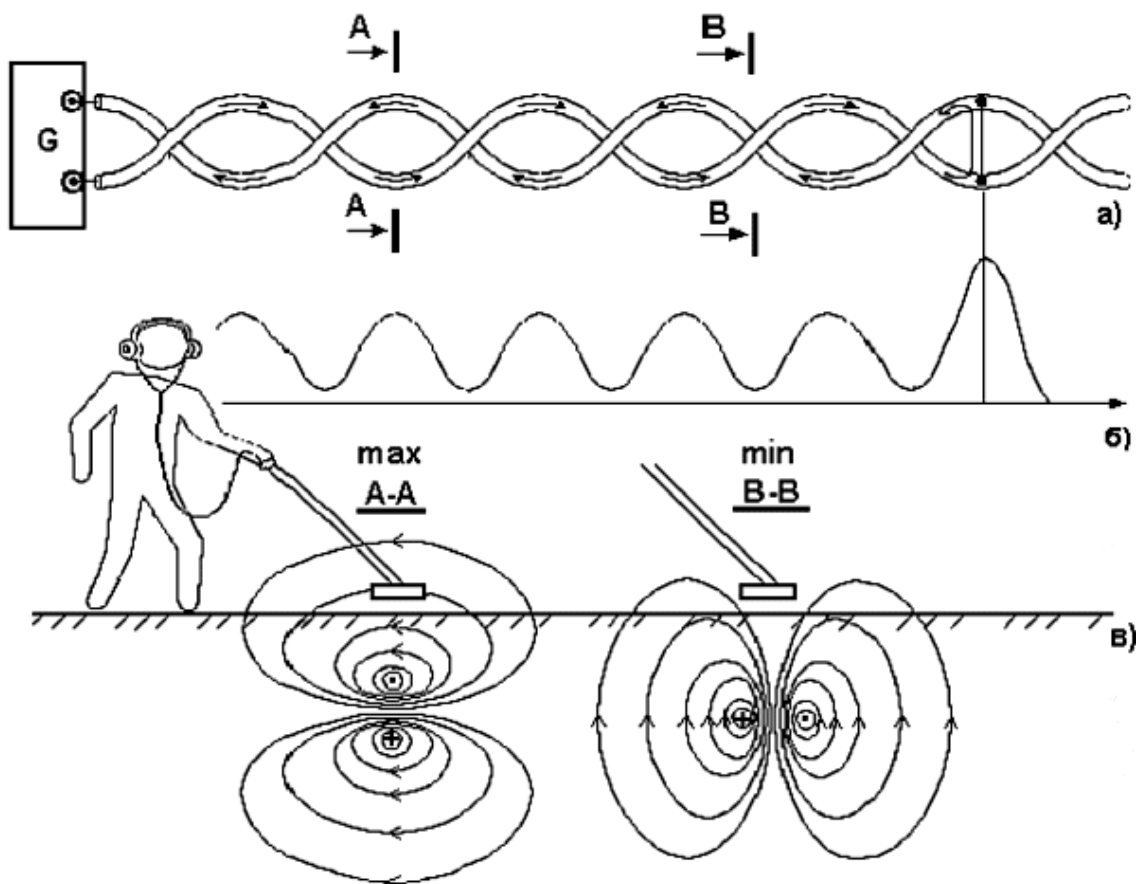


Рис. 8.3. Ілюстрація індукційного способу пошуку ушкодження

Чутність сигналу вздовж кабельної лінії періодично змінюватиметься

від max до min . Це пояснюється спіральним повивом жил кабелю. Переважання над поверхнею землі магнітного поля однієї жили періодично змінюється на переважання протилежного магнітного поля іншої жили.

У місці короткого замикання струм від генератора G змінює свій напрямок, інтенсивність магнітного поля i , отже, чутність сигналу тут посилюється. За місцем пошкодження звукового сигналу не буде. Використання струму високої частоти необхідне відбудови звукового сигналу від фону промислової частоти 50 Гц сусідніх кабелів.

Акустичний метод дозволяє визначити місце однофазних та багатofазних замикань у кабелі при запливає пробой.

У ушкоджену жилу (у ушкоджені жили) періодично подаються імпульси постійної напруги, наприклад, від накопичувального конденсатора. У місці ушкодження виникають розряди, що спричиняють акустичний шум. Рівень цього шуму прослуховується із поверхні землі, наприклад, за допомогою стетоскопа або приладу з п'єзодатчиком – перетворювачем механічних коливань на електричні.

При практичному пошуку місць ушкодження КЛ використовується поєднання відносних та абсолютних методів. За допомогою відносного методу визначається зона пошкодження, а потім у цій зоні знаходиться місце ушкодження абсолютним методом.

8.2. Порядок виконання

Розрахувати місце короткого замикання (КЗ) при довжині КЛ – 4 км та співвідношенні $\frac{R_1}{R_3} = \frac{5}{1}$.

III. Порядок проведення заключної частини заняття. Перевірка і оцінювання виконаних завдань. Підведення підсумків практичного заняття, акцентування уваги на основних помилках при його виконанні.

Навчальні питання

1. Яка послідовність дій щодо визначення місця пошкодження в кабелях?
2. Що таке відносні та абсолютні методи визначення місця ушкодження в кабелях?
3. Які відносні методи визначення місця ушкодження у кабелях Ви знаєте?
4. Які абсолютні методи визначення місця ушкодження у кабелях Ви знаєте?

5. У чому полягає імпульсний, петльовий та ємнісний методи визначення місця ушкодження в кабелі?

6. На чому ґрунтується імпульсний метод визначення зони однофазного або багатofазного замикання, зона обриву будь-якої кількості фазних жил?

Список використаної літератури

1. Полуянович , Н. К. Монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 140610 напряму підготовки 140600 – «Електротехніка, електромеханіка та електротехнології». - СПб. : Лань, 2012. - 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Міхеєв, Г. М. Електростанції та електричні мережі: діагностика та контроль електрообладнання. - Москва: Додека -XXI, 2010. - 224 с.

3. Обсяг та норми випробувань електрообладнання [Електронний ресурс]: РД 34.45-51.300-97 / РАТ «СЕС Росії». - Новосибірськ: Сибірське університетське видавництво, 2008. - 240 с.
<http://www.biblioclub.ru/book/57318/>