

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський промислово-економічний коледж  
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

\_\_\_\_\_ С.В.Бондаренко

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Методичні вказівки і завдання щодо виконання  
практичних занять з дисципліни  
«Монтаж, експлуатація і ремонт електроустаткування»  
для студентів 4 курсу  
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація  
електроустаткування  
підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

Ю. В. Алійник

Розглянуто на засіданні  
циклової комісії  
спеціальних електротехнічних дисциплін  
Протокол №\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

Голова циклової комісії

В. В.Олійник

# Інструкція для виконання практичної роботи №1

**Тема:** Розробка принципіальних та монтажних схем

## 1 Мета:

- 1.1 Ознайомитись з типами електричних схем.
- 1.2 Засвоїти буквене та графічне позначення на електричних схемах.
- 1.3 Набути навиків по читанню принципіальних та монтажних схем.

## 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

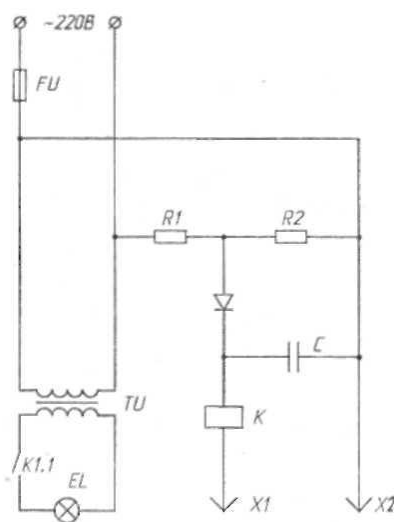
- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №1.

## 3 Теоретичні відомості

Електрична схема — це зображення елементів електротехнічного виробу чи електричної мережі та зв'язків між ними. За допомогою електричних схем пояснюють будову радіоприймачів і телевізорів, телефонних апаратів, ЕОМ, систем електричного живлення в автомобілях; на електричній схемі можна показати електромережу житлового будинку чи населеного пункту тощо. За електричною схемою можна визначити послідовність проходження струму в ланцюгах, утворених сукупністю елементів схеми, і зрозуміти роботу цих елементів та виробу в цілому.

Приклад електричної схеми наведено на рисунку 1. Вона містить умовні графічні позначення елементів виробу, з'єднаних між собою лініями, які відображають електричні зв'язки між цими елементами.

На електричних схемах зображують тільки ті елементи виробу чи мережі, які пояснюють електричні процеси в них. Розташування деталей на схемі може відрізнитись від прийнятого у виробі. На схемі деталі розміщують так, як це зручно для їх зображення. Слід лише враховувати і зберігати послідовність проходження струму.



Електрична схема

Рисунок 1 – Приклад електричної схеми

На електричних схемах застосовують умовні позначення. Ці позначення мають прості обриси. Щоб ними було легше користуватися, кожна з них має характерні риси зображуваного елемента. Умовні позначення електричних схем не відображають розмірів самих елементів, а тільки визначають їх вид (конденсатор, резистор, вимірювальний прилад, вимикач і т. ін.) Одним знаком позначають і маленький за розмірами і параметрами елемент, і великий.

Крім графічних позначень, всі елементи схеми мають позиційні позначення, які розміщують зверху чи праворуч від них. Позиційне позначення складається з однієї чи двох великих латинських літер і цифри. Літери показують вид елемента: С — конденсатори, R— резистори, VD — діоди, VT — транзистори, L — котушки індуктивності, BA — гучномовці, EL — лампи розжарювання, G — джерела живлення, UG — блоки елементів живлення, S — вимикачі, FU — запобіжники плавкі, TU— трансформатори і т.д. Цифра у позиційному позначенні вказує порядковий номер елемента на схемі. Порядкові номери для всіх елементів з однаковими позначеннями записують послідовно зліва направо чи зверху вниз, враховуючи їх розташування на схемі, наприклад: R1, R2, R3...

Геометричні елементи умовних позначень на електричних схемах виконують суцільною товстою основною лінією. Нею ж проводять лінії електричного зв'язку. Окремі елементи схем (наприклад, осердя трансформатора) виконують потовщеною лінією, у два рази товщою за суцільну товсту основну. З'єднання провідників електричного струму позначають зачорненою точкою.

Схеми залежно від основного призначення поділяють на такі типи:

- структурні;
- функціональні;
- принципіві (повні);
- з'єднань (монтажні);
- підключення;
- загальні;
- розташування.

Структурна схема представляє основні функціональні частини установки, їхнє призначення й взаємозв'язок за допомогою простих геометричних фігур (прямокутників) і ліній (рисунок 1.1). Графічна побудова й компонування схеми повинні забезпечити найбільш наочне подання про послідовності взаємодії функціональних частин в установці. Схему використовують для загального ознайомлення з установкою.

Функціональна схема роз'яснює процеси, що відбуваються в окремих функціональних частинах або у всій установці. Функціональні частини й зв'язки між ними представляють, як правило, у вигляді умовних графічних позначень, причому окремі пристрої й функціональні групи можуть зображуватися у вигляді квадратів і прямокутників (рисунок 1.2). На схемі розміщують написи, діаграми, або таблиці, що пояснюють послідовності процесів у часі, а також вказують параметри в характерних точках: величини

струмів, напруг, форми й амплітуди імпульсів. Функціональні схеми використовують для вивчення принципу роботи установки, а також при налагодженні, регулюванні, контролі й ремонті.

Принципова електрична схема визначає повний склад елементів і зв'язок між ними, подає докладну інформацію про принцип роботи установки (рисунок 1.3).

Розміри умовних графічних позначень на принципових електричних схемах визначає ГОСТ 2.747-68. Правила виконання електричних схем наведені в ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702- 75. Нестандартні умовні позначення на кресленні схеми повинні бути пояснені.

При зображенні на схемі різних функціональних груп (силові ланцюги й ланцюги керування, ланцюги первинної й вторинної комутації) їх креслять лініями різної товщини. При виділенні кіл можна застосовувати лінії товщиною до 1 мм. Всі елементи, включені в один ланцюг, креслять лінією однієї товщини.

Умовні позначення в принципових елементних схемах захисту й управління зазвичай креслять для відключеного положення, тобто без напруги на котушках апаратів й у колах управління, і без механічних впливів на апарати (початкове положення схеми).

Для повного розуміння роботи схеми допускається в неї вносити позиційне позначення. Цифрове позиційне позначення вписують в окружність і проставляють на схемі поруч із умовними позначками елементів.

Порядкові номери привласнюють відповідно до послідовності розташування елементів на схемі, як правило, зверху вниз у напрямку ліворуч праворуч.

Схема з'єднань показує з'єднання складових частин електроустановки й визначає привода, джгути, кабелі або трубопроводи, якими здійснюють з'єднання, а також місця їхнього приєднання й уведення .

Розташування умовних графічних позначень елементів на схемі повинне по можливості відображати їхнє дійсне розташування.

Елементи, що входять до складу устаткування, на схемі зображують у вигляді умовних графічних позначень, а устаткування у вигляді прямокутників або зовнішнього окреслення.

На схемі біля умовних графічних позначень елементів указують позначення, привласнені їм на принциповій схемі.

Біля умовних графічних позначень допускається вказувати номінальні величини основних параметрів (опір, ємність і т.п.) або тип елемента.

На схемах підключень показують повний обсяг і характеристики електричних і трубних провідок, що прокладають поза щитами, шафами і пультами (рис. 1.7). В умовних позначеннях зображують установлювані поза шафами приводи, виконавчі механізми, сенсорні пристрої (датчики), джерела постачання повітрям, електроенергією, маслом й ін., сполучні й прохідні коробки, до яких підводять труби, кабелі або проводи. На кожен елемент дають посилання на позицію за принциповою схемою.

Електроустаткування й проводки на планах позначаються за ДСТ 2.754-72.

Залежно від насиченості устаткуванням і від величини об'єкта плани зображують у різних масштабах. Можливе сполучення планів силової й освітлювальної мереж.

4 Хід роботи

4.1 Відповідно до завдання накреслити електричну схему.

4.2 Визначити її тип та дати коротку характеристику.

4.3 Нанести всі буквені позначення на схему.

4.4 Накреслити таблицю з поясненням буквеного позначення на схемі:

Таблиця 1.1 – Пояснення буквеного позначення на схемі

<b>Буквене позначення</b>	<b>Назва елемента</b>

4.5 Накреслити таблицю з позначенням розмірів графічних елементів на схемі відповідно ГОСТ 2.747-68 та назвою елементів:

<b>Графічний елемент схеми з позначенням його розміру</b>	<b>Назва елемента</b>

4.6 Зробити відповідні висновки по виконаній роботі.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

6.1 Дайте визначення електричної схеми.

6.2 Які є типи електричних схем?

6.3 Що представляє собою структурна схема?

6.4 Що таке принципова схема?

6.5 Що вказується на схемі підключень?

6.6 Що показує схема з'єднань?

6.7 Де на схемі необхідно зображувати умовні позначення?

Література:

Монтаж, експлуатація и ремонт електрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.

## Інструкція для виконання практичної роботи №2

**Тема:** Вивчити схему для перевірки правильності виконання внутрішніх з'єднань машин змінного струму.

### 1 Мета:

1.1 Навчитися визначати правильність виконання внутрішніх з'єднань машин змінного струму

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №2.

### 3 Теоретичні відомості

У зібраних електродвигунах як після монтажу, так і після ремонту несправності в обмотці статора зазвичай виявляються при включенні двигуна на випробувальному стенді. Всі заново відремонтовані двигуни повинні мати таке ж позначення (маркування) виводів обмотки, як і нові.

Маркування кінців обмотки статора трифазних асинхронних двигунів відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 183-74 наведені в таблиці 6.1.

Позначення виводів обмоток електричних машин наносять безпосередньо на кабельних наконечниках, на шинних кінцях, на спеціальних затискачах, щільно закріплених на проводах обмоток, або на ввідній колодці поруч із висновками. У малих електричних машинах, де літерні позначення висновків наносити важко, застосовують позначення висновків різнобарвними проводами. Кольори проводів висновків наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Маркування кінців обмоток статора трифазних асинхронних двигунів

Схема з'єднань обмотки	Число виводів	Назва вводу	Позначення вводу	
			початок	кінець
Відкрита схема	6	Перша фаза	C1	C4
		Друга фаза	C2	C5
		Третя фаза	C3	C6
З'єднання зіркою	3 або 4	Перша фаза	C1	
		Друга фаза	C2	
		Третя фаза	C3	
		Нульова точка	C0	
З'єднання трикутником	3	Перший затискач	C1	
		Другий затискач	C2	
		Третій затискач	C3	

Таблиця 2.2 – Колір проводів для трифазних асинхронних електричних машин

Схема з'єднань обмотки	Число виводів	Назва виводу	Колір виводу	
			початок	кінець
Відкрита схема	6	Перша фаза	Жовтий	Жовтий+чорний
		Друга фаза	Зелений	Зелений+чорний
		Третя фаза	Червоний	Червоний+чорний
З'єднання зіркою	3 або 4	Перша фаза	Жовтий	-
		Друга фаза	Зелений	-
		Третя фаза	Червоний	-
		Нульова точка	Чорний	-
З'єднання трикутником	3	Перший затискач	Жовтий	-
		Другий затискач	Зелений	-
		Третій затискач	Червоний	-

При відсутності позначень висновків обмоток або при їхньому неправильному з'єднанні й позначенні початку й кінця обмоток можуть бути визначені індукційним методом по схемам рисунок 2.1.

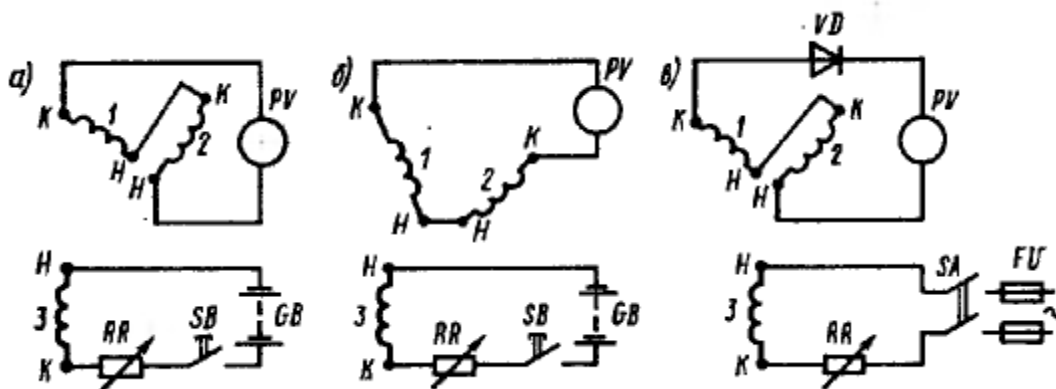


Рисунок 2.1 – Визначення неправильних з'єднань в обмотці трифазного статора

а, б – на постійному струмі, в – на змінному струмі

В одну з фазних обмоток рисунок 6.1, а, б включається джерело постійного або змінного струму, реостат *RR*, кнопка *SB*. Дві інші обмотки з'єднуються послідовно й до них підключається мілівольтметр.

Якщо виявилось, що обмотки з'єднані різнойменними висновками (початок 1 з кінцем 2 або кінець 1 з початком 2, рисунок 6.1, а), то при замиканні й розмиканні кнопки *SB* індукційні струми викличуть різкі відхилення стрілки мілівольтметра.

Якщо ж обмотки з'єднані однойменними висновками (початок 1 з початком 2 або кінець 1 з кінцем 2) (рисунок 6.1, б), то при включенні й вимиканні кнопки *SB* стрілка мілівольтметра залишиться нерухомою, тому що індукуємі в обмотках 1 й 2 напруги виявляться прикладеними назустріч один одному а, отже, індукційний струм дорівнює нулю.

Потім обмотку, включену на мілівольтметр, замінюють однією з обмоток, включених під напругу, і аналогічним способом знаходять який її висновок є однойменним з раніше приєднаним. Після чого роблять маркування обмоток.

На рисунку 2.1в наведена аналогічна схема, але з живленням від мережі змінного струму. Індуктором служить той же мілівольтметр, послідовно з яким включений випрямний елемент *VD*.

При випробуваннях обмоток не можна допускати їхнього перегріву, тому випробовують обмотки при напрузі 10-15 % від номінальної. Для цього можна використати як реостат, так і лабораторний автотрансформатор.

Як індикатор можна використати замість мілівольтметра звичайну лампу накаливання розраховану на відповідну напругу. Загоряння лампочки при включенні кнопки *SB* свідчить про правильне з'єднання обмоток. Якщо при включенні кнопки *SB* лампочка не загоряється, то це свідчить про зустрічне з'єднання обмоток.

#### 4 Хід роботи

1. Ознайомитися зі схемою наведеною на рисунку 2.2. Вивчити принцип її дії.

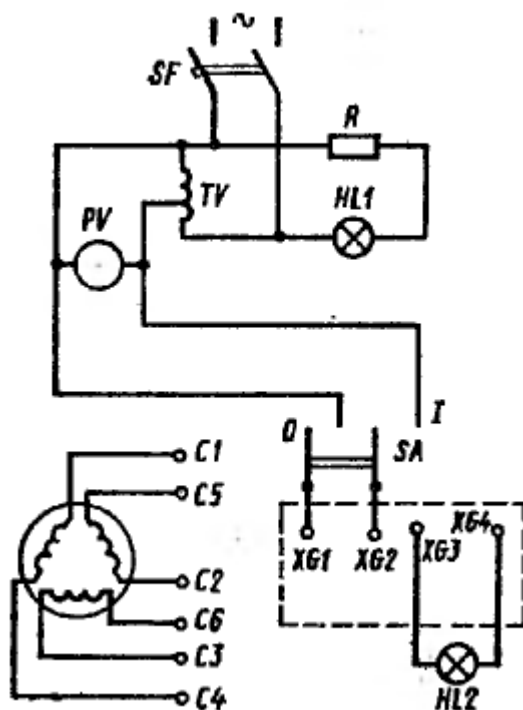


Рисунок 2.2 – Електрична схема для проведення лабораторної роботи  
Принцип дії схеми:

2. Переконайтеся, що рукоятка лабораторного автотрансформатора виведена до відмови.
3. Перевірити установку перемикача *SA* у положенні 0.
4. Установити перемички *C5—C3*; *C2—XG3*; *C6—XG4*; *C1—XG1*; *C4—XG2*.
5. Включити автомат *SF*, при цьому загоряється лампа *HL1*, що свідчить про наявність напруги в мережі.
6. Установити за допомогою лабораторного автотрансформатора *TV* на вольтметрі *PV* необхідну напругу (10-15 % від номінальної напруги двигуна).



7. Включити перемикач *SA* (у положення *I*). Якщо при цьому загориться лампочка *HL2*, значить обмотки які перевіряються, включені вірно. Якщо лампа не займеться, то варто виключити перемикач *SA*, вивести ЛАТР, виключити автомат *SF* і поміняти кінці досліджуваних обмоток. Повторити п. 1—7. Таким чином перевірити правильність з'єднання і маркування всіх обмоток.

8. Скласти звіт по роботі.

## **5 Висновки:**

### **6 Контрольні питання:**

1. Яким чином повинні з'єднуватися кінці й початки обмоток у схемі «зірка»?
2. Яким чином повинні з'єднуватися обмотки в схемі «трикутник»?
3. Чим пояснюється загоряння лампочки при правильному з'єднанні обмоток?
4. Як необхідно маркувати кінці й початки обмоток відповідно до ДСТУ?
5. У які кольори фарбують висновки проводів трифазних асинхронних двигунів?

### **Література:**

1. Монтаж, експлуатація и ремонт електрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
2. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.

## Інструкція для виконання практичної роботи №3

**Тема:** Вивчення методів визначення місць пошкодження в кабельних лініях

### 1 Мета:

- 1.1 Вивчити методи визначення місць пошкодження в кабельних лініях
- 1.2 Навчитися користуватися приладом Р5-5 для виявлення несправностей в кабельних лініях

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №3.

### 3 Теоретичні відомості

Вибір методу визначення зони пошкодження кабелів передуює з'ясування характеру пошкоджень, обумовлених шляхом вимірів мегаомметром на 1000 -2500 В.

При цьому вимірюють опір ізоляції кожної струмоведучої жили відносно землі, опір ізоляції між кожною парою струмоведучих жил, перевіряють цілісність струмоведучих жил. Для виявлення обриву жил випробування варто проводити з обох кінців, закорочуючи всі три фази на кінці, протилежному підключенню мегаомметра.

При наявності короткого замикання визначають перехідний опір. Якщо він в місці пошкодження великий (більше 5 МОм), а кабель не витримав випробування, то для більш точного визначення місця несправності роблять пропалювання кабелю. Пропалювання кабелів роблять як на постійному струмі від спеціальних установок, так і на змінному струмі від трифазних підвищувальних трансформаторів. Метою пропалювання кабелів є створення перехідного опору певного значення в місці пошкодження кабелю.

Вибір методу пошуку місць пошкодження кабелів залежить від виду пошкодження, пробивної напруги в місці пошкодження та перехідного опору. Пошук місця пошкодження роблять звичайно у два етапи. На першому етапі визначають зону пошкодження, для чого застосовують імпульсний метод, метод коливального розряду, ємнісний метод і метод петлі. На другому етапі визначають точне місце пошкодження, для чого застосовують метод накладної рамки, акустичний й індукційний методи. Область застосування різних методів наведена в таблиці 3.1.

*Метод коливального розряду* є одним з найбільш застосованим методом при «запливаючих пробоях», які часто спостерігаються в кабельних муфтах. Суть «запливаючого пробоя» полягає в тому, що при наявній потужності випрямної установки при прожиганні кабелю зі збільшенням його довжини для заряду ємності кабелю до напруги пробоя буде потрібний більший час. У результаті цього частота розряду зменшується й місце пошкодження встигає «запливати». Для визначення місця пошкодження при

великій довжині кабелю необхідні випрямні установки великої потужності, які й використовуються при методі коливального розряду. Суть методу полягає у вимірі періоду (напівперіоду) вільних коливань, що виникають у зарядженій кабельній лінії при пробі ізоляції в місці пошкодження. При вимірюванні на жилу кабелю подається висока напруга, але не вище допустимої, негативної послідовності (рисунок 3.1).

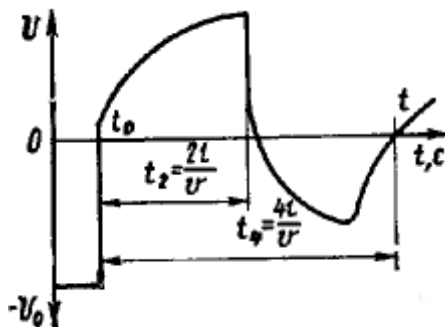


Рисунок 3.1 – Напруга на затискачах кабелю при пробі ізоляції

Таблиця 1.3 – Область застосування методів визначення місць пошкодження кабельних ліній

Вид пошкодження	Напруга пробую, кВ	Перехідний опір в місці пошкодження, Ом	Метод визначення	
			Зони пошкодження	Точного місця пошкодження
Замикання жили на землю	Від ніля випробувального	0-10	Імпульсний петлевий	Індукційний метод накладної рамки
		40-200	Імпульсний коливального розряду, петлевий	Акустичний
		200-5000	Коливального розряду, петлевий	Акустичний
Замикання жил між собою або на землю в одному місці		0-40	Імпульсний петлевий (при наявності цілої жили)	Індукційний
		40-200	Імпульсний коливального розряду	Індукційний, акустичний
		200-5000	Коливального розряду	Індукційний, акустичний
Подвійне замикання на землю в різних місцях		0-200	Імпульсний	Акустичний (з попереднім порушення містка)
200-5000	Петлевий, коливального розряду			
Обрив жил без замикання на землю	При напрузі до випробувальної нема пробую	Вище $10^6$	Імпульсний, емнісний, коливального розряду	Акустичний
Обрив жил з замиканням на землю	Менше випробувального	0-200	Імпульсний	Індукційний
		Вище 200	Коливального розряду	Акустичний
Запливаючий пробій ізоляції		Вище $10^6$	Коливального розряду	Акустичний

У місці пошкодження в момент пробою напруга падає до нуля, що відповідає моменту часу:

$$t_1 = l_x / v,$$

де  $t_1$  – час проходження хвилі до місця пошкодження;

$l_x$  – відстань від кінця кабелю до місця пошкодження;

$v$  – швидкість поширення хвилі, рівна для силових кабелів  $160 \pm 1$  м/мкс.

Потім потенціал жили різко зростає й виникає хвиля напруги позитивної полярності, що приходить до кінця кабелю й, не міняючи знака, повертається до місця пошкодження. У момент часу  $t_2 = 2l_x/v$  хвиля досягає місця пробою, потенціал жили знову різко падає до нуля й хвиля йде до кінця лінії зі зміною знака. У момент часу  $t_3 = 3l_x/v$  хвиля негативної полярності приходить до кінця лінії, повертаючись до місця пробою з тим же знаком. В момент  $t_4 = 4l_x/v$  хвиля приходить до місця пошкодження й у момент пробою напруги знову падає до нуля. На цьому завершується повний період, за час якого хвиля 4 рази проходить відстань від кінця кабелю (місця підключення кабелю до іспитової установки) до місця пошкодження. Тому

$$l_x = T v / 4 = 40T,$$

де  $T$  – період коливань.

Для підвищення точності звичайно вимірюють час першого напівперіоду, бо у зв'язку із загасаючим характером коливань форма призначення напруги сильно спотворюється на екрані осцилографа. Шкала приладу проградуєвана в кілометрах, вимірювання часу (звичайно напівперіоду  $t_2$ ) виконується по електросекундоміру. Схема підключення приладу ЭМКС-58М, що дозволяє визначати відстані від 40 м до 10 км для кабелів до 10 кВ, зображена на рисунку 3.2.

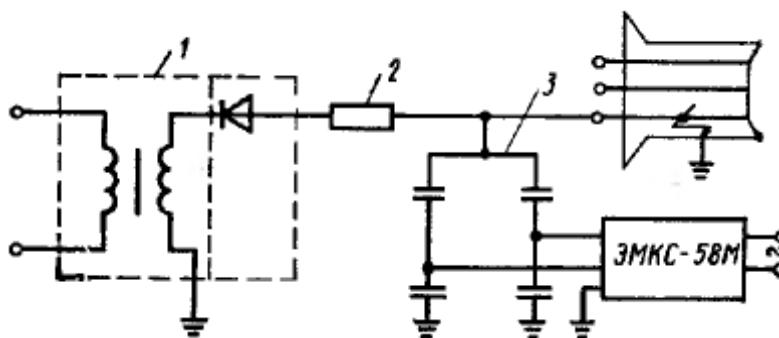


Рисунок 3.2 – Схема підключення приладу ЭМКС-58М  
1 – випрямляч високої напруги, 2 – зарядний опір, 3 – дільник високої напруги

*Індукційний метод* застосовують для пошуку місць пробою ізоляції жил між собою або на землю, а також при обриві лінії з одночасним пробоем ізоляції жил між собою або на землю.

При пропусенні по кабелю однофазного змінного струму навколо кабелю утворюється магнітне поле, значення якого залежить від значення струму. Якщо в поле кабелю внести рамку (антену) із дроту, то поле, що

змінюється, буде наводити в ній ЕРС і при замиканні контуру рамки в телефоні виникне струм і з'явиться звучання. Чим вище частота струму, тим чіткіший звук. Щоб звучання від випробуваного кабелю відрізнялося від звучання інших кабелів, по випробуваному кабелю за допомогою генератора звукової частоти пропускають струм частотою 800-1200 Гц.

Пошук місць пошкодження по колу жила-земля є особливо складним через розтікання струму в місці пошкодженні по оболонці кабелю в обидва боки на десятки метрів. Тому практично однофазні пошкодження шляхом прожигання переводять у двох- трифазні й визначають пошкодження по колу жила-жила або штучно створюють коло жила-оболонка кабелю, розземлюючи останню із двох сторін і підключаючи генератор до жили й оболонки.

Наведена у рамці ЕРС залежить від струморозподілу в кабелі й взаємному просторовому положенні рамки й кабелю. Знаючи характер розподілу поля для даного струморозподілу в кабелі й при відповідній орієнтації рамки, по зміні сили звуку в телефоні можна визначити місце пошкодження.

*Метод накладної рамки* застосовують для визначення безпосередньо на кабелі при відкритій прокладці місця короткого замикання жила-жила або жила-оболонка. Суть методу аналогічна індукційному. Після підключення генератора на кабель накладають рамку з телефоном і повертають навколо осі. Якщо вимірювання виконується до місця пошкодження, то за один поворот рамки буде прослуховуватися два максимуми й два мінімуми сигналів від поля пари струмів: жила-жила або жила оболонка. За місцем пошкодження поле створюється одиночним струмом й у телефоні при повороті рамки буде чутний монотонний звук.

*Імпульсний метод* застосовують для визначення зони таких несправностей, як одне-, двох- або трифазне коротке замикання, замикання жил на землю, обрив жил. На основі даного методу працює серія приладів типу Р5-5, Р5-8, Р5-9, Р5-10, за допомогою яких можна відшукувати місце пошкодження, починаючи з 1 м від початку лінії (Р5-9) і відносно більшим перехідним опором у місці замикання на землю (Р5-8).

При включенні приладу в кабельну лінію посилають зондувальні імпульси, які при проходженні по кабелю відбиваються зі зміною своїх амплітудних значень і знаків у тих місцях, у яких хвильовий опір відрізняється від вільного опору кабелю (35 Ом). Чим більше відрізняється опір від хвильового, тим більше амплітуда відбитого імпульсу. Причому, у місці замикання відбитий імпульс міняє знак на протилежний. По амплітуді й знаку відбитого імпульсу визначають як місце пошкодження, так і характер пошкодження. Однак, із-за наявності місць ослабленої ізоляції кабелю, вставок, муфт і т.п., у яких опори також відрізняються від хвильового, амплітуди відбитих імпульсів можуть бути у порівнянні з амплітудами відбитих імпульсів від місць ушкодження, що ускладнює ідентифікацію місця замикання або обриву в кабелі. Так, наприклад, приладом Р5-5 практично можна ідентифікувати відбитий імпульс від місця пошкодження з

перехідним опором, що не перевищує 4-5-кратного значення хвильового опору кабелю, тобто 150-200 Ом.

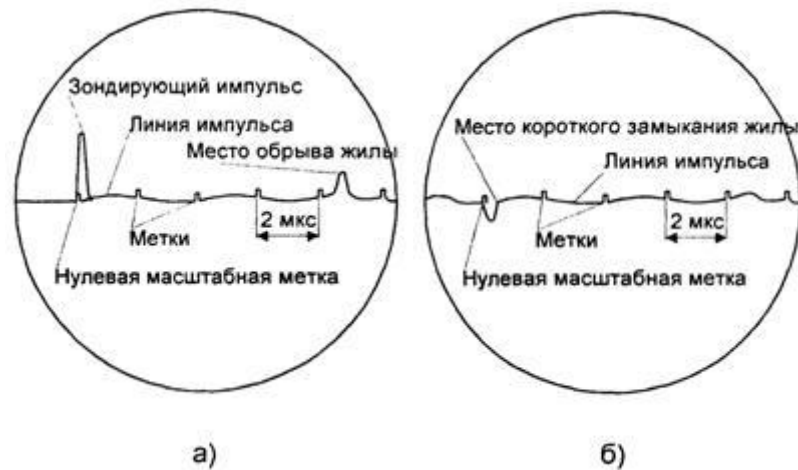


Рисунок 3.3 – Экран электронно-променевої трубки приладу Р5-5 при визначенні місця пошкодження кабелю

а – перевірка збігу зондувального імпульсу з нульовою масштабною міткою; б – сполучення відбитого імпульсу (місце короткого замикання) з нульовою масштабною міткою.

Зондувальні й відбиті імпульси відображаються на екрані електроннопроменевої трубки. На розгорненні відбитих імпульсів з інтервалом 2мкс нанесені масштабні мітки часу (рисунок 3.3). Час проходження імпульсу від місця пошкодження визначається відліком по шкалі каліброваної тимчасової затримки при сполученні відбитого імпульсу з наявної на екрані масштабної нульової позначки.

Для одержання на екрані нерухомого зображення процес подачі зондувальних імпульсів і розгорнення відбитих імпульсів періодично повторюються із часто тієї 500-1000 Гц. Розгорнення жорстко синхронізоване з ходом подачі зондувального імпульсу.

Погрішність вимірів на кабельних лініях зазначеними приладами не перевищує 1 %.

#### **4 Хід роботи**

4.1 Ознайомитися з випробовуваним кабелем і його технічними даними ат записати їх (марка, перетин, довжина, номінальна напруга).

4.2 За допомогою мегаомметра визначити характер несправності кабелю й знайти пошкоджені жили.

4.3 Ознайомитися з роботою приладу Р5-5:

4.3.1 Встановити на передній панелі ручку «РАЗВЕРТКА» у крайнє ліве положення.

4.3.2 Встановити на передній панелі ручку «УСИЛЕНИЕ» в положення «1».

4.3.3 Встановити ручку «ВЫХ. СОПРОТ.» у межах зеленого сектора.

4.3.4 Встановити ручку на задній панелі «ОБЩИЙ-РОЗДЕЛЬНЫЙ» у положення «ОБЩИЙ».

4.3.5 Встановити ручку на задній панелі «КОНТРОЛЬ - РАБОТА» у положення «РАБОТА».

4.3.6 Заземлити прилад, підключити кабель живлення до мережі живлення, включити тумблер «Сеть». При цьому засвітиться індикаторна лампочка й через 0,5-2 хв на екрані ЕЛТ з'явиться лінія розгорнення.

4.3.7 Ручками «ЯРКОСТЬ», «ФОКУС» відрегулювати яскравість, фокусування й положення променя на екрані ЕЛТ. Положення лінії розгорнення повинне бути на середині екрана. Початок променя повинен збігатися з лівим краєм екрана.

4.3.8 Включити тумблер «МЕТКИ». При цьому на лінії розгортки повинні з'явитися масштабні мітки. Установити «МНОЖИТЕЛЬ ГРУБО» и «МНОЖИТЕЛЬ ТОЧНО» у положення «0». При цьому зондувальний імпульс своїм переднім фронтом повинен збігатися із фронтом першої видимої мітки на екрані ЕЛТ. При розбіжності підрегулювати резистори «КОРРЕКТИРОВКА НУЛЯ» на всіх діапазонах.

4.3.9 Тумблер «КОНТРОЛЬ-РОБОТА» перемкнути в положення «КОНТРОЛЬ», «МНОЖИТЕЛЬ ТОЧНО» – у положення «1», при цьому передній фронт зондувального імпульсу повинен збігатися з першою видимою міткою. При розбіжності – підрегулювати резистори «КОРРЕКТИРОВКА ЕДИНИЦЫ» на всіх діапазонах.

4.3.10 Встановити ручку ««ДИАПАЗОНЫ» в положення «1» (при довжині лінії до 15 км), «II» (до 60 км), «III» (до 300 км).

4.3.11 Встановити ручку «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА» на мітку «0, 1-0,3» або «1» (при довжині лінії до 15 км), «I» або «8» (до 60 км), «8» або «15» (до 300 км).

4.3.12 Встановити ручку «ВЫХ. СОПРОТ» на значення хвильового опору лінії по кольорам секторів: коричневому сектору відповідає вихідний опір від 30 до 100 Ом, зеленому – від 100 до 500 Ом, синьому – від 500 до 1500 Ом. Значення швидкості поширення імпульсу й хвильового опору наведені в таблиці 3.2.

4.3.13 Встановити ручку «РАЗВЕРТКА» у крайнє праве положення.

4.3.14 Встановити ручку «УСИЛЕНИЕ» в положення «2», «3» або «4» (для встановлення нижньої граничної частоти пропускання підсилювача відповідно 2; 20 й 50 кГц). Ручкою «ПЛАВНО» зробити збільшення або зменшення посилення підсилювача. Для проведення роботи ручка «УСИЛЕНИЕ» залишається в положенні «I».

4.3.15 Тумблер «ОБЩИЙ-РАЗДЕЛЬНЫЙ» встановити в положення «ОБЩИЙ».

4.3.16 Тумблер «СИММЕТР.-НЕ СИММЕТР.» встановити в положення «СИММЕТР.».

4.3.17 Підключити високочастотний сполучний кабель до гнізда «ВЫХОД» приладу й до вимірюваної лінії. Затискач, що відповідає виводу оболонки з'єднувального кабелю, приєднується в заземленій жилі або оболонці лінії. Затискач, що відповідає виводу середньої жили, приєднується до незаземленої жили.

4.4 Ознайомитися з порядком проведення вимірювання.

4.4.1 Відшукати сплеск на імпульсній характеристиці лінії, що відповідає відбиттю сигналу від неоднорідності (місця передбачуваного пошкодження) лінії. Встановити характер пошкодження (рисунок 3.2).

4.4.2. Ручками «МНОЖИТЕЛЬ ГРУБО» і «МНОЖИТЕЛЬ ТОЧНО» зробити з'єднання початку фронту знайденого сплеску імпульсної характеристики із фронтом першої мітки на екрані ЕЛТ (рисунок 3.4), при цьому ручку «РАЗВЕРТКА» встановити в крайнє ліве положення.

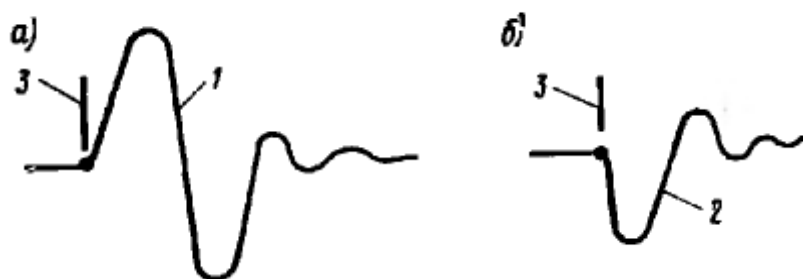


Рисунок 3.4 – Зображення на екрані приладу Р5-5:  
а – перевірка співпадіння зондуємого імпульсу  $t$  з нульовою масштабною міткою 3; б – зміщення відбитого імпульсу з нульовою масштабною міткою

4.4.3. За показанням ручок «ДИАПАЗОН», «МНОЖИТЕЛЬ ГРУБО» і «МНОЖИТЕЛЬ ТОЧНО» зробити відлік часу пробігу зондувального імпульсу від місця підключення приладу до лінії до місця пошкодження й назад по формулі:

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{диап}}(n_{\text{грубо}} + n_{\text{точно}}) \text{ мкс},$$

де  $T_{\text{диап}}$  – масштаб діапазону, рівний 10,40; 160 мкс на I, II, III діапазонах відповідно;

$n_{\text{грубо}}$  – показання шкали «МНОЖИТЕЛЬ ГРУБО»,

$n_{\text{точно}}$  – показання шкали «МНОЖИТЕЛЬ ТОЧНО».



4.4.4. Визначити відстань до місця пошкодження по формулі:

$$L_x = (1/2) v T_{факт}$$

де  $L_x$  – відстань до місця ушкодження, м;

$v$  – швидкість поширення імпульсів у лінії даного типу (таблиця 3.2), м/мкс.

Приклад розрахунку: «ДІАПАЗОНИ» – 10 (на діапазоні І); «МНОЖИТЕЛЬ ГРУБО» – 4; «МНОЖИТЕЛЬ ТОЧНО» – 0,3=160 м/мкс  
 $T_{факт} = 10(4+0.3) = 43(мкс)$ ;  $L_x = 0,5 * 43 * 160 = 3440(м)$ .

Таблиця 3.2 – Параметри ліній електропередачі

Типи ліній	Швидкість поширення імпульсного сигналу, м/мкс	Хвильовий опір, Ом
Повітряні лінії електропередачі 35-110-220 кВ	295	350-500
Повітряні лінії зв'язку, бронзометал	286	540-500
Повітряні лінії зв'язку, сталь	230	1400-1500
Силові кабелі 6-10-35-110 кВ	160±1	35

4.4.5. Якщо лінія протяжна, а прилад вказав місце пошкодження в її кінці, то для збільшення точності варто зробити виміри з іншого кінця.

4.5 Скласти звіт по роботі. Зробити відповідні висновки.

## 5 Висновки:

## 6 Контрольні питання:

6.1 У чому суть методів пошуку місць несправностей у кабельних лініях?

6.2 Яка область застосування методів?

6.3 Які методи застосовуються для визначення зон пошкоджень, а які, для визначення точного місця пошкодження?

## Література:

1. Монтаж, експлуатація и ремонт електрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
2. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, експлуатація и ремонт електрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.

## Інструкція для виконання практичної роботи №4

**Тема:** Вивчення послідовності виконання розробки силового кабелю

### 1 Мета:

- 1.1 Ознайомитися з марками кабелів та муфт
- 1.2 Навчитися виконувати розборку кабелю з паперовою ізоляцією

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №4.

### 3 Теоретичні відомості

При монтажі кабельних ліній виникає необхідність як з'єднувати кабелі між собою (для чого застосовують сполучні й відгалуджувальні муфти), так і приєднувати кабелі до різних електричних апаратів і пристроїв (для чого застосовують кінцеві заробки й кінцеві муфти).

Для виконання муфт і заробок спочатку виконується східчасте оброблення кабелю. Перед обробленням кабелю роблять випробування паперової ізоляції кабелю, занурюючи стрічки паперової ізоляції, що прилягають до оболонки й до жили, у парафін, нагрітий до 150°C. Ознакою наявності вологи є потріскування й утворення піни. У цьому випадку від кінця кабелю відрізають ділянки довжиною 250-300 мм та роблять повторну перевірку. Операцію проводять до одержання позитивних результатів. Якщо волога проникла глибоко, то кабель відбраковують. Технологія виконання оброблення кабелю залежить від призначення муфти або заробки, її матеріалу й номінальної напруги, при якій вона повинна застосовуватися.

У маркування муфт і заробок входять буквені і цифрові символи, кожен из яких має свою розшифровку.

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

- С - муфта сполучна;
- О - муфта відгалуджувальна;
- Ст - муфта стопорна;
- СП - муфта перехідна;
- КВ - муфта (заробка 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;
- Г - гума;

сл - самокльюча стрічка;

Б - сталева лійка, що заливається бітумною сполукою.

Після позначення матеріалу ставляться букви, що визначають різні характеристики муфт і заробок:

ТВ - з термоусаджувальними полівінілхлоридними трубками;

Н - із трубками з найритової гуми;

Т - із тришаровими трубками;

З (у сполученні Р<sub>3</sub>) - із заповненням ізоляційною сполукою;

сл - з підмотуванням із самоклеючих стрічок;

В - з корпусом, що має поздовжнє рознімання у вертикальній площині;

С - відливається в знімній формі;

О - овальної форми;

К - круглої форми.

Якщо перед позначенням виконання муфти (заробки) стоїть буква П, то це значить, що муфта призначена для кабелів із пластмасовою ізоляцією.

Найпоширенішими муфтами й заробками для кабелів з паперовою ізоляцією на напругу до 10 кВ є наступні: сполучні муфти — СЧ, СЭ, СЭ<sub>В</sub> (на 1 кВ); СС, СЭ, СЭ<sub>В</sub> (на 6 й 10 кВ);

кінцеві заробки й муфти внутрішньої установки для сухих приміщень КВЭ<sub>ТВ</sub>, КВР (на 1 кВ); КВЭ<sub>ТВ</sub>; КВ<sub>Т</sub> (на 6 й 10 кВ);

кінцеві заробки й муфти для вологих приміщень — КВЭ<sub>ТВ</sub>, КВЭ<sub>Т</sub> (на 1кВ); КВЭ<sub>ТВ</sub>, КВ<sub>Т</sub> (на 6 й 10 кВ);

кінцеві закладення й муфти для сирих й особливо сирих приміщень — КВЭ<sub>П</sub> (на 1 кВ); КВЭ<sub>п</sub> (на 6 й 10 кВ);

кінцеві заробки й муфти для жарких і сухих приміщень — КВЭ<sub>ТВ</sub>, КВ<sub>СЛ</sub>, КВЭ<sub>Т</sub> (на 1кВ); КВЭ<sub>ТВ</sub>, КВЭ<sub>н</sub>, КВЭ<sub>Т</sub>, КВЭ<sub>к</sub> (на 6 й 10 кВ).

Для проведення робіт по розробці силового кабелю на робочому місці повинні бути наступні матеріали та інструменти: ножовка-бронерізка; монтерський ніж; плоскогубці; складаний метр; напилок; ключ для зняття гофрованої оболонки; суворі нитки; набір заземлюючих проводів; оцинкований сталевий дрiт діаметром 1-1,5 мм; сталевий дрiт діаметром 2мм.

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

Оброблення, залежно від його призначення (для сполучних муфт або для кінцевих заробок) варто робити відповідно до рисунка 4.1. Розміри оброблення кабелів наведені в таблицях 4.1 й 4.2. В таблиці 4.2 розмір Ж (довжину розроблених жил) визначають залежно від умов приєднання кабелю. Цей розмір не повинен бути менш 150 мм при  $U = 1$  кВ. 250 мм при  $U = 6$  кВ й 400 мм при  $U = 10$  кВ. Розмір Г варто приймати рівним 30 мм (він визначається обраним способом окінцювання жил).

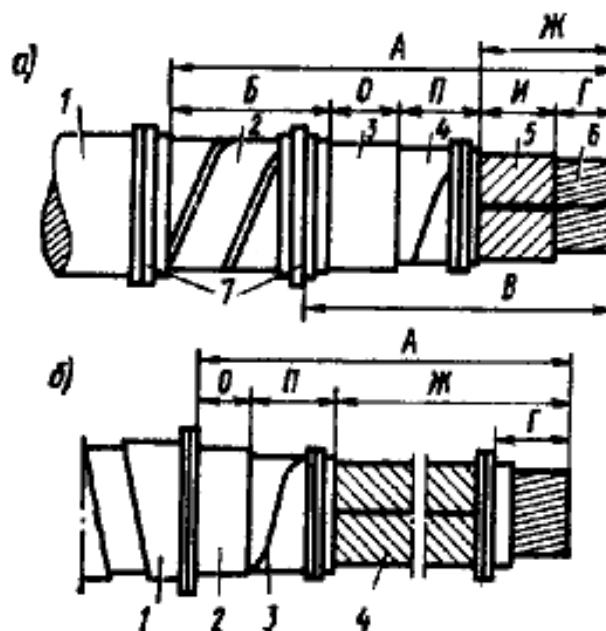


Рисунок 4.1 – Види розробок:

а – оброблення кінця трижильного кабелю з поясною паперовою ізоляцією: 1 – зовнішній покрів; 2 – броня; 3 – свинцева або алюмінієва оболонка, 4 – поясна ізоляція, 5 – ізоляція жил, 6 – жили кабелю; 7 – проволочні бандажі;

б – оброблення кінця трижильного кабелю з паперовою ізоляцією для монтажу кінцевих заробок: 1 – броня; 2 – оболонка, 3 – поясна ізоляція, 4 – жила в заводській ізоляції

У таблиці 4.1 розмір Г визначається способом сполуки жил ( $Ж = И + Г$ ). Для муфт, розташованих всередині будинків,  $Б = 0$  й  $А = В$ . У чисельнику стоять цифри для броньованих кабелів, у знаменнику – для кабелів із пластмасовою ізоляцією. Розміри для оброблення кабелю до 10 кВ наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Розміри оброблення кабелів з паперовою ізоляцією до 10 кВ при монтажі сполучних і відгалуджувальних муфт

Марка муфти	Розміри розробки, мм (рисунок 4.1 а)					
	А	Б	О	П	Ж	В
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
СЭ-3х50-10	395/315	-	120	20	190	-
СЭ-3х95-10	420/340	-	120	20	215	-
СЭ <sub>м</sub> -3х50-1	-	-	80	10	106	56

Таблиця 4.2 – Розміри розробки кабелів до 10 кВ при монтажі кінцевих муфт та заробок внутрішньої установки

Марка муфти або заробки	Розміри, мм (рисунок 4.1 б)		
	А	О	П
КВЭ 3х35-6 КВЭ 3х35-10 КВЭ <sub>т</sub> 3х35-6	Ж+55	35	20
КВЭ <sub>т</sub> 3х35-10 КВЭ 3х70-10 КВЭ <sub>т</sub> 3х70-10	Ж+70	50	20
КВР-1-КВР-4	Ж+90	60	20

#### 4 Хід роботи

4.1 Роботу необхідно виконувати відповідно до технологічної карти й рисунка 4.1 а або б.

## Технологічна карта оброблення кабелю з паперовою ізоляцією

Операція	Спосіб виконання
Зняття броні зі сталевих стрічок	На відстані А від кінця кабелю накладають бандаж із дроту $d=2$ мм. Джгутовий покрив розмотують від кінця кабелю до бандажа й не зрізують, а залишають для наступного захисту ступеня броні від корозії.
Зняття броні зі сталевих стрічок	На відстані Б від першого бандажа накладають другий бандаж з такого ж дроту. Броньострічки надрізають по кромці другого бандажа, після чого їх розмотують та видаляють.
Видалення подушки	Стрічки подушки розмотують і видаляють. Бігунну сполуку ретельно змивають. При цьому допускається нагрівання подушки біглим вогнем.
Надрізання оболонки	На відстані О від зрізу броні виконують перший кільцевий надріз, а на 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 поздовжніх надрізи на відстані 10 мм один від одного. Смужку між надрізами видаляють до другого кільцевого надрізу й знімають оболонку.
Зняття гладкої алюмінієвої оболонки	Від другого кільцевого надрізу до кінця кабелю виконують надріз по гвинтовій лінії, установивши різець ножа під кутом $45^\circ$ до осі кабелю. За допомогою плоскогубців видаляють оболонку.
Зняття гофрованої алюмінієвої оболонки	Надрізають оболонку на відстані 10-15 мм у виступа гофра, відгинають надрізану частину оболонки на крок і надривають її далі на 25-30 мм; закріплюють смужку оболонки в прорізі ключа (рисунок 4.2) і, повертаючи ключ по годинниковій стрілці, намотують на нього смужку оболонки до дротового бандажа.

## Технологічна карта оброблення кабелю з паперовою ізоляцією

Видалення поясної ізоляції	Розмотують стрічки напівпровідного (чорного) паперу й поясної ізоляції й обривають їх біля краю оболонки.
Згинання жил	Жили трохи розводять у сторони й згинають по шаблону. Без шаблону жили згинають поступовим пересуванням обох рук по жилі, не допускаючи крутих переходів та ушкодження паперової ізоляції. Радіус вигину повинен бути не менш 10-кратного діаметра жили або висоти її сектора.
Зняття паперової ізоляції	Знімають ізоляцію жил на ділянці, довжину якої визначають способом окінцювання або сполуки; попередньо біля місця зрізу на ізоляцію накладають бандаж двома-трьома витками суворих ниток. Потім роблять окінцювання або сполуку жили.
Видалення оболонки над ступенем поясної ізоляції	Надрізають та знімають ділянку алюмінієвої або свинцевої оболонки, що залишилася раніше між двома кільцевими надрізами. Торці оболонки, що залишилися обробляють, видаляючи гострі краї й заусенці.
Оформлення ступеня поясної ізоляції	На відстані П від зрізу оболонки накладають бандаж із суворих ниток й обробляють стрічки поясної ізоляції до бандажа.
Оформлення ступеня напівпровідного паперу	Пасок напівпровідникового паперу, що залишився на кабелі довжиною 5 мм закріплюють на кінці бандажем із двох витків суворих ниток.
Разбортування кінця свинцевої оболонки	При відсутності під свинцевою оболонкою напівпровідного паперу оболонку відгинають рівномірно по всій окружності за допомогою разбортування.
Вибір перерізу мідного багатопроволочного провідника	<p>Перетин проводу заземлення повинен бути для кабелів перетином жил до:</p> <p style="text-align: center;">10 мм<sup>2</sup> — 6 мм<sup>2</sup>;</p> <p style="text-align: center;">16-25 мм<sup>2</sup>—10 мм;</p> <p style="text-align: center;">50-120 мм<sup>2</sup>—16 мм<sup>2</sup>;</p> <p style="text-align: center;">150-240 мм<sup>2</sup>—25 мм.</p>

## Технологічна карта оброблення кабелю з паперовою ізоляцією

<p>Вибір довжини проводу заземлення при з'єднувальних муфтах</p>	<p>Довжина проводу заземлення повинна забезпечити його послідовне приєднання до оболонки (екранів), броні та металевим корпусам муфт.</p>
<p>Вибір довжини проводу заземлення при кінцевих муфтах і заробках</p>	<p>Те ж, але вільний кінець проводу заземлення повинен служити для приєднання до опорної конструкції муфти (заробки) або до мережі заземлення</p>
<p>Приєднання проводу заземлення до оболонки (екрану) кабелю</p>	<p>Провід заземлення закріплюють на оболонці бандажем з оцинкованого сталевго дроту діаметром 1-1,5 мм та припаюють припоєм ПОС-40. Місце пайки попередньо очищають й обробляють свинцеву оболонку припоєм ПОС-40, а алюмінієву - припоєм А.</p>
<p>Приєднання проводу заземлення до броні кабелю</p>	<p>Приєднують біля стрічкової броні до двох броністрічок, а біля дротовій до всіх дротиків бандажем із дроту, а потім пайкою. Попереднє місце пайки очищають й обробляють.</p>
<p>Приєднання проводу заземлення до болта заземлення муфти або опорної конструкції</p>	<p>Провід заземлення окінцьовують наконечником способом зварювання, пайки або опресування.</p>

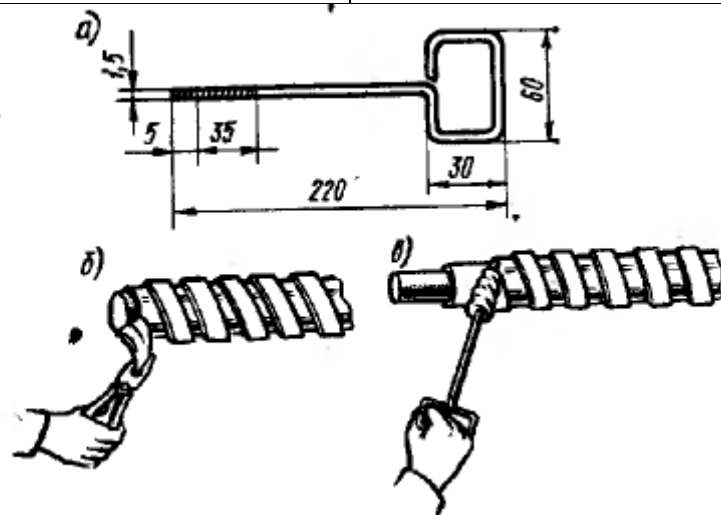


Рисунок 4.2 – Видалення гофрованої алюмінієвої оболонки та розміри ключа:

а – ключ: б – відгинання оболонки плоскогубцями; в – накручення оболонки на ключ

4.2 Зробити необхідні висновки й скласти звіт по роботі.

## 5 Висновки:

## 6 Контрольні питання:



- 6.1 Для чего выполняют сдвиг при разборке кабеля?
- 6.2 Расшифруйте марку муфты или зарезки, для которых выполнялась разборка кабеля.
- 6.3 Расшифруйте марку кабеля, на котором выполнялась разборка.

Литература:

1. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
2. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.
3. Правила устройства электроустановок. – Х. Вид-во «Форт», 2009. – 708с.

## **Інструкція для виконання практичної роботи №5**

**Тема:** Випробування електричної міцності міжвиткової ізоляції обмоток електродвигунів змінного струму.

### **1 Мета:**

1.1 Навчитися виконувати випробування електричної міцності міжвиткової ізоляції обмоток

### **2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:**

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи №5.

2.4 Стенд для виконання лабораторної роботи №5.

### **3 Теоретичні відомості**

В обмотках двигунів змінного струму замикання між витками є одним із самих серйозних дефектів, що зазвичай приводять до виходу двигуна з ладу.

При зовнішньому огляді звичайно неможливо розпізнати, чи є в котушках короткозамкнені витки. Якщо число короткозамкнених витків невелике, то це не можна виявити вимірюванням опору при постійному струмі, бо таке замикання мало відбивається на значенні опору всієї фази. Зміна опору фази в цьому випадку може перебувати в межах до пуску на відхилення значенні опору між фазами обмотки. Однак при включенні двигуна під навантаження короткозамкнені витки будуть поводитися як замкнута накоротко вторинна обмотка трансформатора з малим опором. Внаслідок відносно великого значення минаючого струму перегрівається як сама обмотка, так й ізоляція дефектних і прилягаючих до них витків.

Випробування витків ізоляції передбачене ДЕРЖСТАНДАРТОМ 183-74 для зібраних двигунів і виконується після випробування на підвищену частоту обертання (якщо це випробування повинне виконуватися). До обмоток двигуна підводить напруга, на 30% перевищуюча номінальну напругу двигуна, і витримується 3 хв: у двигунів з фазним ротором – при розімкнутій обмотці ротора; у двигунів з короткозамкненим ротором – при холостому ході.

Якщо при нарузі 130% від номінальної струм холостого ходу перевищує номінальний, то тривалість випробувань знижують до 1хв.

У двигунів з розімкнутим і нерухомим фазним ротором при підведенні до обмотки статора трифазної напруги випробовують одночасно міжвиткову ізоляцію обмоток статора й ротора. Однак у деяких двигунів з фазним ротором і малим числом полюсів при такому випробуванні споживаний струм набагато перевершує номінальне значення, що викликає небезпечне підвищення температури обмотки статора, бандажів і т.д. У таких машин допускається роздільне випробування міжвиткової ізоляції обмотки

статора й ротора. Спочатку роблять випробування для обмотки статора при замкнутому накоротко й обертовому роторі підвищенням підведеної напруги до обмотки статора до 130 % від номінальної, а для обмотки ротора (при розімкнутій обмотці ротора й обертанні з номінальною частотою стороннім двигуном проти напрямку обертання поля статора) підвищенням до обмотки статора напруги, рівної 65% від номінальної. При такому випробуванні наведена в обмотці ротора напруга буде становити 130 % номінальної.

Для зменшення струму холостого ходу при випробуванні міжвиткової ізоляції обмоток допускається одночасно з підвищенням напруги на 30 % підвищувати й частоту струму живлення. Якщо випробування роблять на обертовій електричній машині, то підвищення частоти не повинне бути більш ніж на 15 %.

При проведенні лабораторної роботи варто використовувати двигуни із висипними обмотками. У великих електричних машин із твердими котушками при експлуатації можуть виникати значно більш високі перенапруги. Що рекомендує ДЕРЖСТАНДАРТ 183-74 випробування для таких двигунів не гарантує надійність двигуна. Для таких двигунів обмотки до укладання в пази випробовують імпульсною напругою високої частоти (10-100 кГц) на підставі ПТЕ.

Для випробування двигунів з номінальною напругою до 110-127 В в якості джерела, що підвищує напругу, досить використати лабораторний автотрансформатор. У випадку проведення випробувань двигунів з номінальною напругою 220В необхідний також підвищувальний трансформатор з номінальною напругою первинної обмотки 220В та коефіцієнтом трансформації 1,5.

Потужність лабораторного автотрансформатора або регулятора напруги, а також трансформатора, що живить двигуни, залежить від кількості й потужності випробовуваних двигунів. Про значення струму при випробуваннях можна судити за показниками амперметра в колі обмотки двигуна.

З метою безпечного обслуговування стенда в схему можуть бути введені блоки-контакти в коло вторинної обмотки трансформатора, які включають коло підвищеної напруги тільки в тому випадку, якщо двигуни обгороджені від оператора спеціальними скляними дверцятами.

Схема для проведення випробувань міжвиткової ізоляції двигунів постійного струму відрізняється лише введенням випрямного блоку у вторинну обмотку підвищувального трансформатора.

Випробування проводяться за схемою наведеною на рисунку 7.1.

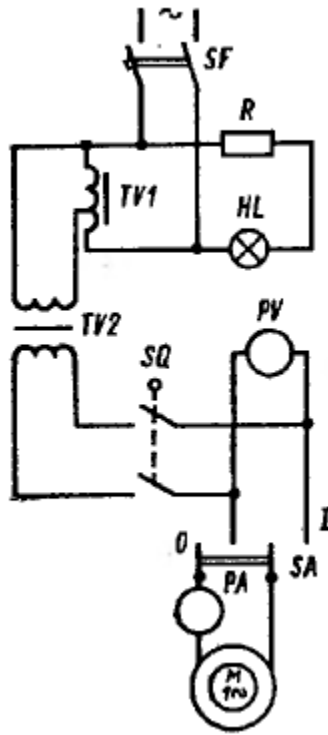


Рисунок 7.1 – Електрична схема для проведення лабораторної роботи

#### 4 Хід роботи

1. Зняти номінальні дані випробуваного двигуна:  $P_{\text{ном}}$ ,  $I_{\text{ном}}$ . Якщо відсутній  $I_{\text{ном}}$ , то розрахувати його по формулі:

$$I = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cos \varphi \eta}.$$

2. Знайти значення випробувальної напруги:

$$U_{\text{всп}} = \frac{130}{100} U_{\text{ном}}.$$

3. Зібрати схему, що наведена на рисунку 7.1. Переконайтеся, що рукоятка автотрансформатора  $TV1$  виведена до відмови.

4. Закрити скляну кришку стенда, замкнувши кінцевий вимикач  $SQ$ .

5. Включити автомат  $SF$ . Про наявність напруги свідчить лампа, що засвітилася  $HL$ .

6. Включити перемикач  $SA$ , встановивши його в положення  $I$ .

7. Плавним обертанням рукоятки лабораторного автотрансформатора  $TV1$  встановити на вольтметрі  $PV$  напругу рівну випробувальній напрузі.

8. Якщо  $I_{\text{уст}} = I_{\text{ном}}$  випробування проводити 3 хв. Якщо  $I_{\text{уст}} > I_{\text{ном}}$ , то випробування проводити 1хв.

9. Скласти звіт по роботі й зробити висновок про придатність міжвиткової ізоляції.

## **5 Висновки:**

### **6 Контрольні питання:**

1. Чому не завжди вимірюванням опору ізоляції можна визначити міжвиткове замикання?

2. Яким чином при проведенні випробувань можна переконатися в наявності міжвиткових замикань?

3. Чим відрізняються випробування двигунів з короткозамкненим ротором від випробувань двигунів з фазним ротором?

4. Яку мету переслідують випробування електричної міцності міжвиткової ізоляції?

5. Який час випробувань встановлює ДЕРЖСТАНДАРТ залежно від струму холостого ходу?

### **Література:**

1. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
2. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.

## Інструкція для виконання практичної роботи №6

**Тема:** Визначення температури обмоток електродвигуна змінного струму за їх опором

### 1 Мета:

1.1 Навчитися визначати температури обмоток трифазного асинхронного двигуна

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи №6.

2.4 Стенд для виконання лабораторної роботи №6.

### 3 Теоретичні відомості

Температуру обмоток визначають при випробуваннях двигуна на нагрівання. Випробування на нагрівання роблять для визначення абсолютної температури або перевищення температури обмотки або частин електродвигуна відносно температури охолодженого середовища при номінальному навантаженні.

Електроізоляційні матеріали, які застосовуються в конструкціях електричних машин, старіють і поступово втрачають електричну і механічну міцність. Швидкість цього старіння залежить головним чином від температури, при якій ізоляція працює.

Численними дослідженнями встановлено, що довговічність (термін служби) ізоляції скорочується вдвічі, якщо температура, при якій вона працює, на 6—8°C перевищує граничну для даного класу нагрівостійкості.

ДЕРЖСТАНДАРТ 8865-70 встановлює наступні класи нагрівостійкості електроізоляційних матеріалів і характерні для них граничні температури.

Клас нагрівостійкості ...	$\gamma$	A	E	B	F	H	C
Гранична температура, °C	90	105	120	130	155	180	180

Випробування на нагрівання може здійснюватися при безпосередньому навантаженні та непрямим методом (нагрівання від основних втрат). Випробування проводять до сталої температури при практично незмінному навантаженні. За сталу температуру приймають таку, яка протягом 1 год змінюється не більше ніж на 1°C. Як навантаження при випробуваннях на нагрівання застосовують різні пристрої, найбільш прості з них різні гальма (колодкові, стрічкові й т.д.), а також навантаження, забезпечувані генератором, що працює на реостат.

При випробуваннях на нагрівання визначають не тільки абсолютну температуру, але й перевищення температури обмоток над температурою охолодженого середовища, встановлене ДЕРЖСТАНДАРТОМ 183-74 (таблиця 5.1).

Як видно з таблиці, передбачені різні методи вимірювання температур залежно від конкретних умов і частин машин, у яких необхідно проводити вимірювання.

*Методом термометра* визначають температуру поверхні в точці додатка (поверхня корпусу, підшипників, лобових частин обмотки), температуру навколишнього середовища й повітря, що надходить і виходить із двигуна. Застосовують як ртутні, так і спиртові термометри. Поблизу сильних змінних магнітних полів варто застосовувати тільки спиртові термометри, так як в ртуті наводяться вихрові струми, що спотворюють результати вимірювань. Для кращої передачі теплоти від вузла до термометра резервуар термометра обертають фольгою, а потім притискають до нагрітого вузла. Для теплоізоляції термометра поверх фольги накладають шар вати або нитки, але так, щоб останній не потрапив у простір між термометром та нагрітою частиною двигуна. При вимірюванні температури охолоджуючого середовища термометр варто поміщати в закритий металевий стаканчик, заповнений маслом, захищаючи термометр від променистої теплоти, що випускається навколишніми тепловими джерелами й самою досліджуваною машиною, та від випадкових потоків повітря. При вимірюванні температури зовнішнього охолоджуючого середовища кілька термометрів розташовують у різних точках навколо досліджуваної машини на висоті, рівній половині висоти машини, та на відстані 1-2 м від неї. За температуру охолоджуючого середовища приймають середнє арифметичне значення показань цих термометрів.

Таблиця 5.1 – Гранично допустимі перевищення температури частин двигуна

Частини двигуна	Гранично допустимі перевищення температури, 0С при ізоляційних матеріалах класа нагрівостійкості					Метод вимірювання температури
	А	Е	В	Ф	Н	
Обмотки змінного струму двигунів 5000 кВА та вище або з довжиною осердя 1м та більше	60	70	80	100	125	Опори або температурних індикаторів, вкладених в пази
Те ж, але менше 5000 кВА та менше 1 м	50*	65*	70**	85**	105***	Термометра або опора. Дані наведені для вимірювання методом термометра
Стержньові обмотки роторів асинхронних двигунів	65	80	90	110	135	Термометра або опора
Контактні кільця	60	70	80	90	110	Термометра або температурних індикаторів, вкладених в пази
Осердя та інші сталеві частини, які торкаються обмоток	60	75	80	110	125	Термометра
Те ж, але, які не торкаються обмоток	Перевищення температури цих частин не повинно перевищувати значень, які створювали б небезпеку пошкодження ізоляційних та інших суміжних матеріалів					

\* – при вимірюванні методом опору допустима температура збільшується на 10<sup>0</sup>С;

\*\* – те ж, але на 15<sup>0</sup>С;

\*\*\* – те ж, але на 20<sup>0</sup>С.

*Метод термопар*, широко застосовуваний для виміру температури, використовується в основному в машинах змінного струму. Термопари закладають у пази між шарами обмоток і на дно паза, а також в інших важкодоступних місцях. Термопару утворюють два ізольовані один від одного дротами з різних матеріалів. Матеріали вибирають залежно від значень вимірюваної температури. Для вимірювання температур в електричних машинах звичайно застосовують медіо-константанові термопари, що складаються з мідного й константанового дротів діаметром близько 0,5мм. Одна пара кінців термопари спаяна між собою. Місця спаювання звичайно поміщають у ту точку, де необхідно виміряти температуру («гарячий спай»), а іншу пару кінців підключають або безпосередньо до затискачів чутливого мілівольтметра з більшим внутрішнім опором, або до перехідної зборки затискачів, від якої відходять мідні провідники до вимірювального приладу. У тому місці, де нагріваєний кінець константанової дроту з'єднується з мідним провідником (на клемі вимірювального приладу або на перехідній клемі), утвориться так званий «холодний спай» термопари. На поверхні контакту двох металів (константану й міді) виникає ЕРС, пропорційна температурі в місці контакту, причому на константані утвориться мінус (—), а на міді плюс (+). ЕРС виникає як на «гарячому», так і на «холодному» спаї термопари. Однак оскільки температури спаїв різні, то й значення ЕРС різні, так як в контурі, утвореному термопарою та вимірювальним приладом, ці ЕРС спрямовані назустріч одна одній, то мілівольтметр вимірює різницю ЕРС «гарячого» та «холодного» спаїв, що відповідає різниці температур. Досвідом установлено, що ЕРС мідно-константанової термопари становить 0,0416 мВ на 1°С різниці температур «гарячого» й «холодного» спаїв. Відповідно до цього можна відградувати шкалу мілівольтметра в градусах Цельсія. Так як термопара фіксує тільки різницю температур, то для визначення абсолютної температури «гарячого» спаю треба до показань термопари додати температуру «холодного» спаю, виміряну термометром.

*Метод опору* – визначення температури обмоток за їх опором постійному струму часто використовується для виміру температури обмоток. Метод заснований на відомій властивості металів змінювати свій опір залежно від температури.

Для визначення перевищення температури, °С, роблять виміри опору обмотки практично в холодному й нагрітому станах і виконують розрахунки по формулам:

для міді:

$$\Delta T = \frac{R_r - R_x}{R_x} (235 + T_x) + (T_x - T_0) ;$$

для алюмінію:



$$\Delta T = \frac{R_r - R_x}{R_x} (245 + T_x) + (T_x - T_0) ;$$

де  $\Delta T$  – перевищення температури обмотки, °С;

$R_x$  – опір у практично холодному стані, Ом;

$R_r$  – опір у нагрітому стані. Ом;

$T_x$  – температура обмотки в холодному стані, °С;

$T_0$  – температура охолодженого середовища, °С.

Варто враховувати, що від моменту відключення до початку вимірювання проходить якийсь час, протягом якого обмотка встигає охолонути. Тому для правильного визначення температури обмоток у момент відключення, тобто в робочому стані двигуна, роблять наступним чином: після відключення машини по можливості через рівні проміжки часу (по секундоміру) роблять кілька вимірювань. Цей проміжок не повинен перевищувати часу від моменту вимикання до першого виміру. Потім проводять екстраполяцію вимірів, будуючи графік  $R=f(t)$ .

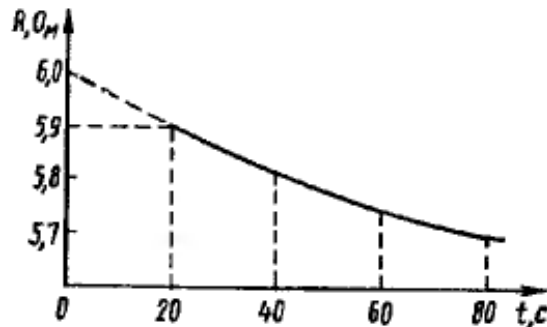


Рисунок 5.1 – Графік зміни опору обмоток при охолодженні

*Методом амперметра-вольтметра* вимірюють опір. Перший вимір опору обмотки роблять не пізніше ніж через 1хв від моменту відключення для машин потужністю до 10 кВт, через 1,5хв для машин потужністю 10-100кВт і через 2хв для машин потужністю вище 100 кВт.

Якщо перший вимір опору зроблений не більш ніж через 15-20с з моменту вимикання, то за опір приймають найбільше з перших трьох виміряних. Якщо перший вимір зроблений пізніше ніж через 20с після відключення машини, то вносять виправлення на остигання. Для цього роблять 6-8 вимірів опору й будують графік зміни опору при остиганні (рисунок 5.1). По осі ординат відкладають відповідні виміряні опори, а по осі абсцис – час (точно в масштабі), що пройшов від моменту вимикання електродвигуна до першого виміру й проміжки між вимірами (с) і одержують криву, зображену на графіку суцільною лінією. Після цього продовжують цю криву вліво, зберігаючи характер її зміни, до перетинання з віссю ординат (зображена пунктирною лінією). Відрізок на осі ординат від початку координат до перетинання з пунктирною лінією з достатньою точністю визначить шуканий опір обмотки двигуна в гарячому стані.

Основна номенклатура двигунів, встановлених на промислових підприємствах, містить у собі ізоляційні матеріали класів *A* і *B*. Наприклад, якщо для пазової ізоляції застосований матеріал на основі шлуди класу *B*, а для обмотки проводу ПБД із бавовняною ізоляцією класу *A*, то двигун по класу нагрівостійкості відноситься до класу *A*. Якщо температура охолодженого середовища нижче 40 °С (норми для якої наведені в таблиці 5.1), то для всіх класів ізоляції допускають перевищення температури на стільки градусів, на скільки температура охолодженого середовища нижче 40 °С, але не більше ніж на 10 °С.

Якщо температура охолодженого середовища 40-45 °С, то гранично допустимі перевищення температури, зазначені в таблиці 5.1, знижуються для всіх класів ізоляційних матеріалів на 5 °С, а при температурах охолодженого середовища 45-50 °С – на 10 °С. За температуру охолодженого середовища звичайно приймають температуру навколишнього повітря.

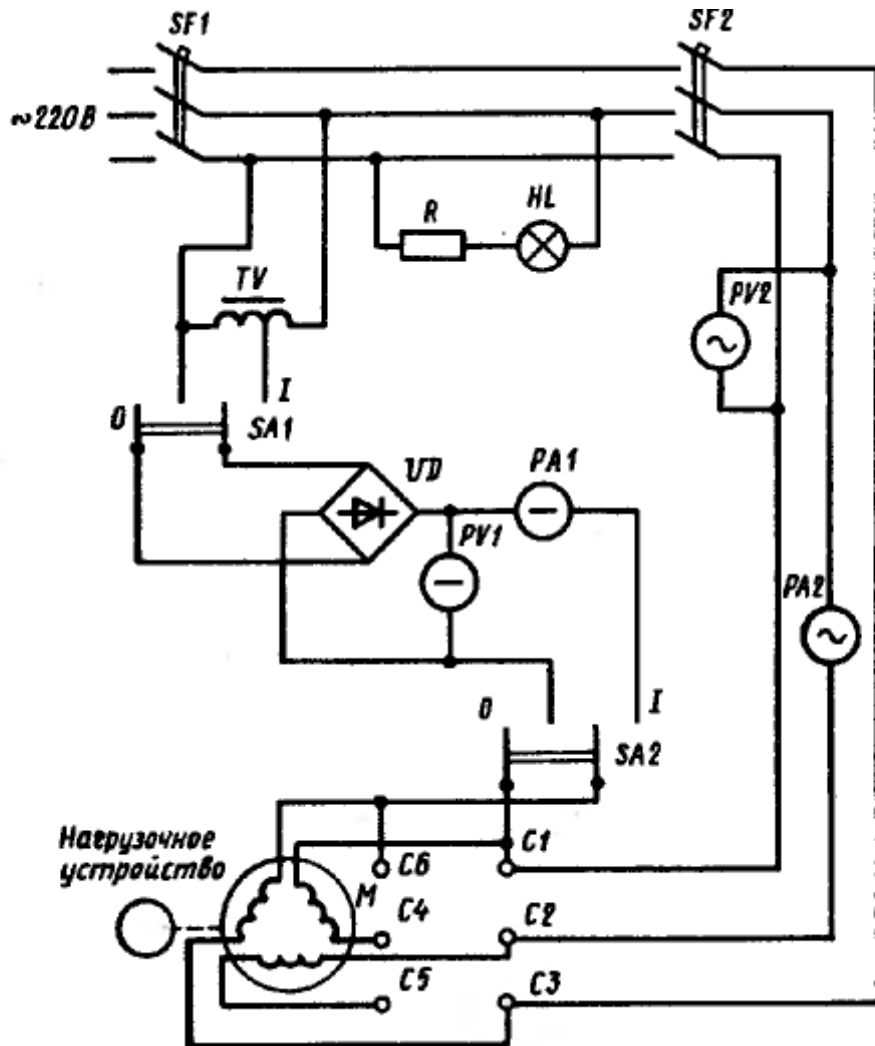


Рисунок 5.2 – Електрична схема для виконання лабораторної роботи №5

Для закритих машин напругою не більше 1500 В гранично допустимі перевищення температури обмоток статорів електродвигунів потужністю менш 5000 кВт або з довжиною сердечника менше 1м, а також стержньових

обмоток роторів при вимірі температур методом опору допускається підвищувати на 5 °С.

При вимірюванні температури обмоток по способу виміру їхнього опору визначається середня температура обмоток. У дійсності ж при роботі двигуна окремі зони обмоток, як правило, мають різну температуру. Тому максимальна температура обмоток, що визначає довговічність ізоляції, завжди дещо перевищує середнє значення.

При визначенні температур обмоток методом опору для електродвигунів з фазним ротором побудова екстраполяційних кривих виконується двічі: один раз для обмотки статора, другий раз для обмотки ротора. Для цього двигун після побудови кривої остигання обмотки статора вдруге приводять в обертання з попереднім навантаженням до встановлення попередніх температур, а потім вдруге відключають.

Включення двигуна на вимірювальну схему варто робити тільки після повної зупинки ротора, у протилежному випадку вимірювальні прилади можуть бути пошкоджені індукційними струмами.

Для одержання правильного результату вимірів необхідно користуватися тими самими приладами як і при вимірюванні опору обмотки в холодному стані (перед пуском двигуна), так й у нагрітому стані обмотки (після зупинки двигуна). Вимірювання опорів багатозональних обмоток при наявності виводів початку й кінця фаз варто проводити пофазно.

#### 4 Хід роботи

4.1 Зібрати схему наведену на рисунку 5.2, переконавшись, що рукоятка лабораторного автотрансформатора виведена до упору.

4.2 Встановити перемички *C2-C4* і *C3-C5*.

4.3 Включити автомат *SF1*. При цьому загоряється сигнальна лампа *HL*, що свідчить про наявність напруги в схемі.

4.4 Встановити перемикач *SA1* в положення 1.

4.5 За допомогою рукоятки ЛАТР *TV* встановити на вольтметрі *PV1* напругу  $U_1$ , при якій показання амперметра *PA1* —  $I_1$  не перевищать 20% від номінального струму двигуна.

4.6 Встановити перемикач *SA2* в положення *I* та записати показання *PV1* —  $U_{1x}$  та *PA1* =  $I_{1x}$ .

4.7 Підрахувати омичний опір (Ом) обмотки електродвигуна в холодному стані:

$$R_x = \frac{U_{1x}}{I_{1x}}.$$

4.8 Припустивши, що всі фази мають однаковий опір, визначимо опір (Ом) однієї фази обмотки виходячи з їхнього послідовного з'єднання:

$$R_{x\phi} = R_x/3.$$

4.9 Встановити перемикачі *SA1* та *SA2* у положення 0.

4.10 Встановити перемичку *C1—C6*.

4.11 Включити автомат *SF2*.

4.12 Рукоюяткою навантажувального пристрою навантажити двигун до показання амперметра  $PA2$ , рівного  $I_{ном}$ . Прогрів обмоток продовжувати (10-15)хв, регулюючи сталість показань амперметра навантажувальним пристроєм.

4.13 Викнути автомат  $SF2$  і дочекатися повної зупинки двигуна.

4.14 Зняти перемичку  $C1—C6$ .

4.15 Встановити  $SA1$  й  $SA2$  у положення  $I$ , зняти показання  $PVI (U_{I_2})$  і  $PA1 (I_{I_2})$  не пізніше ніж через 20с після зупинки двигуна.

4.16 Визначити опір (Ом) обмотки у гарячому стані:

$$R_r = \frac{U_{1r}}{I_{1r}}.$$

4.17 Припускаючи, що всі обмотки нагріто однаково, і з огляду на їх послідовне з'єднання, визначити опір (Ом), однієї фази:

$$R_{r\phi} = R_r/3.$$

4.18 Розрахувати перевищення температури обмоток над температурою охолодженого середовища, прийнявши температуру обмоток у холодному стані рівній температурі навколишнього середовища.

Примітка. Якщо перший вимір не вдалося виконати менш ніж через 20с після зупинки двигуна, необхідно провести 6-8 вимірів з однаковим інтервалом часу й побудувати графік зміни опору обмоток при остиганні. Потім по величині опору ( $R_{r\phi}$ ) у точці перетину кривої з віссю ординат зробити розрахунок перевищення температури.

4.19 Підрахувати абсолютну температуру обмоток і зробити висновок про справність двигуна:

$$T_{абс} = \Delta T + T_0.$$

20. Скласти звіт по роботі.

## 5 Висновки:

### 6 Контрольні питання:

6.1 Яка мета випробувань обмоток електродвигунів на нагрівання?

6.2 У чому суть методу термометра?

6.3 У чому суть методу термопар?

6.4 У чому суть методу опору?

6.5 Яким чином виконується вимірювання температури охолодженого середовища?

6.6 Яким значенням обмежений струм, що пропускається по обмотках двигуна при випробуванні на нагрівання?

6.7 Що таке нагрівостійкість та які класи ізоляції по нагрівостійкості найбільш часто застосовуються для обмоток електродвигунів?

Література:

1. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
2. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.

## Інструкція для виконання практичної роботи №7

**Тема:** Вивчення способів сушки ізоляції обмоток електродвигунів

### 1 Мета:

1.1 Вивчити схеми та методику різних способів сушки ізоляції обмоток електродвигунів

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №7.

### 3 Теоретичні відомості

Сушка електричних машин повинна обов'язково виконуватися при незадовільних характеристиках ізоляційних матеріалів, які вказують на неприпустимий ступінь зволоженості ізоляції. Як правило, сушіння виконується до установки машини. Сушка машин перед пуском виконується в тому випадку, якщо машина після установки або в період зберігання перебувала в приміщенні, де ізоляція зволожилася, і виміру ізоляційних характеристик перед пуском показують на зволоженість ізоляції.

Для визначення умов, обов'язкових при включенні без сушки, електричні машини змінного струму умовно розділяють на дві групи:

1) електродвигуни до 5000 кВт із частотою обертання не більше 1500 об/хв;

2) генератори й синхронні компенсатори, а також електродвигуни, що не входять у групу 1.

Основними критеріями для включення машин без сушки є:

$R_{60//}$  – однохвилинне значення опору ізоляції обмоток (заміряне через 60 с після початку виміру), МОм;

$R_{60//}/R_{15//}$  – коефіцієнт абсорбції, дорівнює відношенню однохвилинного значення опору ізоляції до 15-секундного значення при температурі вимірювання від 10 до 30 °С;

характеристика струмів витоку при прикладанні випрямленої іспитової напруги.

Це випробування не проводиться на машинах групи 1, якщо  $R_{60//}$  та  $R_{60//}/R_{15//}$  в нормі. Дозволяється також не проводити його й на машинах групи 2, а також на машинах групи 1, але обов'язковою умовою включення таких машин є дотримання допустимих значень  $R_{60//}$  і відношення  $R_{60//}/R_{15//}$  при значеннях  $R_{60//}$  удвічі менше норми.

Значення  $R_{60//}$  для двигунів групи 1 на номінальну напругу до 1000 В повинне бути не менш 0,5 МОм, а коефіцієнт абсорбції не менш 1,2.

Для машин групи 2 значення  $R_{60//}$  повинне бути не менш значень, обчислених по формулі:

$$R_{60} = \frac{U_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}} \cdot 0.01 + 1000},$$

виміряних при температурі 75 °С,

де  $U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга електричної машини, В;

$P_{\text{ном}}$  – номінальна потужність, кВт.

Коефіцієнт абсорбції для машин групи 2 повинен бути не менш 1,3.

Якщо виміряні параметри не задовольняють нормам, то електричну машину піддають сушінню.

Обмотки машин перед сушінням повинні бути очищені від забруднень й осілого пилу, продуті сухим і чистим повітрям тиском не вище 2 кгс/см<sup>2</sup> (0,2 МПа). Якщо вода тривалий час впливає на обмотки двигуна, то виміри й випробування, пов'язані з подачею напруги, повинні виконуватися після контрольного прогріву й підсушування шляхом зовнішнього нагрівання. Здійснювати сушіння пропусканням струму через обмотки допускається в тому випадку, якщо опір ізоляції обмоток статора машин змінного струму й обмотки якоря машин постійного струму не менш 5 кОм, а опір ізоляції обмоток ротора машин змінного струму й обмоток збудження машин постійного струму не менш 20 кОм.

Перед проведенням сушіння корпус машини повинен бути обов'язково заземлений. У період підготовки до сушіння необхідно передбачити можливість виконання вимірювання, тому необхідно вивести кінці обмоток у зручне для вимірів місце, ізолювати їх, встановити термометри й температурні індикатори. У процесі сушіння вимірюють опір ізоляції, температуру обмоток, активної сталі й навколишнього повітря. Щоб уникнути втрат теплоти машина повинна бути закрита.

У період підготовки до сушіння проводять необхідні протипожежні заходи: місце проведення сушіння забезпечують засобами пожежогасіння, водопостачання. У приміщенні не повинні зберігатися паливномастильні матеріали.

У процесі сушіння варто постійно контролювати температуру обмоток і сталеві частин електричних машин. Максимальна температура в найбільш нагрітому місці обмотки або сталі при нагріванні струмом не повинна перевищувати 80<sup>0</sup>С при вимірюванні термометрами, 100<sup>0</sup>С при вимірюванні методом опору, 90<sup>0</sup>С при вимірюванні вбудованими й закладеними температурними індикаторами й 100<sup>0</sup>С при вимірюванні термометром при сушінні методом зовнішнього нагрівання.

Швидкість досягнення сталої температури не повинна перевищувати 4-5<sup>0</sup>С/год. Для обмеження різкого підвищення температури вчасно знижують струм або періодично відключають джерело живлення. До досягнення сталої температури робиться запис один раз у годину, з моменту досягнення сталої температури – один раз в 2 год.

Сушіння припиняється після того, як опір ізоляції буде триматися при постійній температурі практично незмінним протягом 3—5 год. Сушіння

вважається закінченим при умовах;  $R_{60//}$  та  $R_{60//R_{15//}}$  мають сталі значення протягом 3—5 год і значення їх – не менше допустимих.

### **Способи сушіння електричних машин**

1 *Зовнішнє нагрівання* (рисунок 10.1). Цим методом рекомендується робити сушіння всіх електричних машин й обов'язково сильно зволжених. Для нагрівання застосовуються теплоповітрєдувки, нагрівальні опори (для машин малої потужності – сушильні шафи). Для електричних машин із замкнутою системою вентиляції нагрівачі розміщують у вентиляційній камері й температуру гарячого повітря, що надходить у машину, регулюють вимиканням нагрівачів. Потужність (кВт) нагрівальних елементів теплоповітрєдувки визначають по формулі:

$$P=0.07QC(t_2 - t_1),$$

де  $Q$  – кількість повітря, прогнаного вентилятором через камеру, м<sup>3</sup>/хв;

$C$  – теплоємність повітря, рівна 0,273 ккал/кг (1,14 кДж/кг);

$t_1$  – температура навколишнього повітря, °С;

$t_2$  – температура гарячого повітря, °С (приймається приблизно рівній 90 °С).

Кількість повітря, прогнаного за 1 хв через камеру, приймають рівній 1,5  $Q$ , де  $Q_K$  – обсяг камери, м<sup>3</sup>.

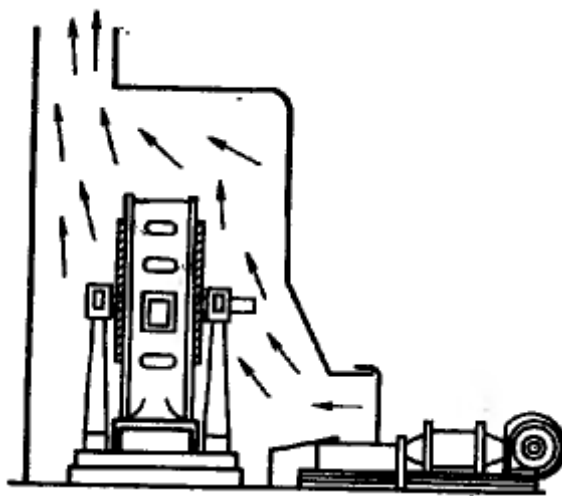


Рисунок 10.1 – Сушка завнішнім нагрівом

При орієнтовних розрахунках потужність нагрівальних елементів теплоповітрєдувок можна приймати: для електричних машин потужністю до 500 кВт – 3,5 %; для електричних машин 500-1000 кВт – 1,5-3 % потужності машини.

2 *Сушіння інфрачервоними променями*. Цей метод також рекомендується для всіх електричних машин й обов'язковий для сильно вологих. Як джерело інфрачервоних променів застосовують дзеркальні лампи накалювання. Електродвигун повинен перебувати від лампи на відстані 20-40 см. Лампи для рівномірного прогріву бажано розташовувати в шаховому порядку з відстанями між рядами ламп 20-30 см. По мірі



зростання температури частина ламп відключається. Як правило, потужність застосовуваних ламп 250 або 500 Вт. Для сушіння електричних машин загальна потужність ламп коливається в межах 5-15 кВт.

3 Метод індукційних втрат потужності в сталі статора з використанням вала електричної машини в якості намагнічуючого витка (рисунок 10.2). Даний метод рекомендується для всіх електричних машин, у яких ізолювані підшипники або є можливість їх ізолювати.

Через вал пропускається струм від зварювального трансформатора (або декількох паралельно включених). Вторинний струм може регулюватися реактором зварювального трансформатора. Необхідні параметри трансформаторів  $U - 15-50$  В, струм – до 1000 А.

Можливе використання силових трансформаторів 6000/400 В при підключенні до сторони вищої напруги 400 В та отриманні на стороні нижчої напруги 24 В.

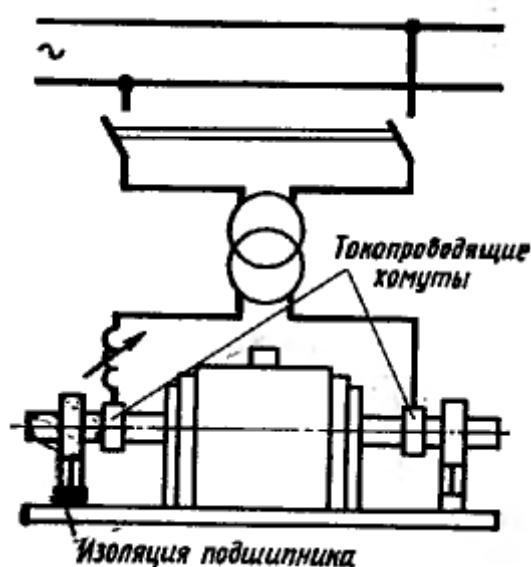


Рисунок 10.2 – Сушка індукційними втратами потужності в активній сталі статора з використанням вала електричної машини в якості намагнічуючого витка

Підведена напруга (В) частотою 50 Гц визначають по формулі:

$$U_c = BS\omega/45,$$

де  $B$  – задана індукція, Тл ( $B = 0,6 - 0,8$  Тл);

$S$  – перетин активної сталі,  $\text{см}^2$ ;

$\omega = 1$ .

Перетин активної сталі ( $\text{см}^2$ ):

$$S = k l_{cm} h_{cm},$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу сталі, рівний 0,95;

$l_{cm}$  – довжина активної сталі статора без повітряних каналів, см;

$h_{cm}$  – висота активної сталі, см (без зубців).

$$l_{cm} = l - nb_k,$$

де  $l$  – повна довжина сталі статора;  
 $n$  – кількість вентиляційних каналів;  
 $b_k$  – ширина вентиляційних каналів.

Необхідну МРС (струм, що протікає по валу) ( $A$ ) визначають по формулі:

$$a \omega = I_g = \pi D_{cp} a \omega_0,$$

де  $D_{cp}$  – середній діаметр активної сталі статора, см;  
 $a \omega_0$  – питома МРС (залежить від сорту сталі).

При  $B$ , рівному 0,6; 0,7; 0,8 Тл, питома МРС відповідно дорівнює 1,4; 1,8; 2,2 для слабо- та середньолегірованих сталей.

4 Метод індукційних втрат потужності в активній сталі статора за допомогою спеціальної намагнічуючої обмотки (рисунок 10.3). Цей метод рекомендується для електричних машин, що надійшли в розібраному стані або пройшли розбирання при ревізії. При цьому методі нагрівання відбувається за рахунок створення в сталі статора змінного магнітного потоку шляхом намотування на статор спеціальної намагнічуючої обмотки з ізолюваного проводу. Обмотка живиться однофазним струмом. Сушіння електродвигуна повинне виконуватися при вийнятому роторі. Намагнічуючі витки, ізолюються від сталі статора азбестом або електрокартоном. Навантаження на проводи вибирають у межах 0,5—0,7 допустимого. Регулювання температури виконується періодично включеннями й відключеннями намагнічуючої обмотки або перемиканням числа витків. При використанні цього методу лобові частини обмотки підігрівають теплоповітряною. Ротор машини підсушують постійним струмом.

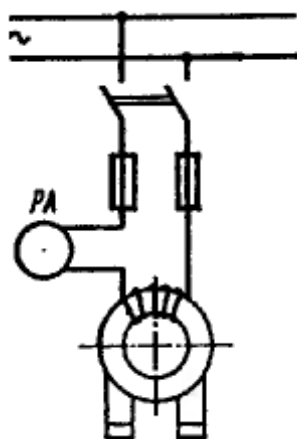


Рисунок 10.3 – Сушка методом індукційних втрат потужності в активній сталі статора за допомогою спеціальної намагнічуючої обмотки

Число витків намагнічуючої обмотки визначається по формулі:

$$\omega = 45U_c / (SB).$$

Струм у намагнічуючій котушці:

$$I = aw/w = \pi D_{cp} a w_0 / w.$$

Підведена напруга  $U_c$  вибирається рівною 380 В або 220 В.

Проводи й кабелі для намагнічуючої обмотки не повинні мати металевої оболонки. Навантаження на проводи приймають рівними 50-70 % допустимих.

Для швидкого підйому температури на початку сушіння індукцію рекомендується вибирати 0,7-0,8 Тл. При сталому тепловому режимі вона може бути знижена до 0,4- 0,6 Тл шляхом зменшення підведеної напруги або збільшення числа витків намагнічуючої обмотки.

Цей метод непридатний для сушіння машин потужністю менш 150-220 кВт, так як внаслідок малого перетину активної сталі потрібно дуже велика кількість витків.

5 Метод втрат на вихрові струми в статорі машин змінного струму або в станині електричних машин постійного струму (рисунок 10.4). Цей метод застосовується для електричних машин малої й середньої потужності із щитовими підшипниками. Намагнічуюча обмотка, з ізолюваних проводів намотується по зовнішній поверхні станини електричної машини. Внаслідок створення вихрових струмів станина нагрівається. Як джерело живлення найбільш зручними є зварювальні трансформатори, що дозволяють регулювати струм. Можливе послідовне підключення декількох машин.

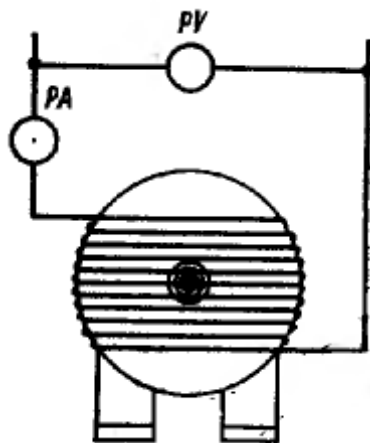


Рисунок 10.4 – Сушка методом втрат на вихрові струми в статорі машин змінного струму або в станині електричних машин постійного струму

Потужність (кВт), необхідна для сушіння:

$$P = k F (t_{корн} - t_0) 10^{-3},$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередачі, рівний 5 при утепленій й 12 при неутепленій машині;

$F$  – повна поверхня корпусу машини, м<sup>2</sup>;

$t_{\text{корп}}$  – температура нагрівання корпусу електричної машини, прийнята для розрахунків 100°C;

$t_0$  – температура навколишнього повітря, °C.

Питомі втрати (кВт/м<sup>2</sup>):

$$\Delta p = P/F_0,$$

де  $F_0$  – поверхня корпусу електричної машини, охоплювана намагнічуючою обмоткою, що намагнічує, м<sup>2</sup>.

Число витків намагнічуючої обмотки:

$$w = U A/L,$$

де  $U$  – напруга, підведена до обмотки, В;

$A$  – коефіцієнт, що визначається по таблиці 10.1, залежно від питомих втрат;

$L$  – довжина одного витка, м.

Таблиця 10.1 – Залежність коефіцієнта  $A$  від питомих втрат

Питомі втрати, кВт/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт $A$	Питомі втрати, кВт/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт $A$	Питомі втрати, кВт/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт $A$	Питомі втрати, кВт/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт $A$
0,1	4,21	1	1,85	1,8	1,49	2,8	1,27
0,3	2,76	1,2	1,72	2	1,44	3	1,24
0,5	2,3	1,4	1,03	2,2	1,39	3,25	1,2
0,7	2,06	1,5	1,6	2,4	1,35	3,5	1,18
0,9	1,9	1,6	1,55	2,6	1,31	4	1,12

Струм в намагнічуючій обмотці (А):

$$I = P / (U \cos\varphi),$$

де  $\cos\varphi$  орієнтовно приймають 0,5-0,7.

Навантаження на проводи вибирають 0,5-0,7 від допустимого.

Цей спосіб мало придатний для сушіння великих електричних машин, так як вимагає великої потужності й великої кількості витків.

*б Сушіння від стороннього джерела постійного (змінного) струму* (рисунок 10.5). Сушіння постійним струмом виконується при загальмованому роторі й рекомендується для машин змінного струму, а також для обмоток збудження машин постійного струму. Якщо виведені всі шість кінця обмотки, струм пропускається послідовно через обмотки всіх фаз (рисунок 10.5 а, б). Якщо виведені тільки три кінці обмотки, то обмотки з'єднуються, як показано на рисунку 10.5 в, г, з перемиканням фаз щогодини. Відключення роблять поступовим зниженням підведеної напруги. Обмотка ротора висихає й не вимагає додаткового сушіння.

Струм сушіння підтримується в межах  $0,4-0,7I_{ном}$ . Температуру регулюють шляхом зміни струму сушіння за допомогою зміни підведеної напруги або реостатом. Необхідна напруга (В) джерела постійного струму знаходять по формулі:

$$U_c = I_c R,$$

де  $I_c$  – струм сушіння, А;

$R$  – опір постійному струму обмоток машин за прийнятою схемою сушіння, Ом.

Аналогічно можна проводити сушіння від стороннього джерела однофазного струму. Цей спосіб рекомендується для електричних машин змінного струму. Ротор може бути вийнятий і висушений окремо. Ротор з подвійною кліткою при сушінні по схемам рисунок 10.5 повинен бути обов'язково вийнятий. Сушіння виконується так само. Струм сушіння повинен становити 50-70 % від номінального.

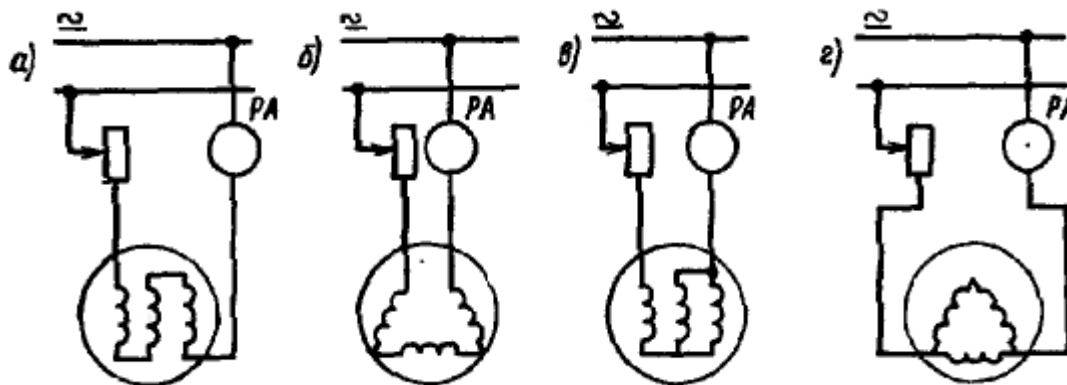


Рисунок 10.5 – Сушка втратами в міді від стороннього джерела постійного або однофазного струму

Крім описаних методів сушіння існує метод за допомогою стороннього джерела трифазного струму в режимі короткого замикання, метод короткого замикання в генераторному режимі, метод «повзучої» швидкості. Однак ці методи через їхню трудомісткість і складність застосовують рідко й у роботі не розглядаються.

#### 4 Хід роботи

4.1 Розрахувати потужність нагрівального елемента теплоповітрівки для сушіння двигуна потужністю  $P_{ном} = 2,2$  кВт.

4.2 При сушінні методом 3 для обраного статора визначити підведену напругу  $U$  (В) і струм, що протікає по валу  $I_B$  (А). Прийняти  $B = 0,7$  Тл.

4.3 При сушінні методом 4 для обраного статора визначити струм у намагнічуючій котушці, вибрати марку й перетин проводу намагнічуючої обмотки. Прийняти:  $B = 0,8$ Тл,  $U_c = 220$ В, навантаження – 70 % від допустимого.

4.4 При сушінні методом 5 для обраного двигуна визначити число витків  $w$  і струм  $I$  в намагнічуючій обмотці, враховуючи, що машина неутеплена. Прийняти температуру навколишнього повітря  $20^{\circ}\text{C}$ . Прийняти навантаження на провід 50% від допустимого, вибрати марку та перетин проводу.

5. Скласти звіт по роботі.

## 5 Висновки:

### 6 Контрольні питання:

6.1 Що таке  $R_{60//}$  та  $R_{60//}/R_{15//}$  ?

6.2 У яких випадках виникає необхідність сушіння електричних машин?

6.3 У чому полягають підготовчі роботи до сушіння електричних машин?

6.4 При яких умовах сушіння можна вважати закінченим?

6.5 У чому суть вивчених методів сушіння?

### Література:

1. Монтаж, експлуатація и ремонт електрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
2. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.

## **Інструкція для виконання практичної роботи №8**

**Тема:** Вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигунів

### **1 Мета:**

1.1 Навчитися виконувати вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигунів методом вольтметра

### **2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:**

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №8.

2.4 Стенд для виконання практичної роботи №8.

### **3 Теоретичні відомості**

Ізоляційні матеріали, що застосовуються для ізоляції обмоток електричних машин не є ідеальними діелектриками. Залежно від своїх фізико-хімічних властивостей вони в більшому або меншому ступені проводять по своїй поверхні або через внутрішні шари невеликий електричний струм.

Значення електричного опору ізоляції – один з найважливіших показників надійності роботи електродвигунів. Про опір ізоляції судять за значенням струму, що проходить по ній. Використання постійної напруги зв'язане й з тим, що при прикладанні змінної напруги ємність, що виникає між різнорідними металами, з яких виконані електродвигуни і його обмотки, викликає перекручування показань приладів.

Відомо, що опір ізоляції вимірюється в Ом, але так як його значення дуже великі, то його прийнято виражати в мегаомах (МОм) або кілоомах (кОм).

Норми значення опору ізоляції при приймально-здавальних випробуваннях регламентовані «Правилами улаштування електроустановок» (ПУЕ).

Для машин постійного струму опір ізоляції повинен бути, не нижче: між обмотками, а також кожної обмотки відносно корпусу 0,5 МОм при температурі 10-30 °С;

бандажів якоря (крім збудників) не нормується;

бандажів якоря збудника 1 МОм.

Для двигунів змінного струму напругою до 1 кВ опір ізоляції повинен відповідати нормам, наведеним у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Допустимий опір ізоляції електродвигунів змінного струму

Випробуваний об'єкт	Напруга мегаомметра, кВ	Опори ізоляції
Обмотка статора напругою до 1 кВ	1	Не менш 0,5 МОм при температурі 10-30 <sup>0</sup> С
Обмотка ротора синхронного електродвигуна та електродвигуна з фазним ротором	0,5	Не менш 0,2 МОм при температурі 10—30 <sup>0</sup> С (допускається не нижче 2 кОм при 75 <sup>0</sup> С або 2 кОм при 20 <sup>0</sup> С для неявнополюсных машин)
Підшипники синхронних електродвигунів напругою вище 1 кВ	1	Не нормується (вимір виконується відносно фундаментної плити при повністю зібраних мастилопроводах)

Опір ізоляції обмоток електричних машин, що знову вводяться в експлуатацію потужністю до 5000 кВт на номінальну напругу до 10,5 кВ повинен відповідати нормам, наведеним у таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Допустимий опір ізоляції обмоток  $R_{60}$  електродвигунів потужністю до 5000 кВт включно

Температура обмотки, <sup>0</sup> С	$R_{60}$ , Мом, при номінальній напрузі машини, кВ		
	3-3,15	6-6,3	10-10,5
10	20	60	100
20	30	40	70
30	15	30	50
40	10	20	35
50	7	15	25
60	5	10	17
75	3	6	10

Для машин потужністю вище 5000 кВт, а також для машин на номінальну напругу вище 10,5 кВ найменший опір ізоляції, виміряний при температурі 75 <sup>0</sup>С, визначають по формулі:

$$R_{60} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{100 + P_{\text{НОМ}} \cdot 0.01}$$

де  $U_{\text{НОМ}}$  – номінальна лінійна напруга, В;

$P_{\text{НОМ}}$  – номінальна потужність, кВт.

Якщо опір ізоляції, розрахований по цій формулі, нижче 0,5 МОм, то найменше припустиме значення приймають рівним 0,5 МОм.



Для температур 10-75 °С найменше значення опору ізоляції обмоток машини визначають, множачи значення, отримані по формулі, на температурний коефіцієнт  $k_m$  значення якого наведені в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Значення температурного коефіцієнта  $k_m$

Температура, °С	$k_m$	Температура, °С	$k_m$
10	9,4	50	2,4
20	6,7	60	1,7
30	4,7	70	1,2
40	3,4	75	1

При вимірюванні опору ізоляції обмоток електродвигунів з номінальною напругою до 500 В включно рекомендовано застосовувати мегаомметр на 500 В, а для електродвигунів напругою вище 500 В – мегаомметр на 1000 В. Ручку мегаомметра рекомендується обертати рівномірно із частотою близько 150 об/хв. Вимірювання варто проводити при сталому положенні стрілки через 60с після початку обертання ручки мегаомметра.

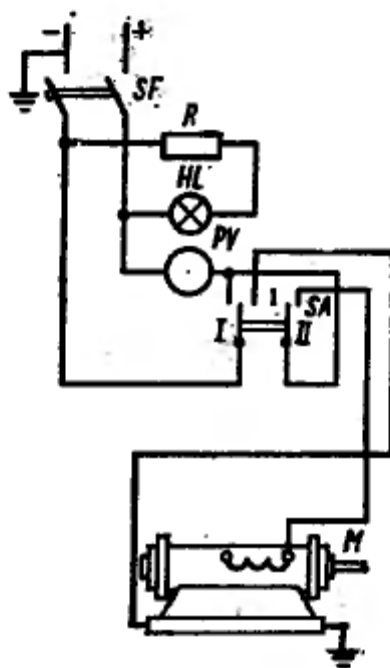


Рисунок 8.1 – Вимірювання опору ізоляції вольтметром від мережі постійного струму

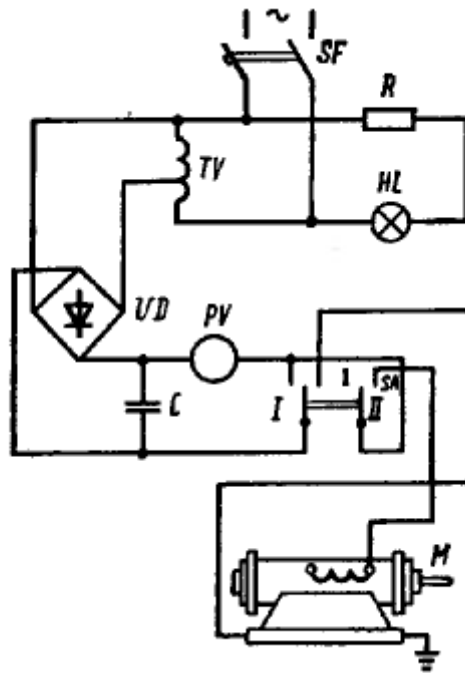


Рисунок 8.2 – Вимірювання опору ізоляції вольтметром від мережі змінного струму

Для електродвигунів, у яких виведені кінці та початки всіх фаз, вимірювання опору ізоляції роблять між кожною фазою й корпусом. У цьому випадку припустимий мінімальний опір ізоляції повинне бути підвищений в 3 рази.

При вимірюванні опору ізоляції кожного з електричних кіл всі інші кола повинні бути з'єднані з корпусом машини. По закінченні вимірювання опору ізоляції кожного електрично незалежного кола варто розрядити його на заземлений корпус електродвигуна.

Вимірювання опору ізоляції можна робити також мережним мегаомметром і методом вольтметра. Схеми з'єднань при вимірюванні опору ізоляції методом вольтметра при живленні мережі постійним і змінним струмом зображені на рисунках 8.1 та 8.2.

Для одержання більшої точності вимірів вольтметр вибирають із більшим власним опором (30 000-50 000 Ом). Виміри виконують на одній межі вольтметра.

При вимірі від електромережі постійного струму, один полюс якої повинен бути заземлений (рисунок 8.1), щоб уникнути короткого замикання варто підключати заземлений корпус електродвигуна таким чином, щоб він виявився з'єднаним із заземленим полюсом мережі.

При живленні вимірювальної схеми від мережі змінного струму (рисунок 8.2), якщо випрямний міст включений в мережу не безпосередньо, а через трансформатор, що відокремлює мережу змінного струму від кола випрямленої напруги, заземлений корпус електродвигуна може бути приєднаний до кожного із затисків випрямного моста.

Метод вольтметра заснований на відомому в електротехніці положенні: напруги на послідовно з'єднаних опорах розподіляються пропорційно цим опорам.

Так як для проведення випробувань можуть використовуватися двигуни різних типів і номінальних параметрів, для подачі номінальних напруг можна використати лабораторний автотрансформатор.

Для проведення випробувань необхідно включити автоматичний вимикач  $SF$ , при цьому загоряється сигнальна лампа  $HL$ , що свідчить про наявність напруги на схемі. При установці перемикача  $SA$  у положення  $I$  вольтметром  $PV$  вимірюється напруга випробувань  $U_1$  В. Після переведення перемикача в положення  $II$  вимірюється показання вольтметра  $U_2$ , В. Таким чином, спадання напруги в ізоляції  $U_1—U_2$  В. Так як в положенні  $II$  перемикача  $SA$  опір вольтметра  $R_B$  (вказаний на шкалі вольтметра або наведений в його паспорті) та вимірюваний опір ізоляції  $R_{i3}$  з'єднані послідовно, то спадання напруги в них розподіляється прямо пропорційно значенням їхніх опорів:

$$R_B / R_{i3} = U_2 / (U_1 - U_2), \quad (8.1)$$

звідки

$$R_{i3} = R_B \frac{U_1 - U_2}{U_2} = R_B \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right) 10^6 \text{ МОм} \quad (8.2)$$

#### 4 Хід роботи

4.1 Зібрати схему по рисунку 8.2, попередньо переконавшись, що рукоятка лабораторного автотрансформатора виведена до відмови.

4.2 Включити автомат  $SF$  і переконатися в тому, що на схему подана напруга (про що свідчить загорання лампи  $HL$ ).

4.3 Встановити перемикач  $SA$  у положення  $I$ .

4.4 Поворотом рукоятки «ЛАТР» за годинниковою стрілкою встановити потрібну напруга (звичайно номінальна напруга двигуна)  $U_1$  на вольтметрі  $PV$  і записати значення  $U_1$ , В.

4.5 Встановити перемикач  $SA$  у положення  $II$ .

4.6 Записати сталі значення напруги  $U_2$ , В, на вольтметрі.

4.7 Підрахувати опір ізоляції  $R_{i3}$  по формулі (8.2).

4.8 Зробити висновки про придатність ізоляції.

4.9 Скласти звіт по роботі.

#### 5 Висновки:

#### 6 Контрольні питання:

6.1 Які матеріали застосовуються для ізоляції обмоток електродвигунів?

6.2 Які класи ізоляції застосовують в основному для обмоток електродвигунів та яка їх гранично допустима температура?

6.3 Яке мінімально допустиме значення опору ізоляції для електродвигунів?

Література:

1. Монтаж, експлуатація і ремонт електрооборудовань промислових підприємств і установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
2. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, експлуатація і ремонт електрооборудовань промислових підприємств і установок: Учеб. для учащихся електротехнічних спец. технікумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.

## Інструкція для виконання практичної роботи №9

**Тема:** Вивчення об'єму та послідовності випробування силового трансформатора після монтажу.

### 1 Мета:

- 1.1 Вивчити об'єм та послідовності випробування силових трансформаторів
- 1.2 Навчитися вимірювати опір ізоляції обмоток силових трансформаторів

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи №9.

### 3 Теоретичні відомості

Силові трансформатори, що вводять в експлуатацію, повинні відповідати приймально-здавальним випробуванням відповідно до вимог ПУЕ.

В об'єм випробувань входять;

1. Вимірювання характеристик ізоляції:  $R_{60//}$ ,  $R_{60//}R_{15//}$ ,  $tg\delta$ ;  $C_2/C_{50}$ ;  $\Delta C/C$ .
2. Випробування підвищеною напругою промислової частоти:
  - а) ізоляції обмоток разом з введеннями;
  - б) ізоляції доступних стяжних шпильок, пресувальних кілець й ярмових балок.
3. Вимірювання опору обмоток постійному струму.
4. Перевірка коефіцієнта трансформації.
5. Перевірка групи з'єднання трифазних трансформаторів і полярності виводів однофазних трансформаторів.
6. Вимірювання струму й втрат холостого ходу.
7. Перевірка роботи перемикаючого пристрою й зняття кругової діаграми.
8. Випробування бака з радіаторами гідравлічним тиском.
9. Перевірка системи охолодження.
10. Перевірка стану силікагелю.
11. Фазування трансформаторів.
12. Випробування трансформаторного масла.
13. Випробування введень.
14. Випробування включенням поштовхом на номінальну напругу.

Випробування й вимірювання варто проводити в певній послідовності. Наприклад, що випробувати спочатку: електричну міцність ізоляції або трансформаторне масло. При випробуваннях підвищеною напругою у випадку поганої якості масла може відбутися пробій ізоляції. Виткову ізоляцію випробовують після випробування головної ізоляції, тому що у випадку пробою виткової ізоляції при випробуваннях прикладеною

напругою дефект у витках не буде виявлений. Неприпустимо також вимірювати опір обмоток постійному струму до досліду короткого замикання. При цьому досліді у випадку поганої якості пайки схеми або поганого стану контактів у перемикачах відвід може підгоріти або перегоріти. Якщо після цього досліду не виміряти опір обмоток постійному струму, то дефект залишиться невиявленим.

При проведенні декількох видів випробувань ізоляції випробуванню підвищеною напругою повинні передувати інший вид її випробувань.

Вимірювання характеристик ізоляції проводять при температурі ізоляції не нижче 10°C не раніше чим через 12год після заливання маслом. Значення характеристик ізоляції повинні бути не нижче наведених у таблиці 8.1-8.3.

Таблиця 8.1 – Найменші значення  $R_{60//}$  для трансформаторів до 35 кВ

Потужність трансформаторів, кВА	Значення $R_{60//}$ , Мом при температурі, °C						
	10	20	30	40	50	60	70
До 6300 включно	450	300	200	130	90	60	40
10000 та більше	900	600	400	260	180	120	80

Таблиця 8.2 – Найбільше значення  $tg\delta$  для трансформаторів до 35 кВ

Потужність трансформаторів, кВА	Значення $tg\delta$ %, при температурі обмоток °C						
	10	20	30	40	50	60	70
До 6300 включно	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4,0	6,0
10000 та більше	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3	3,0	4,0

Таблиця 8.3 – Найбільше значення  $C_2/C_{50}$  для силових трансформаторів

Потужність трансформаторів, кВА	Значення відношення $C_2/C_{50}$ виміряного при температурі обмоток, °C		
	10	20	30
До 6300 включно	1,1	1,2	1,3
10000 та більше	1,05	1,15	1,25

Для сухих силових трансформаторів значення  $R_{60//}$  при температурі 20-30 °C наведені в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Найменші допустимі значення опорів обмоток сухих силових трансформаторів

Номинальна напруга трансформаторів, кВА	Опір ізоляції, МОм
До 1	100
1-6	300
Більше 6	500

Значення коефіцієнта абсорбції  $k = R_{60//}/R_{15//}$  повинне бути не менш 1,3 при температурі вимірювання від 10 до 30 °C.

Випробування підвищеною напругою: а) ізоляції обмоток разом з вводами виконують відповідно до норм, що представлені в таблиці 8.5.

Тривалість випробування 1 хв (дане випробування для маслonaповнених трансформаторів необов'язкове); б) ізоляції доступних стяжних шпильок, пресувальних кілець й ярмових балок виконується напругою 1—2 кВ протягом 1 хв у випадку огляду активної частини.

Таблиця 8.5 – Випробувальна напруга промислової частоти силових маслonaповнених трансформаторів та трансформаторів з полегшеною ізоляцією (сухих та маслonaповнених)

Клас напруги обмотки, кВ	Випробувальна напруга по відношенню до корпусу та іншим обмоткам, кВ, для ізоляції	
	нормальної	полегшеної
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* роблять на всіх відгалуженнях, якщо для цього не потрібно виїмки сердечника. Значення опору не повинне відрізнятися більш ніж на 2 % від значення, отриманого на такому ж відгалуженні інших фаз, або від паспортних даних.

*Перевірка коефіцієнта трансформації* виконується на всіх ступенях перемикачання. Коефіцієнт трансформації не повинен відрізнятися більш ніж на 2% від значень, отриманих на тому же відгалуженні інших фаз, або від паспортних даних.

*Перевірка групи з'єднання* виконується лише при відсутності паспортних даних.

*Вимірювання струму й втрат холостого ходу* виконується для трансформаторів понад 1000 кВА при номінальній або зниженій напрузі з перерахуванням на номінальну напругу. Струм холостого ходу не нормується.

*Перевірка роботи перемикаючого пристрою й зняття кругової діаграми.* Зняття кругової діаграми виконується на всіх положеннях перемикача. Кругова діаграма не повинна відрізнятися від діаграми заводу-виготовлювача.

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

*Перевірка системи охолодження.* Режим пуску й роботи охолоджуючих пристроїв повинен відповідати інструкції заводу-виготовлювача.

*Перевірка стану силікагелю.* Індикаторний силікагель повинен мати рівномірне блакитне фарбування зерен. Зміна кольорів свідчить про зволоження силікагелю. Для відновлення властивостей силікагель прожарюють у печах.

*Випробування трансформаторного масла.* Пробу масла із трансформатора відбирають після доливки (або заливання) і відстою протягом не менш ніж 12 год для трансформаторів до 35 кВ включно. Відбір проби масла роблять зі спеціально призначеного для цього крана (або пробки), наявного на баці трансформатора.

Взяте на пробу масло випробовують на вміст механічних домішок, зваженого вугілля, на кислотне число, реакцію водної витяжки, температуру спалаху. При цьому пробивна напруга масла повинне бути не менш 25 кВ для трансформаторів напругою до 15 кВ включно.

*Випробування введень виконують по наступним параметрам:*

- опір ізоляції вимірювальної й останньої обкладок введень, вимірний відносно сполучної втулки (роблять мегаомметром на 1-2,5 кВ), не повинен бути менше 1000 МОм;

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

- випробування введень підвищеною напругою роблять для введень, встановлених на трансформаторах, протягом 1хв разом з обмотками по нормам таблиці 8.5. Введення вважають витриманими випробування, якщо при цьому не спостерігалось пробою, ковзаючих розрядів, виділень газу, а також якщо після випробувань не виявлено місцевого перегріву ізоляції.

Вимірювання характеристик ізоляції роблять при температурі ізоляції не нижче 10 °С не раніше ніж через 12 год після закінчення заливки маслом. Вимірювання роблять по схемам таблиці 8.6. При вимірюванні всі введення обмоток однієї напруги з'єднують разом; інші обмотки й бак трансформатора повинні бути заземлені. Спочатку вимірюють  $R_{15//}$  та  $R_{60//}$ , потім інші характеристики ізоляції.

Таблиця 8.6 – Схеми вимірювання характеристик ізоляції трансформаторів

Двообмоткові трансформатори		Триобмоткові трансформатори	
Обмотки, на яких виконують вимірювання	Заземлюючі частини обмоток	Обмотки, на яких виконують вимірювання	Заземлюючі частини обмоток
НН	Бак, ВН	НН	Бак, СН, ВН
ВН	Бак, НН	СН	Бак, ВН, НН
		ВН	Бак, СН, НН
ВН+НН	Бак	ВН+СН	Бак, НН
		ВН+СН+НН	Бак

За температуру ізоляції трансформатора, що не піддавався нагріванню, приймають температуру верхніх шарів масла. Для трансформаторів без масла температура визначається термометром, встановленим у кишеню термосигналізатора на кришці бака, причому кишеню варто заповнювати маслом.

Якщо температура масла нижче 10 °С, то для вимірювання характеристик ізоляції трансформатор повинен бути нагрітий. При нагріванні трансформатора температури ізоляції обмоток приймають рівній середній



температурі обмоток ВН, визначеної по опорі обмотки постійному струму. Вимірювання зазначеного опорі роблять 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 верхньою межею не нижче 10000МОм. Перед початком кожного виміру випробувана обмотка повинна бути заземлена на час не менш 2 хв для зняття можливого ємнісного заряду.

Для приведення значень  $R_{60//}$ , виміряних на заводі, до температури вимірювань при монтажі  $t_l$ , а також для визначення нормованих значень  $R_{60//}$  при температурах не кратних десяти, роблять перерахування за допомогою коефіцієнта  $k_2$ , що має наступні значення:

$t_{l2} - t_l, ^\circ\text{C}$	...5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	65	70	
$k_2$	.....	1,23	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4	4,15	5,1	6,2	7,5	9,2	13,9	17

#### 4 Хід роботи

1. Зробити вимірювання опорі ізоляції силового трансформатора, для чого:

виміряти температуру ізоляції;

заземлити випробовувану обмотку не мене ніж на 2 хв;

підключити мегаомметр і зробити вимірювання  $R_{60//}$  та  $R_{15//}$  у відповідності зі схемами таблиці 8.6;

зробити перерахування значення опорі ізоляції  $R_{60//}$  до температури  $50^\circ\text{C}$ ;

зробити висновок про відповідність значення опорі ізоляції, порівнявши отриманий результат з нормою по таблиці 8.1;

підрахувати величину коефіцієнта абсорбції, зробити висновок про ступінь зволоженості ізоляції.

2 Скласти звіт по роботі.

#### 5 Висновки:

#### 6 Контрольні питання:

1. Перерахуйте об'єм приймально-здавальних випробувань силових трансформаторів.

2. Що необхідно випробовувати спочатку – електричну міцність ізоляції або трансформаторне масло й чому?

3. Чому виткову ізоляцію випробовують після головної?

4. Яка тривалість випробувань підвищеною напругою?

5. Що таке коефіцієнт абсорбції, його фізичний зміст і математичний вираз?

6. Що таке  $\text{tg}\delta$ ?

7. Поясніть фізичний зміст відношення  $C_2/C_{50}$  та  $\Delta C/C$ .

8. Які функції виконує трансформаторне масло?

Література:

3. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Скибин, М. Ю. Скибин – М.: Высш. шк., 2003. – 462с.
4. Зюзин А. Ф., Поконов Н. З., Антонов М. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. для учащихся электротехнических спец. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 415с.