

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА
ПОЛІТЕХНІКА»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

«Електричні апарати високої напруги»

для студентів всіх форм навчання спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Частина 2

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електричні апарати високої напруги» для студентів всіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Частина 2 / Укл.: О.І. Афанасьєв, В. В. Василевський. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка”, 2020. – 38 с.

Укладачі: О.І. Афанасьєв, доцент, к.т.н.
В. В. Василевський, ст. викладач, к.т.н.

Рецензент: М.О. Поляков, професор, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: В. В. Василевський, ст. викладач, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електричні і електронні апарати”.
Протокол № 5
від 27 січня 2020 р.

Рекомендовано до видання
НМК ЕТФ.
Протокол №7
від 20 лютого 2020 р.

ЗМІСТ

1 Лабораторна робота № 1. Дослідження та випробування пристрою перемикання одпайок обмоток трансформаторів типу РНТА – 35\125.....	4
1.1 Мета роботи.....	4
1.2 Предмет дослідження.....	4
1.3 Завдання.....	7
1.4 Методичні вказівки.....	7
1.5 Контрольні питання.....	12
2 Лабораторна робота № 2. Випробування вбудованого трансформатора струму типу ТВТ.....	13
2.1 Мета роботи.....	13
2.2 Предмет дослідження.....	13
2.3 Завдання.....	15
2.4 Методичні вказівки.....	15
2.5 Контрольні питання.....	23
3 Лабораторна робота № 3. Дослідження та випробування трансформатора напруги.....	25
3.1 Мета роботи.....	25
3.2 Предмет дослідження.....	25
3.3 Завдання.....	25
3.4 Методичні вказівки.....	26
3.5 Контрольні питання.....	32
4 Лабораторна робота №4. Дослідження параметрів струмообмежуючого реактора.....	33
4.1 Мета роботи.....	33
4.2 Предмет дослідження.....	33
4.3 Завдання.....	34
4.4 Методичні вказівки.....	34
4.5 Контрольні питання.....	37
Перелік посилань.....	38

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ПРИСТРОЮ ПЕРЕМИКАННЯ ОДПАЙОК ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРІВ ТИПУ РНТА – 35/125.

1.1 Мета роботи

Дана лабораторна робота має за мету ознайомлення з конструкцією, принципом дії та комплексом діагностичних процедур по налагодженню та випробуванню перемикаючого пристрою РПН на прикладі серійного пристрою типу РНТА – 35/125.

1.2 Предмет дослідження

Пристрій РПН використовуються для ступеневого змінення коефіцієнту трансформації у нейтралі обмотки високої напруги (ВН) знижуючих трансформаторів потужністю від 1 до 6,3 МВА, напругою 35 кВ. Основні технічні дані пристрою приведені у [1,2]. Пристрій складається зі слідуючих основних складальних одиниць:

- механізм перемикавання, контактна частина якого – пристрій контактний (перемикач навантаження) та силові елементи, які приводять його до руху (електродвигуни, передача), забезпечують перемикавання навантаження з однієї відпайки регулювання обмотки трансформатора на іншу;

- шафа керування, яка забезпечує керування роботою механізму перемикавання як у ручному так і у автоматичному режимах.

Загальний вигляд пристрою наведений на рисунку 1.1. Електрична схема регулювання показана на рисунку 1.2.

Пристрій РПН виконаний за принципом перемикача навантаження, тобто функції обирача та контактора (перемикач 1) суміщені в одному вузлі і за конструкцією погружного типу. Поза баком розташований несучий фланець 2 і приводна частина механізму перемикавання, а також шафа керування 3, яка встановлюється окремо на баці трансформатора.

Приводна частина складається зі слідуючих елементів:

- передачі зубчатої та пружини (4) для доведення рухомих контактів до фіксованого положення у випадку втрати живлення

електродвигуна у момент перемикання, які розташовані у середовищі трансформаторного масла;

– механізму блокування (5), який складається з електродвигуна, елементів приводу (шестерні, кулачок), показчика положень та кінцевих вимикачів.

Перемикач складається з таких елементів:

– барабан контактний – це ізоляційний циліндр (6), внутрішня частина якого герметизована знизу алюмінієвим фланцем (7), а зверху корпусом (2). Герметизація необхідна для того, щоб забруднене масло контактора не

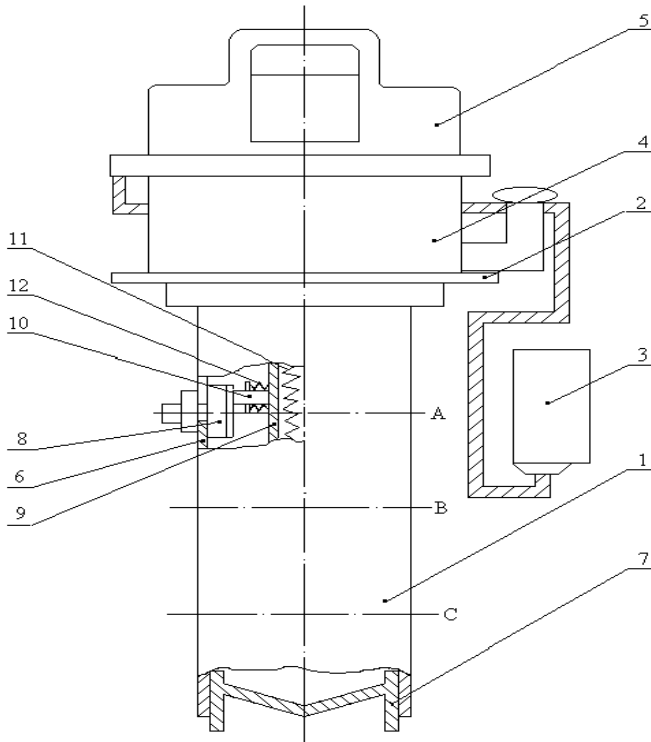
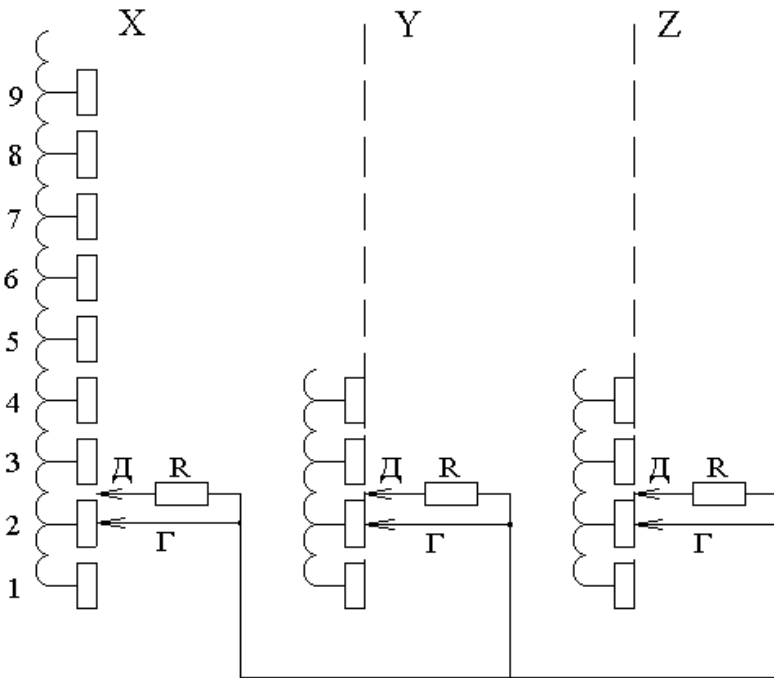


Рисунок 1.1 – Пристрій РПН



Г – головний контакт
 Д – контакт дугогосіння
 R – струмообмежуючий резистор

Рисунок 1.2 – Схема регулювання

змішувалося з маслом трансформатора. На ізоляційному циліндрі (6) закріплені нерухомі контакти (8), з котрими з'єднуються відгалуження обмотки трансформатора;

– рухома контактна група, яка вміщує бакелітовий циліндр (9) з встановленими на ньому рухомими контактами (10), струмообмежуючими резисторами (11) та шестерні мальтійської (у верхній частині).

Рухомі контакти – це три групи роликів контактів (по одній на фазі), які розташовані по висоті циліндра та розвернені відносно один одного на 120° . Кожна група складається з двох контактів:

головного та контакта дугогасіння, останній розташований нижче головного контакту по висоті та розвернут відносно до нього на 120° .

Кожен контакт складається з мідного ролика на струмоведучій осі, яка закріплена у корпусі, останній закріплюється болтами до циліндру (9). Контактний тиск забезпечується пружинами (12).

Кінематична схема пристрою приведена на рисунку 1.3. Для перемикання на одну ступінь від електродвигуна (1) рух передається через зубчасту передачу (2-3) та (4-5) і мальтійську передачу (6-7) безпосередньо на вхідний вал (8) групи контактної. При цьому рухомі контакти (9) переміщуються з одного нерухомого контакту (10) на інший.

Одночасно шестерня (5) за допомогою пальця (11) стискає пружини (12), які забезпечують доведення рухомих контактів до фіксованого положення у випадку втрати живлення електродвигуна. Палець (11) за допомогою поводка (13) та шестерні (14) переміщує покажчик положень (15). Барабан контактний (16) нерухомий. Група контактна (17) переміщується у напрямку, який вказується стрілкою.

1.3 Завдання

1.3.1 Ознайомитися з конструкцією пристрою, принципом дії та особливостями праці окремих вузлів.

1.3.2 Перевірити стан ізоляції пристрою.

1.3.3 Перевірити працездатність пристрою у ручному режимі керування.

1.3.4 Визначити часову діаграму однієї фази пристрою та швидкість руху контактів.

1.3.5 Визначити основні діелектричні характеристики ізоляційної конструкції згідно зі схемою заміщення.

1.3.6 Зробити висновки по результатах роботи.

1.4 Методичні вказівки

1.4.1 Загальні відомості, необхідні для виконання п.1.3.1, викладені у [1,2].

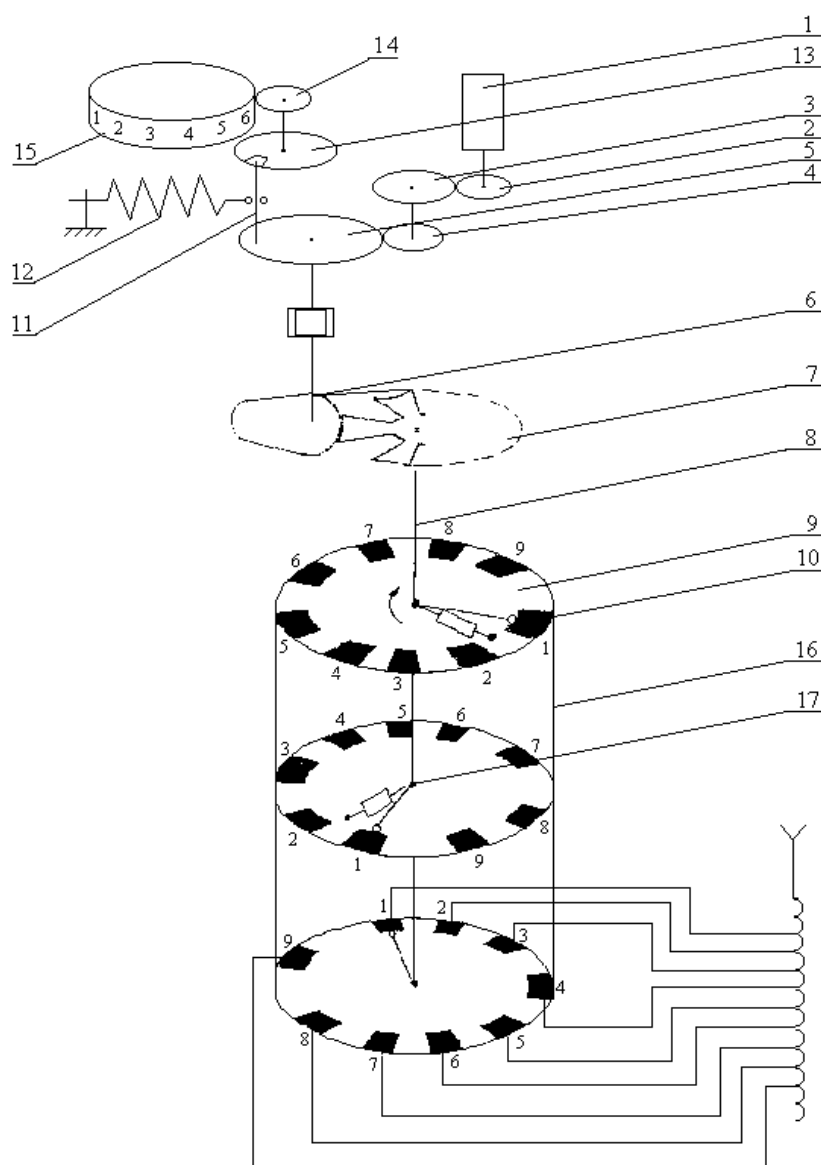


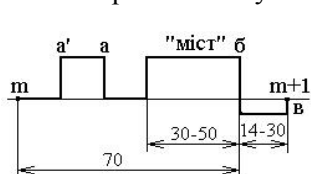
Рисунок 1.3 – Схема кинематична пристрою РПН

1.4.2 Контроль рівня електричної ізоляції здійснюється згідно вимогам [3]. Основні елементи (виводи) струмоведучого контуру розміщені на панелі транспортного баку. Отримані результати порівнюються з вимогами стандарту [3] і приймається рішення щодо працездатності ізоляційної конструкції. Вимірювання здійснюються за допомогою високовольтного мегаомметра.

1.4.3 Для перевірки працездатності пристрою РПН необхідно відкрити дверцята шафи керування спеціальним ключем і вмикнути автоматичний вимикач SF. Перемикач вибору режимів роботи SA1 встановити у положення "М". Натисненням кнопки SB переконатися, що пристрій перемикається у завданому напрямку від "1" до "n" положення, і лічильник фіксує кожне положення. Аналогічну перевірку виконати шляхом натиснення кнопки SB2 (перемикання з "n" у "1" положення).

1.4.4 Перемикання пристрою з одного відгалуження на друге здійснюється зі швидкістю переміщення контактів $(0,4 - 0,5)$ м/с, що забезпечує безперервність кола навантаження трансформатора у процесі перемикання пристрою РПН. Послідовність дії контактів перемикача навантаження – часова діаграма показана на рисунку 1.4. На діаграмі час в мс. Схема для знімання часової діаграми однієї фази пристрою показана на рисунку 1.5. Для отримання діаграми збирається схема рисунку 1.5 з елементів. Швидкість контактів оцінюється за допомогою мілісекундомера.

Перемикання у напрямку $(m) - (m + 1)$

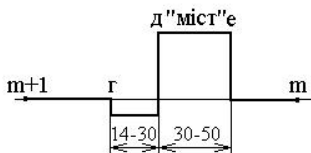


а(а') – замикання контакту дугогасіння на положенні $(m + 1)$;

б – розмикання головного контакту із положення (m) ;

в – замикання головного контакту на положенні $(m+1)$,

Перемикання у напрямку $(m + 1) - (m)$



г – розмикання головного контакту із положення $(m+1)$;

д – замикання головного контакту на положенні (m) ;

е – розмикання головного контакту із положення $(m+1)$.

Рисунок 1.4 – Часова діаграма пристрою РПН

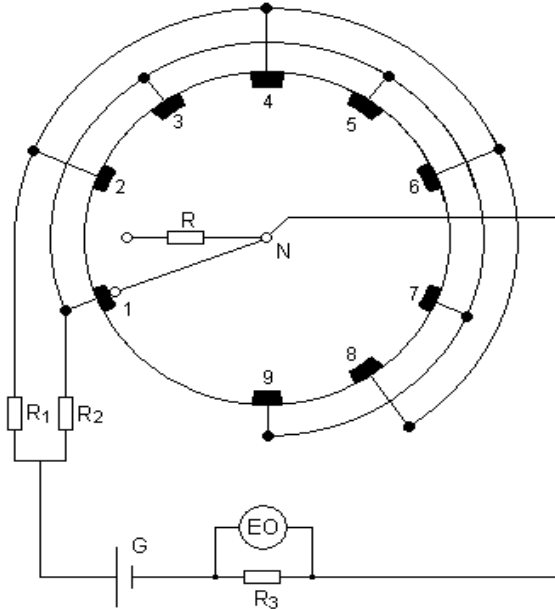


Рисунок 1.5 – Схема для знімання часової діаграми

1.4.5 Діелектричні характеристики – діелектрична проникність і діелектричні втрати визначаються процесом поляризації. Замість діелектричної проникності зручніше використовувати пропорційну їй ємність між електродами С. При поляризації здійснюється переміщення електричних зарядів, на що втрачається енергія поля. Потужність, яка розсіюється у діелектрику [4,5]

$$Pg = U \cdot I \operatorname{tg} \delta,$$

де δ – кут діелектричних втрат.

Ізоляційну конструкцію, яка досліджується, можливо уявити за допомогою двох видів схем заміщення – послідовної та паралельної (рисунок 1.6), основні параметри яких визначаються таким чином. Для паралельної схеми

$$I_a = U/R; \quad I_p = \omega \cdot C \cdot U;$$

$$\operatorname{tg} \delta = I_a / I_p = 1 / \omega C R; \quad P_g = \omega \cdot C \cdot U \operatorname{tg} \delta \quad (1.1)$$

Для послідовної схеми

$$U_a = I_r; \quad U_p = 1 / \omega C';$$

$$\operatorname{tg} \delta = U_a / U_p = \omega C' r; \quad P_g = I_r = \omega C' U \operatorname{tg} \delta / 1 + \operatorname{tg} \delta, \quad (1.2)$$

де U, I – діючі значення напруги та струму втрат;
 I_a, I_p – активна та реактивна складаючі струму;
 U_a, U_p – активна та реактивна складаючі напруги;
 R, r, C, C' – параметри схем заміщення.

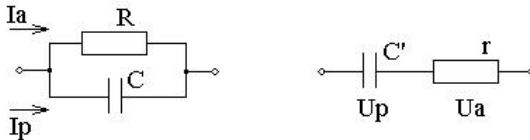


Рисунок 1.6 – Паралельна а) та послідовна б) схеми заміщення

Для розрахунку основних параметрів схеми заміщення необхідно провести вимірювання C та $\operatorname{tg} \delta$ за допомогою моста змінного струму типа МІЕ-0,2. Вимірювання здійснюється у такій послідовності:

а) об'єкт з'єднується з мостом (клеми " C, L " на панелі) за допомогою провідників. Вид об'єкту завдається викладачем;

б) вмикнути тумблер "сеть" і отримати світіння на індикаторі;

в) тумблер рода робіт встановити у положення "Выбор диапазона" і обертанням ручки перемикача "диапазоны" знайти таке положення, при якому буде помітно зменшення лінії на екрані індикатора;

г) тумблер роду робіт перевести у положення "измерение". Всі декади встановлюються на "0", а верхню декаду відрахунку на " C, L " (перша зверху ліворуч) на "1" і з неї починають урівноваження. Переходять на урівноваження по $\operatorname{tg} \delta$; далі знаходять мінімум молодшими декадами відрахунку по " C, L " та інші, поки лінія на екрані не буде зведена до мінімуму.

На основі отриманих значень ємності та $tg\delta$ виконати розрахунок параметрів схем заміщення.

1.5 Контрольні питання

1.5.1 Призначення та принцип дії перемикаючого пристрою РПН.

1.5.2 Основні функційні елементи пристрою РПН та їх стисла характеристика.

1.5.3 Спеціальні схеми пристроїв РПН, їх особливості.

1.5.4 Види відмов елементів схеми керування пристрою РПН та засоби їх виявлення на окремих прикладах.

1.5.5 Пояснити конструкцію ролікового контакту.

1.5.6 Принцип дії кінематичної схеми пристрою.

1.5.7 Що відбувається при втраті живлення електродвигуном приводу, коли рухомий контакт знаходиться у проміжному стані.

Тривалість лабораторної роботи

Тривалість лабораторної роботи складає 8 годин, а саме:
6 годин – аудиторна робота, 2 години – самостійна робота.

Лабораторна робота № 2

ВИПРОБУВАННЯ ВБУДОВАНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ ТИПУ ТВТ

2.1 Мета роботи

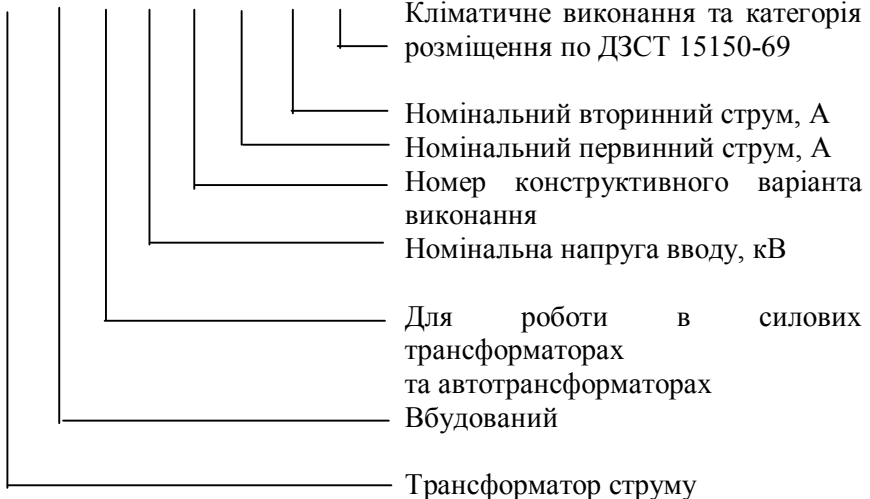
Дана лабораторна робота має за мету ознайомлення з конструкціями і технологією виготовлення магнітопроводів і обмоток трансформаторів струму (ТС), а також виконання комплексу випробувань для дослідження основних характеристик ТС на прикладі конструкцій ТС типу ТВТ 35-III-200/5 та ТВТ 35-I-300/5.

2.2 Предмет дослідження

Трансформатори струму серії ТВТ призначені для передачі сигналу вимірювальної інформації вимірювальним приладам та пристроям захисту і керування в установках змінного струму напругою 10-1150 кВ та частоти 50 або 60 Гц, що виготовляються для потреб народного господарства як комплектуючі вироби.

Структура умовного позначення типовиконання трансформаторів:

Т В Т х х х / х 04



Приклад запису: ТВТ 35-I-600/5 04 – трансформатор струму вбудований на номінальну напругу 35 кВ, конструктивного виконання I на номінальний первинний струм 600 А, на номінальний вторинний струм 5 А, кліматичне виконання 0, категорія розміщення 4.

Основні вимоги до трансформаторів струму (ТС) встановлює ДЕСТ 7746-89.

Для перевірки відповідності ТС вимогам даного стандарту проводяться такі випробування:

- державні контрольні;
- кваліфікаційні;
- пред'явницькі;
- прийомо-здавальні;
- періодичні;
- типові.

Об'єм випробувань і перевірок, в залежності від конструктивних особливостей та призначення трансформатора обирається за ДЕСТ 7746-89 і встановлюється у стандартах на трансформатори конкретних типів.

Державні контрольні випробування засобів вимірювань проводять територіальні органи Держстандарту. При їх проведенні перевіряють відповідність засобів вимірювань вимогам стандартів та відповідність сучасному технічному рівню. Кваліфікаційні випробування зразків установочної серії (першої промислової партії) проводить виготовлювач. Для підтвердження готовності виробництва до серійного (масового) випуску виготовлювач також перевіряє повноту технологічного процесу, якість та стабільність виконання технологічних операцій.

Пред'явницькі випробування проводить служба технічного контролю підприємства-виготовлювача перед пред'явленням трансформаторів Державній прийомці продукції (при її наявності).

Прийомо-здавальні випробування проводяться на зразках установочної серії та зразках серійного виробництва, які пройшли операційний контроль.

Періодичні випробування проводяться після освоєння технології виробництва трансформатора, а також при змінненні конструкції, застосовуваних матеріалів або технологій виробництва, якщо ці зміни впливають на характеристики чи параметри трансформатора.

В даній лабораторній роботі вивчаються деякі види випробувань, які входять в об'єм вищеперелічених.

До них відносяться:

- перевірка магнітних характеристик осердя;
- визначення струму намагнічування вторинних обмоток;
- перевірка полярності;
- визначення струмових і кутових похибок;
- вимірювання опору обмоток постійному струму.

2.3 Завдання

2.3.1 Ознайомитись з конструкціями трансформаторів струму і принципом їх дії.

2.3.2 Ознайомитись з технологією виготовлення магнітопроводів та обмоток ТС.

2.3.3 Вивчити процедуру випробувань і виконати експериментальну перевірку магнітних характеристик осердя після відпалення (без вторинної обмотки).

2.3.4 Провести розмагнічування ТС.

2.3.5 Виконати перевірку полярності та оцінити похибку вимірювань ТС.

2.3.6 Провести вимірювання струму намагнічування і порівняти з припустимим значенням.

2.3.7 Виконати вимірювання опору обмотки постійному струму.

2.3.8 Провести аналіз і зробити висновки відносно одержаних результатів.

2.4 Методичні вказівки

2.4.1 Загальні відомості, необхідні для виконання пунктів 2.3.1 та 2.3.2, викладені в [6-9]. Основні вимоги до ТС та їх параметри встановлює [10].

2.4.2 Для виконання комплексу випробувань необхідно з'ясувати принцип дії та особливості конструкції ТС типу ТВТ-35, що випробується, а також випробувального стенду, схема якого наведена на рисунку 2.1. Для забезпечення універсальності випробувань, схему стенду зручно подати у вигляді сполучення таких блоків.

Блок 1 – універсальне джерело живлення. Він виконаний по синтетичній схемі, забезпечуючій роботу в двох режимах:

- U – джерело напруги, яке дозволяє одержати задану напругу при малому споживаному струмі;

- I – джерело струму, яке дозволяє одержати великий за значенням завданий струм при малій напрузі.

Блок 2 – схема для перевірки магнітних характеристик магнітопроводу.

Блок 3 – схема для здійснення процедури розмагнічування.

Блок 4 – схема для перевірки полярності виводів та визначення похибок ТС.

Блок 5 – схема для вимірювання струму намагнічування.

Блок 6 – схема для вимірювання опору обмотки постійному струму. Всі елементи схеми рисунку 2.1 розміщені на чільній панелі лабораторного стенду і мають відповідні позначення (рисунок 2.2). Для проведення того чи іншого виду випробувань необхідно:

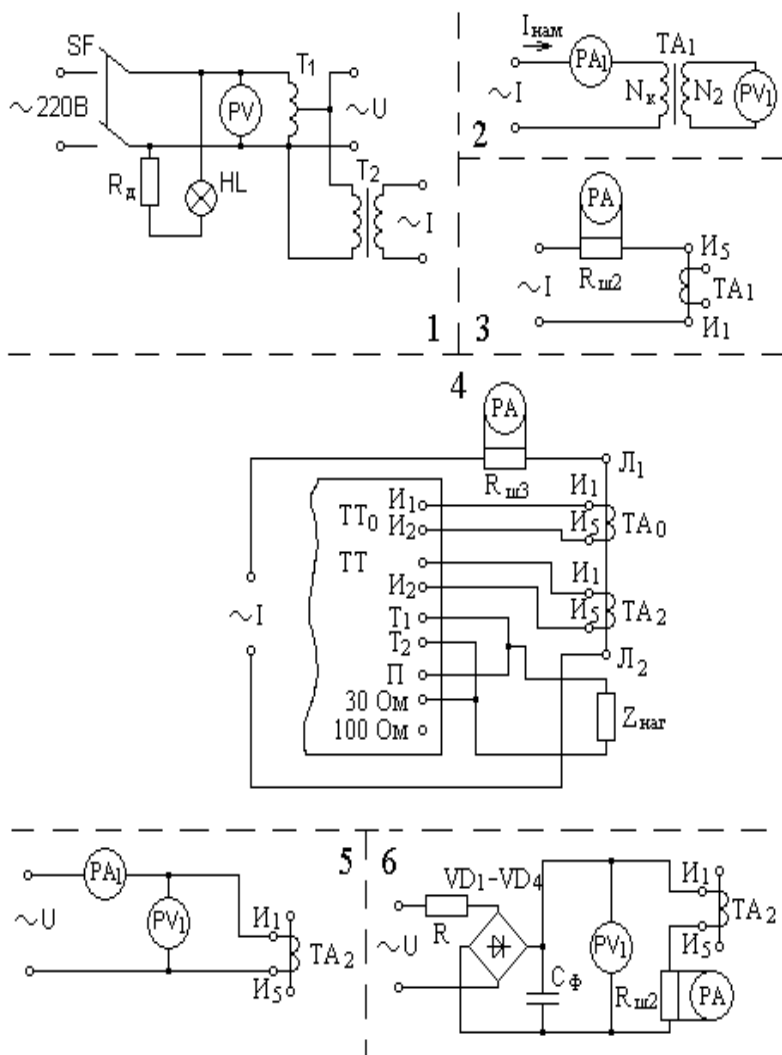


Рисунок 2.1 – Схема випробувального стенду

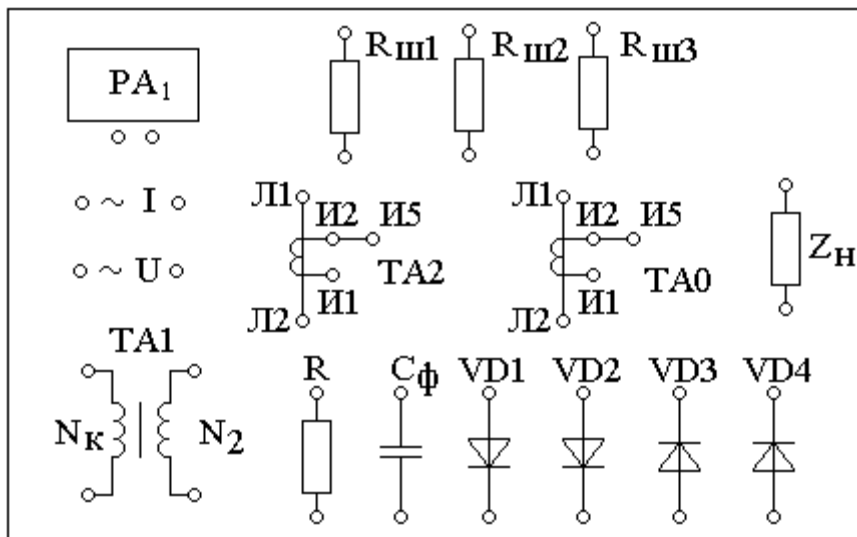


Рисунок 2.2 – Чільна панель лабораторного стенду

- вивчити методику проведення даного типу випробувань по методичним вказівкам;
- скласти та зібрати необхідну вимірювальну схему на основі блоків рисунку 2.1.

2.4.3 Перевірка магнітних характеристик магнітопроводу після відпалення зводиться до перевірки контрольних точок залежності

$$E_2 = f(I_{\text{нам}}),$$

де E_2 – Е.Р.С. (середнє значення), індуктована у вторинній обмотці;

$I_{\text{нам}}$ – струм, що проходить через контрольну обмотку (намагнічуючий струм).

На осердя ТА1 накладені дві обмотки, вторинна $N_2 = 60$ витків та контрольна $N_k = 4$ витки, котра підключається до джерела синусоїдального струму $\sim I$. Значення E_2 та $I_{\text{нам}}$ для контрольних точок розраховуються за допомогою ПК [] і для виводів $I_1 - I_5$ приведені у таблиці 2.1. За допомогою Т1 для кожної вибраної точки

встановлюється необхідна величина $I_{\text{нам}}$, а напруга E_2 вимірюється за допомогою вольтметра PU_1 , данні якого заносяться у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики намагнічування відпаленого осердя

$I_{\text{нам}}$ ам 1, А	E_2 1, mB		$I_{\text{нам}}$ 2, А	E_2 2, mB		$I_{\text{нам}}$ 3, А	E_2 3, mB	
	розрах.	експ.		розрах.	експ.		розрах.	експ.
2, 5	120		6	320		25	2150	

Осердя витримало випробування, якщо при заданих значеннях $I_{\text{нам}}$ на контрольній обмотці відповідні виміряні значення перебільшують розрахункові, тобто

$$E_2 \text{ експ.} > E_2 \text{ розр.} \quad (2.1)$$

2.4.4 Процедура розмагнічування передусь випробуванням, пов'язаним з вимірюванням різних параметрів ТС, наприклад, перевірка полярності, визначення похибок і т.д. Методи розмагнічування викладені в ДЕСТ 8.217-87.

Для виконання розмагнічування магнітопроводу через первинну обмотку ТА2 при розімкнутій вторинній обмотці пропускають струм, що дорівнює 10 % номінального значення первинного струму, потім плавно знижують його до нульового значення. Цю процедуру повторюють 3 рази.

Для проведення експерименту відповідний випробувальний блок підключається до джерела струму. Регулювання струму в первинному колі здійснюється за допомогою Т1. Вимірювання струму – за допомогою шунта $R_{\text{ш2}}$.

2.4.5 Перевірка полярності та визначення струмових і кутових похибок проводиться диференційно-нульовим методом у відповідності з ДЕСТ 8.217-87 та ДЕСТ 7746-89 за допомогою апарату К 507. Схема підключення апарату К507 показана на рисунку 2.1.

Для проведення експерименту відповідний випробувальний блок підключається до джерела струму. Регулювання струму

здійснюється за допомогою Т1, а вимірювання – за допомогою РА та РшЗ. Перевірка полярності передує вимірюванню похибок та здійснюється в такій послідовності.

Натиснути кнопку "сеть" на апараті К 507 і дати прогрітись апарату на протязі 1 хвил. Ввімкнути найменшу чутливість нуль-індикатора натисненням кнопки "чувствительность". Установити перемикач меж вимірювання ампервольтметра "Ін,Un" в положення "5А". Встановити перемикач "f"- "R" в положення, відповідаюче вимірюванню максимальної похибки " 10%-650` ". Ввімкнути джерело струму "I" і поступово підвищити струм в первинному колі трансформаторів до (0.1-0.3)Ін. При невірному включенні трансформаторів спостерігається значне відхилення покажчика нуль-індикатора, а при подальшому збільшенні струму запалюється лампа "полярность ТС". В такому разі необхідно зменшити струм до нуля, відключити джерело струму від мережі та змінити місцями затискачі вторинної обмотки ТА2.

Після того, як виконана перевірка полярності, необхідно налагодити навантажуючий пристрій на завдану величину вторинного навантаження (виміряти величину навантажувального опору Z). Вимірювання здійснюється в такій послідовності.

Перемикач "f"- "R" встановлюється на максимальну межу вимірювання опору навантаження або при відповідному навантаженні на необхідну межу вимірювання.

Почерговим обертанням рукояток реохордів апарату, поступово підвищуючи чутливість нуль-індикатора, зрівноважується схема.

Відлік вимірянних похибок робиться у відлікових вікнах, позначених "R,D" та "x,s" по відповідним шкалам в залежності від обраної межі вимірювань (30 Ом чи 100 Ом).

Активна складова опору навантаження (R) визначиться:

$$R = k_1 \cdot A, \text{ Ом}$$

де А – відлік по шкалі активної складової опору;

k₁ – множник, значення якого для різних меж наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів k1, k2

Межі вимірювань, Ом	0,3	1	3	10	30	10 0
k1	0,1	1	1	10	10	10 0
k2	10	10	10	10	10	-

Реактивна складова

$$X = k1 * k2 * B, \text{ Ом,}$$

де B – відлік по шкалі реактивної складової опору;

k2 – коефіцієнт (таблиця 2.2).

Повний опір

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2},$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

Після того, як встановлена необхідна величина опору навантаження, проводиться підготовка приладу К 507 до вимірювань похибок.

Перемикач "f"- "R" встановлюється на необхідну межу вимірювань похибок згідно класу трансформатора, що перевіряється (табл.2.3).

Встановити перемикач меж вимірювань ампервольтметра "Ін, Ун" на "5А". Ввімкнути джерело струму та встановити по ампервольтметру (контролюється величина вторинного струму I₂) або по амперметру ~РА3 необхідний струм, величина якого обирається згідно таблиці. 2.3.

Таблиця 2.3 – Припустимі значення похибок при прийомоздавальних випробуваннях

Клас точності обмотки	% від номінальної величини		Похибки			
	первинного струму	вторинного навантаження	струмова, %		кутова, хвил	
			табл.	вимір.	табл.	вимір
0,2	5	100	±0,6		±24	
	20		±0,28		±12	
	100		±0,16		±8	

Продовження табл. 2.3

0,5	5	100	+1,2		+72	
	20		±0,6		±36	
	100		±0,46		±24	
1	5	100	+2,4		+144	
	20		±1,2		±72	
	100		±0,8		±48	

Почерговим обертанням рукояток реохордів "Г" та "Д", а також поступово збільшуючи чутливість нуль-індикатора натисненням клавіш "чувствительность", урівноважити схему.

Якщо відліки вимірюваних похибок знаходяться поблизу нульових шкал реохордів, то перемикач "Г"- "R" треба перевести на більш низьку межу вимірювань похибок та знову урівноважити схему так, щоб при максимальній чутливості нуль-індикатора показчик встановився ближче до нульової відмітки шкали. Відліки вимірюваних похибок проводяться у відлікових вікнах апарату, позначених "Г" та "Д" по шкалі з найбільш зручним масштабом.

Величина похибок "Г" в процентах та "Д" в хвилинах трансформатора, що перевіряється, визначається за формулами:

$$f = f_0 + kf_a$$

$$\delta = \delta_0 + k\delta_a,$$

де f_0 – струмова похибка зразкового трансформатора струму в процентах, $f_0 = 0,2$;

δ_0 – крутова похибка зразкового трансформатора струму в хвилинах, $\delta_0 = 6$;

f_a, δ_a – відліки похибок за відповідними шкалами;

k – коефіцієнт, величина якого залежить від межі вимірювань (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнту k

Межі вимірювань	0,1%-6,5`	0,3%-20`	1%-65`	3%-200`	10%-650`
k	0,1	0,1	1	1	10

Результати вимірювань заносяться в таблицю 2.3. За результатами таблиці 2.3 в одних осях координат будуються графіки межових і реальних значень похибок.

2.4.6 Для визначення струму намагнічування до вторинної обмотки ТА2 при розімкнутій первинній обмотці прикладається розрахункове значення U_c (середнє значення) та вимірюється струм намагнічування $I_{\text{нам}}$, що протікає по обмотці. Він не повинен перевищувати фіксоване значення, приведене у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Визначення струму намагнічування

U_c , В	Струм намагнічування $I_{\text{нам}}$, мА	
	розрахунковий	експериментальний
48	550	

Для проведення експерименту схема відповідного випробувального блока підключається до джерела напруги, регулювання якого здійснюється за допомогою Т1.

2.4.7 Вимірювання опору обмотки постійному струму проводиться методом амперметра-вольтметра. Виміряне значення опору $R_{\text{вим}}$ зрівнюється з розрахованим $R_{\text{розр}}$, яке складає 0,18 Ом, причому повинна виконуватись умова $R_{\text{вим}} \leq R_{\text{розр}}$.

Для проведення експерименту збирається схема відповідного випробувального блоку та підключається до джерела напруги. Опір обмотки визначається для декількох значень напруги джерела. При цьому величина струму, що контролюється за допомогою РА2, повинна знаходитись в межах (2-10) А. Дані декількох експериментів усереднюються.

2.5 Контрольні питання

2.5.1 Назвіть основні конструктивні елементи ТС типу ТВТ, дайте їх стислу характеристику.

2.5.2 Які види ізоляційних матеріалів застосовують при виготовленні ТС?

2.5.3 Що таке синтетичне джерело живлення, його особливості.

2.5.4 Для чого проводиться відпалення магнітопроводу?

2.5.5 Які параметри впливають на величину струму намагнічування?

2.5.6 Які види випробувань Вам відомі?

2.5.7 Які існують класи точності ТС?

2.5.8 Чи задовольняє ТС з параметрами $I_{1H} = 100 \text{ A}$, $I_{2H} = 5 \text{ A}$ та класом точності 0,5 завданому класу точності, якщо при проведенні випробувань встановлено, що при $I_{1H} = 100 \text{ A}$, $I_{2H} = 5,1 \text{ A}$?

2.5.9 Які види похибок має ТС?

2.5.10 Що впливає на величину похибок?

Тривалість лабораторної роботи

Тривалість лабораторної роботи складає 8 - годин, а саме: 6 годин – аудиторна робота, 2 години – самостійна робота.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРУГИ

3.1 Мета роботи

Дана лабораторна робота має мету ознайомитися з конструкцією, технологією виготовлення, а також виконати комплекс випробувань трансформатора напруги (ТН).

3.2 Предмет дослідження

Трансформатори напруги призначені для живлення вимірювальних приладів, пристроїв захисту і сигналізації в установках змінної напруги частотою 50 Гц. Основні вимоги, а також обсяг випробувань та перевірок у залежності від конструктивних особливостей та призначення ТН обираються згідно [16] і встановлюються у стандартах на ТН конкретних типів.

У лабораторній роботі розглядаються деякі види випробувань, які входять у повний обсяг:

- перевірка вірності маркировки виводів обмоток;
- вимірювання опору ізоляції;
- вимірювання опору обмоток постійному струму;
- вимірювання втрат та струму холостого ходу;
- визначення похибок.

3.3 Завдання

3.3.1 Ознайомитись з конструкціями і принципом дії ТН.

3.3.2 Ознайомитись з технологією виготовлення ТН.

3.3.3 Провести перевірку вірності маркировки вивідних кінців обмоток.

3.3.4 Виконати вимірювання опору ізоляції.

3.3.5 Виконати вимірювання опору обмоток постійному струму.

3.3.6 Провести вимірювання втрат та струму холостого ходу, а також перевірку синусоїдальності живлючої напруги.

3.3.7 Визначити похибки ТН.

3.3.8 Провести аналіз та зробити висновки відносно одержаних результатів.

3.4 Методичні вказівки

3.4.1 Загальні відомості, необхідні для виконання пункту 3.3.1 викладені у [16-17]. Основні вимоги до ТН та їх параметри встановлює [16].

3.4.2 Для виконання комплексу випробувань необхідно з'ясувати принцип дії та особливості конструкції ТН, а також випробувального стенду, схема якого приведена на рисунку 3.1. Для забезпечення універсальності випробувань схему стенду зручно подати у вигляді сполучення таких блоків

Блок 1 – універсальне джерело регульованої напруги.

Блок 2 – схема перевірки вірності позначення вивідних кінців ТН.

Блок 3 – схема для вимірювання опору обмоток постійному струму.

Блок 4 – схема для вимірювання втрат і струму холостого ходу.

Блок 5 – схема для визначення похибок.

Всі елементи схеми рисунку 3.1 розташовані на чільній панелі лабораторного стенду та мають відповідні позначення (рисунок 3.2).

Для проведення потрібного виду випробувань необхідно:

– вивчити методику проведення даного типу випробувань за методичними вказівками і рекомендованою літературою;

– скласти необхідну вимірювальну схему на основі блоків рисунку 3.1.

3.4.3 Перевірка вірності маркировки вивідних кінців проводиться за методикою [11] при операційному контролі після закріплення активної частини ТН до основи. Для цього збирається схема блоку 2 та підключається до джерела регульованої напруги $\sim U_1$. Полярність затискачів А-Х і а-х перевіряється вольтметром магнітоелектричної системи $PV2$. За допомогою автотрансформатора $T1$ встановлюється напруга постійного струму не менш 1,5В, яка подається на затискачі а-х та контролюється за допомогою $PV3$ (цифровий вольтметр типу В7-16). При розімкнутому стані $S1$ до затискачів а-х підключається вольтметр $PV2$. У момент короткочасного вмикання $S1$ контролюється напрямок коливання

стрілки вольтметра $PV2$. Потім $PV2$ приєднується до затискачів А-Х, полярність яких визначається. При вмиканні $S1$ у випадку вірній маркіровці коливання стрілки виявляється однаковим. Напрямок намотування обмоток : А-Х-лівий, а-х-правий.

3.4.4 Вимірювання опору ізоляції проводиться згідно [10] методом безпосередньої оцінки за допомогою мегаомметра. Перед вимірюванням опору ізоляції проводиться випробування мегаомметра. Для цього з'єднувальні провідники підключають до вивідних затискачів мегаомметра, замикають їх між собою і проводять рівномірне обертання ручки генератора, що вмонтований у прилад. При цьому стрілочний вказівник приладу повинен встановитися проти нульового значення шкали. Аналогічно перевіряється робота при розімкненому положенні з'єднувальних провідників. При цьому стрілочний вказівник приладу повинен встановитися проти відмітки шкали ∞ .

Якщо обмотку, яку випробують, раніше підключали до джерела високої напруги, то перед початком кожного вимірювання її слід заземлити не менш, ніж на 120 с. Вимірювання проводиться відповідно до таблиці 3.1.

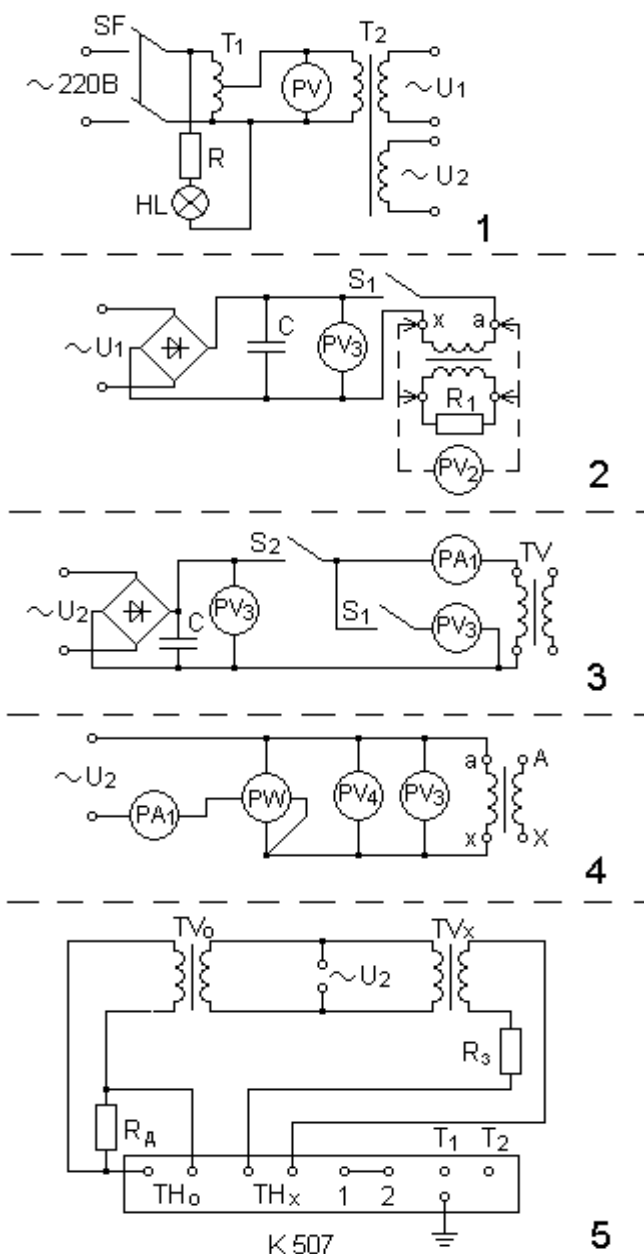


Рисунок 3.1 – Схема випробувань

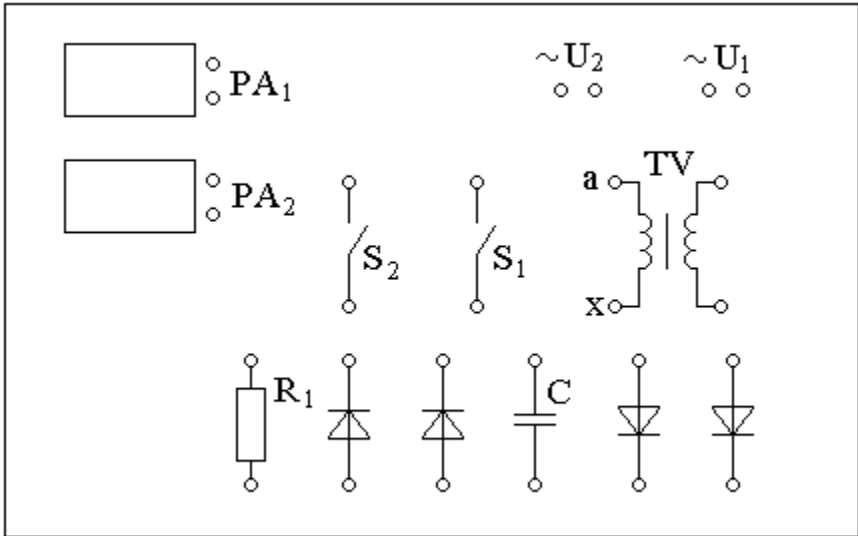


Рисунок 3.2 – Випробувальний стенд

Після кожного випробування обмотки повинні бути розряджені шляхом короткочасного замикання обмоток між собою. Опір ізоляції кожної ділянки (див.табл.3.1.) повинен бути не менш 15 МОм [3].

3.4.5 Вимірювання опору обмоток постійному струму виконується відповідно [11] за допомогою мосту опорів [12]. Припускається опір первинної обмотки визначати методом падіння напруги за схемою рисунку 3.1 (блок 3). Для цього джерело регулюємої напруги U_2 через випрямляч і міліамперметр PA1 підключається до первинної обмотки трансформатора TV. Величина напруги контролюється

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики

Ділянка ізоляції	Обов'язкове з'єднання з затискачем	
	Потенціал напруги	Заземлення
ВН – НН	ВН	НН
ВН – бак	ВН	бак
НН – бак	НН	бак

за допомогою вольтметра *PV3* та встановлюється у межах (20 – 25)В при вимкненому *S2*. Падіння напруги на обмотці контролюється за допомогою також *PV3* шляхом перемкнення його на відповідні затискачі схеми і замикання *S1* при замкнутому *S2* тільки при встановленому значенні струму у колі.

Якщо вимірювання опору проводиться при температурі обмотки, яка відрізняється від 20°C, то приведення величини опору до температури 20°C проводиться за формулою

$$R_{20} = R \frac{255}{235 + \Theta_{обм}}, Ом$$

де R_{20} – опір обмотки, приведений до температури 20°C, Ом;
 R – опір при реальній температурі обмотки, Ом.

3.4.6 Вимірювання втрат і струму холостого ходу проводиться за схемою рисунку 3.1 (блок 4). Методи випробувань викладені у [7]. Втрати та струм холостого ходу повинні відповідати нормам [16].

При виконанні вимірювань напруга за допомогою *T1* підіймається до величини 100 В, що контролюється за допомогою вольтметра *PV3*, та фіксується значення амперметра *PA2*. З урахуванням одержаних значень струму встановлюються межі вимірювання ватметра по струму і напрузі та вимірюються втрати. Вимірені значення величини струму холостого ходу та втрат порівнюються з нормативними втратами та робляться висновки.

Живлюча напруга має бути синусоїдальною за формою. При несинусоїдальній формі кривої напруги необхідно внести поправку. Криву напруги допускається вважати практично синусоїдальною, коли відношення діючого значення напруги до середнього відмінно від 1.11 не більше чим на +2%. Коли ця різниця більше, поправку на несинусоїдальність вносять таким засобом. Підводима напруга регулюється так, щоб її середнє значення, яке виміряне вольтметром середніх значень *PV4*, дорівнювало діючому значенню U_n , поділеному на 1.11, і одночасно вимірюють струм I_0 за допомогою *PA2*, втрати холостого ходу P_0 за допомогою *PW* та діюче значення підведеної напруги U_0' за допомогою *PV3*. Потім підводиму напругу змінюють так, щоб діюче значення дорівнювало U_n та знов вимірюють струм

холостого ходу I_0'' . Втрати та струм холостого ходу, які відповідають номінальним параметрам, розраховуються за формулою

$$P_0 = \frac{P_0'}{P_1 + kP_2}; \quad I_0 = \frac{I_0' + I_0''}{2},$$

де P_1 – частка втрат, яка зумовлена гістерезисом;

P_2 – частка втрат, яка зумовлена вихревіми струмами;

k – коефіцієнт, який розраховується за формулою

$$k = \left(\frac{U_0'}{U_n} \right).$$

Для холоднокатаної анізотропної електротехнічної сталі при індукціях у ній у межах (1,2-1,8) Тл

$$P_1=0,3; P_2=0,7.$$

3.4.7 Визначення похибок вторинних обмоток ТН проводиться відповідно вимогам [12,17] за схемою рисунку 3.1 (блок 5) у номінальному класі точності при номінальному навантаженні і частоті 50Гц. Похибки повинні визначатися в трьох режимах

$$U = 0,8U_n; P = 0,25P_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^2;$$

$$U = U_n; P = P_n;$$

$$U = 1,2U_n; P = 0,25P_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^2.$$

Похибки визначаються або при збільшенні, або при зменшенні напруги (завдається викладачем). Отримані значення похибок порівнюються з нормативними значеннями, які приведені у [16] та робиться висновок про відповідність ТН класу точності.

Оцінка похибок проводиться у такій послідовності:

– збирається схема рисунку 3.1 (блок 5) та повільно підвищується напруга за допомогою Т1. Коли полярність зразкового і перевіряемого ТН не відповідають один одному, загоряється

сигнальна лампа на зовнішній стороні апарата К 507. Для усунення цього необхідно на вході К 507 підключені виводи перевіряемого трансформатора TVx змінити місцями;

– збільшити напругу на величину (20-30)% від номінальної та переконатися у нормальній роботі схеми;

– збільшити напругу до $0,8 U_n$ та зняти показники похибок по куту та напрузі при відповідному навантаженні і $\cos\varphi=0,8$. Вимірювання проводити за двома спостереженнями через (10-20) с [12];

– повторити попередні операції при напрузі $1,0 U_n$ і $1,2 U_n$.

3.5 Контрольні питання

3.5.1 Принцип дії та основні елементи конструкції ТН.

3.5.2 Які параметри найбільш впливають на геометричні розміри ТН?

3.5.3 Де і від чого виникають втрати у ТН?

3.5.4 Пояснити конструкцію циліндричної шарової та катушкової обмоток.

3.5.5 Як випробується електрична міцність ізоляції ТН?

3.5.6 Чому крайні витки та котушки потребують посиленої ізоляції?

3.5.7 Яка будова та призначення ємнісних кілець та екрануючих витків?

3.5.8 Що таке клас точності ТН, які класи точності існують?

3.5.9 Як виміряти напругу трифазної мережі за допомогою кількох (двох або трьох) однофазних ТН? Доведіть схему та стисло поясніть її роботу.

Тривалість лабораторної роботи

Тривалість лабораторної роботи складає 8 годин, а саме: 6 годин – аудиторна робота, 2 години – самостійна робота.

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТУМООБМЕЖУЮЧОГО РЕАКТОРА

4.1 Мета роботи

Лабораторна робота має за мету ознайомлення з конструкцією, принципом дії та дослідженням основних параметрів стумообмежуючого реактора.

4.2 Предмет дослідження

Стумообмежуючий реактор – це захисний апарат, виконаний у вигляді обмотки з постійним індуктивним опором, який використовується для обмеження струмів короткого замикання та підтримання напруги на заданому рівні.

Серійно виготовляються стумообмежуючі реактори на номінальну напругу до 20 кВ та номінальний струм до 4 кА – для одинарних та 2х2500А – для подвійних реакторів.

В залежності від місця встановлення розрізняються три типи реакторів: лінійні, групові та секційні.

Лінійні реактори вмикаються після вимикачів для зменшення потужності вимикання.

Групові реактори вмикаються на шини, до яких підключена група ліній електропередачі, чим зменшується кількість стумообмежуючих реакторів.

Секційні реактори використовуються для обмеження струмів короткого замикання на збірних шинах генеріруючої станції.

Подвійні реактори вмикаються як секційні, так і групові. При номінальному режимі індуктивний опір подвійного реактора малий в наслідок зустрічного вмикання обмоток, що дозволяє отримати зниження втрат напруги та покращення коефіцієнту потужності.

Основні відомості о конструкціях, принципу дії та параметрах реакторів приведені у [6,7].

Робота виконується на лабораторному стенді, на чільній панелі якого розташовані всі елементи, які необхідні для побудови випробувальних схем.

4.3 Завдання

4.3.1 Ознайомитись з конструкціями, принципом дії та основними параметрами реакторів.

4.3.2 Перевірити стан електричної ізоляції реактора.

4.3.3 Виконати вимірювання опору обмотки реактора постійному струму.

4.3.4 Здійснити вимірювання індуктивного опору обмотки реактора.

4.3.5 Виконати вимірювання індуктивності обмотки реактора.

4.3.6 Провести вимірювання втрат потужності в обмотці реактора в номінальному режимі.

4.3.7 Зробити висновки по результатам роботи.

4.4 Методичні вказівки

4.4.1 Загальні відомості, необхідні для виконання п.4.3.1, викладені у [6,7,18].

4.4.2 Контроль рівня електричної ізоляції здійснюється згідно вимогам [3,5,19]. Опір ізоляції вимірюється між обмоткою і деталями кріплення кожного полюсу мегомметром напругою 500В.

4.4.3 Для виконання комплексу випробувань необхідно з'ясувати принцип дії випробувального стенду, схема якого наведена на рисунку 4.1 в формі поєднання окремих блоків.

Блок 1 – джерело живлення, клеми якого виведені на чільній панелі стенду. Регулювання напруги здійснюється за допомогою трансформатора Т2.

Блок 2 – схема для вимірювання опору обмотки реактора постійного струму.

Блок 3 – схема вимірювання індуктивного опору обмотки реактора.

Блок 4 – схема для вимірювання втрат потужності в номінальному режимі навантаження.

Опір обмотки реактора постійного струму R_0 вимірюється або вимірювальним мостом або методом вольтметра-амперметра при струмі крізь реактор не перевищуючим $0,2I_{\text{ном}}$. Для здійснення вимірювань збирається схема блоку 2 з елементів, розташованих на панелі стенду.

4.4.4 Величина індуктивного опору реактора визначається з рівняння

$$X_p = \sqrt{\left(\frac{U_p}{I_p}\right)^2 - R_0^2},$$

де I_p , U_p – відповідно струм та напруга на реакторі, які визначаються вимірюванням за допомогою схеми блоку 3.

4.4.5 Вимірювання індуктивності обмотки здійснюється за допомогою моста змінного струму типу МІЕ-0,2. Основні технічні данні та інструкція по експлуатації приведені у паспорті приладу. Процес вимірювання здійснюється в наступуючій послідовності:

а) обмотка з'єднується з мостом (клемі “С, L” на панелі приладу) за допомогою провідників;

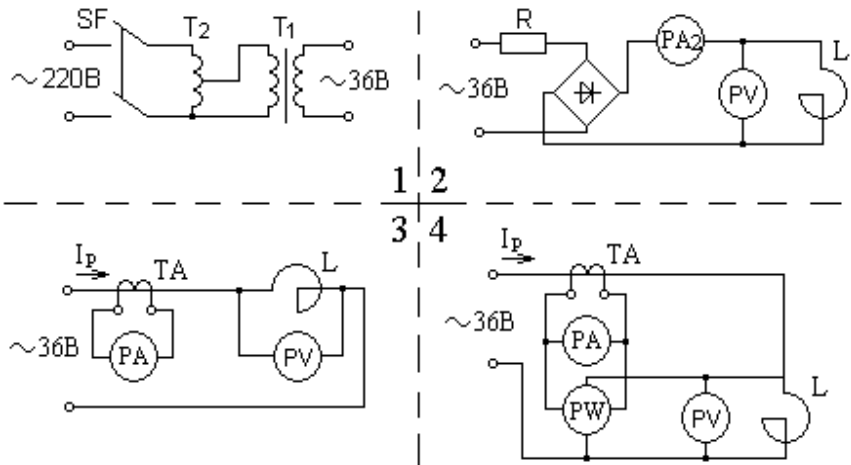


Рисунок 4.1 – Схема випробувального стенду

б) вмикається тумблер “Сеть” і отримується світіння на індикаторі;

в) тумблер роду робіт встановлюється у положення “Выбор диапазона” і обертанням ручки перемикача “диапазоны” знаходиться

таке положення, при якому буде помітно зменшення лінії на екрані індикатора;

г) тумблер роду робіт встановлюється у положення “измерения”. Всі декади встановлюються на “0”, а верхня декада розрахунку (перша зверху ліворуч) на “1” і з неї починають урівноваження. Після того, як знайдено мінімум на індикаторі рівноваги, переходять на урівноваження по “tg δ, Q ”; далі знаходять мінімум молодшими декадами підрахунку по “C,L”, та інші, поки лінія на екрані не буде зведена до мінімуму.

4.4.6 Вимірювання втрат потужності здійснюється за допомогою спеціального малокоsinусного ватметра по схемі блока 4. Потужність, втрачаєма у реакторі:

$$\Delta P = P_w - UI\delta,$$

де P_w – дані, отримані за ватметром;

U – падіння напруги на реакторі;

I – струм реактора;

δ – углова похибка трансформатора струму.

Отримана величина потужності втрат приводиться до номінального струму:

$$\Delta P_{ном} = \Delta P \left(\frac{I_{ном}}{I} \right)^2,$$

де $I_{ном}$, I – відповідно номінальний та реальний струми реактора.

Значення $\Delta P_{ном}$ приводяться до номінальної температури θ_p :

$$\Delta P_{\theta_h} = I_{ном}^2 R_0 K_0 + \left(\Delta P_{ном} - I_{ном}^2 R_0 \right) / K_0$$

$$K_0 = \frac{(\theta_h + T_0)}{(\theta_0 + T_0)},$$

де θ_0 – температура оточуючого середовища;

T_0 – температурний коефіцієнт.

4.5 Контрольні питання

4.5.1 Привести основні конструктивні елементи повітряного реактора та їх стислу характеристику.

4.5.2 Привести графік розподілу напруги на реактованій лінії.

4.5.3 Назвіть основні параметри реактора.

4.5.4 Назвіть основні параметри, які мають вплив на втрати у реакторі.

4.5.5 Конструкція тороїдального масляного реактора та особливості його елементів.

4.5.6 Охарактеризувати зусилля, які діють в обмотці реактора при протіканні струму короткого замикання.

4.5.7 Види електродинамічної стійкості реакторів та засоби її оцінки.

4.5.8 Привести схеми вмикання групового та секційного реакторів.

4.5.9 Розподільчий пристрій вміщує в себе чотири відходячих лінії однакового навантаження, в кожній з яких розташований струмообмежуючий реактор. Модернізуйте РП з умовою енергозбереження.

Тривалість лабораторної роботи

Тривалість лабораторної роботи складає 8 години, а саме: 6 годин – аудиторна робота, 2 години – самостійна робота.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Прудоминский В.В. Устройства переключения трансформаторов под нагрузкой. – М.: Энергия, 1974. – 288 с.
2. Устройство регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой типа РНТА У-35/125. Техническое описание инструкция по эксплуатации ИБДШ.674261.011.ТО. Запорожье, 1989.
3. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. - М.: Энергоиздат, 1987 – 114 с.
4. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. – М.: Энергоиздат, 1981 – 392 с.
5. Сви П.М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 128 с.
6. Чунихин А.А., Жаворонков М.А. Аппараты высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 432 с.
7. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1975. – 720 с.
8. Афанасьев В.В. Трансформаторы тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 416 с.
9. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Под ред. В.В.Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.
10. ДСТУ 1869-1:2017 Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Загальні вимоги
11. ДСТУ 6097:2009 Метрологія. Трансформатори струму. Методика перевірки
12. ДСТУ ГОСТ 1983-2003 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия
13. ГОСТ 3484.3-88 Трансформаторы силовые. Методы измерений диэлектрических параметров изоляции.
14. ГОСТ 3484.1-88 Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний.
15. ГОСТ 8.316-88 Трансформаторы напряжения. Методы и средства поверки.
16. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.– Київ.: Основа, 1998. – 381с.