

**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 1

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електричні апарати високої напруги» для студентів всіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Частина 1 / Укл.: О.І. Афанасьєв, В. В. Василевський. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 40 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 характеристик індукційно-динамічного рушія повітряного вимикача.....	4
1.1 Мета роботи.....	4
1.2 Предмет дослідження.....	4
1.3 Завдання.....	6
1.4 Методичні вказівки.....	6
1.5 Зміст звіту.....	11
1.6 Контрольні питання.....	11
2 Лабораторна робота №2. Дослідження параметрів та налагодження електромагнітного вимикача та викотного елемента КРП.....	14
2.1 Дослідження параметрів та налагодження електромагнітного вимикача.....	14
2.1.1 Мета роботи.....	14
2.1.2 Предмет дослідження.....	14
2.1.3 Завдання.....	15
2.1.4 Методичні вказівки.....	16
2.1.5 Контрольні питання.....	16
2.2 Дослідження параметрів та налагодження викотного елемента КРП.....	17
2.2.1 Мета роботи.....	17
2.2.2 Предмет дослідження.....	17
2.2.3 Завдання.....	20
2.2.4 Методичні вказівки.....	21
2.2.5 Контрольні питання.....	22
3 Лабораторна робота №3. Дослідження параметрів та випробування вакуумного вимикача.....	24
3.1 Мета роботи.....	24
3.2 Предмет дослідження.....	24
3.3 Завдання.....	27
3.4 Методичні вказівки.....	27
3.5 Заходи безпеки при проведенні роботи.....	31
3.6 Контрольні питання.....	32
4 Лабораторна робота №4. Дослідження характеристик трансформатора струму.....	33
4.1 Мета роботи.....	33
4.2 Предмет дослідження.....	33
4.3 Завдання.....	34
4.4 Методичні вказівки.....	34
4.5 Заходи безпеки при проведенні роботи.....	38
4.6 Контрольні питання.....	38
Перелік посилань.....	39
Додаток А. Основні відомості про ТС ТПЛІ-10.....	40

## 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІНДУКЦІЙНО-ДИНАМІЧНОГО РУШІЯ ПОВІТРЯНОГО ВИМИКАЧА

#### 1.1 Мета роботи

Вивчити конструкцію швидкодіючих індукційно-динамічних вимикачів і дати оцінку основним параметрам, що характеризують їх роботу.

#### 1.2 Предмет дослідження

Однією з найважливіших вимог до апаратів високої напруги є час спрацювання, особливо час його вимкнення. Зменшення часу вимкнення високовольних апаратів дозволяє врахувати термічну дію струмів короткого замикання на електрообладнання і підвищити довговічність роботи комутаційних апаратів. Одним із засобів підвищення швидкодії комутаційних апаратів є використання індукційно-динамічного приводу. Індукційно-динамічні механізми (ІДМ) знаходять застосування не тільки в електроапаратобудуванні, але і в тих областях, де необхідно сполучення високої швидкодії і необхідності відокремлення рухомої і нерухомої частин (вакуумні установки, клапанні пристрої і т. п.).

Принципова схема улаштування ІДМ наведена на рисунку 1.1.

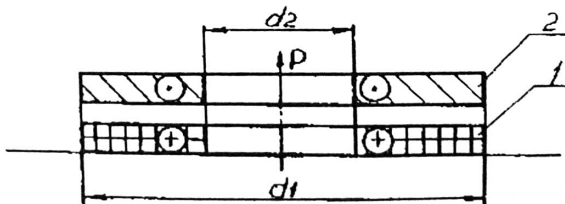


Рисунок 1.1- Принципова схема улаштування ІДМ

Конструкційно ІДМ має два магнітно зв'язаних контури, одним з яких є котушка 1, по якій може протікати струм від джерела живлення.

Як джерело використовується ємнісний накопичувач, який дозволяє уникнути нагріву струмоведучих частин і використовувати малопотужну мережу для заряду конденсаторів. Другим контуром є диск 2, виконаний з електропровідного матеріалу (мідь, латунь, алюміній) і щільно притиснутий до котушки 1. Таким чином, диск являє собою короткозамкнений контур, гальванічно не зв'язаний з котушкою. При появі в первинному контурі імпульсу струму  $I_k$  виникає змінний по величині магнітний потік, який з'єднується з коротко-замкненим контуром та індукуює в ньому ЕРС, що створює в диску струм  $I$ , направлений назустріч  $I_k$ . Між контурами, обтікаємими струмами протилежних напрямків, виникає зусилля, яке прагне відкинути їх одне від одного. Оскільки котушка 1 закріплена нерухомо, диск 2 відкидається і при рухові діє на механізм. В цій конструкції використовується явище, яке називається ефектом Томпсона, причому механізм реагує не на величину постійного струму, а на величину швидкості наростання струму  $dlk/dt$ . Чим вище значення  $dlk/dt$ , тим більше значення ЕРС в диску, більше струм  $I_k$  і сила відштовхування  $P$  диска від котушки. Для того, щоб отримати максимальні значення  $dlk/dt$  необхідно прагнути до коливального характеру розряду, але в такому випадку енергія, яка була запасена в ємнісному накопичуванні, використовується не повністю.

Схема лабораторної установки для дослідження індукційно-динамічного рушія показана на рисунку 1.2. Живлення ємнісного накопичувача  $C1 - C3$  здійснюється через  $VD1 - VD2$ . Напруга регулюється за допомогою автотрансформатора  $T1$ . Резистор  $R_0$  слугує для обмеження струму в ланцюгу керування.

Кнопка  $S1$  забезпечує включення тиристора  $V_S$  (контакти  $S1.1$ ), який подає сигнал на вмикання ІДМ і не допускає одночасної роботи ланцюгів заряду і розряду ємнісного накопичувача (контакти  $S1.2$ ). Тумблери  $S2 - S4$  забезпечують зміну ємності накопичувача. Індуктивність котушки ІДМ -  $L$ . Контакти  $S5$  імітують силові контакти вимикача. Вимкнення ІДМ виконується тумблером  $S6$ , розташованим на панелі секундоміра. Загальний вид досліджуваної конструкції ІДМ показаний на рисунку 1.3. На ізоляційній основі 1 закріплена котушка 2, по якій протікає розрядний струм ємнісного накопичувача. В безпосередній близькості від котушки 2 (0,1мм) знаходиться мідний диск 3, жорстко закріплений на ізоляційному каркасі 4. До каркасу 4 жорстко приєднується опора, яка дозволяє

змінити величину зазору між катушкою і диском. Поворотна пружина 6 слугує для фіксації диску 3 в початковому положенні.

Пристрій функціонує таким чином. При подачі імпульсу розрядного струму від ємнісного накопичувача на катушку 2 під дією виникаючих електромагнітних зусиль диск 3, закріплений на каркасі 4, переміщується вгору. Тяга 7 слугує для вимикання секундоміра. Повернення рухомої системи в початкове положення забезпечує пружина 6.

### 1.3 Завдання

**1.3.1** Ознайомитися з теоретичним змістом даних методичних вказівок і конструкціями ІДМ згідно з рекомендованою літературою.

**1.3.2** Експериментально визначити і представити і вигляді ємності залежність  $t_{\text{спрац}} = f(U_c)$  при двох фіксованих значеннях ємності накопичувача:  $C1+C2$ ;  $C1+C2+C3$ .

**1.3.3** За результатами експерименту побудувати залежності  $X = f(U_c)$  для двох фіксованих значеннях ємності накопичувача:  $C1+C2$ ;  $C1+C2+C3$ .

**1.3.4** За допомогою розрахунку побудувати залежності

$$I_k = f(t); P = f(t); X = f(t),$$

де  $I_k$  – струм розряду ємнісного накопичувача, який протікає по катушці ІДМ;

$P$  – сила, що діє на ІДМ;

$X$  – переміщення диска.

Розрахунки і побудову провести для першого на півперіоду розрядного струму. Розрахунок характеристик [18] може бути виконаний на ПК.

**1.3.5** Провести аналіз і зробити висновки відносно залежностей і процесу спрацювання ІДМ.

### 1.4 Методичні вказівки

**1.4.1** При вивченні конструкцій і принципу дії ІДМ використовувати [1,2].

**1.4.2** Для виконання пункту 1.3.2 зібрати схему рисунку 1.2. Регулювання напруги виконувати за допомогою зміни продовження часу натиску кнопки  $S1$ . Ознайомитися з інструкцією для користування секундоміром Ф-209. На панелі секундоміра натисніти клавішу “Режим роботи - 2”. Включення ІДМ (розряд накопичувача на



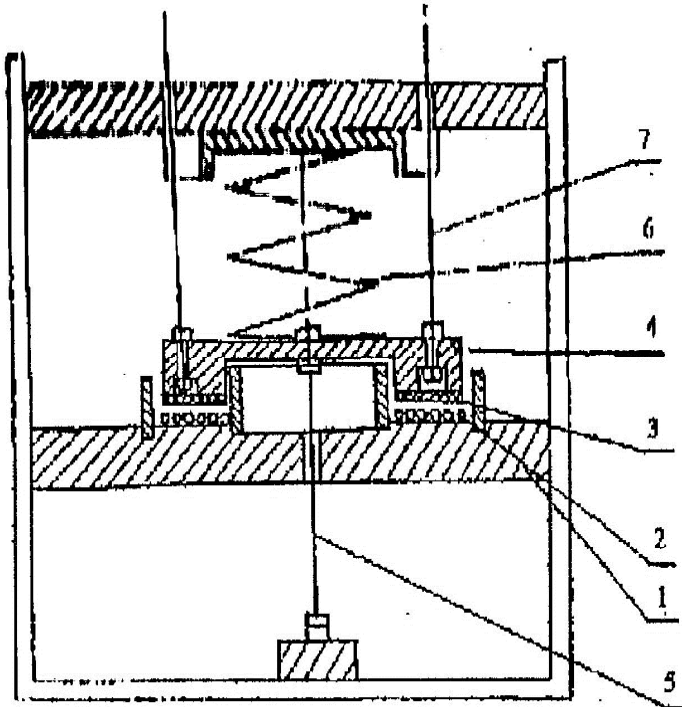


Рисунок 1.3 – Конструкція ІДМ

Зміна ємності накопичувача здійснюється переключенням тумблерів Б2, Б3. Значення ємності накопичувача задається викладачем з умови:

номер бригади	1	2	3	4	5	6
$C1 = C2 = C3,$ мкФ	160	200	240	280	300	320

**1.4.3** При виконанні пункту 1.3. результати експерименту занести в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати експерименту

$U_c, \text{В}$		500	480	460	440	420
X, мм	$C1+C2+C3$					
	$C1+C2$					

**1.4.4** Складність розрахунку струму і ходу ІДМ в процесі його спрацювання пов'язана головним чином з нелінійною залежністю механічних і електромагнітних процесів один від одного. Коли диск рухається, то змінюється повітряний зазор між ним і котушкою, що приводить до зміни параметрів  $L_{\Sigma}$  і  $R_{\Sigma}$  навантаження. Зміна цих параметрів викликає зміну форм і величин струмів, які протікають в диску і котушці, і, як наслідок, зміну сили, що діє на рухомі елементи ІДМ. Внаслідок чого змінюється хід останніх, швидкість і прискорення. В більшості ІДМ, особливо високовольтних, майже вся енергія конденсаторної батареї виділяється в досить короткий проміжок часу, коли рухомі частини ІДМ мають незначні переміщення. У зв'язку з цим сила, прикладена до диску, розглядається як удар, її ріст, а також ріст швидкості спостерігається в основному на протязі першого напівперіоду і мало змінюється в другому і наступних періодах.

Метод розрахунку оснований на таких допущеннях:

- електромагнітна сила витрачається тільки на прискорення рухомих мас;
- реальний струм замінюється незатухаючим коливальним з амплітудою, яка дорівнює амплітуді першого напівперіоду реального струму.

Розрахунок здійснюється в такій послідовності.

Визначається еквівалентна індуктивність навантаження:

$$L_{\Sigma} = 0,6 \mu_0 d N^2 \quad (1.1)$$

де  $\mu_0$  – магнітна проникливість, Гн/м;

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \quad (1.2)$$

$d$  – середній діаметр котушки;

$$d = (d1 + d2) / 2 \quad (1.3)$$

$d1, d2$  - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри котушки, м;  
 $N$  – число витків котушки.

Струм, який тече по котушці:

$$I_k = (U_{co} \cdot \exp[-R \cdot t / 2L_{\Sigma}] / \sqrt{L_{\Sigma} / C}) \cdot \sin(t / \sqrt{L_{\Sigma} \cdot C}) \quad (1.4)$$

де  $U_{co}$  – напруга на ємнісному накопичувачі в момент  $t=0$ , В;  
 $R$  – активний опір ланцюга, Ом;

$$R = (0,25 \dots 0,6) \sqrt{L_{\Sigma} / C} \quad (1.5)$$

$t$  – час, с, вибирається в межах  $(0 \dots 200) \cdot 10^{-6}$  с;

$C$  – ємність накопичувача, Ф, задається викладачем на основі таблиці з номером бригади.

Сила, діюча на диск:

$$P(t) = \mu_0 d (IkN)^2 k / 2a \quad (1.6)$$

де  $a$  – відстань між серединами котушки і диска в початковий момент часу, м;

$k$  – коефіцієнт зв'язку (рисунок 1.4).

Переміщення диска:

$$x = \left( \mu_0 \cdot N^2 \cdot d \cdot U_{CO}^2 \cdot C / 8amL\varepsilon \right) \cdot \left[ \left( t^2 - L\varepsilon \cdot C \cdot \sin^2 \left( t / \sqrt{L\varepsilon / C} \right) \right) \right] \quad (1.7)$$

де  $m$  – маса диска і зв'язаних з ним рухомих частин, кг.

Залежність (1.7) справедлива при умові ( $0 < t < T/2$ );

$T$  – період коливань розрядного струму\*

Характеристики залежності для розраховуваних параметрів приведені на рисунку 1.5.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунку

$ti$ –
$li$ –
$Pi$ –
$Xi$ –

## 1.5 Зміст звіту

### 1.5.1 Завдання.

### 1.5.2 Схема випробування ІДМ.

### 1.5.3 Таблиці і розрахункові формули.

### 1.5.4 Графіки всіх залежностей, вказаних у завданні.

### 1.5.5 Аналіз досліджень і висновки.

## 1.6 Контрольні питання

### 1.6.1 Принцип дії і конструкція ІДМ.

### 1.6.2 Пояснити роботу схеми випробувальної установки.

1.6.3 Привести пояснення залежностей основних параметрів в часі при спрацюванні ІДМ

1.6.4 Які фактори визначають величину зусилля, розвиваємого ЩМ.

### 1.6.5 Застосування ІДМ в конструкціях ВА.

1.6.6 Перелічіть можливі засоби підвищення швидкості досліджуваної конструкції ІДМ.

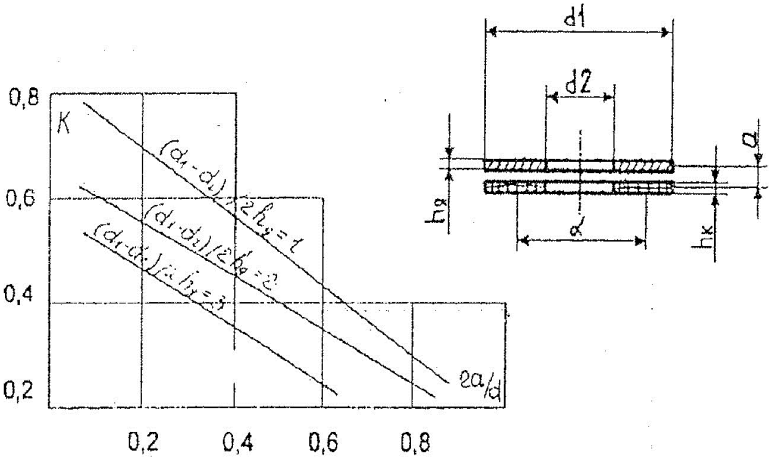


Рисунок 1.4 – Криві для визначення коефіцієнта зв'язку

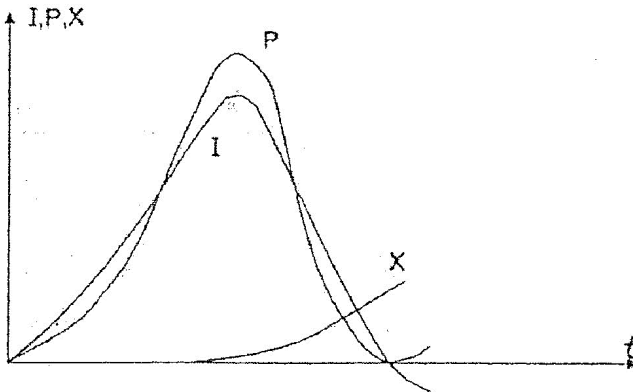


Рисунок 1.5 – Криві струму, сили і переміщення диска

**1.6.7** Поясніть отримані в процесі експерименту залежності.

**Тривалість лабораторної роботи.**

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

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА НАЛАГОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИМИКАЧА ТА ВИКОТНОГО ЕЛЕМЕНТА КРП

#### 2.1 Дослідження параметрів та налагодження електромагнітного вимикача

##### 2.1.1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією та принципом дії швидкодіючих електромагнітних вимикачів. Вивчити схему захисту вимикачів, а також засоби налагодження та настройки захистів.

##### 2.1.2 Предмет дослідження

Вимикачі автоматичні повітряні серії АЗ700 призначені для максимального струмового захисту електричних установок при коротких замиканнях, захисту електричних ланцюгів при зниженні напруги до недопустимої величини, а також для нечастих оперативних комутацій та пуску асинхронних двигунів.

Вимикач складається з таких основних складальних одиниць:

- а) кожуху;
- б) контактної системи;
- в) механізму керування;
- г) дугогасних камер;
- д) полум'ягасника;
- е) електромагнітних розмикачів максимального струму;
- ж) затискачів для приєднання зовнішніх провідників;
- з) електромагнітного рушія для дистанційного вмикання і вимикання вимикача;
- і) розчіплювача нульової напруги.

Кожух вимикача виконаний з пластмаси і складається з основи, на якій безпосередньо змонтовані всі одиниці вимикача, кришки, яка закріплена чотирма гвинтами на основі.

Контактна система складається з рухомих і нерухомих контактів, які розташовані у кожному полюсі вимикача. Комутуючі контакти виконані зі спеціальних металокерамічних композицій на основі срібла. Рухомі контакти кожного полюса з'єднані між собою за

допомогою ізоляційної траверси, яка є елементом механізму керування.

Механізм керування вимикача виконаний за принципом ламаючихся ричагів.

Дугогасні камери розташовані над контактами кожного полюса і діють за принципом дріблення і деіонізації електричної дуги омідненими сталевими пластинками, які закріплені у ізоляційних стінках камери.

Полум'ягасник виконаний у самостійному пластмасовому корпусі і кріпиться двома гвинтами до кришки вимикача.

Електромагнітний розчіплювач виконаний у вигляді електромагніту з рухомим якорем. При протіканні струму короткого замикання, якір, який притягується до осердя, впливає на механізм керування і викликає миттєве розмикання контактів вимикача.

Електромагнітний рушій виконаний у вигляді окремого блока і закритий пластмасовою кришкою. На поверхню кришки виведена рукоятка, яка вказує на комутаційне становище вимикача, а також забезпечує можливість ручного керування вимикачем.

Електромагнітний рушій складається з двох електромагнітів, які увімкнені за дзвінковою схемою і які кінематично зв'язані фрикційно-клиновим механізмом, який у свою чергу зв'язаний з рукояткою вимикача.

Розчіплювач нульової напруги монтується усередині вимикача. Він являє собою електромагніт з поворотним якорем, котушка якого підключена на напругу контролюємого ланцюга. У робочому положенні якір розчіплювача нульової напруги притягнутий до осердя. При недопустимому зниженні напруги у контролюємому ланцюгу якір розчіплювача відпадає, діючи на механізм керування, який відключає вимикач та перешкоджає вмиканню вимкненого вимикача.

### **2.1.3 Завдання**

**2.1.3.1** Ознайомитися з теоретичним змістом методичних вказівок. Вивчити конструкції електромагнітних вимикачів та особливості функціонування окремих блоків.

**2.1.3.2** Провести налагодження та випробування розчіплювача нульової напруги.

**2.1.3.3** Провести налагодження та випробування максимально-струмового захисту і визначити струм уставки вимикача.

**2.1.3.4** Провести аналіз і зробити висновки відносно отриманих результатів.

### **2.1.4 Методичні вказівки для виконання роботи**

При вивченні конструкції і принципу дії електромагнітних вимикачів користуватися [13, 14, 15, 20].

При виконанні пункту 2.1.3.2 зібрати випробувальну схему рисунка 2.1 і вивчити призначення і особливості функціонування її окремих елементів. Становище контактної системи автоматичного вимикача характеризується лампами *HLK* і *HL3*, які увімкнені послідовно з блокконтактами *S1* і *S2*. Регулювання напруги, яка подається на котушку розчіплювача *K1* виконується за допомогою *TI*. Дистанційне вмикання і вимикання вимикача здійснюється кнопками *S3* і *S4*, виконується після подачі номінальної напруги на розчіплювач. Для визначення уставки розчіплювача нульової напруги напруга на ньому плавно знижується від  $U_n$  до  $U_{спрац}$ , яке фіксується вольтметром *PU2* у момент вимикання вимикача. Отримане значення порівнюється з паспортним.

При виконанні пункту 2.1.3.3 зібрати схему рисунку 2.2 і ознайомитися з призначенням і особливостями функціонування окремих елементів схеми. Струм короткого замикання регулюється за допомогою трансформатора *T2* у межах 0-5 кА і при проведенні експерименту повинен подаватися на розчіплювач кидком. Для цього при вмикненню *S5* за допомогою *T2* виставляється потрібне значення струму і потім вмикається і вмикається *S5*. Експеримент повторюється до отримання шуканого струму вимикання вимикача.

**УВАГА!** Розчіплювач допускає не більше 5 вмикань підряд з інтервалом не менше 10 сек. Результати випробувань порівняти з паспортними даними.

Визначити уставку максимально-струмового захисту при плавному збільшенні струму короткого замикання. Порівняти отримане значення уставки з результатом попереднього експерименту і пояснити різницю.

### **2.1.5 Контрольні питання**

**2.1.5.1** Для якої кліматичної зони та умов експлуатації розрахований вимикач?

**2.1.5.2** Перелічити основні складальні одиниці вимикача?

**2.1.5.3** Охарактеризувати конструкцію, принцип дії і параметри нульового розчіплювача.

**2.1.5.4** Як функціонують випробувальні схеми рисунка 2.1 та рисунка 2,2?

**2.1.5.5** Чим відрізняються конструкції дугогасних пристроїв електромагнітних вимикачів низької та високої напруги ?

**2.1.5.6** Які типи електромагнітних вимикачів ви знаєте, їх істотні відмінності ?

**2.1.5.7** Принцип дії та конструкція максимально-струмового захисту електромагнітного вимикача ?

**2.1.5.8** Перелічити системи магнітного дуття, яке застосовується у електромагнітних вимикачах, їх особливості.

## **2.2 Дослідження параметрів та налагодження викотного елемента КРП.**

### **2.2.1 Мета роботи**

Ознайомитися з конструкцією та принципом дії викотних елементів шафи КРП серії КРП2-10 і КМ-10, а також провести деякі приймально-здавальні випробування.

### **2.2.2 Предмет дослідження**

Призначення, конструкція та принцип дії комплектних розподільних пристроїв та їх елементів викладені у [13,15,11]. Програма, норми і методи налагоджувального контролю здавальних випробувань наведені у [16].

Одним з найбільш істотних моментів випробувань є вимірювання швидкості вмикання та вимикання вимикача. Воно здійснюється при номінальній напрузі за допомогою електромагнітного вібрографа з частотою 100 коливань за секунду. Рейка з паперовою стрічкою, на якій записується віброграма, кріпиться до рухомого стрижня вимикача. Віброграф закріплюється нерухомо таким чином, щоб його перо креслило на паперовій стрічці поперечні лінії.

По віброграмі, яка накреслена на паперовій стрічці, у будь-якій момент руху контактного стержня вимикача може бути визначена його швидкість. При частоті напруги 50 Гц час поміж сусідніми піками віброграми складає 0,01 сек. Виміряна у сантиметрах відстань поміж сусідніми піками чисельно дорівнює швидкості руху контактів у м/сек.

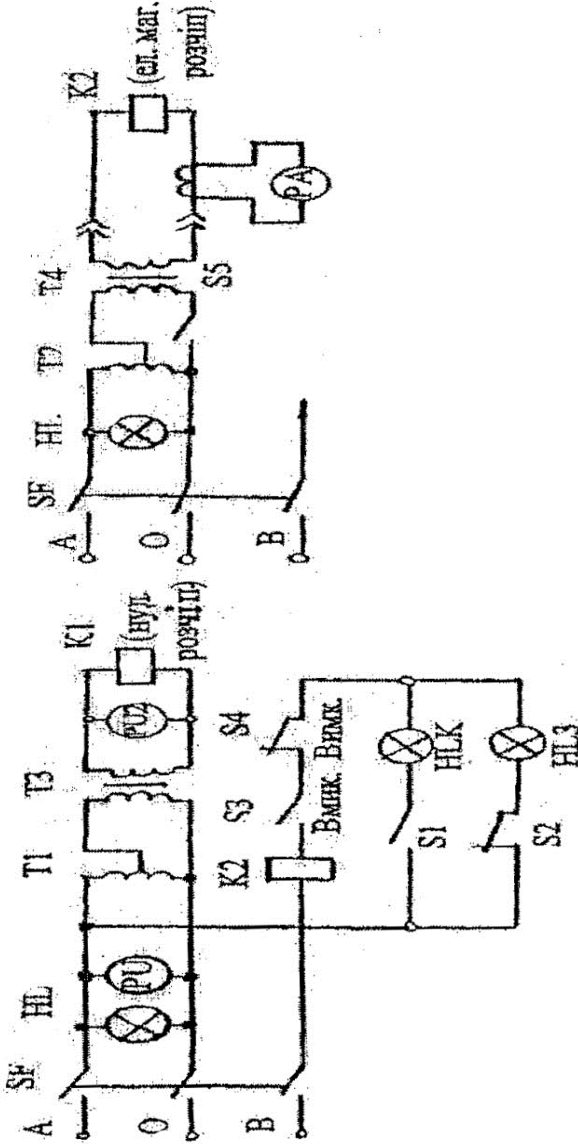


Рисунок 2.2 – Випробування незалежного розчеплювача й максимального струмового захисту

Рисунок 2.1 – Випробування розчеплювача нульової напруги

Приклад віброграми наведений на рисунку 2.3. Розшифровка віброграми проводиться у такій послідовності. На віброграмі (рисунок 2.3) відмічається увімкнене "Вм" та вимкнене "Вим" положення, робиться відмітка (лінія) моменту торкання (розходження) контактів шляхом відкладення ходу контактів  $L = 60+3$  мм від положення "Вм" до положення замикання (розмикання) контактів.

Швидкість вмикання (вимикання) вимикача в момент замикання (розмикання) контактів вимірюється таким чином:

- при положенні лінії торкання контактів, як показано на рисунку 2.4 вимірюються відстані  $L1$  і  $L2$ . Відношення  $L1/T=V1$  і  $L2/T=V2$ , де  $T$  – період коливань пера вібрографа, дадуть середні швидкості вмикання (вмикання)  $V1$  і  $V2$  на ділянці  $L1$  і  $L2$ .

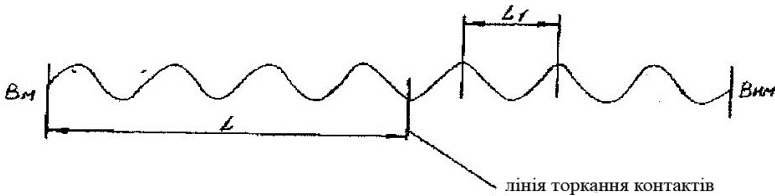


Рисунок 2.3 – Приклад віброграми

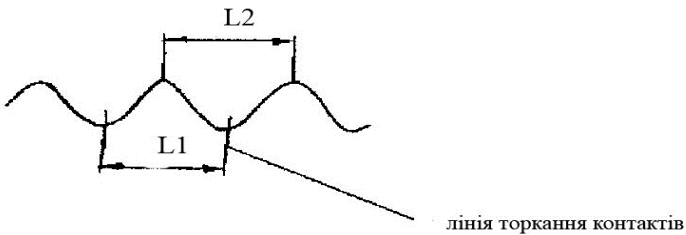


Рисунок 2.4

Швидкість вмикання (вимикання) вимикача у момент торкання (розмикання) контактів буде дорівнювати :

$$V_B = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

- при положенні лінії торкання контактів на вершині амплітуди, як показано на рисунку 2.5, швидкість вмикання (вимикання) в момент торкання (розмикання) контактів дорівнює:

$$V_B = \frac{L_1}{T}$$

Визначення найбільшої швидкості вмикання (вимикання) робиться шляхом вимірювання усіх відстаней між сусідніми вершинами (рисунок 2.3) та врахування за формулою:

$$V_1 = \frac{L_1}{T}$$

При цьому найбільша величина  $L_1/T$  є Макс.



Рисунок 2.5

### 2.2.3 Завдання

**2.2.3.1** Ознайомитися з теоретичним змістом методичних вказівок. Вивчити конструкцію та особливості функціонування окремих блоків та всього апарату.

**2.2.3.2** Ознайомитися з принципіальною електричною схемою лабораторної установки (рисунок 2.6) і перевірити правильність підключення ланцюгів.

**2.2.3.3** Зняти віброграми для режимів вмикання та вимикання вимикача, з яких визначити:

- швидкість вмикання при замиканні контактів, а також максимальну швидкість при вмиканні;

- швидкість вимикання при розмиканні контактів на ході 60мм, а також максимальну швидкість вимикання.

**2.2.3.4** Виміряти власний час вмикання та вимикання вимикача і порівняти з нормованим часом.

**2.2.3.5** Провести аналіз і зробити висновки відносно одержаних результатів. Одержані віброграми треба додати до звіту.

#### **2.2.4 Методичні вказівки по виконанню роботи**

З метою скорочення циклів "вмикання" - "вимикання" вимикача пункт 2.2.3.3 завдання виконується за такою методикою.

**2.2.4.1** Вмикання вимикача з заміром часу вмикання і швидкості вмикання.

Підготовка до роботи проводиться у такому порядку:

У початковому положенні перемикачі *SI*, *S2*, *S3*, *S10*, *S11*, *S12* вимкнені, а *S4-S9* вмикнені. Ключі *S13* і *S14* у нейтральному положенні.

Заготовити смужку білого паперу розміром 25x350 мм для зняття віброграм та вставити у рейку.

Увімкнути автомат *SF* на стенді. Загораються всі зелені лампи, які сигналізують про подачу напруги на стенд.

Вмикнути віброграф перемикачем *S12* і вимикачем на корпусі, настроїти віброграф таким чином, щоб амплітуда коливань пера досягла приблизно 10 мм. Вимкнути *S12*.

Ключ *S13* поставити у положення "Вмик.". Увімкнути *SI*, *S10*, *S11*. Увімкнути *S2*. При цьому відбувається заводка пружини.

Після закінчення заводки лампа *HL2* гасне, а *HL5* - загорасться. Встановити стрілку секундоміра на нуль.

Ключ *S13* повернути у становище "Вмик.".

Вмикається вмикач. Лампи *HL1*, *HL3*, *HL5* гаснуть, а *HL4*, *HL6*, *HL2* загораються. Відбуваються підзаводка пружини. Після підзаводки пружини лампа *HL2* гасне, а *HL5* загорасться.

Записати показання секундоміра. Вимкнути *S12*. Вийняти віброграму з рейки.

**2.2.4.2** Вимкнення вимикача з заміром часу та швидкості вимкнення.

Ключ *S14* поставити у становище "Вмик.".

Встановити електросекундомір на нуль, вставити у віброграф чисту стрічку паперу.

Увімкнути віброграф перемикачем *S12*.

Відбувається під заводка пружини, після під заводки *HL2* гасне, а її *L5* загорається.

Вимкнути *S12* для запобігання перегріву котушки вібрографа.

Записати показання секундоміра та вийняти віброграму.

**2.2.4.3** Вимкнення вимикача електромагнітом вимкнення незалежного живлення (імітація аварійного вимкнення).

**2.2.4.3.1** Ключ *S14* поставити у положення "Вмик." Вимкнути *S2*, встановити електросекундомір на нуль. Ключом *S13* увімкнути вимикач.

**2.2.4.3.2** Ключ *S14* поставити у положення "Вимк." Перемикач *S3* вимкнути та зараз же вимкнути. Відбудеться вимкнення вимикача електроприводом вимикання незалежного живлення.

Записати показання секундоміра та встановити стрілку на нуль.

## **2.2.5 Контрольні питання**

**2.2.5.1** Пояснити конструктивні особливості та принцип дії КРП

**2.2.5.2** Види та принцип дії вимикачів, комплектуючих КРП.

**2.2.5.3** Особливості конструкцій елегазових КРП (КРПЕ).

**2.2.5.4** Перелічить основні види механізмів, які застосовуються у КРП.

**2.2.5.5** Роз'єднувачі і заземлювачі у КРП, їх призначення, принцип дії та конструктивні особливості.

**2.2.5.6** Вимірювальні апарати, комплектуючі КРП.

**2.2.5.7** Назвіть основні переваги та недоліки КРП, перспективи розвитку.

**2.2.5.8** Блокування, їх призначення різновиди в конструкції КРП.

**2.2.5.9** Основні елементи вимикача ВМП і їх стисла характеристика.



### **3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИПРОБУВАННЯ ВАКУУМНОГО ВИМИКАЧА**

### **3.1 Мета роботи**

Дана робота має мету ознайомитись з конструкцією та принципом роботи вакуумного вимикача, а також виконати комплекс випробувань для дослідження його основних характеристик на прикладі конструкції вакуумного модульного контактора типу KBM-5 400У2.1

### **3.2 Об'єкт дослідження**

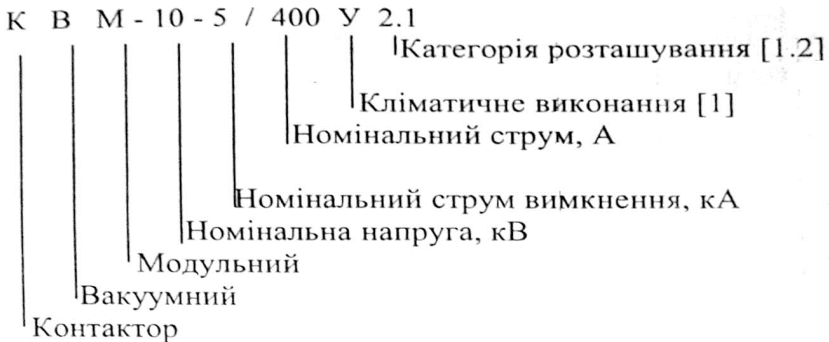
Вакуумний контактор розглядаємого типу, призначений для комутації електричних ланцюгів в нормальному режимі роботи, а також при перевантаженнях та коротких замиканнях при струмах до 5 кА в мережах трифазного змінного струму з частотою 50-60 Гц з номінальною напругою до 12 кВ.

Рекомендована схема підключення контактора - послідовно з захисним вимикачем. Як показує досвід провідних електротехнічних фірм, що випускають та експлуатують вакуумні контактори, така схема підключення найбільш переважна.

Контактор призначений для внутрішньої установки. Він забезпечений пофазними електромагнітними приладами, забезпечуючими дистанційне керування від ланцюгів оперативної змінної напруги 220В.

Основні параметри і умови експлуатації приведені в табл.3.1. Зовнішній вигляд контактора показаний на рисунку 3.1. Контактор складається з трьох модулів (фаз), розташованих на загальній основі, в середині якого розташовані блок контакти і схеми управління, з виводами на зовнішню клемну колодку. Кожний модуль складається з вакуумної камери 1, верхнього струмоз'ємника 2, опорного ізолятора 3, нижнього струмоз'ємника 4, ударного електромагнітного приводу 5. Модулі встановлені на основі 6 з клемовими колодками 7, з пояснювальними табличками. Розташування контактів контролюється за допомогою вказівника 8, розташованого на валу приводу (білий сектор – відключено, червоний – включено).

## Структура умовного позначення контактора



З метою обмеження комутаційних перенапруг застосовується обмежувач перенапруг типу ОПН – 10У2.1 Обмежувач являє собою збірку послідовно з'єднаних керамічних резисторів на основі оксиду цинку, вміщених в корпус з ізоляційного матеріалу, який закривається металевою контакт-кришкою. В нижній основі і контакт-кришці є отвори для установки та підключення ОПН. В процесі експлуатації ОПН підключаються паралельно контактам кожного модуля КВМ, якщо навантаженням є асинхронні двигуни, або між фазою і землею, якщо комутаційним навантаженням є силові трансформатори.

Таблиця 3.1 – Параметри контактора

Найменування параметра	Величина
1. Висота над рівнем моря, м	=< 1000 --
2. Температура зовнішнього середовища, °С	(45-50)
3. Відносна вологість повітря, %	=<80
4. Струм термічної стійкості (трьохсекундний), кА	6.3
5. Струм електродинамічної стійкості, кА	25
6. Повний час вимкнення, с	=< 0,05 =<
7. Особистий час вимкнення, с	0,03
8. Комутаційний ресурс при вимкненні номінального струму, циклів.	150000
9. Комутаційний ресурс при струмах короткого замикання, операцій "вимкнення" не менш	100 =>10
10. Термін праці, років	=<0,5
11. Електричний опір головного ланцюга, мОм	

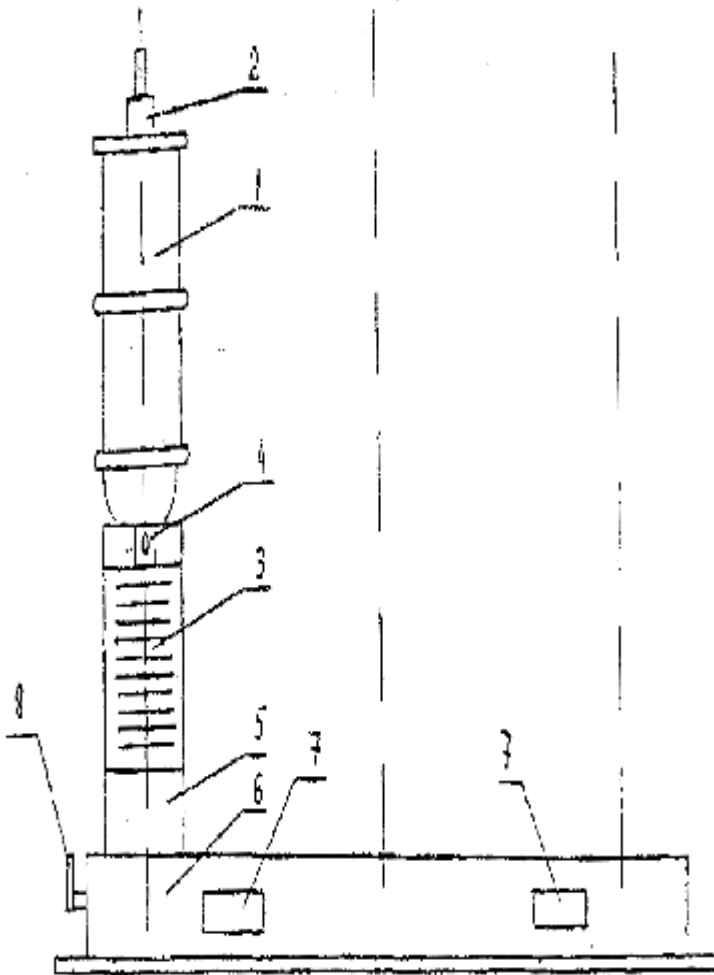


Рисунок 3.1 – Зовнішній вид контактора

### 3.3 Завдання

**3.3.1** Ознайомитись з конструкцією контактора, принципом його дії, особливостями та принципом гасіння дуги в вакуумі.

**3.3.2** Вивчити процедуру випробувань і виконати контроль ізоляції апарата, який досліджується.

**3.3.3** Провести перевірку і зняти вольтамперну характеристику нелінійного резистора. Визначити його основні параметри.

**3.3.4** Виконати вимір перехідного опору головних ланцюгів контактора, порівняти з допустимими значеннями.

### 3.4 Методичні вказівки

**3.4.1** Загальні відомості, необхідні для виконання пункту 3.3.1, викладені в [6-10].

**3.4.2** Для виконання комплексу випробувань необхідно з'ясувати принцип дії і особливості конструкції випробуваного контактора, а також випробувального стенду, схема якого наведена на рисунку 3.2. Для забезпечення універсальності випробувань схему стенду зручно навести в формі поєднання таких блоків.

Блок 1 – джерело живлення, клема якого виведені на чільній панелі стенду. Воно включає в себе два джерела регульованої змінної напруги:  $\sim U_1$  з межами регулювання (0-380) В і  $\sim U_2$  з межами регулювання (0-36) В. Регулювання напруги здійснюється за допомогою трансформатора Т2. Система сигналізації стану контактора ( $HL_B$  - включений стан, силові контакти замкнені,  $HL_O$  - вимкнутий стан) змонтована і сигнальні лампи виведені на робочу панель стенду.

Блок 2 – схема для вимірювання вольтамперної характеристики нелінійного резистора обмежувача перенапруг.

Блок 3 – схема підключення контактора. Підключення пункту дистанційного керування (кнопка  $SB$  - включення контактору,  $So$  - вимкнення) здійснюється відповідно пояснювальним надписам на клемовій колодці КВМ.

Блок 4 – схема для вимірювання перехідного опору постійному струму головних ланцюгів контактора.

Всі елементи схеми (рисунок 3.2) розташовані на чільній панелі лабораторного стенду і мають відповідні позначення (рисунок 3.3). Для проведення потрібного виду випробувань необхідно:

а) вивчити методику проведення даного виду випробувань: по методичним вказівкам та рекомендованій літературі;

б) скласти і зібрати потрібну вимірювальну схему, використовуючи необхідні елементи, виводи котрих розташовані на чільній панелі (див. рисунок 3.3).

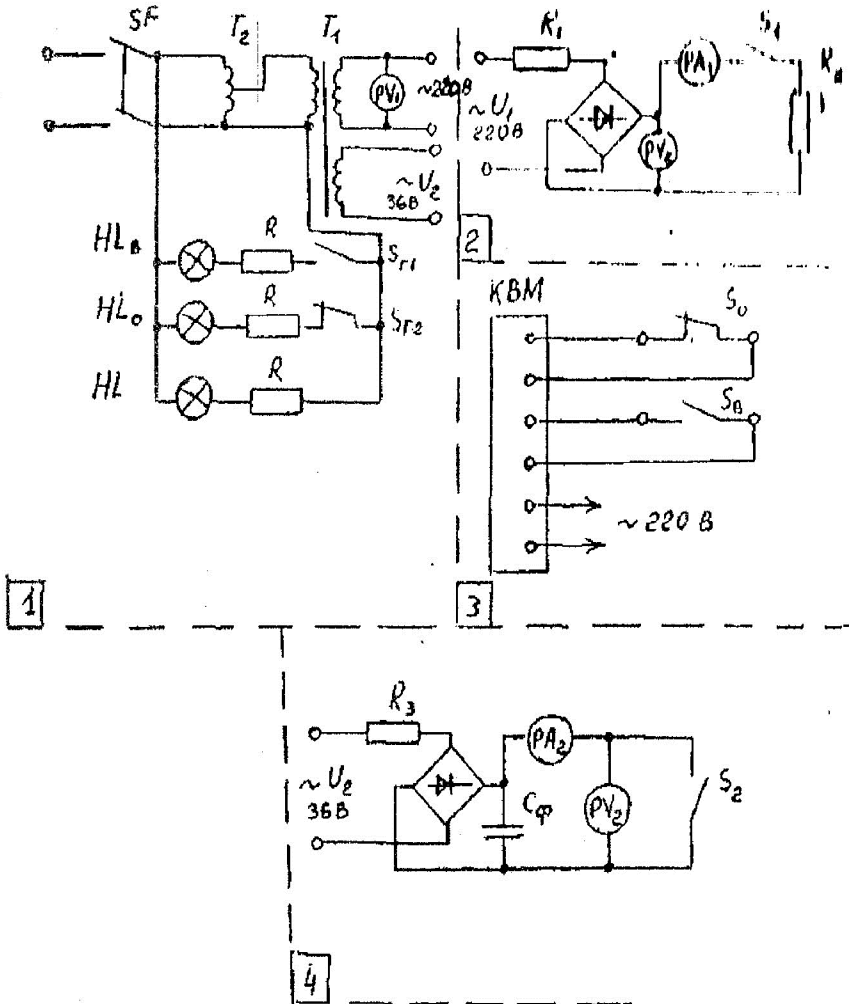


Рисунок 3.2 – Схема випробувального стенду

При виконанні пункту 3.3.2 контроль ізоляції здійснюється на відключеному від мережі КВМ шляхом вимірювання опору ізоляції омметром постійного струму з напругою 1000 В. Перед проведенням замірів необхідно переконатися у відсутності елементів струмоведучого контуру, під'єднаннях до головного ланцюга (шини допоміжні провідники і т.п.). Норми електричної ізоляції приведені в [11-12]. При перевірці електричної міцності ізоляції випробувальну напругу по черзі прикладають:

- між сусідніми електрично незалежними частинами ;
- між усіма електрично роз'єднуваними в процесі роботи апарата струмоведучими частинами;
- між усіма струмоведучими частинами та заземленими частинами апарата.

При проведенні контролю ізоляції привідники омметра повинні закріплюватися на частинах апарата спеціальними зажимами. Утримування їх руками не припустимо.

**3.4.3** Для зняття вольт-амперної характеристики ОПН збирається схема відповідного випробувального блока і підключається до джерела регульованої напруги  $U1$ . Регулювання напруги проводиться за допомогою трансформатора  $T2$ . Під час проведення експерименту реальний ОПН моделюється нелінійним резистором типу СНІ-2-1.

Оскільки в реальних умовах експлуатації ОПН працює в імпульсному режимі, то з метою виключення його перенагріву експеримент необхідно проводити в такій послідовності. За допомогою  $T2$  встановлюється задане значення напруги, яке контролюється вольтметром  $PV2$ . Як  $PV2$  використовується цифровий вольтметр типу В7-16А, який має багатоцільове призначення. Тому перед проведенням експерименту необхідно настроїти його на потрібні межі вимірювання (табл.3.1). Вмикається  $S1$  і знімаються показання  $PA1$ .

**УВАГА!** Тривалість увімкнення при цьому не повинна перевищувати 3 с (при кожному вимірі).

Результати вимірювань заносяться в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експерименту

$U, B$	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$I, mA$									

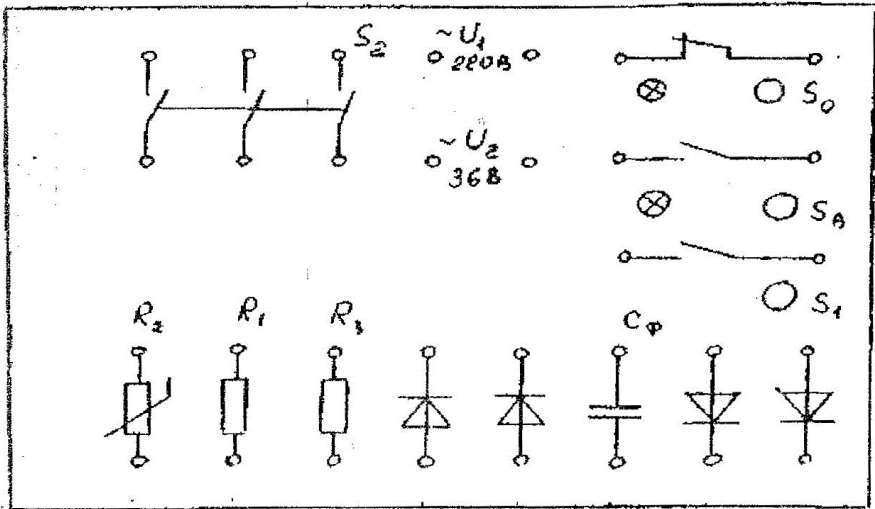


Рисунок 3.3 – Чільна панель випробувального стенду

За результатами вимірювань будується графік вольтамперної характеристики (ВАХ)  $U = f(i)$  і визначаються її основні параметри [6,5,10]:

- класифікаційну напругу  $U_K$  - напругу на варисторі під час пропускання через нього заданої величини струму (звичайно 1 mA);
- коефіцієнт нелінійності - показник ступеня не лінійності ВАХ;

$$\alpha = \frac{l_g \cdot U_2 / U_1}{l_g \cdot I_2 / I_1}$$

де  $U, I$  – напруга та відповідний їй струм, визначені для точки ВАХ.

Контрольні точки вибираються на робочій частині характеристики. Звичайно  $I_1 = 1$  мА;

– напруга обмеження  $U_{обм}$  - амплітуда напруги на варисторі. Як правило відповідає верхній частині активної області ВАХ;

– захисний коефіцієнт

$$K_3 = \frac{U_{ооб}}{U_K}$$

– номінальна потужність розсіяння.

Значення коефіцієнта нелінійності резистора змінюється у таких межах:

(0.02 – 0.1) – для нелінійних резисторів на основі оксиду цинку;

(0.18 – 0.45) – для резисторів на основі карбіду кремнію.

**3.4.4** Вимірювання перехідного опору головних ланцюгів-постійного струму здійснюється методом амперметра-вольтметра. Отримане при цьому значення опору  $R_{вим}$  порівнюється з паспортним значеннями, при цьому повинна виконуватися умова:

$$R_{вим} \leq R_{пасп} ;$$

Для проведення експерименту збирається схема управління контактором (блок 3). Для цього до виводів зовнішньої клемового кола підключаються кнопки  $S_0$  та  $S_B$ , джерело живлення  $\sim U_1$  відповідно пояснювальним надписам на клемнику. Потім збирається схема відповідного, випробувального блока. Вмикається автомат  $SF$  і за допомогою трансформатора  $T_2$  встановлюються напруга 220В, контрольована вольтметром  $PV1$ .

### **3.5 Заходи безпеки при проведенні роботи**

**3.5.1** Металевий корпус контактора повинен бути заземлений з виконанням умови:  $R_{заз} \leq 0.5$  Ом;

**3.5.2** При контролі ізоляції провідники омметра повинні закріплюватися на обладнанні спеціальними затискачами.

**3.5.3** В процесі виконання роботи не допускається присутність сторонніх предметів поблизу корпусу контактора, де розташований вихід приводного валу з металевим вказівником положення контактів вимикача.

**3.5.4** Всі підключення до клем контактора проводити тільки за допомогою провідників в нерозрізних наконечниках для виключення закорочування виводів контактора між собою.

### **3.6 Контрольні питання**

**3.6.1** Назвіть основні конструктивні елементи вакуумного вимикача і дайте їм стисло характеристику.

**3.6.2** Як виглядає дифузійна форма дуги у вакуумному вимикачі?

**3.6.3** Що таке зріз струму і як він впливає на комутаційні перенапруги? Приведіть осцилограму перехідного процесу.

**3.6.4** Які види контактів застосовуються у вакуумних вимикачах?

**3.6.5** Як протікає процес горіння і гасіння дуги у вакуумі?

**3.6.6** Які фактори чинять вплив на електричну міцність вакууму?

**3.6.7** Назвіть і охарактеризуйте суть найбільш ефективного засобу підвищення електродинамічної стійкості контактів вакуумного вимикача. Як він реалізується в даній конструкції?

**3.6.8** Поясніть принцип дії нелінійного резистора при обмеженні перенапруг.

**3.6.9** Які види матеріалів вживаються для виготовлення нелінійних резисторів. Перелічить їх складові компоненти.

**3.6.10** Перелічить і стисло пояснить основні параметри, що характеризують нелінійний резистор.

### **Тривалість лабораторної роботи.**

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

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ

#### 4.1 Мета роботи

Дана лабораторна робота має за мету ознайомлення з я конструкцією і дослідження отриманих експериментально характеристик трансформатора струму типу ТПЛ-10.

#### 4.2 Предмет дослідження

Трансформатори струми (ТС) серії ТПЛ-10 необхідні для передачі сигналу вимірювальної інформації вимірювальним приладам та пристроям захисту і управління в комплектних розподільних пристроях.

Для опису роботи ТС та його розрахунків є необхідним відповідний вибір магнітних характеристик. Магнітні характеристики залежать не тільки від матеріалу, але й від форми та розмірів магнітного ланцюга.

Нижче наведено короткий опис магнітних характеристик, які найчастіше вживаються при розрахунках ТС у різних режимах роботи.

**4.2.1** Найбільш загальною характеристикою основного магнітного поля ТС є характеристика залежності миттєвої індукції основного магнітного поля від миттєвої напруженості основного магнітного поля, тобто  $Bt(Ht)$ . У ТС з замкненим магнітопроводом при постійному його перерізі ця характеристика майже збігається з динамічною петлею гістерезису (ДПГ) матеріалу магнітопроводу. Вид цієї характеристики залежить від закону змінювання індукції за часом. У ТС з замкненим магнітопроводом кожному значенню амплітуди індукції  $Bt$  відповідає окрема ДПГ, а її форма залежить від значення  $Bm$ . За сімейством ДПГ можна побудувати амплітудну характеристику намагнічування, яка доводить залежність  $Bm$  від  $Hm$ . Характеристика є однозначною, пролягає через початок координат і для цього ТС при заданій частоті є єдиною. У відповідності з [1] постачальник ТС, повинен у інформаційних матеріалах доводити криві намагнічування виду  $Bm(H)$ .

**4.2.2** Характеристика холостого ходу (XXX) відображає залежність дієвої ЕРС від дієвого намагнічувального струму в сталому режимі. При цьому значення ЕРС та намагнічувального струму

зведені до одного й того ж числа витків. Ця характеристика має назву ефективної ХХХ.

Слід відзначити, що характеристику намагнічування  $B_t(H)$  (п. 4.2.1) можна побудувати, використовуючи точки ефективної ХХХ  $E_2(I_{02})_5$  знятої при синусоїдальній напрузі:

$$B_m = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot S} \quad (4.1)$$

$$H = \frac{I_{02} \cdot W_2}{L_{cp}} \quad (4.2)$$

**4.2.3** Прохідна характеристика ТС – це залежність дієвого вторинного струму від дієвого первинного струму при практично синусоїдальному первинному струмі  $I_2(I_1)$ . Ця характеристика дає можливість розрахувати допустиме вторинне навантаження ТС. Методика розрахунку викладена у [4].

### **4.3 Завдання**

**4.3.1** Ознайомитися з конструкцією трансформатора струму та принципом його дії.

**4.3.2** Зняти характеристику намагнічування ТС.

**4.3.3** Зняти ХХХ ТС.

**4.3.4** Визначити потужність втрат у магнітопроводі ТС.

**4.3.5** За експериментальною ХХХ розрахувати напругу на розімкненій вторинній обмотці.

**4.3.6** Визначити оптимальну індукцію для ТС.

**4.3.7.** Проаналізувати та зробити висновки відносно отриманих результатів.

### **4.4 Методичні вказівки**

**4.4.1** Загальні відомості, необхідні для виконання, п. 4.3.1 викладені у [3.6]. Основні вимоги до ТС встановлює [1].

**4.4.2** Характеристика намагнічування ТС знімається за допомогою електронно-променевого осцилографа. Цей метод зручний тим, що дозволяє візуально спостерігати за динамічними петлями та виміряти магнітні характеристики. Схема установки наведена на рисунку 4.1.

На вхід вертикального відхилення осцилографа  $Y$  подається напруга з виходу інтегруючого ланцюжка, на вхід відхилення  $X$  – напруга, яка пропорційна намагнічувальному струмові  $i_1$ .

Таким чином, на екрані осцилографа буде відображатися залежність миттєвих значень індукції від миттєвих значень напруженості поля, тобто петля гістерезису.

Для розрахунку значень  $H_t$  і  $B_t$  по осцилограмі необхідно знати масштаби по горизонталі та вертикалі  $m_x$  і  $m_y$ , В/см.

Тоді за відомими абсцисами та ординатами точки, яка вимірюється,  $l_x$ ,  $l_y$ , см визначаються  $H_t$  і  $B_t$ :

$$H_t = \frac{W_1}{L_{cp} \cdot R_1} \cdot (m_x \cdot l_x);$$

$$B_t = \frac{R_2 \cdot C}{W_2 \cdot S} \cdot (m_y \cdot l_y).$$

( $R_1 = R_2 = 100$  кОм;  $R_3 = 20$  кОм;  $R_{ш} = \dots$ ;  $C = 2$  мкФ).

Живлення випробувального трансформатора ведеться від навантажувального пристрою. Величина струму навантажувального пристрою регулюється автотрансформатором. Величина струму не повинна перевищувати величину  $I_{1н}$ .

Для декількох значень струму отримати ДПН. За сімейством ДПН побудувати основну криву намагнічування ТС.

Форму кривої вторинного струму можна отримати, знявши часову осцилограму  $e_2$ .

**4.4.3** Для знімання ХХХ перетворити схему рисунка 4.1, виключаючи зі схеми осцилограф та перемички 16-17, 10-11, 12-11. При цьому амперметр вимірює струм намагнічування у первинній обмотці. Струм намагнічування у вторинній обмотці розраховується за формулою:

$$I_{o2} = I_{o1} \cdot \frac{W_1}{W_2} \quad (4.3)$$

Вольтметром вимірюється ЕРС вторинної обмотки. Опір вольтметра повинен бути великим, щоб ТС знаходився у режимі ХХ.

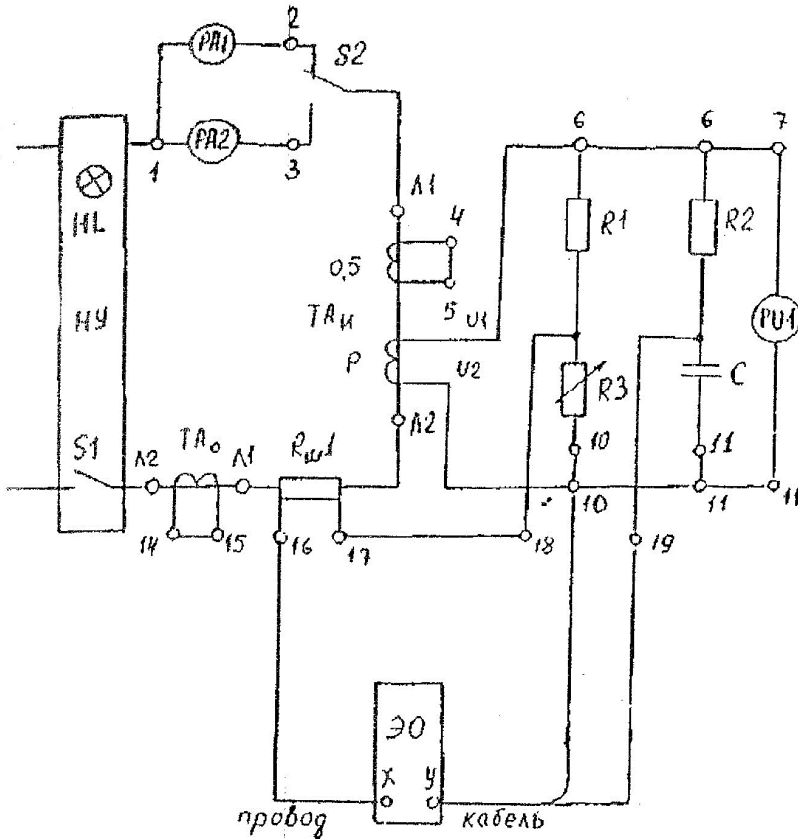


Рисунок 4.1 – Схема досліджень

Задаючись кількома значеннями первинного струму, отримують та будують залежність виду  $E_2(I_{02})$ .

4.4.4 Для визначення втрат у магнітопроводі використовується ваттметровий метод, суть якого у тому, що потужність, яку показує

умі мішений у ланцюг обмоток ТС ватметр, складається з потужності іприт на вихрові струми та гістерезис, а також потужності, яка споживається обмотками ТС та вимірювальними приладами [7]. Для вимірювання втрат використовується схема для вимірювання ХХХ, в яку додатково вмикається ватметр. Струмова котушка ватметра вмикається послідовно в ланцюг первинної обмотки ТС (до 14 та 15, знявши перемичку) через проміжний ТС з коефіцієнтом трансформації  $n_n = 4$ . Котушка напруги ватметра вмикається в розімкнену вторинну обмотку ТС (до 6 та 11). Опір котушки напруги ватметра повинен бути, як і опір вольтметра, достатньо великим, щоб ТС знаходився в режимі ХХ. При цьому, відповідно [2, 7], втрати на гістерезис та вихрові струмі  $P_0$  дорівнюють потужності, виміряній ватметром  $P_m$  та помножений на коефіцієнт  $W_1/W_2$  за винятком потужностей, які потребуються вольтметром  $P_v$  та ланцюгом напруги ватметра  $P_u$ :

$$P_o = [P_w \cdot (W_1/W_2) - (P_v + P_u)]$$

Питомі втрати на гістерезис та вихрові струми з врахуванням  $n_n$  рівні:

$$P_{уд} = [P_w \cdot n_n \cdot (W_1/W_2) - (P_v + P_u)]/m$$

де  $m$  - маса магнітопроводу, кг.

За кількома значеннями струму у первинній обмотці ТС зняти та побудувати характеристику залежності питомих втрат у сталі магнітопроводу від амплітуди індукції  $P_{уд}(Bt)$ .

**4.4.5** Для розрахунку напруги на розімкненій вторинній обмотці слід використати експериментальну ХХХ  $E_{уд}(H)$  та формулу, яка наводиться в [6]:

$$e_{2om} = E_{уд} \cdot W_2 \cdot S.$$

Розрахувати  $e_{2om}$  для обмотки класу 0,5 та класу 10P.

**4.4.6** Для визначення оптимальне відомості, які викладені в [6], с. 268.

## **4.5 Заходи безпеки при проведенні роботи**

**4.5.1** Особи, які випробують ТС, повинні бути знайомі з конструкцією ТС, схемою випробувального стенду, правилами роботи на ньому.

**4.5.2** При проходженні струму по первинному ланцюгу ТС не допускається розмикання вторинної обмотки для запобігання виникнення високої напруги на розімкнених кінцях.

Якщо вторинні обмотки не використовуються під час випробувань, то вони повинні бути замкнені накоротко.

## **4.6 Контрольні питання**

**4.6.1** Принцип роботи та конструкція ТС.

**4.6.2** Сутність та призначення основних магнітних характеристик ТС.

**4.6.3** Від яких факторів залежать втрати в магнітопроводі ТС в режимі ХХ?

**4.6.4** Від яких факторів залежить похибка ТС?

**4.6.5** Якими засобами можна отримати характеристику намагнічування ТС?

**4.6.6** Від яких факторів залежить вид ДППІ?

**4.6.7** Як і чому змінюється напруга на розімкнених кінцях вторинної обмотки?

**4.6.8** Що таке гранична кратність ТС і як вона визначається?

**4.6.9** Що таке оптимальна індукція та як її визначити?

**4.6.10** Що таке кут втрат у магнітопроводі?

## **Тривалість лабораторної роботи**

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

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ EN 61869-1:2017 Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Загальні вимоги.
2. ГОСТ 12119.7-98 Сталь електротехнічна. Методи визначення магнітних і електричних властивостей. Метод вимірювання питомого електричного опору мостом постійного струму.
3. Афанасьев В.В. Трансформаторы тока. – Л.: Энергоатомиздат. 1989. – 416 с.
4. Казанский В.Е. Трансформаторы в устройствах релейной защиты и автоматики. – М. : Энергия, 1978. – 264с.
5. Справочник по ЭА высокого напряжения / Под ред. В. В. Афанасьева - Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544с.
6. Чунихин А.А., Жаворонков М.А. Аппараты высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432с.
7. Электрические измерения. /Под ред. В.Н.Малинояского -М. : Энергоатомиздат, 1983. – 392с.
8. ГОСТ 15150-69 Машины, прилади і інші технічні вироби. Виконання для різних кліматичних районів. Категорії, умови експлуатації, зберігання і транспортування в частині дії кліматичних чинників зовнішнього середовища.
9. ГОСТ 15543-70. Изделия электротехнические.
10. Электрические аппараты высокого напряжения /под ред. Г.Н. Александрова – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 344с.
11. Петин О. В., Щербаков Е. Ф. Испытание электрических аппаратов. -М.: Высшая школа, 1985. – 215с.
12. Электротехнический справочник /в трех томах/.Под ред. И. Н. Орлова – 6-е изд., исп. и доп. – М. : Энергия, 1980.
13. Теория и конструкция выключателей. Под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 496 с.
14. Автоматические выключатели серии А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
15. Дорошев К.И. КРУ 6-35кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 376с.
16. Дорошев К.И. Эксплуатация КРУ 6-220 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.

17. Теория ЭА. Под ред. Г. Н. Александрова. – М: Высшая школа, 1985. – 312 с.
18. Л. Н. Карпенко. Быстродействующие электродинамические отключающие устройства. – Л.: Энергия, 1973. – 158с.
19. Проектирование ЭА / Под ред. Г. Н. Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 448с.
20. Александров Г.Н. Электрические аппараты высокого напряжения [Текст] / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев, В.В. Борисов, Г.С. Каплан и др. – СПб: Издательство СПбГТУ. – 2000. – 503 с.

## Додаток А

### Основні відомості про ТС ТПЛ-10

#### А. 1 Номінальні параметри

Номінальна напруга  $U_{\text{ном}}$ , кВ – 10.

Номінальна частота  $f_{\text{ном}}$ , Гц – 50.

Номінальний первинний струм  $I_{1\text{ном}}$ , А – 10.

Номінальний вторинний струм  $I_{2\text{ном}}$ , А – 5.

Номінальне вторинне навантаження; з коефіцієнтом потужності  $\cos 0,8 - Z_{2\text{ном}}$ .

обмотки для вимірювання, ВА – 10;

обмотки для захисту. ВА – 15,

Номінальна гранична кратність обмотки для захисту  $K_{\text{ном}}$  – 13.

#### А.2 Розрахункові параметри

Номінальна МРС, А – 600.

Середня довжина магнітопроводу, см – 48.

Переріз магнітопроводу обмотки, см<sup>2</sup>

класу 0,5 – 7,5;

класу 5Р – 12,3.

Активний опір обмотки. Ом:

класу 0.5 – 0,185;

класу 5Р – 0,22.