

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни:

"Основи теорії електричних апаратів"

для студентів усіх форм навчання спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(освітня програма "Електричні та електронні апарати")

2022

Дослідження характеристик електромагнітів: Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Основи теорії електричних апаратів" для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітня програма "Електричні та електронні апарати") / Укл.: О.В. Близняков, Л.С. Скрупська. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 33 с.

Укладачі: О.В. Близняков, доцент, к.т.н.
Л.С. Скрупська, ст.викл.

Рецензент: П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.

Відповідальний за випуск: Р.Е. Мохнач

Затверджено на засіданні кафедри
“Електричні та електронні апарати”.
Протокол № 4 від 20 жовтня 2022 р.

Рекомендовано до видання
на засіданні НМК ЕТФ
Протокол № 4 від 17 листопада 2022 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Лабораторна робота № 1. ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПРОВІДНОСТЕЙ ПОВІТРЯНИХ ЗАЗОРІВ.....	5
1.1 Мета роботи.....	6
1.2 Предмет дослідження	6
1.3 Опис експериментальної установки	7
1.4 Завдання	9
1.5 Методичні вказівки	9
1.6. Контрольні питання	10
2. Лабораторна робота № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	11
2.1 Мета роботи.....	11
2.2 Предмет дослідження	11
2.3 Опис експериментальної установки	13
2.4 Завдання	14
2.5 Методичні вказівки	14
2.6. Контрольні питання	16
3. Лабораторна робота № 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТУ ЗМІННОГО СТРУМУ	16
3.1 Мета роботи.....	16
3.2 Предмет дослідження	17
3.3 Опис експериментальної установки	19
3.4 Завдання	20
3.5 Методичні вказівки	20
3.6. Контрольні питання	23
4. Лабораторна робота № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СПРАЦЬОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТУ	23
4.1 Мета роботи.....	23
4.2 Предмет дослідження	23
4.3 Опис експериментальної установки	25
4.4 Завдання	25
4.5 Методичні вказівки	26
4.6 Контрольні питання	27

**5. Лабораторна робота № 5. ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМНИХ
МЕТОДІВ УПОВІЛЬНЕННЯ СПРАЦЬОВУВАННЯ**

ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ	28
5.1 Мета роботи	28
5.2 Предмет дослідження	28
5.3 Опис експериментальної установки	29
5.4 Завдання	30
5.5 Методичні вказівки	30
5.6. Контрольні питання	33
ЛІТЕРАТУРА	34

ВСТУП

Виконання лабораторних робіт являє собою один з важливіших етапів вивчення дисципліни "Основи теорії електричних апаратів", яка в свою чергу, є ключовою в процесі навчання студентів за освітньою програмою «Електричні та електронні апарати» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

При виконанні лабораторних робіт студенти проводять експериментальне дослідження процесів, характерних для широкого кола електричних апаратів. Зокрема, даний цикл лабораторних робіт присвячений вивченню процесів, що мають місце в електромагнітних пристроях. Виконання таких лабораторних робіт звичайно пов'язано з використанням електрики і установ, які являють собою підвищену небезпеку. Тому перед виконанням циклу лабораторних робіт кожний студент повинен пройти інструктаж з техніки безпеки. Студенти, що не пройшли інструктажу до роботи не допускаються.

Завдання на лабораторну роботу студент повинен отримати не менше, ніж за тиждень до її практичного виконання, і заздалегідь підготуватись до неї. Він повинен вивчити зміст лабораторної роботи і теоретичний матеріал, який стосується її теми, підготувати заготовку для звіту до роботи, тобто накреслити схеми дослідів, підготувати таблиці до внесення даних дослідів, формули для розрахунків тощо. На початку заняття викладач проводить перевірку наявності у студента записок по раніше виконаним роботам і готовності до наступної лабораторної роботи. Студенти, які не отримали записок по попереднім лабораторним роботам до наступних не допускаються.

Перед тим як приступати до практичного виконання лабораторної роботи студент повинен ознайомитись зі складом і принципом дії лабораторного стенду. Включення стенду під напругу студент повинен здійснювати тільки з дозволу викладача. Після отримання експериментальних даних студент повинен їх узгодити з викладачем і тільки після цього розбирати схему. Захист звіту з лабораторної роботи проводиться тільки на заняттях, або у визначений викладачем час.

1. Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПРОВІДНОСТЕЙ ПОВІТРЯНИХ ЗАЗОРІВ

Тривалість лабораторного заняття – 4 години.

1.1 Мета роботи

Вивчення методів та проведення практичної роботи з експериментального визначення магнітних провідностей повітряних зазорів магнітних кіл електричних апаратів.

1.2 Предмет дослідження

Магнітні кола електромагнітних систем електричних апаратів в більшості випадків містять у собі немагнітні (у більшості випадків повітряні) зазори: робочі, що передбачені для виконання тої чи іншої роботи, а також неробочі, які виникають в процесі конструктивного виконання електромагнітної системи. На проведення крізь зазори магнітного потоку витрачається частина магніторушійної сили (МРС), яка розвивається котушкою електромагніту. Знайти витрачену для цієї мети МРС при визначеному потоці можна, якщо відомий магнітний опір зазору чи зворотна йому величина – магнітна провідність. Основна складність визначення магнітних провідностей повітряних проміжків полягає у нерівномірності магнітного поля у ньому. Типова картина магнітного поля у повітряному зазорі надана на рис. 1.1а. Для практичних розрахунків магнітної провідності немагнітних зазорів за звичаєм використовують ідеалізовану картину, рис. 1.1б.

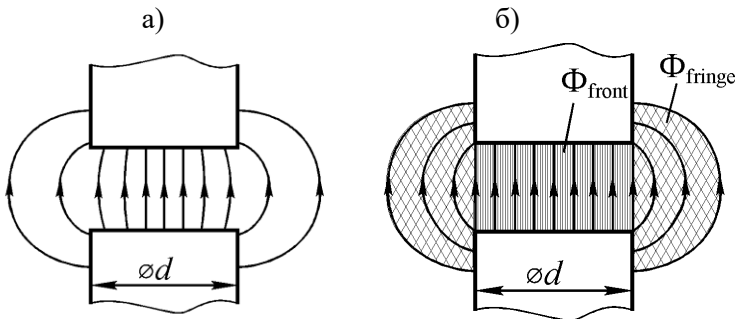


Рисунок 1.1 – Картина магнітного потоку у немагнітному зазорі:
а) реальна; б) ідеалізована

Відповідно до ідеалізованої картини магнітний потік умовно поділяють на так званий *торцевий потік* Φ_{front} , який проходить через торцеві поверхні полюсів, і магнітний *потік випучування* (*fringe magnetic flux*) Φ_{fringe} , який проходить через бокові поверхні полюсів та їх ребра. Співвідношення цих складових магнітного потоку характеризується так званим *коефіцієнтом випучування* (*fringe ratio*), який являє собою відношення сумарного потоку, що проходить через зазор до торцевого потоку:

$$\sigma_{\text{fringe}} = \frac{\Phi_{\delta}}{\Phi_{\text{front}}} = \frac{\Phi_{\text{front}} + \Phi_{\text{fringe}}}{\Phi_{\text{front}}}.$$

Якщо величина зазору набагато менше за розміри полюсів, то магнітними потоками випучування можна зневажати і магнітну провідність можна знайти за умови рівномірного магнітного поля у повітряному зазорі. В інших випадках для визначення магнітної провідності зазорів застосовується один з існуючих методів розрахунку [2–8]:

- метод імовірних шляхів потоку (метод Ротерса);
- за питомими провідностями з ребер та бокових граней полюсів
- за емпіричними формулами, одержаними за допомогою обробки дослідницьких даних;
- графічний метод, тобто за допомогою графічної картини магнітного поля.

1.3 Опис експериментальної установки

В лабораторній роботі експериментально визначається магнітна провідність повітряного зазору і коефіцієнт випучування між полюсами прямокутної форми за допомогою експериментальної установки, яка надана на рис. 1.2. Основним елементом установки є Ш-образний електромагніт змінного струму, який складається з магнітопроводу 2, на крайньому полюсі якого розміщені вимірювальні котушки С1, С2, С3 з кількістю витків 20.

Котушки розміщені так, що перша зчіплюється з потоком з торців $\Phi_1 = \Phi_{\text{front}}$, друга – з сумою потоків торця і з ребер $\Phi_2 = \Phi_{\text{front}} + \Phi_{\text{edges}}$, третя – з повним потоком $\Phi_3 = \Phi_{\delta}$. Вивідні кінці вимірювальних котушок виведені на перемикач S. МРС повітряного зазору вимірюється за допомогою вимірювальної котушки без феромагнітного осердя (поясу Роговського) 7, підключеного також до перемикача S. ЕРС поясу і напруга вимірювальних котушок К₁, К₂, К₃ вимірюється вольтметром PV, що підключений до клем панелі.

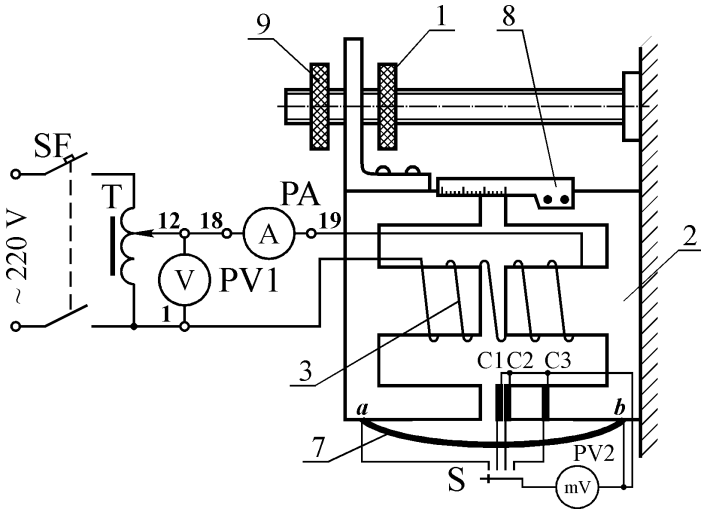


Рисунок 1.2 - Ескіз лабораторної установки і електрична схема з'єднань

Повітряний зазор між полюсами регулюється за допомогою шайби 9 по лінійці 8. Аналогічна шайба та лінійка знаходяться у нижній частині магнітопроводу (на рис. 1.2 не показані). Обмотка електромагніту 3 підключається автоматом SF до джерела живлення з вихідною напругою, що регулюється у межах 0...250 В і контролюється вольтметром PV1.

За виміряними ЕРС котушок U_1, U_2, U_3 визначаються магнітні потоки Φ_1, Φ_2, Φ_3 :

$$\Phi_i = \frac{U_i}{4,44 \cdot f \cdot w_k}, \quad (1.1)$$

де U_i – напруга вимірювальних котушок, В;

f – частота;

w_k – кількість витків вимірювальних котушок, яке дорівнює 20.

ЕРС, яка наводиться в обмотці поясу Роговського, пропорційна потокозчепленню з магнітним полем котушки намагнічування

$$E_{\Pi} = \omega \cdot \Psi, \quad (1.2)$$

а потокозчеплення

$$\Psi = \mu_0 \cdot S_{\Pi} \cdot w'_{\Pi} \cdot U_{\text{м.а-б}}, \quad (1.3)$$

де μ_0 – магнітна постійна, яка дорівнює $12,56 \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

S_{Π} – переріз поясу Роговського, який дорівнює $2 \cdot 10^{-5}$ м²;

w'_Π – приведена кількість витків поясу, яка дорівнює 13300;
 $U_{\text{м.а-б}}$ – різниця магнітних потенціалів між кінцями поясу, А.

З формули (1.3) випливає, що

$$(Iw) = U_{\text{м.а-б}} = \frac{\Psi}{\mu_0 \cdot S_\Pi \cdot w'_\Pi} = c \cdot \Psi, \quad (1.4)$$

де c – постійна поясу Роговського, 1/Гн.

Якщо з формули (1.4) вираз для потокозчеплення підставити до формули (1.2), одержимо вираз

$$(Iw) = U_{\text{м.а-б}} = c' \cdot E_\Pi, \quad (1.5)$$

де c' – постійна системи пояс-вольтметр, яка визначається за такою формулою:

$$c' = \frac{\Psi}{\mu_0 \cdot S_\Pi \cdot w'_\Pi \cdot \omega}. \quad (1.6)$$

Таким чином, вимірюючи вольтметром ЕРС поясу, можна знайти падіння магнітного потенціалу у повітряному зазорі, а при відомих значеннях Φ_i та (Iw) за законом Ома для ділянки магнітного потоку провідність повітряного зазору

$$\Lambda_\delta = \frac{\Phi_3}{(Iw)_\delta}. \quad (1.7)$$

За вимірними значеннями Φ_1 , Φ_2 та Φ_3 можна підрахувати коефіцієнт випучування магнітного потоку у повітряному зазорі

$$\sigma_{\text{fringe}} = \frac{\Phi_3}{\Phi_1}. \quad (1.8)$$

1.4 Завдання

1.4.1 Визначити експериментальним шляхом магнітну провідність при кількох значеннях повітряного зазору між прямокутними полюсами.

1.4.2 Підрахувати магнітну провідність з торців полюса, а також повну магнітну провідність повітряного зазору, що досліджується та коефіцієнт випучування за емпіричними формулам.

1.4.3 Побудувати графіки здобутих залежностей.

1.4.4 Порівняти експериментальні залежності з розрахунковими.

1.4.5 Зробити висновки з роботи.

1.5 Методичні вказівки

1.5.1 Виконати електричні з'єднання відповідно до рис. 1.2, встановивши короткі перемички 1-1, 5-5, 18-А, 19-А і підключивши мілівольтметр PV2 через рознім X.

1.5.2 Встановити шайбами 1 і 9 (рис. 1.2) один з заданих викладачем зазорів у верхній і нижній частинах магнітопроводу по лінійці 8.

1.5.3 Увімкнути автомат Q, і за допомогою автотрансформатора Т встановити по PV1 напругу, задану викладачем.

1.5.4 Послідовно увімкнути перемикач S у положення П, К₁, К₂, К₃ та виміряти ЕРС поясу Роговського E_п і напруги вимірювальних котушок U₁, U₂, U₃. Дані вимірів занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Експериментальні дані.

δ мм	E _п , В	(Iw) А	Напруги вимірювальних котушок та величини магнітних потоків						Розрахункові величини		
			U ₁ , В	Φ ₁ Вб	U ₂ , В	Φ ₂ Вб	U ₃ , В	Φ ₃ Вб	Λ _Т Гн	Λ _δ Гн	σ _{вп}

1.5.5 Пункт 1.5.3 повторити для 4-5 значень повітряного зазору. Якщо величина зазору перевищує 10 мм, виміри потрібно проводити швидко, аби завадити перегрів котушки намагнічування.

1.5.6 Автотрансформатор Т встановити у нульове положення і вимкнути автомат Q.

1.5.7 Величини Φ_і та σ_{вп} визначити за формулами (1.1), (1.8). Результати розрахунків занести до таблиці 1.1.

1.5.8 Магнітну провідність з торця, повну провідність робочого зазору і коефіцієнт випучування для тих самих значень зазорів, що приймались в експерименті обчислити за емпіричними формулами:

$$\Lambda_{\delta} = \mu_0 \left[\frac{a \cdot b}{\delta} + 0,52(a + b) + \frac{1,28 \cdot (a + b)}{\frac{\delta}{m} + 1} \right], \quad (1.9)$$

$$\Lambda_{\text{front}} = \mu_0 \cdot \frac{a \cdot b}{\delta} \quad (1.10)$$

$$\sigma_{\text{fringe}} = \frac{\Lambda_{\delta}}{\Lambda_{\text{front}}}, \quad (1.11)$$

де *a* та *b* – розміри полюса, які відповідно дорівнюють 31 та 15 мм;
m = (1...2)δ.

Розраховані за формулами (1.9–1.11) величини занести до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Теоретичні дані.

δ , мм	Λ_t , Гн	Λ_δ , Гн	$\sigma_{\text{вп}}$
---------------	------------------	-----------------------	----------------------

1.5.9 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

- а) найменування та мету лабораторної роботи;
- б) ескіз експериментальної установки;
- в) таблицю експериментальних і теоретичних даних;
- г) графічні залежності;
- д) висновки з роботи.

1.6. Контрольні питання

1.6.1 Закони Ома та Кірхгофа для магнітних кіл [3, 4, 6–9].

1.6.2 Розподіл магнітного потоку у повітряному зазорі [3, 4, 6–9].

1.6.3 Коефіцієнт випучування магнітного потоку [3, 4, 6–9].

1.6.4 Методи розрахунку магнітних провідностей повітряних зазорів та їх зміст [3, 4, 6–9].

2. Лабораторна робота № 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Тривалість лабораторного заняття – 4 години.

2.1 Мета роботи

Експериментальне та теоретичне визначення розподілу магнітного потоку впродовж магнітного кола та тягової характеристики електромагнітного механізму контактора постійного струму.

2.2 Предмет дослідження

В магнітних колах, на відміну від електричних, де електричний струм проходить виключно по проводах, існують так звані магнітні потоки розсіювання. Навіть у найпростіших магнітних колах реальна картина магнітного поля дуже складна. Поряд з основним магнітним потоком, що замикається магнітопроводом, існують так звані *магнітні потоки розсіювання* (*leakage or stray fluxes*). Магнітні потоки розсіювання можуть проходити найрізноманітнішими шляхами, минаючи робочі ділянки (робочі повітряні зазори) магнітного кола. Врахувати усі потоки

розсіювання практично неможливо. При проведенні практичних розрахунків враховуються лише основні потоки розсіювання (потоки витоків). Один з прикладів розподілу магнітного потоку в електромагніті клапанного типу з урахуванням основного потоку розсіювання (потоків витоків) показаний на рис. 2.1.

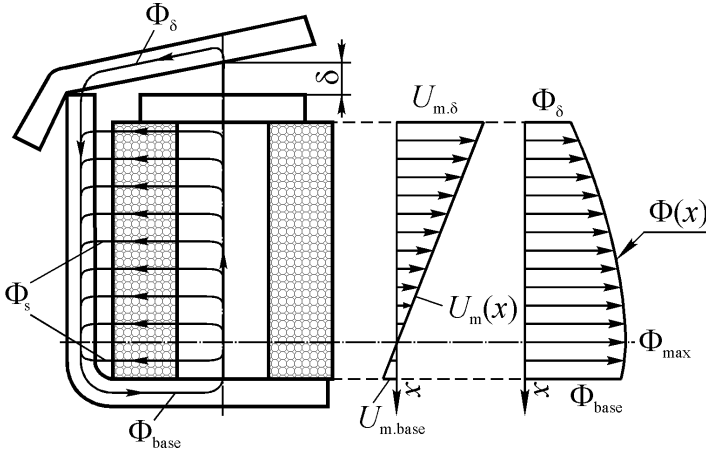


Рисунок 2.1 – Розподіл магнітного потоку та падіння магнітного потенціалу вздовж магнітопроводу.

Частина магнітного потоку, що проходить поміж осердям обмотки і ярмом електромагніту являє собою в даному випадку потік розсіяння Φ_s . Його величина залежить від величини робочого повітряного зазору. Чим більше зазор, тим більше потік розсіяння. При великих зазорах потоки розсіяння можуть перебільшувати за значенням робочий потік.

Співвідношення між потоками у магнітопроводі визначається за допомогою так званого коефіцієнта розсіяння, який являє собою відношення потоку у будь-якому перерізі магнітопроводу на відстані x від робочого зазору до потоку у робочому повітряному зазорі

$$\sigma_i = \frac{\Phi_x}{\Phi_\delta}, \quad (2.1)$$

Відповідно, потік у перерізі на відстані x від робочого зазору складається з потоку у робочому зазорі й потоку розсіяння:

$$\Phi_x = \Phi_\delta + \Phi_{sx}, \quad (2.2)$$

де Φ_{sx} – магнітний потік розсіювання на ділянці від робочого зазору до перерізу x .

Для розподілу магнітного потоку відповідно рис. 2.1, максимальний потік $\Phi_{\text{макс}}$ буде змінюватися в залежності від величини робочого повітряного зазору: збільшуватися з його зменшенням і зменшуватися зі збільшенням.

Тягова характеристика (force-stroke curve) є основною силовою характеристикою електромагніту. Вона являє собою залежність тягової (електромагнітної) сили, що діє на рухомий елемент магнітного кола (якір), від величини робочого повітряного зазору. Тягова сила електромагнітів визначається величиною магнітного потоку у робочому повітряному зазорі. При малих зазорах, коли можна знехтувати потоками випучування, тягову силу можна знайти за формулою Максвелла:

$$f_{e/m} = \frac{\Phi_{\delta}^2}{2\mu_0 S}, \quad (2.3)$$

де Φ_{δ} – магнітний потік в зазорі, Вб;

S – площа полюса, м².

При відносно великих зазорах визначення сили по формулі (2.3) дає помітні помилки. В цих випадках тягову силу розраховують за формулою, одержаною з енергетичного балансу електромагніту:

$$f_{e/m} = 0,5 \cdot (Iw)_{\delta}^2 \frac{d\Lambda_{\delta}}{d\delta}, \quad (2.4)$$

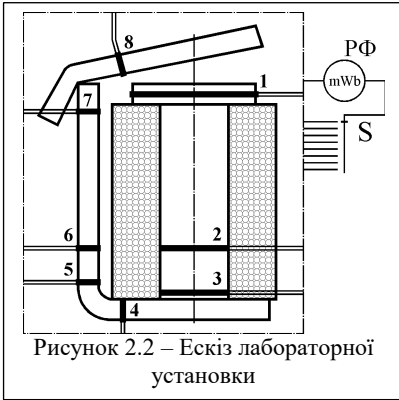
де $(Iw)_{\delta}$ – магніторушійна сила, яка припадає на робочий повітряний зазор, А;

Λ_{δ} – магнітна провідність робочого повітряного зазору, Гн.

В електромагнітах клапанного типу тягова характеристика має гіперболічний характер. Тобто, при великому повітряному зазорі його зменшення не приводить до значного підвищення магнітної провідності і магнітного потоку, при малому ж зазорі незначне його зменшення приводить до різкого підвищення магнітної провідності зазору, що обумовлює різке підвищення потоку і тягової сили електромагніту.

2.3 Опис експериментальної установки

Дослідження здійснюється на електромагнітному механізмі контактора постійного струму КП-505, з якого знята контактнo-дугогасильна система, а в окремих місцях магнітопровода намотані вимірювальні котушки відповідно до рис. 2.2:



1 – на полюсному наконечнику (за допомогою цієї котушки вимірюється магнітний потік у робочому зазорі); 2 – в середині осердя; 3 – біля основи осердя; 4 – в основі (горизонтальної частини скоби; 5 – біля основи скоби; 6 – на середині скоби; 7 – у верхній частині скоби; 8 – у середині якоря.

Кінці вимірювальних котушок виведені до перемикача S, який підключає мілівеберметр РФ до відповідної вимірювальної котушки.

Електрична схема живлення обмотки електромагніта надана на рис. 2.3., яке здійснюється від мережі змінного струму через автоматичний вимикач SF, автотрансформатор T та випрямляч VD1...VD4.

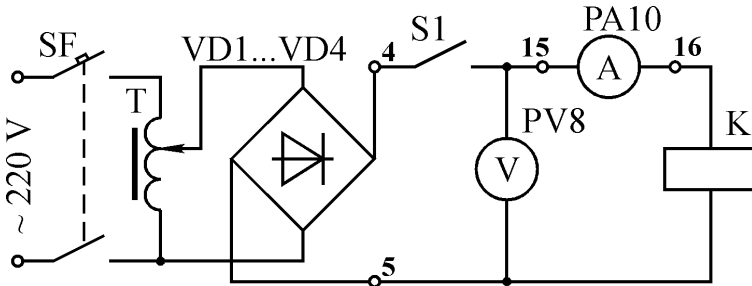


Рисунок 2.3 – Електрична схема живлення обмотки електромагніта.

2.4 Завдання

2.4.1 Експериментальним шляхом визначити розподіл магнітних потоків по довжині магнітопроводу при різних значеннях робочого повітряного зазору від 0 до 5 мм.

2.4.2 Зняти тягову характеристику електромагніту.

2.4.3 Розрахунковим шляхом визначити тягову силу характеристики електромагніту.

2.4.4 Побудувати одержані експериментальні та розрахункові залежності:

- розподіл магнітного потоку по довжині осердя;
- тягові характеристики електромагніту.

2.4.5 Зробити висновки з роботи

2.5 Методичні вказівки

2.5.1 За допомогою коротких провідників здійснити електричні з'єднання відповідно до рис.2.3, встановивши перемички 4-4, 5-5, 15-16.

2.5.2 За допомогою прокладок встановити потрібний робочий повітряний зазор.

2.5.3 Підключити до перемикача S мілівеберметр.

2.5.4 Увімкнути автомат SF і за допомогою автотрансформатора T встановити напругу 210 В, контролюючи її по приладу PV8.

2.5.5 Увімкнути тумблер S1.

2.5.6 Рукоятку перемикача S встановити на потрібну вимірювальну котушку відповідно до потрібного перерізу магнітопроводу.

2.5.7 Перемикач мілівеберметра встановити в положення "Корректор" і рукояткою "Корректор" вивести стрілку приладу до крайнього лівого положення. Покази приладу занести до таблиці 2.1.

2.5.8 Вимкнути тумблер S1 і помітивши відхилення стрілки мілівеберметра, занести його до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розподіл магнітних потоків вздовж магнітопроводу

Повітряний зазор, мм	Показання мілівеберметра, магнітний потік	Номери вимірювальних котушок							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$\delta = 0$	α_1 , ділення α_2 , ділення Ф, Вб								
$\delta = 1$	α_1 , ділення α_2 , ділення Ф, Вб								
$\delta = 3$	α_1 , ділення α_2 , ділення Ф, Вб								
$\delta = 5$	α_1 , ділення α_2 , ділення Ф, Вб								

2.5.9 Магнітний потік у відповідному перерізі визначити за наступною формулою:

$$\Phi_i = \frac{c \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)}{w_{\Pi}}, \quad (2.5)$$

де i – номер вимірювальної котушки відповідно до положення перемикача S ;

α_1, α_2 – відповідно кінцеве і початкове відхилення стрілки мілівеберметра у діленнях;

c – постійна мілівеберметра, яка дорівнює 10^{-4} Вб/діл;

$w_{пн}$ – кількість витків вимірювальної котушки, яке дорівнює 6.

2.5.10 Повторити дослід, починаючи з п. 2.5.4, для інших вимірювальних котушок.

2.5.11 За допомогою прокладок встановити нове значення робочого повітряного зазору згідно таблиці 2.1 і знову виміряти магнітні потоки згідно пп 2.5.4–2.5.9.

2.5.12 Зняти тягову характеристику електромагніту при напрузі живлення котушки електромагніту 170 і 210 В.

2.5.13 Тягова сила електромагніта вимірюється за допомогою динамометра. Її значення фіксується в момент відриву якоря від осердя.

2.5.14 Для визначення тягових зусиль відносно осі електромагніта необхідно скласти кінематичну схему і знайти співвідношення плечей.

2.5.15 Розрахувати тягову силу по формулах, що приведені в літературних джерелах.

2.5.16 Експериментальні та розрахункові значення тягових сил занести до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Дослідні та розрахункові значення тягових сил.

Показники	$U_1 = 210 \text{ В}$				$U_2 = 170 \text{ В}$			
	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4
Тягова сила (дослід), Н								
Тягова сила (розрахунок), Н								

2.5.17 Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- а) мету роботи;
- б) ескіз лабораторної установки;
- в) кінематична схема для приведення тягових зусиль до осі електромагніта;
- г) таблиці експериментальних і розрахункових даних і побудовані за ними криві розподілу магнітного потоку по довжині осердя котушки та тягові характеристики;
- д) висновки з роботи.

2.6 Контрольні питання

2.6.1 Що являє собою коефіцієнт розсіювання? [3–9].

2.6.2 Як буде змінюватися коефіцієнт розсіювання при зростанні робочого зазору? [3–9].

2.6.3 При якому значенні робочого зазору коефіцієнт розсіювання буде прагнути до одиниці? [3–9].

2.6.4 Вплив потоку розсіяння на ступінь насичення сталі [3–9].

2.6.5 Характер зміни тягової статичної сили електромагніту від робочого зазору [3–7, 9].

2.6.6 Картина розподілу потоку і падіння магнітного потенціалу вздовж осердя електромагніту [3–9].

2.6.7 Основні закони для розрахунку електромагнітів постійного струму [3–7, 9].

3. Лабораторна робота № 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТУ ЗМІННОГО СТРУМУ

Тривалість лабораторного заняття – 4 години.

3.1 Мета роботи

Експериментальне та теоретичне визначення розподілу магнітного потоку впродовж магнітного кола, а також впливу площі яка охоплюється короткозамкнутим витком, на пульсацію тягової сили електромагніту змінного струму.

3.2 Предмет дослідження

На відміну від магнітних систем постійного струму середнє значення амплітуди магнітного потоку в магнітній системі змінного струму практично не залежить від величини повітряних зазорів і може бути знайдено за формулою:

$$\Phi_{\text{мсер}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\omega \cdot w} = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot w}, \quad (3.1)$$

де U – діюче значення напруги живлення обмотки електромагніту;

f – частота джерела живлення обмотки електромагніту;

w – кількість витків обмотки електромагніту.

Магнітний потік у робочому повітряному зазорі:

$$\Phi_{\text{мд}} = \frac{\Phi_{\text{м.сер}}}{\sigma_{\text{сер}}}, \quad (3.2)$$

де $\sigma_{\text{сер}}$ – коефіцієнт розсіювання відповідний до середнього значення магнітного потоку в магнітопроводі.

Як видно з формул (3.1) та (3.2), амплітудне значення магнітного потоку у робочому зазорі змінюється лише за рахунок змінення коефіцієнту розсіювання при зміні зазору. Отже, в електромагнітах змінного струму амплітудне значення магнітного потоку у робочому зазорі мало залежить від його величини. Пояснюється це тим, що в магнітних системах змінного струму при зміні величини робочого зазору змінюється магніторушійна сила намагнічувальної обмотки. Це відбувається внаслідок того, що електричний опір обмотки визначається практично тільки її індуктивним опором, який залежить від величини робочого повітряного зазору. Таким чином, тягова характеристика електромагнітів змінного значно відрізняється від тягової характеристики електромагнітів постійного струму.

В однофазних магнітних системах змінного струму магнітний потік, змінюючись по синусоїдальному закону, двічі за період проходить через нульове значення. Тягова ж сила також змінюється по синусоїдальному закону, але має дві складові – постійну та змінну і яка змінюється від нуля до максимальної величини. Очевидно, що будуть існувати проміжки часу, коли тягова сила буде менше ніж протидіюча сила. В ці проміжки якір під дією протидіючих сил буде відпадати від осердя, а при зростанні сили - притягуватися. Виникає явище вібрації якоря, яке негативним чином впливає на роботоздатність і характеристики електромагнітів змінного струму.

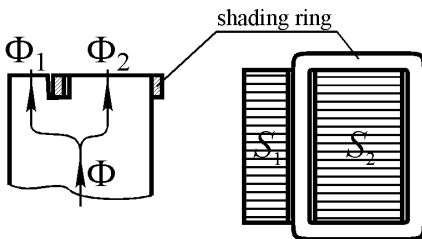


Рисунок 3.1 – Поліус електромагніту змінного струму з короткозамкненим витком (shading ring)

Щоб уникнути цього явища в однофазних електромагнітах змінного струму застосовують різні заходи - наприклад, збільшення маси рухомих частин електромагніту, збільшення сил тертя в осях обертання та ін. Одним з ефективних методів, що дозволяють уникнути вібрації якоря – це використання короткозамкнутих витків (shading ring), які охоплюють частину поверхні полюсу робочого зазору електромагніта, рис. 3.1.

У цьому випадку магнітний потік Φ розбивається на два потоки: Φ_1 , який проходить крізь площу S_1 і Φ_2 , який проходить крізь площу S_2 .

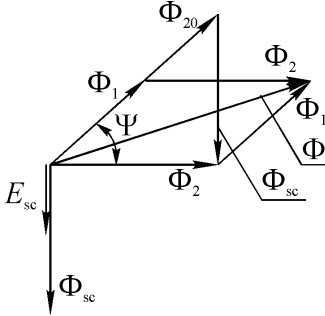


Рисунок 3.2 – Векторна діаграма магнітних потоків

В короткозамкнутому витку під дією змінного потоку Φ_{20} , який створюється обмоткою електромагніту, виникає ЕРС $E_{кз}$, під дією якої в ньому буде протікати струм, який створює магнітний потік $\Phi_{кз}$. Результуючий потік Φ_2 , який складається з геометричної суми потоків Φ_{20} , і $\Phi_{кз}$ буде здвигнутий відносно Φ_1 на кут Ψ , рис. 3.2. Тягові сили, що утворюються магнітними потоками Φ_1 і Φ_2 , будуть зсунуті відносно одна одній на кут 2Ψ , в результаті чого пульсація результуючої

сили буде зменшена. Її практично не буде, якщо виконуються умови:

$$\frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{\Phi_2}{S_2} \quad \text{і} \quad \Psi = 90^\circ .$$

Останню умову за допомогою короткозамкнутих витків забезпечити практично неможливо (на практиці звичайно кут дорівнює $50\dots 60^\circ$) і результуюча тягова сила при наявності короткозамкнутого витка буде носити пульсуючий характер, але вібрації якоря можна уникнути, якщо в будь-який момент часу тягова сила буде перевищувати протидіючу силу. Для цього потрібно, щоб при притягнутому якорі мінімальна результуюча тягова сила була більше протидіючої сили.

3.3. Опис експериментальної установки

Експериментальна установка, рис.3.3, виготовлена на базі реле максимальної напруги змінного струму типу РЭ-2-100. Основні вузли реле: магнітопровід 7, набраний з окремих ізольованих один від одного пластин, щоб зменшити втрати від вихрових струмів, обмотка електромагніту 1, яка утворює основний магнітний потік з необхідною МРС; якір 4; короткозамкнутий виток 2. Необхідна величина робочого повітряного зазору встановлюється за допомогою немагнітних прокладок, чи гвинтом з немагнітного матеріалу 3. В різних перерізах по довжині магнітопроводу намотані вимірювальні котушки 8–15 з кількістю витків 20, призначені для визначення розподілу магнітних потоків впродовж магнітопроводу. За допомогою вимірювальних котушок 9' і 10',

кількість витків яких також дорівнює 20, вимірюються магнітні потоки Φ_9' і Φ_{10}' які проходять, відповідно, через площу, не охоплену і охоплену короткозамкнутим витком. Кінці вимірювальних котушок виведені до перемикача S1. Реле підключається до мережі автоматом SF через автотрансформатор Т. Напряг на котушці електромагніту вимірюється вольтметром PV, а струм в ній – амперметром PA7.

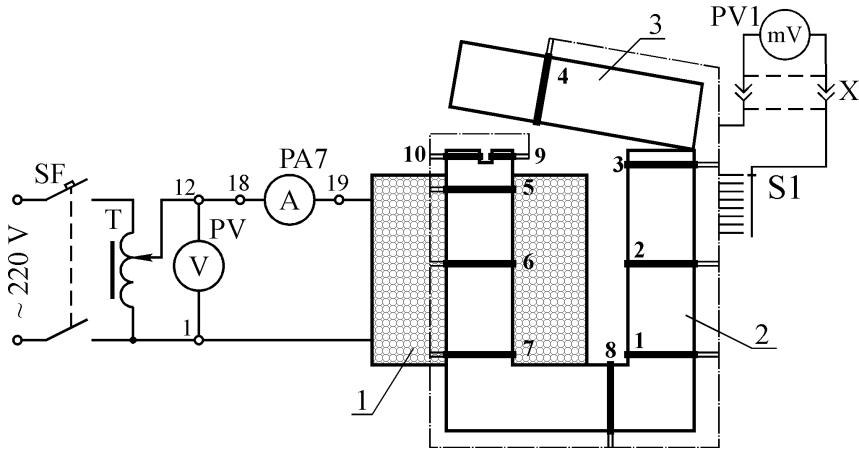


Рисунок 3.3 – Ескіз лабораторної установки та електрична схема з'єднань.

3.4 Завдання

3.4.1 Визначити магнітні потоки в місцях розташування вимірювальних котушок при різних значеннях робочого повітряного зазору і побудувати графік розподілу магнітного потоку впродовж обмотки електромагніту.

3.4.2 Експериментально одержати залежність струму в котушці електромагніта від величини робочого повітряного зазору і побудувати відповідний графік.

3.4.3 Визначити вплив площі, охопленої к.з. витком, на мінімальну тягову силу електромагніту і побудувати графік $F_{\min} = f(S_2)$.

3.5 Методичні вказівки

3.5.1 Підключити установку до джерела живлення, а також до вимірювальних приладів, з'єднавши клеми 1-1, 12-12, 18-18, 19-19 за допомогою коротких провідників.

3.5.2 За допомогою немагнітних прокладок встановити визначений робочий повітряний зазор.

3.5.3 Увімкнути автомат SF; за допомогою амперметра PA7 виміряти струм у котушці і по черговим підключенням вимірювальних котушок за допомогою перемикача S1 по приладу PV виміряти напруги на вимірювальних котушках. Одержані дані занести до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Розподіл потоків впродовж магнітопровода.

Зазор, мм	Струм у котушці, А		Номери вимірювальних котушок									
			1	2	3	4	5	6	7	8		
0		U _{кi} , В										
		Φ _i , Вб										
2		U _{кi} , В										
		Φ _i , Вб										
4		U _{кi} , В										
		Φ _i , Вб										
5		U _{кi} , В										
		Φ _i , Вб										

3.5.4 Магнітні потоки у відповідних перерізах магнітопровода реле визначити по формулі

$$\Phi_i = \frac{U_i}{4,44 \cdot f \cdot w}, \quad (3.3)$$

де U_i – напруга на відповідній вимірювальній котушці, В;

w – кількість витків вимірювальних котушок, яке дорівнює 20;

f – частота змінного струму, яка дорівнює 50 Гц;

дані розрахунку також занести до таблиці 3.1.

3.5.5 Вимкнути автомат SF.

3.5.6 Встановити новий зазор і повторити операції, починаючи з пункту 5.3

3.5.7 Для виконання пункту 4.3 завдання необхідно:

а) встановити короткозамкнутий виток так, щоб він охоплював більшу площу ($S_2 = 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$);

б) увімкнути автомат SF і при повністю притягнутому якорі виміряти напругу на котушках 9' і 10' (див. рис.3.3); дані вимірів занести до таблиці 3.2;

в) вимкнути автомат SF, дати охолонути короткозамкненому витку;

г) встановити короткозамкнутий виток так, щоб він охоплював меншу площу ($S_2 = 0,88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$) і повторити пункт б);

3.5.8 Вимкнути автомат SF і відключити установку.

3.5.9 Розрахувати $F_{\text{мін}}$ для відповідного положення короткозамкнутого витка. Для цього необхідно:

а) по формулі (3.3) визначити потоки Φ_9' і Φ_{10}' ;

б) значення α , c та $\cos\psi$ визначити за такими формулами:

$$\alpha = \frac{S_1}{S_2}; \quad c = \frac{\Phi_1}{\Phi_2}; \quad \cos\Psi = \frac{\alpha}{c};$$

в) визначити кут 2ψ і $\cos 2\psi$ (його значення може бути від'ємним).

г) F_1 і F_2 підрахувати за формулами:

$$F_1 = \frac{\Phi_9^2}{4\mu_0 S_1}; \quad F_2 = \frac{\Phi_{10}^2}{4\mu_0 S_2};$$

якщо к.з. виток охоплює більшу площу ($S_2 = 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$) і

$$F_1 = \frac{\Phi_{10}^2}{4\mu_0 S_1}; \quad F_2 = \frac{\Phi_9^2}{4\mu_0 S_2};$$

якщо к.з. виток охоплює меншу площу ($S_2 = 0,88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$);

д) мінімальне значення електромагнітного зусилля визначити за такою формулою:

$$F_{\text{мін}} = F_1 + F_2 - \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos 2\Psi},$$

і дані занести до табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Дослідні та розрахункові дані до визначення $F_{\text{мін}}$.

$S_1,$ м^2	$S_2,$ м^2	$U_9,$ В	$U_{10},$ В	$\Phi_9,$ Вб	$\Phi_{10},$ Вб	α	c	$\cos 2\psi$	$F_1,$ Н	$F_2,$ Н	$F_{\text{мін}}$,Н
------------------------	------------------------	-------------	----------------	-----------------	--------------------	----------	-----	--------------	-------------	-------------	------------------------

3.5.10 По даним таблиці 3.2 побудувати залежність $F_{\text{мін}} = f(S_2)$, взявши до уваги, що при $S_2 = 0$ (к.з. виток відсутній), а також при $S_2 = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ (к.з. виток охоплює весь полюс) $F_{\text{мін}} = 0$.

3.5.11 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

а) найменування та мету роботи;

б) ескіз лабораторної установки і електрична схема з'єднань;

в) таблиці 3.1 і 3.2 і побудовані за цими даними залежності $F_{\text{мін}}(S_2)$, розподілу магнітних потоків по висоті обмотки електромагніта і величини струму від робочого повітряного зазору;

г) висновки по роботі.

3.6 Контрольні питання

3.6.1 Як змінюється магніторушійна сила обмоток і потік при зміні повітряного зазору в електромагнітах змінного струму? [3–6, 8, 9].

3.6.2 Складові струму в обмотці електромагніта змінного струму, його залежність від розміру повітряного зазору [3–6, 8, 9].

3.6.3 Способи зменшення пульсації тягової сили і усунення вібрації якоря в електромагнітах змінного струму [3–6, 8, 9].

3.6.4 Векторна діаграма потоків в електромагніті змінного струму з короткозамкнутим витком [3–6, 8, 9].

3.6.5 Показати графік зміни тягової сили електромагніта змінного струму в функції часу [3–6, 8, 9].

3.6.6 Яку частину полюса електромагніта змінного струму повинен охоплювати короткозамкнутий виток? [3–6, 8, 9].

4. Лабораторна робота № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СПРАЦЬОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТА

Тривалість лабораторного заняття – 4 години.

4.1 Мета роботи

Ознайомитись з принципами впливу на час спрацьовування електромагнітів, а також практичними методами здійснення регулювання витримки часу електромагнітного реле часу.

4.2 Предмет дослідження

Час спрацьовування електромагніту як при включенні, так і при виключенні складається з двох складових :

$$t_{\text{спр}} = t_{\text{зр}} + t_{\text{р}},$$

де $t_{\text{зр}}$ – час зрушення, який являє собою час з моменту подачі сигналу на спрацьовування електромагніту до начала руху його рухомих частин;

$t_{\text{р}}$ – час руху.

Уповільнення спрацьовування електромагніту як при його вмиканні, так і при вимиканні від мережі здійснюється збільшенням чи $t_{\text{зр}}$, чи $t_{\text{р}}$. Збільшення $t_{\text{зр}}$ може досягатися за допомогою магнітного або механічного демпфування.

Магнітним демпфуванням називаються явище впливу на швидкість зміни основного магнітного потоку в магнітопроводі електромагніту при його вмиканні чи при вимиканні. Магнітне демпфування виникає внаслідок утворення вихрових струмів в елементах електромагніту. Магнітні потоки вихрових струмів завжди так спрямовані по відношенню до основного магнітного потоку, щоб підтримати колишній стан магнітної системи. При вмиканні вони зменшують швидкість зростання потоку в магнітопроводі, а при вимиканні – зменшують швидкість спадання потоку.

Ефективність магнітного демпфування тим більше, чим більша абсолютна величина основного потоку. Тому воно забезпечує помітне сповільнення при вимиканні електромагніту, коли індуктивність магнітної системи максимальна. При притягненні якоря, внаслідок великих зазорів, індуктивність системи значно менше і такий метод менш ефективний. Для підсилення магнітного демпфування електромагніти, що призначені для одержання витримки часу, доповнюються спеціальними короткозамкнутими котушками, які охоплюють магнітопровід. Короткозамкнута котушка, яка називається демпфуючою, виконується у вигляді масивної гільзи (мідної чи алюмінієвої) чи окремих коротких втулок, які насаджуються на магнітопровід. Наявність масивних гільз чи втулок збільшує вихрові струми, а також, їх магнітні потоки. Найбільший ефект при найменшій витраті матеріалу досягається при довжині гільзи, що дорівнює довжині осердя.

Використання коротких втулок дозволяє одержати різні витримки часу при вмиканні електромагніту в залежності від їх місця розташування на осерді. При розміщенні демпфуючих втулок біля торців осердя (поблизу робочого повітряного зазору) витримка часу при вмиканні буде більшою, ніж при їх розміщенні у основи осердя. Це пояснюється тим, що в першому випадку у початкові моменти часу після вмикання електромагніта втулки будуть охоплюватися практично повним магнітним потоком і в них будуть наводитись значні вихрові струми. У другому випадку на початку після вмикання магнітний потік буде замикатися через якір по повітрю від корпусу до осердя, минаючи втулку, вихрові струми і витримки часу будуть малі. При вимиканні електромагніта місцезнаходження втулок не має великого значення, бо як і в першому так і в другому випадках втулки охоплюються однаковими магнітними потоками.

4.3 Опис лабораторної установки

Об'єктом дослідження в лабораторній роботі є магнітна система реле часу типу РЭВ-800. Електрична схема дослідження показана на рис. 4.1.

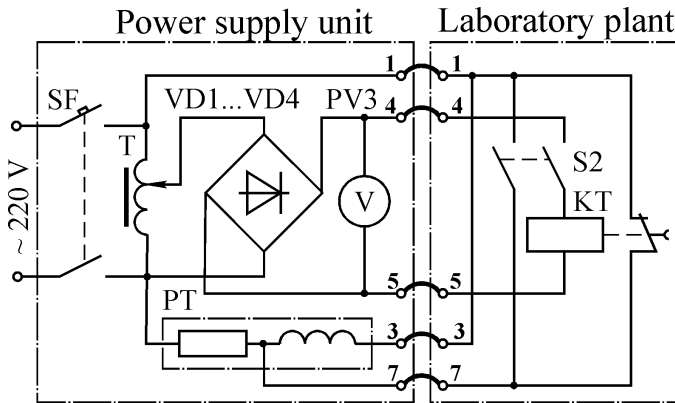


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема дослідження.

У початковому положенні котушка електросекундоміра РТ захищена контактом розмикання реле, що випробується. Це необхідно для того, щоб він не працював. При вмиканні тумблера S2 перша пара його контактів підключає котушку реле до джерела постійного струму. Друга пара контактів тумблера S2 шунтує котушку електросекундоміра. При вимиканні тумблера S2 вимикається котушка реле, що випробується, і запускається електросекундомір.

4.4 Завдання

4.4.1 Вивчити конструкцію і способи створення витримки часу, що використовуються в реле часу РЭВ-800 [4].

4.4.2 Експериментально визначити залежність витримки часу реле від натягу зворотної пружини, величини робочого повітряного зазору і напруги на котушці.

4.4.3 Побудувати графіки одержаних залежностей і пояснити їх характер.

4.4.4 Зробити висновки по роботі.

4.5 Методичні вказівки

4.5.1 Для виконання експериментальної частини роботи потрібно

здійснити електричні з'єднання у відповідності до рис. 4.1, встановивши короткі перемички 1-1, 3-3, 4-4, 6-6, 7-7 між блоком живлення та лабораторною установкою.

4.5.2 Для виконання п. 4.5.2 завдання необхідно:

а) встановити заданий натяг зворотної пружини реле, який регулюється ступенево за допомогою фігурних пластин товщиною 1,5 мм; вони закладаються поміж фігурної гайки і шайби; натяг пружини вимірюється кількістю встановлених пластин п;

б) встановити задану величину робочого повітряного зазору, яка регулюється за допомогою немагнітних (латунних чи мідних) прокладок товщиною 0,1; 0,2; 0,4 і 0,6 мм, що закладаються у карман, закріплений на якорі електромагніту;

в) увімкнути автоматичний вимикач SF, при цьому повинна загорітися лампочка HL;

г) увімкнути S2 і за допомогою автотрансформатора Т, збільшуючи напругу, домогтися спрацьовування реле, а потім встановити задану напругу живлення;

д) встановити стрілку електросекундоміра на нуль;

е) вимкнути S2 і зняти показання електросекундоміра;

ж) вимкнути автомат SF;

з) виконуючи послідовно пункти а-ж, зняти залежності у відповідності до п. 4.2 завдання, заносючи показання електросекундоміра до таблиць 4.1, 4.2, 4.3.

Таблиця 4.1 – Експериментальні дані залежності часу спрацьовування реле від натягу зворотної пружини.

$\delta = \underline{\hspace{1cm}}$ мм; $U = \underline{\hspace{1cm}}$ В (задаються викладачем).

Натяг пружини, п	0	1	2	3	4	5
$t_{\text{спр}}, \text{с}$						

Таблиця 4.2 – Експериментальні дані залежності часу спрацьовування реле від величини робочого повітряного зазору.

$n = \underline{\hspace{1cm}}$; $U = \underline{\hspace{1cm}}$ В (задаються викладачем).

$\delta, \text{мм}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$t_{\text{спр}}, \text{с}$						

Таблиця 4.3 - Експериментальні дані залежності часу спрацьовування реле від величини напруги живлення.

$n = \underline{\hspace{2cm}}$; $\delta = \underline{\hspace{2cm}}$ мм (задаються викладачем).

$U, \text{В}$	50	80	120	150	200	220
$t_{\text{спр}}, \text{с}$						

4.5.3 Після зняття всіх необхідних залежностей вимкнути автомат SF і встановити автотрансформатор Т у нульове положення.

4.5.4 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

- а) найменування та мета роботи;
- б) електрична схема дослідження;
- в) таблиці з експериментальними даними та побудовані по ним залежності;
- г) висновки по роботі.

4.6 Контрольні питання

4.6.1 Суттєвість принципу магнітного демпфування [3, 4, 6–9].

4.6.2 Способи впливу на час зрушення електромагніту [3, 4, 6–9].

4.6.3 Способи впливу на час руху електромагніту [3, 4, 6–9].

4.6.4 Схемні методи зміни часу спрацьовування електромагніту [3, 4, 6–9].

4.6.5 Вплив місця розташування гільзи на магнітопроводі на час спрацьовування при вмиканні і вимиканні електромагніту [3, 4, 6–9].

4.6.6 Вплив властивостей матеріалу магнітопроводу на час спрацьовування електромагніту [3, 4, 6–9].

4.6.7 Чому дорівнює час зрушення якоря електромагніту, якщо коефіцієнт запасу дорівнює 1? [3, 4, 6–9].

5. Лабораторна робота №12 ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМНИХ МЕТОДІВ УПОВІЛЬНЕННЯ СПРАЦЬОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ

Тривалість лабораторного заняття - 4 години.

5.1 Мета роботи

Вивчити та експериментально дослідити схеми, що дозволяють уповільнити спрацьовування електромагнітів при вмиканні і вимиканні.

5.2 Предмет дослідження

Схемні методи прискорення або уповільнення спрацьовування електромагнітів використовують у тих випадках, коли конструктивним способом неможливо надати потрібного часу спрацьовування електромагніту або конструктивні способи у даному випадку недоцільні.

Для прискорення (тобто зменшення часу) спрацьовування електромагнітів при вмиканні використовуються схеми надані на рис. 5.1

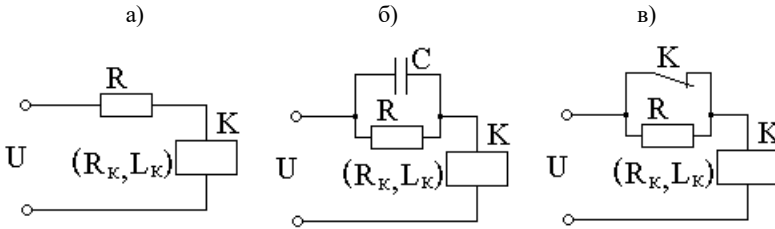


Рисунок 5.1 – Схеми для прискорення спрацьовування електромагнітів при вмиканні.

В схемі, що надана на рис. 5.1а прискорення спрацьовування електромагніту відбувається за рахунок зменшення часу зрушення, яке в свою чергу відбувається за рахунок зменшення електромагнітної постійної часу

$$T = \frac{L_k}{R_k + R},$$

однак при цьому необхідно, щоб стало значення струму в обмотці або падіння напруги на ній було постійним, тобто

$$I_{ст} = \frac{U}{R_k + R} = const, \text{ або } U_k = const.$$

В схемі, що надана на рис. 5.1б прискорення спрацьовування здійснюється таким чином. Незаряджена у початковий момент часу ємність C , яка шунтує додатковий опір R , утворює додатковий шлях струму. За рахунок заряду ємності C струм в обмотці електромагніту зростає швидше.

В схемі рис. 5.1в додатковий опір шунтується контактом розмикавання K , при цьому стало значення струму в обмотці зменшується.

Недостатком використання наданих вище схемних методів прискорення спрацьовування електромагнітів є додаткові втрати потужності у додатковому резисторі.

Для уповільнення спрацьовування електромагнітів при вмиканні можна використати схему, що надана на рис. 5.1а, однак напруга U при цьому постійна, що означає те ж саме, що й включення обмотки на знижену напругу.

Для уповільнення спрацьовування електромагнітів при вимиканні використовують схеми надані на рис. 5.2.

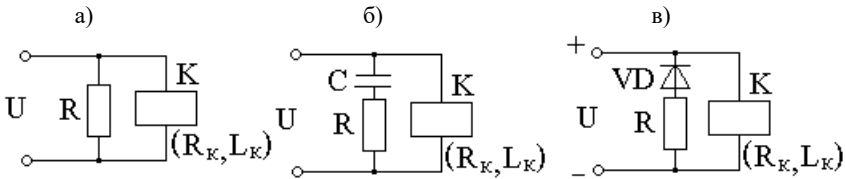


Рисунок 5.2 – Схеми для уповільнення спрацьовування електромагнітів при вимиканні.

В схемі рис. 5.2а паралельно з обмоткою електромагніта підключено резистор R , який при вимиканні живлення утворює з обмоткою замкнутий контур з постійною часу

$$T = \frac{L_k}{R_k + R}$$

В схемі рис. 5.2б послідовно з резистором R включено напівпровідниковий діод VD . Це зроблено з метою усунення втрат потужності у резисторі R при тривалій роботі електромагніта.

В схемі рис 5.2в паралельно з обмоткою включається R - C ланцюжок. При вимиканні кола конденсатор C розряджається через обмотку електромагніта і уповільнює спадання струму в ній.

5.3 Опис експериментальної установки

Схема лабораторної установки в якості досліджуваного електромагніту використовується проміжне реле типу РПУ-0. Живлення на обмотку реле подається через мілісекундомір РТ (типу Ф-209), який фіксує час спрацьовування реле при вмиканні та вимиканні. Перемикачем S_1 в схему підключається та чи інша ємність (0; 2; 4; 10; 20; 30 мкФ), перемикачем S_2 обирається опір (100; 300; 510; 1000; 1500; 2700 Ом або ∞). Перемикачем S_3 опір і ємність можуть включатися або послідовно з обмоткою реле або паралельно. S_4 підключає у коло або резистор R або діод VD .

5.4 Завдання

5.4.1 Визначити залежність часу спрацьовування електромагніту при вмиканні від величини R (схема рис. 5.1а) та побудувати її графік.

5.4.2 Визначити залежність часу спрацьовування електромагніту при вмиканні від величини C при $R = \text{const}$ (схема рис. 5.1б) та побудувати її графік.

5.4.3 Визначити залежність часу спрацьовування електромагніту при вимиканні від величини C (схема рис. 5.2б) та побудувати її графік.

5.4.4 Визначити залежність часу спрацьовування електромагніту при вимиканні від величини C (схема рис. 5.2в) та побудувати її графік.

5.4.5 Зробити висновки з роботи.

5.5 Методичні вказівки

5.5.1 Підключити мілісекундомір РТ до мережі 220 В, а також до схеми за допомогою роз'ємного з'єднувача Х.

5.5.2 Увімкнути РТ і дати йому прогрітись впродовж 10 хв.

5.5.3 З'єднати лабораторну панель з блоком живлення за допомогою перемичок 0-0, 4-4, 5-5, 27-27, 28-28.

5.5.4 Увімкнути автомат SF і за допомогою автотрансформатора Т встановити 150 В (за показаннями приладу PV1).

5.5.5 Встановити мілісекундомір РТ в режим 1, тумблер РТ повинен бути у вихідному стані.

5.5.6 Встановити перемикач S1 у положення 0, S3 – у положення "Послед".

5.5.7 Перемикачем S2 встановити потрібне значення R, тумблер РТ встановити у положення "Пуск", автотрансформатором Т встановити на обмотці напругу 28 В (за показаннями приладу PV9).

5.5.8 Повернути тумблер РТ у вихідне положення, натиснути на кнопку "Сброс", тумблер РТ встановити у положення "Пуск", показання РТ занести до таблиці 5.1 (п. 5.5.8 виконати 5 раз).

5.5.9 Виконати пункти 5.5.7 та 5.5.8 для всіх значень R відповідно до таблиці 5.1.

5.5.10 Перемикачем S2 встановити $R = 510 \text{ Ом}$.

5.5.11 Перемикачем S1 встановити потрібне значення C, тумблер РТ встановити у положення "Пуск", автотрансформатором Т встановити на обмотці напругу 28 В (за показаннями приладу PV9).

5.5.12 Повернути тумблер РТ у вихідне положення, натиснути на кнопку "Сброс", тумблер РТ встановити у положення "Пуск", показання РТ занести до таблиці 5.2 (п. 5.5.12 виконати 5 раз).

5.5.13 Виконати пункти 5.5.11 та 5.5.12 для всіх значень C відповідно до таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Час спрацьовування електромагніту, мс.

R, Ом	0	100	510	1000	2700
Дослід 1					
Дослід 2					
Дослід 3					
Дослід 4					
Дослід 5					
Середнє					

Таблиця 5.2 – Час спрацьовування електромагніту, мс.

C, мкФ	0	2	4	10	20	30
Дослід 1						
Дослід 2						
Дослід 3						
Дослід 4						
Дослід 5						
Середнє						

5.5.14 Встановити перемикач S3 у положення "Паралл."; перемикач S4 "VD"; мілісекундомір РТ – у режим 3; $C = 0$.

5.5.15 Перемикачем S2 встановити потрібне значення R, тумблер РТ встановити у положення "Пуск", автотрансформатором Т встановити на обмотці напругу 28 В (за показаннями приладу PV9).

5.5.16 Повернути тумблер РТ у вихідне положення, натиснути на кнопку "Сброс", тумблер РТ встановити у положення "Пуск", показання РТ занести до таблиці 5.3 (п. 5.5.16 виконати 5 раз).

5.5.17 Виконати пункти 5.5.15 та 5.5.16 для всіх значень R відповідно до таблиці 5.3.

5.5.18 Перемикач S2 встановити у положення ∞ ; S4 - "R_ш".

5.5.19 Перемикачем S1 встановити потрібне значення C, тумблер РТ встановити у положення "Пуск", автотрансформатором Т встановити на обмотці напругу 28 В (за показаннями приладу PV9).

5.5.20 Повернути тумблер РТ у вихідне положення, натиснути на кнопку "Сброс", тумблер РТ встановити у положення "Пуск", показання РТ занести до таблиці 5.4 (п. 5.5.20 виконати 5 раз).

5.5.21 Виконати пункти 5.5.19 та 5.5.20 для всіх значень C відповідно до таблиці 5.4.

Таблиця 5.3 – Час спрацьовування електромагніту, мс.

R , Ом	0	100	510	1000	2700
Дослід 1					
Дослід 2					
Дослід 3					
Дослід 4					
Дослід 5					
Середнє					

Таблиця 5.4 – Час спрацьовування електромагніту, мс.

C , мкФ	0	2	4	10	20	30
Дослід 1						
Дослід 2						
Дослід 3						
Дослід 4						
Дослід 5						
Середнє						

5.5.22 Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- а) найменування та мету роботи;
- б) завдання ;
- в) принципові схеми випробувань;
- г) графіки експериментальних залежностей;
- д) аналіз залежностей та висновки з роботи.

5.6 Контрольні питання

5.6.1 В яких випадках використовують схемні методи прискорення або уповільнення спрацьовування електромагнітів? [3–7, 9].

5.6.2 В чому полягає сутність схемних методів прискорення та уповільнення спрацьовування електромагніту? [3–7, 9].

5.6.3 Які складові часу спрацьовування змінюються за рахунок схемних методів? [3–7, 9].

5.6.4 За рахунок чого змінюється час спрацьовування в схемах, наданих на рис. 5.1 та 5.2? [3–7, 9].

5.6.5 Яку схему необхідно використовувати для збільшення (зменшення) часу спрацьовування при вмиканні (вимиканні)? [3–7, 9].

5.6.6 Переваги та недоліки схемних методів прискорення та уповільнення спрацьовування електромагнітів [3–7, 9].

ЛІТЕРАТУРА

1. Козлов В.Д. Электричні апарати. Загальні питання електричних апаратів: Посібник [Електронний ресурс] – К.: НАУ, 2005. – 92 с.
2. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов [Електронний ресурс] / Под ред. П.А. Курбатова – СПб.: Лань, 2015. – 590 с.
3. Теория электрических аппаратов/ Г.Н Александров, В.В. Борисов, Г.С. Каплан и др.; п/ред. проф. Г.Н. Александрова. 2-е изд., перераб и доп. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 540 с.
4. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов/ Под ред. И.С. Таева. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.
5. Буткевич Г.В. Задачник по электрическим аппаратам: Учеб. пособие для вузов по спец. «Электрические аппараты» / Г.В. Буткевич, В.Г. Дегтярь, А.Г. Сливинская. 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Высшая школа, 1987. – 232 с.
6. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты / А.Г. Сливинская – М.: Энергия, 1972. – 248 с.
7. Гордон А.В. Электромагниты постоянного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская – М.-Л.: ГЭИ, 1969. – 370 с.
8. Гордон А.В. Электромагниты переменного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская – М.: Энергия, 1968. – 138 с.
9. Herbert C. Roters, Electromagnetic Devices [Електронний ресурс], John Wiley & Sons, Inc., 1941. – 568 p.
10. Boldea, I. Linear electric actuators and generators [Електронний ресурс] / Edited by I. Boldea and Sayed A. Nasar, Cambridge University Press, 1997 – 247 p.
11. Furlani, Edward P., Permanent Magnet and Electromechanical Devices: Materials, Analysis, and Applications [Електронний ресурс] / Academic Press, 2001 – 537 p.
12. Конспект лекцій з дисципліни «Основи теорії електричних апаратів https://moodle.zp.edu.ua/pluginfile.php/39791/mod_resource/content/5/%D0%9E%D0%A2%D0%95%D0%90-%D0%BA%28%D1%8D%D0%BC%D1%81%29.pdf