

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра електротехніки і електромеханіки  
імені професора В.В. Овчарова

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ, ЧАСТИНА 3

РОБОЧИЙ ЗОШИТ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ  
для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
денної форми навчання

Мелітополь – 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра електротехніки і електромеханіки  
імені професора В.В. Овчарова

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ, ЧАСТИНА 3

РОБОЧИЙ ЗОШИТ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ  
для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
денної форми навчання

Мелітополь – 2019

УДК 621. 3.01 (075)

**Теоретичні основи електротехніки, частина 3.** Робочий зошит до лабораторних занять для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання. /І.О. Попова. – Мелітополь : ТДАТУ, 2019. – 139 с.

**Розробник:** к.т.н., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки  
Попова І.О.

**Рецензент:** старший викладач кафедри «Електроенергетика і автоматизація», кандидат технічних наук О.І. Лобода.

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електромеханіки

Протокол № 1 від 27. 08 2019 р.

Затверджено методичною комісією енергетики і комп'ютерних технологій

Протокол № 2 від 23.10. 2019 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
<b>Лабораторна робота 1.</b>	
Дослідження динамічного і статичного опору елементів нелінійних кіл постійного струму .....	9
<b>Лабораторна робота 2.</b>	
Дослідження нелінійних кіл постійного струму.....	15
<b>Лабораторна робота № 3.</b>	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 1. Дослідження нерозгалужених магнітних кіл при постійних магнітних потоках.....	26
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 2. Дослідження розгалужених магнітних кіл при постійних магнітних потоках.....	45
<b>Лабораторна робота 4.</b>	
Дослідження втрат активної потужності котушки з феромагнітним осердям.....	49
<b>Лабораторна робота 5.</b>	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 1. Дослідження індуктивної котушки з феромагнітним осердям.....	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 2. Ферорезонанс напруги..	61
<b>Лабораторна робота 6.</b>	
Дослідження трансформатора з феромагнітним осердям.....	79
<b>Лабораторна робота 7.</b>	
Дослідження перехідних процесів в котушці у лінійних колах з постійною ЕРС.....	89
<b>Лабораторна робота 8.</b>	
Дослідження перехідних процесів зарядження і розрядження конденсатора через резистор в лінійних колах з постійною ЕРС.....	100

### **Лабораторна робота 9.**

Дослідження перехідних процесів у лінійному електричному колі з послідовно з'єднаними котушкою і конденсатором..... 111

### **Лабораторна робота 10.**

Дослідження перехідних процесів в нерозгалуженому колі з котушкою при підключенні її до джерела синусоїдної напруги..... 122

### **Лабораторна робота 11.**

Дослідження перехідних процесів зарядження і розрядження конденсатора через резистор в лінійних колах з синусоїдною ЕРС.... 130

Критерії оцінювання лабораторних робіт..... 137

Список рекомендованої літератури..... 139

## ВСТУП

Лабораторні заняття з дисципліни ТОЕ, ч.3, які проводяться в спеціалізованих лабораторіях кафедри електротехніки і електромеханіки в аудиторіях 1.211, 1.212, є одним з основних видів навчальних занять студентів при її вивченні. Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки» є базовою у підготовці фахівців за напрямом підготовки 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі».

Метою лабораторних занять з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» є навчання студентів методам розрахунку електромагнітних процесів і відповідних перетворень енергії, засвоєння основних понять та законів, пов'язаних з практичним використанням електричних та магнітних явищ, оволодіння методами аналізу електричних кіл постійного та змінного струмів

В результаті підготовки до лабораторних занять і виконання експериментальних лабораторних досліджень з вказаної дисципліни студент повинен знати: суть фізичних явищ електротехніки; основні закони електротехніки; математичні записи законів електротехніки; одиниці електричних та магнітних величин і співвідношення між цими величинами; сутність фізичних процесів, які відбуваються в електричних і магнітних колах постійного і змінного струмів; методи аналізу електричних кіл; умовні графічні позначення в електричних колах; фізичні явища електротехніки, які протікають в електротехнічних пристроях.

Після проведення даних лабораторних занять студент повинен уміти: складати принципову і розрахункову схеми кола або електротехнічного пристрою; вимірювати основні електричні величини; розрахувати лінійні електричні кола.

Внаслідок опанування матеріалу наведених лабораторних занять студент отримує навички застосування фізичних явищ при аналізі фізичних процесів в електричному колі та застосування законів електротехніки при розрахунку електричних кіл, струму, напруги, потужності, електричної енергії.

До початку лабораторного заняття студент дома повинен підготуватись і дати відповіді на навчально-контролюючі завдання інформаційно-репродуктивного і практично-стереотипного характеру контролюючих таблиць.

Наприклад: навчально-контролюючі завдання знаходяться в таблиці 13.1 «Навчально-контролюючі завдання», а вірні відповіді в таблиці 13.1а

«Відповіді». Студент повинен в таблиці 13.а знайти правильну відповідь на завдання або питання, а в таблиці 13.1 у графі «Номер правильної відповіді» поставити номер правильної відповіді з таблиці 13.1а, що відповідає завданню або питанню таблиці 13.1. Для перевірки правильності зроблених студентом відповідей на завдання або питання таблиці 13.1 студент повинен підсумувати номери відповідей непарних питань і номери відповідей парних питань, відняти від суми непарних відповідей суму парних відповідей і отримана різниця повинна дорівнюватися числу (ключу), що вказаний в кінці таблиці 13.1.

Перевірку підготовки студентів до лабораторного заняття здійснює викладач, що його проводить, на початку заняття. Вона полягає у перевірці наявності відповідей на навчально-контролюючі завдання таблиць інформаційно-репродуктивного і практично-стереотипного характеру у робочому зошиті, усному опитуванні згідно контрольних запитань, які наведені в цих таблицях.

Після перевірки готовності студента до заняття студенти приступають до виконання експериментальних досліджень лабораторної роботи згідно порядку виконання роботи, який наведено у методичних вказівках. Лабораторні роботи виконуються бригадами, що складаються з 3...4 студентів. Кожну роботу слід виконувати на певному робочому місці, використовуючи призначені для цієї роботи обладнання та апаратуру. Перед збиранням принципової електричної схеми експериментальної установки необхідно ознайомитись з приладами та апаратурою, їх описом та інструкціями до використання. Збирати, розбирати принципову електричну схему експериментальної установки та вносити в неї будь-які зміни можна тільки з дозволу викладача, який проводить лабораторне заняття, при умові, якщо установка вимкнена. Після збирання принципової електричної схеми експериментальної установки необхідно переконатись в правильному положенні повзунків реостатів та автотрансформаторів. Включати експериментальну установку на робочу напругу необхідно тільки після дозволу викладача, який проводить лабораторне заняття. Експериментальну установку, на яку подано робочу напругу, не можна залишати без нагляду. У випадку виникнення будь-яких несправностей у роботі приладів та апаратури слід знеструмити установку та негайно повідомити викладача, який проводить лабораторне заняття. Студентам забороняється самостійно усувати несправності, що виникли. Після закінчення лабораторної роботи студент повинен знеструмити експериментальну установку, подати отримані результати

викладачу, який проводить лабораторне заняття, і тільки після його дозволу розібрати схему експериментальної установки, а робоче місце необхідно привести у порядок.

Після проведення лабораторної роботи студент здійснює обробку отриманих результатів по алгоритму розрахунку шуканих величин, який він склав до початку заняття, і оформлення звіту за структурою, наведеної у методичних вказівках. Звіт оформлюється індивідуально кожним членом бригади у спеціальному зошиті. Графічні зображення виконуються олівцем за допомогою креслярського приладдя. При побудові графіків масштаби, що відкладаються на осях координат величин, вибираються таким чином, щоб графік розмістився на площі не менш 100x100 мм.

Наприкінці заняття відбувається захист лабораторної роботи кожним студентом у вигляді письмової роботи розрахункового характеру.

Перед початком лабораторних занять студенти зобов'язані вивчити правила техніки безпеки в лабораторії, розписатись в журналі інструктажу та дотримуватись їх під час перебування в лабораторії. Студенти, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

### ***Основні правила з технічної безпеки при виконанні експериментальних досліджень лабораторних робіт з ТОЕ***

1. При виконанні лабораторних робіт з дисципліни ТОЕ необхідно дотримуватись вимог викладених в “Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів” і “Правилах техніки безпеки при експлуатації електроспоживачів”.

2. Лабораторії ТОЕ живляться електроенергією:

а) постійного струму - від джерела з напругою між затискачами "+" і "-" 30 В;

б) змінного струму - від симетричного трифазного джерела з напругами: лінійною - 52 В; фазною - 30 В.

3. При збиранні схеми експериментальної установки додаткові прилади і апарати повинні бути розташовані на лабораторному столі таким чином, щоб робоча схема з'єднань вийшла найбільше простою і наочною, а виконання вимірів і керування апаратами - найбільш зручним. Спостерігати, щоб



з'єднувальні проводи не знаходились на шкалах вимірювальних приладів, обмотках реостатів та іншого електрообладнання, яке використовується у лабораторній роботі. Спостерігати, щоб з'єднувальні проводи не були розтягненими. Встановити номінальні або задані викладачем значення параметрів електрообладнання, яке використовується у лабораторній роботі.

4. Приєднання робочої схеми до мережі без дозволу викладача чи лаборанта категорично забороняється.

5. Огляд, підтяжку контактів, заміну елементів експериментальної установки робити тільки при знятій напрузі, для чого необхідно вимкнути автоматичний вимикач.

6. Після приєднання робочої схеми до мережі забороняється доторкатися до оголених струмоведучих частин.

7. При включенні автоматичних вимикачів особливу увагу слід звернути на показання амперметрів й інших вимірювальних приладів.

8. У випадку різкого руху стрілок приладів до кінця їх шкали, робочу схему необхідно негайно відключити від мережі

9. При проведенні експерименту контролювати, щоб параметри електрообладнання, яке використовується в лабораторній роботі, не перевищували номінальних або заданих викладачем значень.

10. Після будь-якої зміни в робочій схемі, включення її знову під напругу може виконуватися тільки з дозволу викладача або лаборанта.

11. Категорично забороняється залишати без нагляду лабораторну установку, що знаходиться під напругою.

12. Перевірку наявності напруги, підведеної до схеми, дозволяється робити тільки за допомогою відповідних приладів.

13. При виявленні несправного стану устаткування, апаратів, вимірювальних приладів, з'єднувальних провідників необхідно *негайно* відключити схему від мережі і сповістити про це викладачу чи лаборанту.

14. У випадку припинення досліду чи перерви в роботі необхідно обов'язково відключити установку від електричної мережі.

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

**Тема:** Дослідження динамічного і статичного опорів елементів нелінійних кіл постійного струму

**МЕТА:** придбання практичних навичок при визначенні динамічного і статичного опорів елементів нелінійних кіл постійного струму графо-аналітичним методом

### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 13 «Нелінійні кола постійного струму» [1, с.165-166].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 13.1 [4].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 7.1-7.8 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

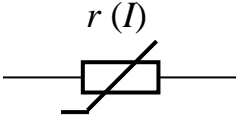
Таблиця 13.1 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Які елементи електричного кола називаються нелінійними?	
2.	Який вид мають вольт-амперні характеристики нелінійних елементів?	
3.	Якими опорами характеризується робоча точка на вольт-амперній характеристиці нелінійного елемента електричного кола постійного струму?	
4.	Запишіть математичне рівняння для визначення динамічного опорів в робочій точці вольт-амперної характеристики нелінійного елемента?	
5.	Запишіть математичне рівняння для визначення статичного опорів в робочій точці вольт-амперної характеристики нелінійного елемента?	
6.	Як зобразити на розрахунковій схемі ділянку кола з нелінійним елементом?	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
7.	Запишіть алгоритм визначення динамічного опору нелінійного резистора графоаналітичним методом, якщо задано таблично його вольт-амперну характеристику й значення сили струму.	
8.	Запишіть алгоритм визначення статичного опору нелінійного резистора графо-аналітичним методом, якщо задано таблично його вольт-амперну характеристику й значення сили струму.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 8$ .

Таблиця 13.1а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби напруги і сили струму;</li> <li>- будуємо вольт-амперну характеристику нелінійного резистора за даними таблиці;</li> <li>- на вольт-амперній характеристиці позначаємо робочу точку при заданому значенні сили струму;</li> <li>- проводимо дотичну в робочій точці до перетинання з віссю абсцис (віссю сили струму);</li> <li>- вимірюємо величину кута між віссю абсцис і дотичною;</li> <li>- визначаємо масштаб опору;</li> <li>- визначаємо величину динамічного опору нелінійного резистора в заданій робочій точці.</li> </ul>
2	$R_{\partial} = \frac{dU}{dI} = m_r \cdot \text{tg} \alpha .$
3	
4	Кривих ліній.

Номер відповіді	Відповіді
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби напруги і сили струму;</li> <li>- будуємо вольт-амперну характеристику нелінійного резистора за даними таблиці;</li> <li>- на вольт-амперній характеристиці позначаємо робочу точку при заданому значенні сили струму;</li> <li>- проводимо дотичну в робочій точці до перетинання з віссю абсцис (віссю сили струму);</li> <li>- вимірюємо величину кута між віссю абсцис і дотичною;</li> <li>- визначаємо масштаб опору;</li> <li>- визначаємо величину динамічного опору нелінійного резистора в заданій робочій точці.</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби напруги і сили струму;</li> <li>- будуємо вольт-амперну характеристику нелінійного резистора за даними таблиці;</li> <li>- на вольт-амперній характеристиці позначаємо робочу точку при заданому значенні сили струму;</li> <li>- проводимо пряму, що з'єднує робочу точку з початком координат;</li> <li>- вимірюємо величину кута між віссю абсцис і цій прямій;</li> <li>- визначаємо масштаб опору;</li> <li>- визначаємо величину статичного опору нелінійного резистора в заданій робочій точці.</li> </ul>
6	Динамічним і статичним опорами.
7	Елементи електричного кола, параметри яких змінюються при зміні сили струму.
8	$R_c = m_r \cdot tg\beta$ .

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка складається з генератора постійного струму  $G$ , регулятора напруги  $R_H$ , лампи розжарювання  $EL$ , резистора  $R$ , вимикачів  $QS_1$ ,  $QS_2$ , амперметра  $PA$ , вольтметра  $PV$ .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 1.1.

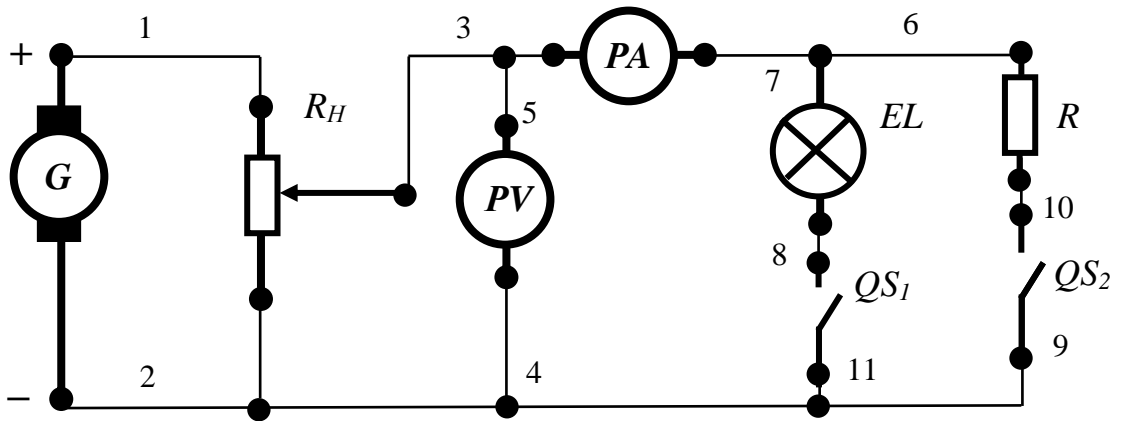


Рисунок 1.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 11 провідників (на схемі позначені номерами 1-11).

### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при включенні вимикачів  $QS_1$  або  $QS_2$  має вигляд, наведений на рисунку 1.2.

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

$E$  – електрорушійна сила генератора,  $B$ ;

$r$  – опір лампи розжарювання (при включенні  $QS_1$ ) або резистора (при включенні  $QS_2$ ),  $Om$ ;

$U_r$  – спадання напруги на опорі лампи розжарювання або резистора,  $B$ ;

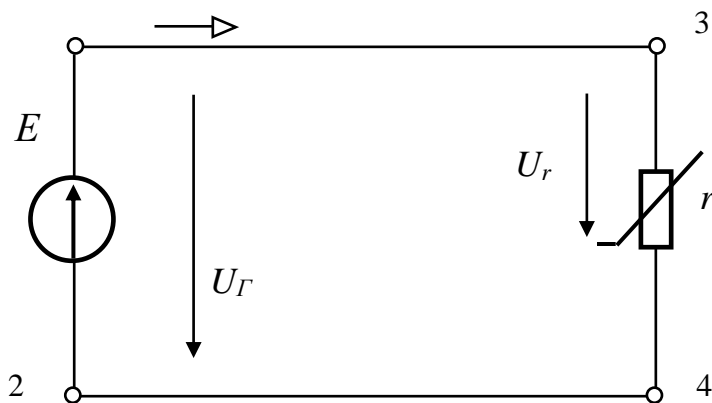


Рисунок 1.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

$U_r$  – напруга на затискачах генератора,  $B$ ;

$I$  – сила струму в колі,  $A$ .

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2 Включити вимикач  $QS_1$  і виключити вимикач  $QS_2$ .
- 3 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 4 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання приладів у колі лампи розжарювання, результати занести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики лампи розжарювання  $U_L(I)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $QS_1$ замкнений, вимикач $QS_2$ розімкнений	$U_L, В$	0								
	$I, А$									

- 5 Виключити вимикач  $QS_1$  і включити вимикач  $QS_2$ .
- 6 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання приладів у колі резистора, результати занести в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики резистора  $U_p(I)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $QS_2$ замкнений, вимикач $QS_1$ розімкнений	$U_p, В$	0								
	$I, А$									

- 7 Побудуйте за результатами експериментальних досліджень таблиці 1.1 вольт-амперну характеристику лампи розжарювання  $U_L(I)$  в обраному масштабі.
- 8 Визначити графо-аналітичним методом:
  - масштаб опору:

$$m_r = \frac{m_U}{m_I}, \quad (1.1)$$

де  $m_U$  – масштаб напруги, В/см;  
 $m_I$  – масштаб струму, А/см;  
– динамічний опір лампи розжарювання  $R_{\partial 1}$  при силі струму  $I_P$ , заданій викладачем;

$$r_{\partial 1} = m_r \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.2)$$

де  $\alpha$  – кут між дотичною в робочій точці і вісью струму, градус.  
– статичний опір лампи розжарювання  $R_{c1}$  при силі струму  $I_P$ , заданій викладачем:

$$r_{c1} = m_r \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (1.3)$$

де  $\beta$  – кут між прямою, що з'єднує нуль з робочою точкою. і вісью струму, градус.

9 Побудуйте за результатами експериментальних досліджень таблиці 1.2 вольт-амперну характеристику резистора  $U_P(I)$  в обраному масштабі.

10 Визначити графо-аналітичним методом масштаб опору, використавши рівняння (1.1) і графіки вольт-амперних характеристик елементів електричного кола.

– динамічний опір резистора  $r_{\partial 2}$  при силі струму  $I_P$  у робочій точці, заданій викладачем;

$$r_{\partial 2} = m_r \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (1.4)$$

– статичний опір лампи розжарювання  $r_{c2}$  при силі струму  $I_P$ , у робочій точці, заданій викладачем.

$$r_{c2} = m_r \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (1.5)$$

11 Занести отримані значення статичного і динамічного опорів лампи розжарювання і резистора в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків опорів

Величини опорів елементів кола					
Лампа розжарювання			Резистор		
$I_P, A$	$r_{\partial 1}, Ом$	$r_{c1}, Ом$	$I_P, A$	$r_{\partial 2}, Ом$	$r_{c2}, Ом$

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

*Тема:* Дослідження нелінійних кіл постійного струму

**МЕТА:** придбання практичних навичок при вивченні вольт-амперних характеристик нелінійного електричного кола при послідовному і паралельному з'єднанні елементів

### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 13 «Нелінійні кола постійного струму [1, с.166-168].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 13.2-13.3 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 7.1-7.9 звіту.

### НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

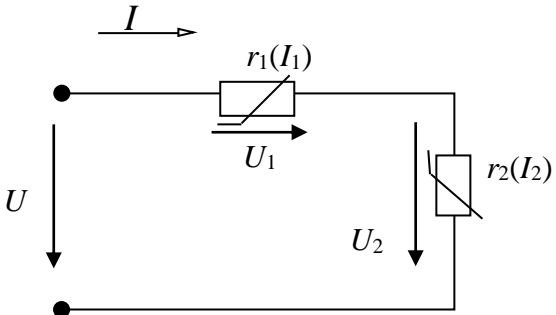
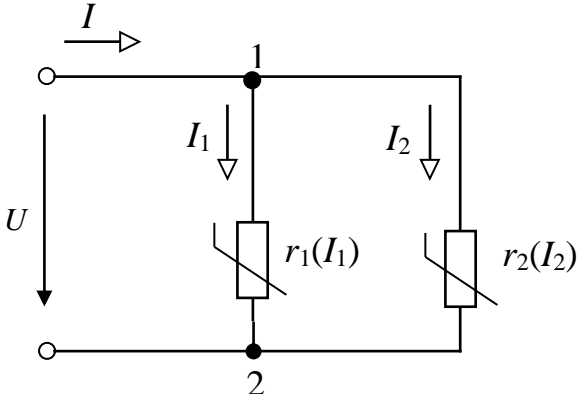
Таблиця 13.2 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Складіть розрахункову схему двох послідовно з'єднаних нелінійних резисторів.	
2.	Запишіть алгоритм розрахунку сили струму в колі й напруг на затискачах послідовно з'єднаних нелінійних резисторах, якщо задані таблично їхні вольт-амперні характеристики й напруги на затискачах кола.	
3.	Складіть розрахункову схему двох паралельно з'єднаних нелінійних резисторів.	
4.	Запишіть алгоритм розрахунку сил струмів у колі при паралельному з'єднанні нелінійних резисторах, якщо задані таблично їхні вольт-амперні характеристики й напруги на затискачах кола.	

У разі вірного виконання завдання  $\sum_{\text{непарних}} - \sum_{\text{парних}} = -2$ .

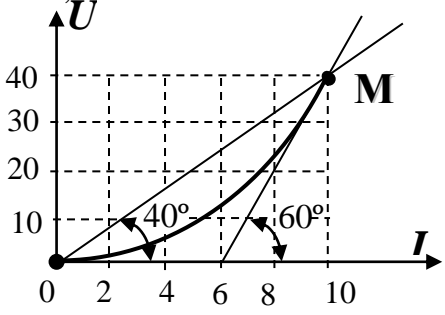


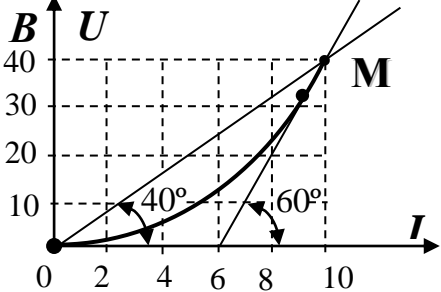
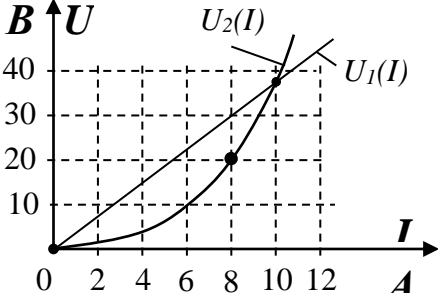
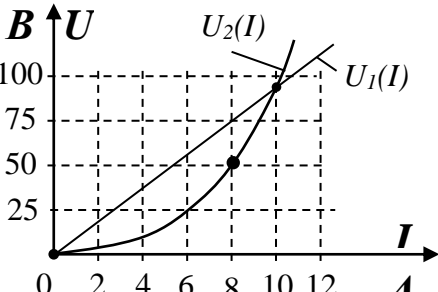
Таблиця 13.2а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

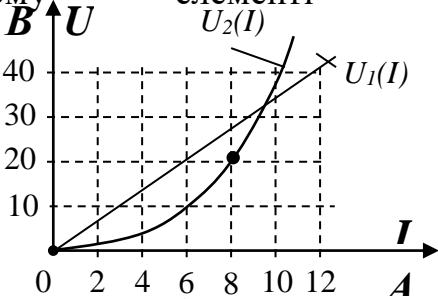
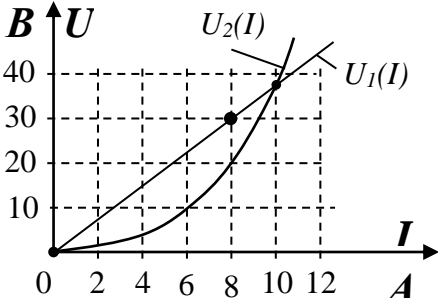
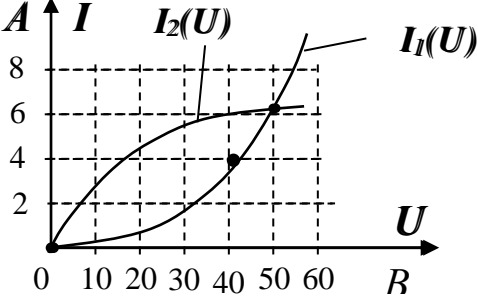
Номер відповіді	Відповіді
1.	
2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби напруги й сили струму;</li> <li>- будуємо вольт-амперні характеристики нелінійних резисторів <math>I_1 = f(U_1)</math> і <math>I_2 = f(U_2)</math> за даними таблиць;</li> <li>- будуємо вольт-амперну характеристику всього кола шляхом підсумовування сил струмів у розгалуженнях при тому самому значенні напруги <math>I = f(U)</math>;</li> <li>- визначаємо значення сили струму в загальній ділянці кола по вольт-амперній характеристиці всього кола при заданій напрузі на затискачах кола;</li> <li>- визначаємо силу струму в розгалуженні першого резистора по вольт-амперній характеристиці <math>I_1 = f(U_1)</math> при заданій напрузі на затискачах кола;</li> <li>- визначаємо силу струму в розгалуженні другого резистора по вольт-амперній характеристиці <math>I_2 = f(U_2)</math> при заданій напрузі на затискачах кола.</li> </ul>
3.	

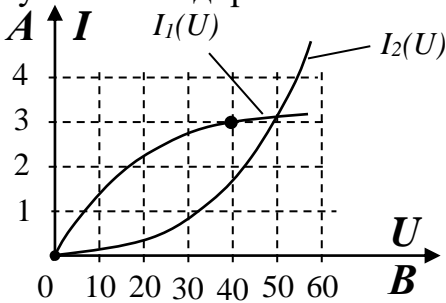
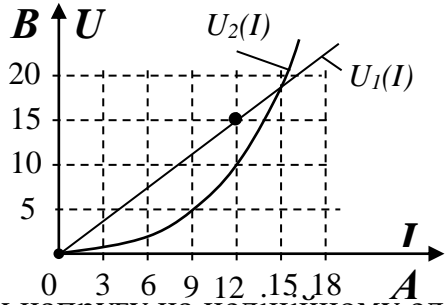
Номер відповіді	Відповіді
4.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби напруги й сили струму;</li> <li>- будуємо вольт-амперні характеристики нелінійних резисторів <math>I_1 = f(U_1)</math> і <math>I_2 = f(U_2)</math> за даними таблиць;</li> <li>- будуємо вольт-амперну характеристику всього кола шляхом підсумовування напруг при одній і тій же силі струму <math>I = f(U)</math>;</li> <li>- визначаємо значення сили струму в колі по вольт-амперній характеристиці всього кола при заданій напрузі на затискачах кола;</li> <li>- визначаємо напругу на затискачах першого резистора по вольт-амперній характеристиці <math>I_1 = f(U_1)</math> при знайденому значенні сили струму в колі;</li> <li>- визначаємо напругу на затискачах другого резистора по вольт-амперній характеристиці <math>I_2 = f(U_2)</math> при знайденому значенні сили струму в колі</li> </ul>

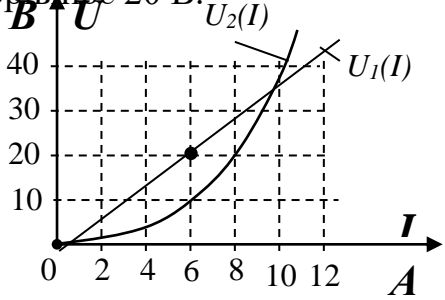
Таблиця 13.3 – НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1	<p>Розрахувати статичний опір нелінійного резистора у робочій точці М, якщо <math>tg 40^\circ = 0,84</math>; <math>tg 60^\circ = 1,73</math>.</p> 	
2.	<p>Напруга на нелінійному резисторі 30 В, статичний опір 25 Ом. Визначити силу струму у нелінійному резисторі.</p>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
3.	<p>Розрахувати динамічний опір нелінійного резистора у робочій точці М, якщо <math>\operatorname{tg} 40^\circ = 0,84</math>; <math>\operatorname{tg} 60^\circ = 1,73</math>.</p> 	
4.	<p>При послідовному з'єднанні лінійного і нелінійного елементів напруга на нелінійному елементі дорівнює 20 В.</p>  <p>Визначити напругу на лінійному елементі.</p>	
5.	<p>Напруга на нелінійному резисторі 50 В.</p>  <p>Визначити потужність, що споживає нелінійний резистор.</p>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
6.	<p>При паралельному з'єднанні лінійного і нелінійного елементів напруга на нелінійному елементі дорівнює 20 В.</p>  <p>Визначити потужність, що споживається лінійним елементом.</p>	
7.	<p>При послідовному з'єднанні лінійного і нелінійного елементів напруга на лінійному елементі дорівнює 30 В.</p>  <p>Визначити силу струму в електричному колі.</p>	
8.	<p>При паралельному з'єднанні двох нелінійних елементів електричного кола напруга на затискачах першого нелінійного елементі дорівнює 40 В.</p>  <p>Визначити силу струму у другому нелінійному елементі.</p>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
9.	<p>При паралельному з'єднанні двох нелінійних елементів сила струму в першому нелінійному елементі дорівнює 3 А.</p>  <p>Визначити напругу на затискачах електричного кола</p>	
10.	<p>Потужність, що споживає нелінійний резистор, включений до джерела постійної напруги, складає 270 Вт, динамічний опір 30 Ом.</p> <p>Визначити напругу джерела.</p>	
11.	<p>При послідовному з'єднанні лінійного і нелінійного елементів в електричному колі напруга на лінійному елементі дорівнює 15 В.</p>  <p>Визначити напругу на нелінійному елементі.</p>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
12.	<p>При паралельному з'єднанні лінійного і нелінійного елементів напруга на лінійному елементі дорівнює 20 В.</p>  <p>Розрахувати силу струму в нерозгалуженій частині електричного кола.</p>	

У разі вірного виконання тестів  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 24$ .

Таблиця 13.3а

Номер відповіді	Відповіді
1.	<b>90</b>
2.	<b>30</b>
3.	<b>1,2</b>
4.	<b>6</b>
5.	<b>4,2</b>
6.	<b>14</b>
7.	<b>8,65</b>
8.	<b>400</b>
9.	<b>10</b>
10.	<b>8</b>
11.	<b>120</b>
12.	<b>40</b>

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка складається з генератора постійного струму  $G$ , регулятора напруги  $R_H$ , лампи розжарювання  $EL$ , резистора  $R$ , перемикач  $QS_1$ , вимикач  $QS_2$ , амперметра  $PA$ , вольтметра  $PV$ . Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 2.1.

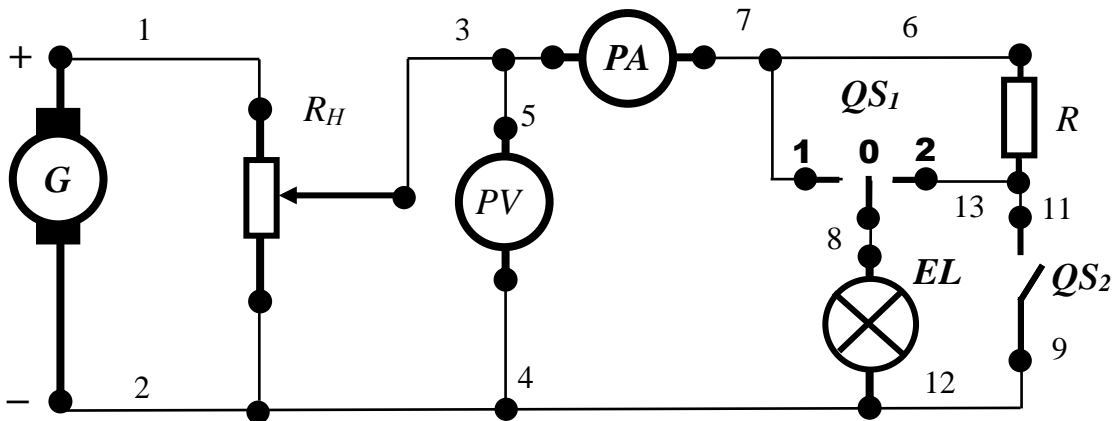


Рисунок 2.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 14 провідників (на схемі позначені номерами 1-14).

#### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

- Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при послідовному з'єднанні елементів кола (перемикач  $QS_1$  у положення «2» і вимикач  $QS_2$  розімкнений), наведена на рисунку 2.2.

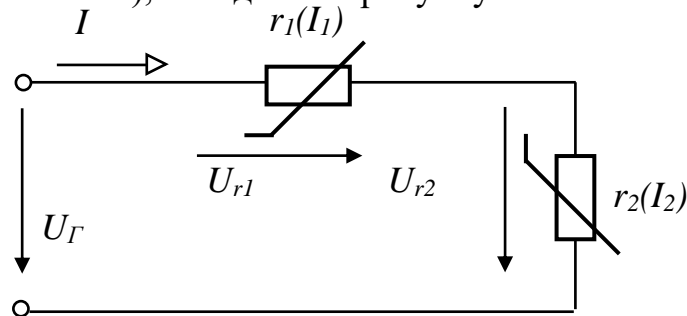


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при послідовному з'єднанні елементів кола

На розрахунковій схемі (рисунок 2.2) введені наступні умовні позначення:

$E$  – електрорушійна сила генератора,  $B$ ;  
 $r_1(I_1)$  – опір лампи розжарювання,  $Om$ ;  
 $r_2(I_2)$  – опір резистора,  $Om$ ;  
 $U_{r1}$  – спадання напруги на опорі лампи розжарювання,  $B$ ;  
 $U_{r2}$  – спадання напруги на опорі резистора,  $B$ ;  
 $U_{\Gamma}$  – напруга на затискачах генератора,  $B$ ;  
 $I$  – сила струму в колі,  $A$ .

- Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при паралельному з'єднанні елементів кола (перемикач  $QS_1$  у положення «1» і вимикач  $QS_2$  замкнений), наведена на рисунку 2.3.

На розрахунковій схемі (рисунок 2.3) введені наступні умовні позначення:

$E$  – електрорушійна сила генератора,  $B$ ;  
 $r_1(I_1)$  – опір лампи розжарювання,  $Om$ ;  
 $r_2(I_2)$  – опір резистора,  $Om$ ;  
 $U_{r1}$  – спадання напруги на опорі лампи розжарювання,  $B$ ;  
 $U_{r2}$  – спадання напруги на опорі резистора,  $B$ ;  
 $U_{\Gamma}$  – напруга на затискачах генератора,  $B$ ;  
 $I$  – сила струму в колі,  $A$ .

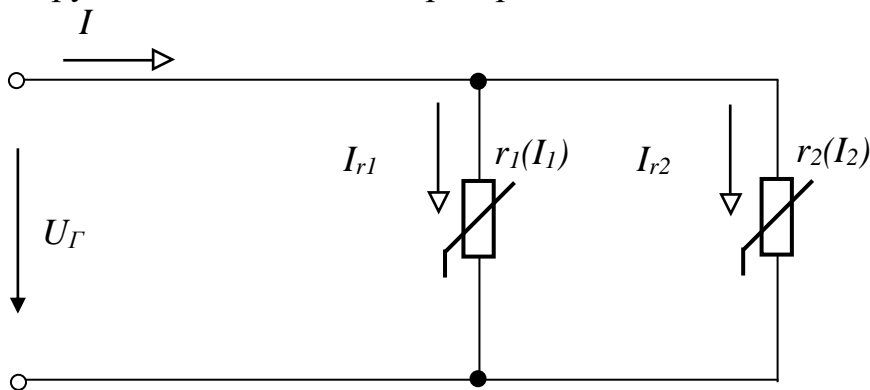


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при паралельному з'єднанні елементів кола

$I$  – сила струму в колі,  $A$ ;  
 $I_1$  – сила струму в лампі розжарювання,  $A$ ;  
 $I_2$  – сила струму в резисторі,  $A$ ;

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 3.1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 3.2 Включити перемикач  $S_1$  к положення 1 і виключити вимикач  $S_2$ .
- 3.4 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 3.5 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1A, зняти показання приладів у колі лампи розжарювання, результати занести в таблицю 2.1.
- 3.6 Включити перемикач  $QS_1$  к положення 0 і включити вимикач  $QS_2$ .



Таблиця 2.1 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики лампи розжарювання  $U_L(I)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $S_1$ замкнений у положенні <b>1</b> , вимикач $S_2$ розімкнений	$U_L$ , В	0								
	$I$ , мА									

3.7 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання

приладів у колі резистора, результати занести в таблицю 2.2.

3.8 Побудувати графіки вольт-амперних характеристик лампи розжарювання  $U_L(I)$  і резистора  $U_p(I)$  в одних осях.

3.9 Використовуючи ВАХ елементів електричного кола лампи розжарювання  $U_L(I)$  і резистора  $U_p(I)$  в цих же осях побудуйте ВАХ всього кола  $U_I(I)$  при послідовному їхньому з'єднанні (аналітична ВАХ при послідовному з'єднанні).

Таблиця 2.2 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики резистора  $U_p(I)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $QS_1$ замкнений у положенні 0, вимикач $QS_2$ замкнений	$U_p$ , В	0								
	$I$ , А									

3.9 Включити перемикач  $S_1$  у положення «2» і виключити вимикач  $S_2$  для дослідження кола з послідовно з'єднаними елементами.

3.10 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.

3.11 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання приладів у колі з послідовно з'єднаними елементами, результати занести в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики з послідовно з'єднаними елементами  $U_{посл}(I)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $QS_1$ у положенні «2», вимикач $QS_2$ розімкнений	$U_{посл}$ , В	0								
	$I_{посл}$ , А									

3.12 Побудувати вольт амперну характеристику електричного кола з послідовно з'єднаними елементами  $U_{\text{посл}}(I)$  в тих же осях (пункт 3.9) (експериментальна ВАХ при послідовному з'єднанні) і порівняти його з розрахунковою аналітичною ВАХ  $U_1(I)$  при послідовному їхньому з'єднанні.

3.13 Визначити похибку напруги для робочої сили струму, вказаної викладачем, між аналітичною ВАХ і експериментальною ВАХ при послідовному з'єднанні за рівнянням:

$$\varepsilon_{U\%} = \frac{U_{\text{аналіт}} - U_{\text{експер}}}{U_{\text{аналіт}}} \cdot 100\% . \quad (2.1)$$

3.14 Використовуючи ВАХ елементів електричного кола лампи розжарювання  $U_{\text{л}}(I)$  і резистора  $U_{\text{р}}(I)$  в цих же осях побудуйте ВАХ всього кола  $U_2(I)$  при паралельному їхньому з'єднанні.

3.15 Включити перемикач  $S_1$  у положення «1» і включити вимикач  $S_2$  для дослідження кола з паралельно з'єднаними елементами.

3.16 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання приладів у колі з паралельно з'єднаними елементами, результати занести в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики з паралельно з'єднаними елементами  $U_{\text{парал}}(I)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $QS_1$ у положенні «1», вимикач $QS_2$ замкнений	$U_I, \text{В}$	0								
	$I_I, \text{А}$									

3.17 Побудувати експериментальну вольт амперну характеристику електричного кола з паралельно з'єднаними елементами  $U_{\text{парал}}(I)$  в тих же осях (пункт 6.14) і порівняти його з аналітичною ВАХ  $U_2(I)$  при паралельному їхньому з'єднанні.

3.18 Визначити похибку сили струму для робочої напруги, вказаної викладачем, між аналітичною ВАХ і експериментальною ВАХ (пункт 6.17) при паралельному з'єднанні за рівнянням:

$$\varepsilon_I = \frac{I_{\text{аналіт}} - I_{\text{експер}}}{I_{\text{аналіт}}} \cdot 100\% . \quad (2.2)$$

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

**Тема: Дослідження нерозгалужених магнітних кіл при постійних магнітних потоках**

**МЕТА:** придбання практичних навичок при вивченні фізичних явищ, що мають місце у магнітному колі і величин, які характеризують магнітне кола при постійних магнітних потоках

### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 14 «Нелінійні кола постійного струму [1, с.169-174].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 14.1-14.5 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 7.1-7.7 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

Таблиця 14.1 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	У чому суть явища електромагнетизму?	
2.	Сформулюйте правило «правого буравчика».	
3.	Яка фізична величина є силовою характеристикою магнітного поля?	
4.	Дайте визначення магнітної індукції.	
5.	Запишіть визначальну формулу магнітної індукції.	
6.	Одержіть одиницю магнітної індукції з визначальної формули.	
7.	Що таке однорідне магнітне поле?	
8.	Дайте визначення магнітного потоку для однорідного магнітного поля.	
9.	Запишіть визначальну формулу магнітного потоку для однорідного магнітного поля.	
10.	Одержіть одиницю магнітного потоку для однорідного магнітного поля з визначальної формули.	

Номер питання, зав-дання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
	У магнітному полі постійного магніту перебуває рамка зі струмом. Сила струму в рамці дорівнює <b>10 А</b> . На рамку діє обертаючий момент <b>0,1 Н·м</b> . Площа рамки дорівнює <b>50 см<sup>2</sup></b> . Площа поперечного перерізу кожного полюса магніту дорівнює <b>100 см<sup>2</sup></b> .	
11.	Визначте магнітну індукцію поля в теслах.	
12.	Визначте магнітний потік між полюсами у веберах.	
13.	Сформулюйте закон електромагнетизму.	
14.	Запишіть математично й розшифруйте закон електромагнетизму.	
15.	Одержіть одиницю потокозчеплення з математичного запису закону електромагнетизму.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 46$ .

Таблиця 14.1а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\frac{H \cdot m}{A \cdot m^2} = \frac{Дж}{A \cdot m^2} = \frac{B \cdot A \cdot c}{A \cdot m^2} = \frac{B \cdot c}{m^2} = Tл.$
2.	Магнітна індукція.
3.	Якщо вгвинчувати буравчик (правий гвинт) по напрямку сили електричного струму, то напрямок його обертання буде збігатися з напрямком силових ліній магнітного поля.
4.	Добуток магнітної індукції на площу, через яку проходить магнітне поле.
5.	$\psi = w \cdot \Phi = L \cdot I.$
6.	Навколо провідника зі струмом утвориться магнітне поле.
7.	$Tл \cdot m^2 = \frac{B \cdot c}{m^2} \cdot m^2 = B \cdot c = Вб.$
8.	Магнітна індукція дорівнює відношенню обертаючого моменту рамки зі струмом (поміщеної в дану крапку поля) до добутку площі рамки на силу струму в ній.
9.	<b>20.</b>

Номер відповіді	Відповіді
10.	Поле, у якого магнітна індукція в будь-якій точці поля однакова.
11.	$Гн \cdot A = \frac{B \cdot c}{A} \cdot A = B \cdot c = Вб.$
12.	$B \cdot S.$
13.	Потокозчеплення (добуток числа витків котушки на магнітний потік) прямо пропорційно добутку індуктивності котушки на силу електричного струму.
14.	$\frac{M}{I \cdot S}.$
15.	<b>2.</b>

Таблиця 14.2 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Дайте визначення напруженості магнітного поля.	
2.	Запишіть визначальну формулу напруженості магнітного поля.	
3.	Одержіть одиницю напруженості магнітного поля з визначальної формули.	
4.	Як визначити магнітну проникність середовища?	
5.	Запишіть визначальну формулу магнітної проникності середовища.	
6.	Що таке магнітна постійна?	
7.	Чому дорівнює магнітна постійна?	
8.	Запишіть математичне рівняння для визначення відносної магнітної проникності середовища?	
	У котушці індуктивності з феромагнітним сердечником протікає електричний струм і створює магнітне поле. Магнітна індукція в магнітопроводі дорівнює <b>1,2 Тл</b> , відносна магнітна проникність матеріалу магнітопроводу дорівнює <b>2500/π</b> .	
9.	Визначте магнітну проникність магнітопроводу.	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
10.	Визначте напруженість магнітного поля в магнітопроводі.	
11.	Сформулюйте закон повного струму для однорідного магнітного поля.	
12.	Запишіть математично закон повного струму для однорідного магнітного поля.	
13.	Що таке крива намагнічування?	
14.	Що розуміється під магнітним колом?	
15.	Назвіть основні елементи магнітного кола.	
16.	Укажіть призначення магнітопроводу.	
17.	З яких матеріалів виготовляються магнітопроводи?	

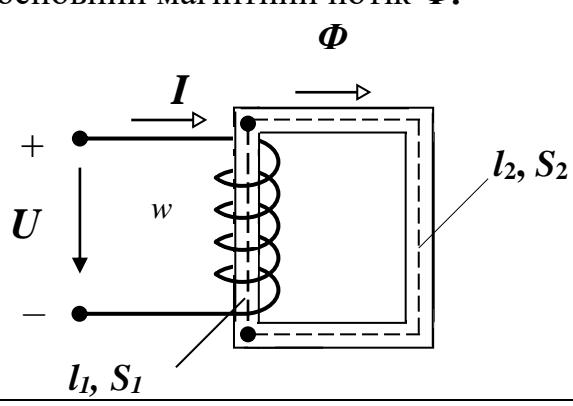
У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 59$ .

Таблиця 14.2а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\frac{\mu_c}{\mu_0}$ .
2.	Добуток магнітної постійної на відносну магнітну проникність середовища.
3.	<b>1200 А/м.</b>
4.	$\frac{B}{\mu_C}$ .
5.	$w \cdot I = H \cdot l$ .
6.	$4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$
7.	Магнітна проникність вакууму.
8.	Відношення магнітної індукції до магнітної проникності середовища.
9.	Сукупність пристроїв, що забезпечують можливість створення магнітного потоку.
10.	$\frac{Tл}{Гн} = \frac{B \cdot c}{\frac{M^2}{A \cdot m}} = \frac{A}{m}$ .

Номер відповіді	Відповіді
11.	Залежність між магнітною індукцією й напруженістю магнітного поля $B = f(H)$ .
12.	$\mu_0 \cdot \mu$ .
13.	Добуток числа витків котушки на силу струму прямо пропорційно добутку напруженості магнітного поля на довжину магнітної силової лінії магнітопроводу.
14.	<b>0,001 Гн/м.</b>
15.	Залізо, нікель, кобальт і їхні сплави.
16.	Для створення, проходження й посилення магнітного потоку.
17.	Магнітопровід і котушка, що живиться від джерела постійного струму.

Таблиця 14.3 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
	<p>На представленій схемі позначено: котушка постійного струму із числом витків <math>w</math>, сила струму в котушці <math>I</math>. Магнітопровід, що складається із двох ділянок, характеризується: довжинами ділянок магнітопроводу – <math>l_1, l_2</math>; площами поперечного перерізу ділянок магнітопроводу – <math>S_1, S_2</math>. По магнітопроводу замикається основний магнітний потік <math>\Phi</math>.</p> 	
1.	Запишіть рівняння за законом повного струму для даної схеми.	
2.	Що таке магніторушійна сила?	
3.	Запишіть визначальну формулу магніторушійної сили.	

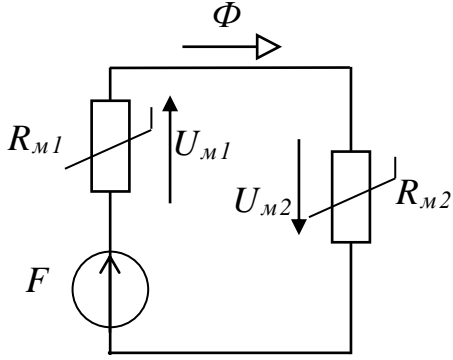
Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
4.	Одержіть одиницю магніторушійної сили.	
5.	Запишіть рівняння для визначення магнітної індукції на першій ділянці магнітопроводу.	
6.	Запишіть рівняння для визначення магнітної індукції на другій ділянці магнітопроводу.	
7.	Запишіть рівняння для визначення магнітного опору на першій ділянці магнітного кола через його геометричні розміри й параметри.	
8.	Запишіть рівняння для визначення магнітного опору на другій ділянці магнітного кола через його геометричні розміри й параметри.	
9.	Одержіть одиницю магнітного опору ділянки магнітного кола.	
10.	Як визначити магнітну напругу на ділянці магнітного кола.	
11.	Запишіть рівняння для визначення магнітної напруги на першій ділянці магнітного кола через магнітний потік і магнітний опір.	
12.	Запишіть рівняння для визначення магнітної напруги на другій ділянці магнітного кола через магнітний потік і магнітний опір.	
13.	Одержіть одиницю магнітної напруги ділянки магнітного кола.	
14.	Складіть розрахункову схему магнітного кола для даної схеми.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 19$ .

Таблиця 14.3а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\frac{\Phi}{S_2}$
2.	$R_{m2} \cdot \Phi$
3.	$\frac{m}{\Gamma_H \cdot m} = \frac{m^2}{\Gamma_H \cdot m^2} = \frac{1}{\Gamma_H}$
4.	Добуток магнітного опору ділянки магнітного кола на магнітний потік.



Номер відповіді	Відповіді
5.	Добуток числа витків котушки на силу струму в ній.
6.	
7.	$R_{M1} \cdot \Phi.$
8.	$[F] = A.$
9.	$\frac{\Phi}{S_1}.$
10.	$\frac{l_2}{\mu_c \cdot S_2}.$
11.	$w \cdot I.$
12.	$H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 = w \cdot I.$
13.	$\frac{l_1}{\mu_c \cdot S_1}.$

Таблиця 14.4

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	Що в магнітному колі є аналогією електрорушійній силі електричного кола? Приведіть умовну позначку.	
2.	Що в магнітному колі є аналогією опору електричному струму електричного кола? Приведіть умовну позначку.	
3.	Що в магнітному колі є аналогією силі струму електричного кола? Приведіть умовну позначку.	

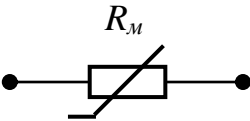
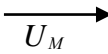
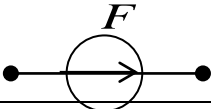
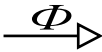
Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
4.	Що в магнітному колі є аналогією напрузі на ділянці електричного кола? Приведіть умовну позначку.	
5.	Сформулюйте закон Ома для ділянки магнітного кола без магніторушійної сили.	
6.	Запишіть математично закон Ома для ділянки магнітного кола без магніторушійної сили.	
7.	Сформулюйте закон Ома для замкнутого магнітного кола з декількома магніторушійними силами.	
8.	Запишіть математично закон Ома для замкнутого магнітного кола з декількома магніторушійними силами.	
9.	Сформулюйте узагальнений закон Ома для ділянки магнітного кола з магніторушійними силами.	
10.	Запишіть математично узагальнений закон Ома для ділянки магнітного кола з магніторушійними силами.	
11.	Сформулюйте 1-й закон Кірхгофа для розгалуженого магнітного кола.	
12.	Запишіть математично 1-й закон Кірхгофа для розгалуженого магнітного кола.	
13.	Сформулюйте 2-й закон Кірхгофа для розгалуженого магнітного кола.	
14.	Запишіть математично 2-й закон Кірхгофа для розгалуженого магнітного кола.	

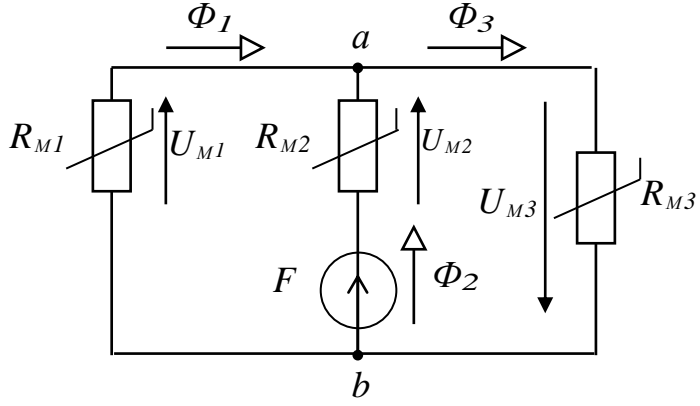
Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
	<p>На представленій розгалуженій схемі позначено: котушка постійного струму із числом витків <math>w</math>, сила струму в котушці <math>I</math>. Магнітопровід, що складається із трьох ділянок, характеризується: довжинами ділянок магнітопроводу – <math>l_1, l_2, l_3</math>; площами поперечного перерізу ділянок магнітопроводу – <math>S_1, S_2, S_3</math>. По магнітопроводу замикаються основні магнітні потоки <math>\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3</math>.</p> 	
15.	Складіть розрахункову схему цього кола.	
16.	Складіть рівняння по першому законі Кірхгофа для вузла «а» наведеного магнітного кола.	
17.	Складіть рівняння по другому законі Кірхгофа для першого контуру наведеного магнітного кола.	
18.	Складіть рівняння по другому законі Кірхгофа для другого контуру наведеного магнітного кола.	

При правильному виконанні завдання  $\sum_{\text{непарних}} - \sum_{\text{парних}} = 35$ .

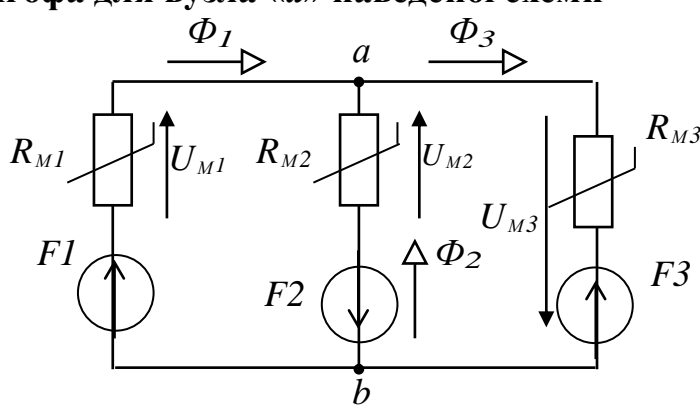
Таблиця 14.4а

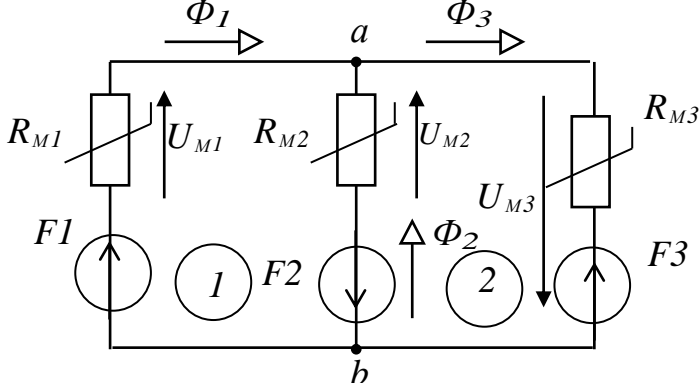
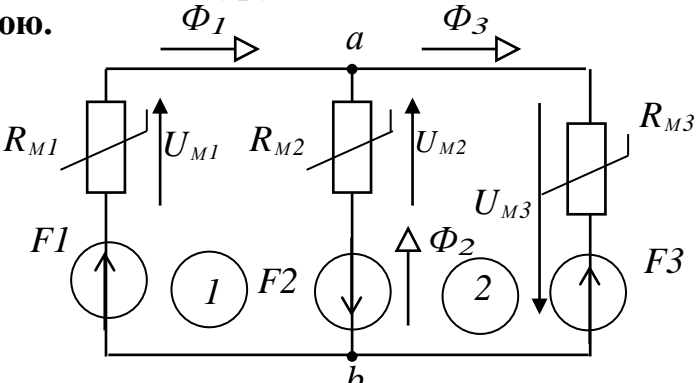
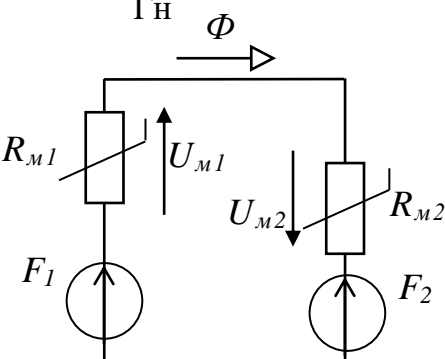
Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	Магнітний потік дорівнює відношенню алгебраїчної суми магніторушійних сил у замкнутому колі до суми магнітних опорів даного кола.

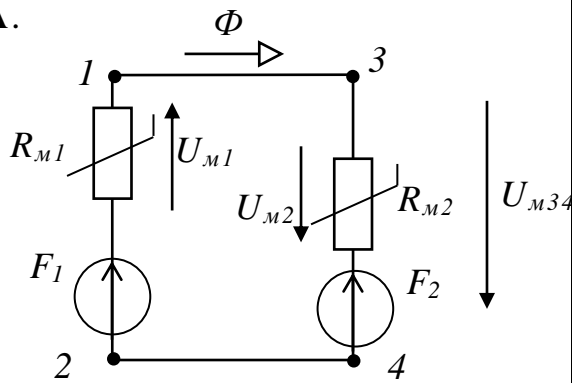
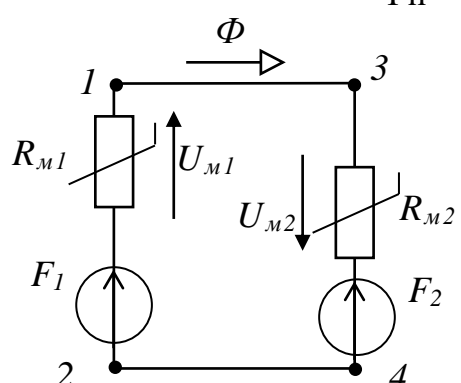
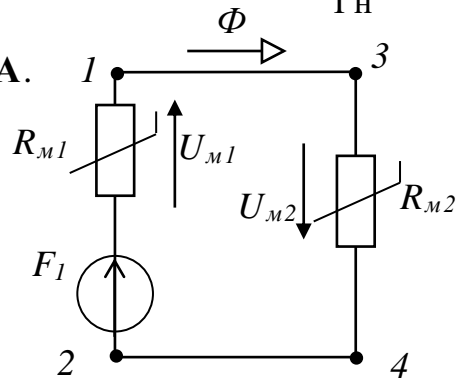
Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
2.	Опір магнітному потоку. 
3.	$\Phi = \frac{U_M + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n R_{Mi}}$
4.	Магнітна напруга на ділянці кола. 
5.	$\sum_{i=1}^n \Phi_i = 0.$
6.	$\Phi = \frac{U_M}{R_M}$
7.	Магніторушійна сила. 
8.	$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n R_{M_i} \cdot \Phi_i.$
9.	$\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 = 0.$
10.	Магнітний потік. 
11.	Алгебраїчна сума магніторушійних сил у контурі дорівнює алгебраїчній сумі добутків магнітних опорів ( що входять у контур) на магнітний потік ( що проходить в даних опорах).
12.	Магнітний потік прямо пропорційний магнітній напрузі на ділянці кола і зворотно пропорційний магнітному опору цієї ділянки кола.
13.	Алгебраїчна сума магнітних потоків у вузлі магнітного кола дорівнює нулю.
14.	$\Phi = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n R_{Mi}}$

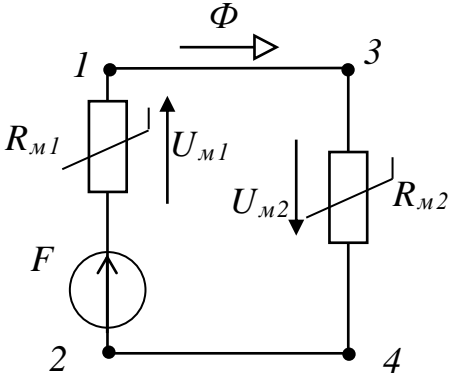
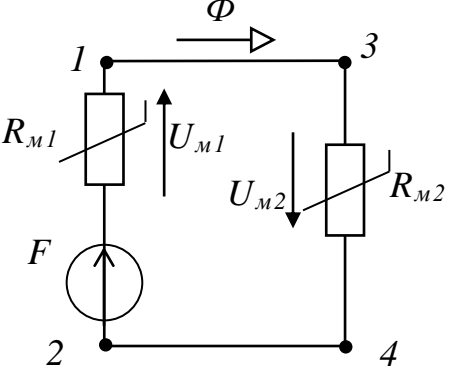
Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
15.	
16.	Магнітний потік дорівнює відношенню суми магнітної напруги на затискачах кола й алгебраїчної суми магніторушійних сил у замкнутому контурі до суми магнітних опорів у цьому контурі.
17.	$F = R_{M2} \cdot \Phi_2 + R_{M3} \cdot \Phi_3.$
18.	$-F = R_{M1} \cdot \Phi_1 - R_{M2} \cdot \Phi_2$

Таблиця 14.5

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	<p>Магнітна проникність матеріалу магнітопроводу дорівнює <math>6000/\pi</math> Гн/м. Магнітна постійна <math>4\pi \cdot 10^{-7}</math> Гн/м.</p> <p><b>Визначити відносну магнітну проникність магнітопроводу.</b></p>	
2	<p><b>Запишіть рівняння за першим законом Кірхгофа для вузла «а» наведеної схеми</b></p> 	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
3.	<p>Запишіть рівняння за другим законом Кірхгофа для контуру 1 наведеної схеми, прийняв обхід контуру за годинниковою стрілкою.</p> 	
4.	<p>Запишіть рівняння за другим законом Кірхгофа для контуру 2 наведеної схеми, прийняв обхід контуру за годинниковою стрілкою.</p> 	
5	<p>Для магнітного кола відомо: <math>F_1 = 48</math> А, <math>F_2 = 20</math> А, <math>R_{M1} = 2 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>R_{M2} = 5 \frac{1}{\text{Гн}}</math>,</p>  <p>Визначити магнітний потік в магнітному колі.</p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
6.	<p>Для магнітного кола відомо: <math>F_2 = 20</math> А, <math>R_{m2} = 10 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>U_{m34} = 80</math> А.</p>  <p><b>Визначити магнітний потік в магнітному колі.</b></p>	
7.	<p>Для магнітного кола відомо: <math>R_{m2} = 10 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>U_{m2} = 80</math> А.</p>  <p><b>Визначити магнітний потік в магнітному колі.</b></p>	
8.	<p>Для магнітного кола відомо: <math>R_{m1} = 2 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>R_{m2} = 10 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>U_{m2} = 50</math> А.</p>  <p><b>Визначити магнітну напругу на ділянці з <math>R_{m1}</math>.</b></p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
9.	<p>Для магнітного кола відомо: <math>R_{m1} = 200 \frac{1}{\text{Гн}}</math>,  <math>R_{m2} = 100 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>\Phi = 0,06 \text{ Вб}</math>.</p>  <p>Визначити магніторушійну силу у контурі.</p>	
10.	<p>Для магнітного кола відомо: <math>R_{m1} = 2 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>R_{m2} = 10 \frac{1}{\text{Гн}}</math>, <math>F = 60 \text{ А}</math>.</p>  <p>Визначити магнітний потік в магнітному колі.</p>	
11	<p>У котушці індуктивності з феромагнітним осердям протікає електричний струм <b>20 А</b>. Котушка має <b>500</b> витків. Довжина середньої лінії магнітопроводу дорівнює <b>2 м</b>.</p> <p><b>Визначити напруженість магнітного поля в осерді.</b></p>	
12	<p>Напруженість магнітного поля в осерді складає <b>4000 А/м</b>. Магнітна індукція в осерді <b>2 Тл</b>.</p> <p><b>Визначити магнітну проникність магнітопроводу.</b></p>	



Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
13	<p>Напруженість магнітного поля в осерді складає <b>4000 А/м</b>. Відносна магнітна проникність матеріалу магнітопроводу дорівнює <b>2500 / <math>\pi</math></b>, <math>\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}</math> Гн/м.</p> <p><b>Визначити магнітну індукцію осерді.</b></p>	
14	<p>У котушці індуктивності з феромагнітним осердям протікає електричний струм <b>25 А</b>. Котушка має <b>400</b> витків.</p> <p><b>Визначити магніторушійну силу котушки.</b></p>	
15	<p>Площа поперечного перерізу магнітопроводу дорівнює <b>0,01 м<sup>2</sup></b>. Магнітна індукція в магнітопроводі <b>0,7 Тл</b>.</p> <p><b>Визначити магнітний потік в магнітопроводі.</b></p>	
16	<p>Напруженість магнітного поля в осерді складає <b>4000 А/м</b>. Довжина середньої лінії магнітопроводу дорівнює <b>2 м</b>.</p> <p><b>Визначити магніторушійну силу котушки.</b></p>	
17	<p>Котушка з феромагнітним осердям має <b>1000</b> витків. Довжина середньої лінії магнітопроводу дорівнює <b>2,5 м</b>. Площа поперечного перерізу магнітопроводу дорівнює <b>0,005 м<sup>2</sup></b>. Магнітна проникність матеріалу магнітопроводу дорівнює <b>0,001 Гн/м</b>.</p> <p><b>Визначити індуктивність котушки.</b></p>	
18	<p>У котушці індуктивності з феромагнітним осердям протікає електричний струм <b>5 А</b>. Котушка має <b>2000</b> витків. Магнітний потік дорівнює <b>0,004 Вб</b>.</p> <p><b>Визначити індуктивність котушки.</b></p>	
19	<p>У котушці індуктивності з феромагнітним осердям протікає постійний електричний струм. Котушка має <b>500</b> витків. Довжина середньої лінії осердя дорівнює <b>5 м</b>. Напруженість магнітного поля в осерді складає <b>4000 А/м</b>.</p> <p><b>Визначити силу струму в котушці.</b></p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
20	<p>У котушці індуктивності з феромагнітним осердям протікає електричний струм <b>5 А</b>. Котушка має індуктивність <b>0,06 Гн</b>.</p> <p><b>Визначити енергію, що накопичується магнітним полем котушки.</b></p>	

У разі вірного виконання тестів  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 14$ .

Таблиця 14.5а

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	<b>18</b>
2.	<b>5</b>
3.	$\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 = 0$
4.	<b>8</b>
5.	<b>6</b>
6.	<b>10</b>
7.	$-F_2 - F_3 = R_{M2} \Phi_2 + R_{M3} \Phi_3.$
8.	$F_1 - F_2 = R_{M1} \Phi_1 - R_{M2} \Phi_2.$
9.	<b>4</b>
10.	<b><math>1,5 \cdot 10^4</math></b>
11	<b>0,0005</b>
12	<b>8000</b>
13	<b>2</b>
14	<b>5000</b>
15	<b>1,6</b>
16	<b>0,007</b>
17	<b>40</b>

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
18	<b>0,75</b>
19	<b>10000</b>
20	<b>4</b>

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ 1

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка містить ідеальний генератор постійного струму  $G$ , з'єднувальні проводи та котушку індуктивності  $K$  з феромагнітним осердям, для якої відомі кількість витків  $w$  та індуктивність  $L$ . Для вимірювання сили струму передбачений амперметр  $PA$ . Для комутації кола передбачений вимикач  $QS_1$ .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 3.1.

Для складання схеми необхідно мати 4 провідника (на схемі позначені номерами 1-4).

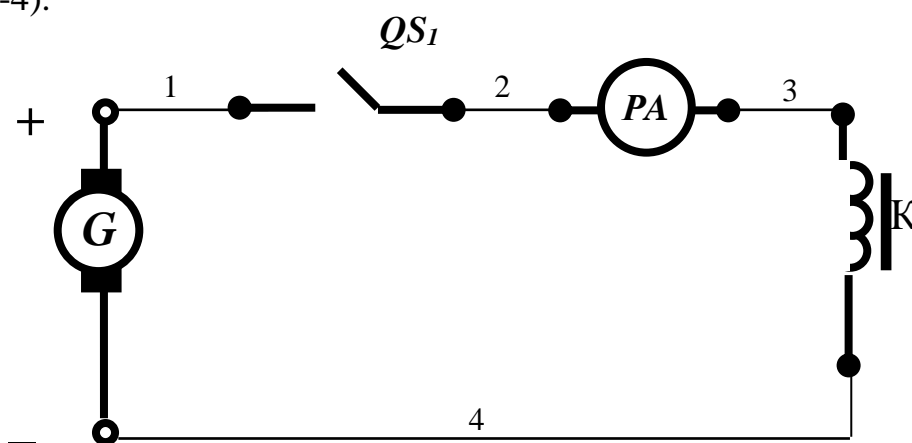


Рисунок 3.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

#### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

- При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:
- опори з'єднувальних проводів і контактів вимикачів дорівнюють нулю;
  - опір обмотки амперметра дорівнює нулю;

- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ній не протікає.

Розрахункова схема магнітного кола експериментальної установки при включенні вимикача  $QS_I$ , наведена на рисунку 3.2.

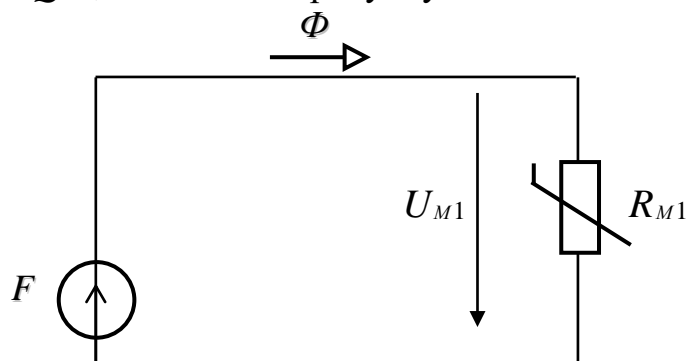


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема магнітного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

$R_{M1}$  – магнітний опір резистора,  $1/\text{Гн}$ ;

$F$  – магніторушійна сила, А;

$\Phi$  – магнітний потік, Вб;

$U_{M2}$  – спадання магнітної напруги, А.

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1– Результати експериментальних досліджень

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	$w$	$L, \text{Гн}$	$I, \text{А}$
Вимикач $QS_I$ замкнений			

- 4 Визначити за допомогою експериментальних даних магнітний потік усередині котушки, використовуючи рівняння закону електромагнетизму:

$$w \cdot \Phi = L \cdot I . \quad (3.1)$$

5 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних потокозчеплення котушки, використовуючи рівняння:

$$\psi = w \cdot \Phi . \quad (3.2)$$

6 Визначити за допомогою експериментальних даних намагнічуючу силу котушки, використовуючи рівняння:

$$F = w \cdot I . \quad (3.3)$$

7 Визначити за допомогою експериментальних даних енергію магнітного поля котушки, використовуючи рівняння:

$$W = \frac{L \cdot I^2}{2} . \quad (3.4)$$

8 Занести отримані значення в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 Результати розрахунків фізичних величин

Фізичні величини, що характеризують магнітне коло			
$\Phi, \text{Вб}$	$\psi, \text{Вб}$	$F, \text{А}$	$W, \text{Дж}$

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 2

**Тема: Дослідження розгалужених магнітних кіл при постійних магнітних потоках**

**МЕТА:** придбання практичних навичок при складанні розрахункової схеми розгалуженого магнітного кола і вміти зробити розрахунок розгалуженого магнітного кола при постійних магнітних потоках з використанням законів

## 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 14 «Нелінійні кола постійного струму [1, с.174-178].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 14.3-14.4 [5]
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 7.1-7.6 звіту.

### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка містить пристрій, що має Ш-подібну форму магнітопроводу, на стрижні якого знаходиться котушка, для якої відомі кількість витків  $w$ , ідеальний генератор постійного струму  $G$ , з'єднувальні проводи, реостат  $R_H$ , амперметр  $PA$  і вольтметр  $PV$ . Для комутації кола передбачений вимикач  $QS_1$ .

Принципова схема експериментальної установки наведена на рисунку 3.3.

Для складання схеми необхідно мати 8 провідника (на схемі позначені номерами 1-8).

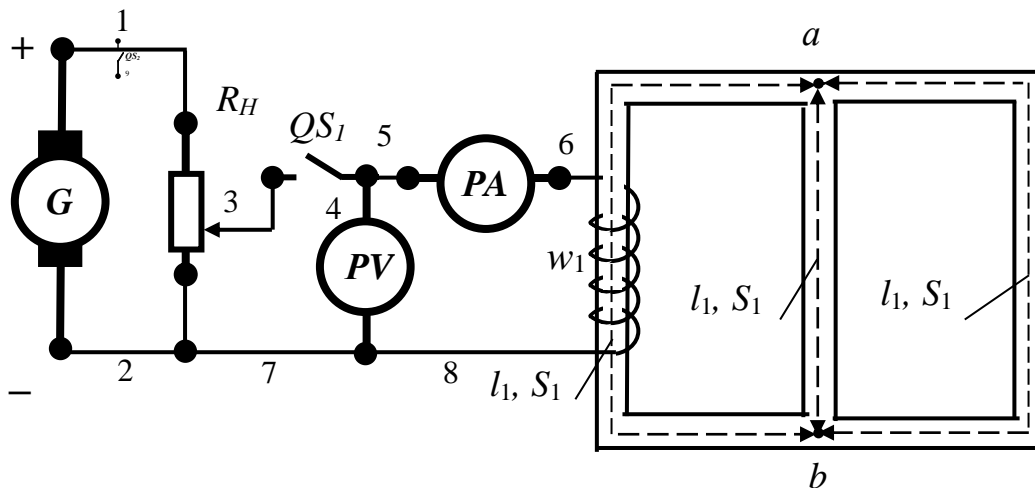


Рисунок.3.3 – Принципова схема експериментальної установки

Розрахункова схема магнітного кола експериментальної установки наведена на рисунку 3.4.

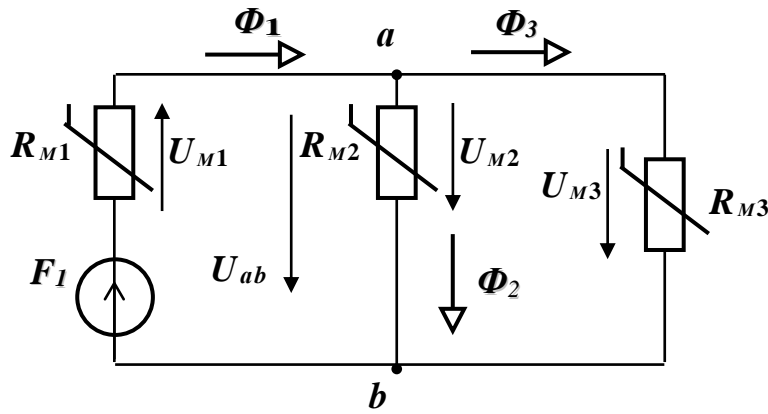


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема магнітного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

$R_{M1}, R_{M2}, R_{M3}$ , – магнітні опори кола, 1/Гн;

$F_1, F_2$ , – магніторушійна сила, А;

$\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$ , – магнітні потоки у стрижнях, Вб;

$U_{M1}, U_{M2}, U_{M3}$  – спадання магнітної напруги на ділянках магнітного кола, А.

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2 Включити вимикач  $QS_1$  експериментальної установки.
- 3 Подати напругу на затискачі експериментальної установки при якому струм у електричному колі не перевищує 1А і зняти покази приладів, результати занести в таблицю 3.3.
- 4 Занести в таблицю 3.3 довжини середніх магнітних ліній магнітопроводу  $l_1, l_2, l_3$ , значення перерізів стрижнів  $S_1, S_2, S_3$ , і кількість витків котушки  $w$ .

Таблиця 3.3– Результати експериментальних досліджень

Умови проведення експерименту	Показання приладів і розміри магнітопроводу							
	$I$ , А	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$S_1$ , м <sup>2</sup>	$S_2$ , м <sup>2</sup>	$S_3$ , м <sup>2</sup>	$w$
Вимикач $QS_1$ замкнений								

Таблиця 3.4 – Крива намагнічування магнітопроводу

$B$	Тл	0	0,22	0,75	1,02	1,28	1,57
$H$	А/м	0	20	40	80	200	800

6.1 Скласти рівняння  $U_{mab1}$  для ділянки кола з середньою магнітною лінією  $l_1$  за другим законом Кірхгофа.

$$F = H_1 \cdot l_1 + U_{mab1} . \quad (3.5)$$

6.2 Визначити намагнічуючу силу котушки за допомогою експериментальних

даних і кількості витків.

6.3 Визначити магнітний потік  $\Phi_1$  у першому стрижні, задавшись значеннями магнітної індукції  $B$  (таблиця 3.4) і перерізом першого стрижня  $S_1$ . Результати розрахунків занести у таблицю 3.5.

6.4. Визначити магнітну напругу на магнітному опорі першого стрижня  $U_{m1}$ , задавшись значеннями напруженості у магнітопроводі (таблиця 3.4) і довжиною середньої магнітної лінії  $l_1$

$$U_{m1} = H_1 \cdot l_1. \quad (3.6)$$

Результати розрахунків занести у таблицю 4.3.

4.5 Визначити магнітну напругу  $U_{ab1}$  на ділянці кола з середньою магнітною лінією  $l_1$  при різних магнітних напругах першого стрижня  $U_{m1}$ , задавшись значеннями таблиця 3.5 і магніторушійною силою  $F$ .

4.6 Визначити магнітний потік  $\Phi_2$  у другому стрижні, задавшись значеннями магнітної індукції  $B$  (таблиця 3.4) і перерізом другого стрижня  $S_2$ . Результати розрахунків занести у таблицю 3.5.

4.7 Визначити магнітну напругу  $U_{ab2}$  на ділянці кола з середньою магнітною лінією  $l_2$  при різних напруженостях магнітопроводу (таблиця 3.4). Результати розрахунків занести у таблицю 3.5.

$$U_{mab2} = U_{m2} = H_2 \cdot l_2. \quad (3.7)$$

4.8 Визначити магнітний потік  $\Phi_3$  у третьому стрижні, задавшись значеннями магнітної індукції  $B$  (таблиця 3.4) і перерізом третього стрижня  $S_3$ . Результати розрахунків занести у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків магнітного кола

<b><math>B</math></b>	Тл	0	0,22	0,75	1,02	1,28	1,57
<b><math>H</math></b>	А/м	0	20	40	80	200	800
<b><math>\Phi_1</math></b>	Вб						
<b><math>H_1 \cdot l_1</math></b>	А/м						
<b><math>U_{mab1}</math></b>	А						
<b><math>\Phi_2</math></b>	Вб						
<b><math>U_{mab2}</math></b>	А						
<b><math>\Phi_3</math></b>	Вб						
<b><math>U_{mab3}</math></b>	А						

4.9 Визначити магнітну напругу  $U_{mab3}$  на ділянці кола з середньою магнітною лінією  $l_3$  при різних напруженостях магнітопроводу (таблиця 4.2). Результати розрахунків занести у таблицю 3.5.



$$U_{mab3} = U_{m3} = H_3 \cdot l_3. \quad (3.8)$$

10 Побудувати (в масштабі) в одній площині залежності  $\Phi_1 = f(U_{m ab1})$ ,  $\Phi_2 = f(U_{m ab2})$ ,  $\Phi_3 = f(U_{m ab3})$ .

11 Побудувати в цій площині залежність  $(\Phi_2 + \Phi_2) = f(U_{m ab})$ .

12 Позначити точку перетину залежностей  $(\Phi_2 + \Phi_2) = f(U_{m ab})$ ,  $\Phi_1 = f(U_{m ab1})$ ,  $\Phi_2 = f(U_{m ab2})$ ,  $\Phi_3 = f(U_{m ab3})$  як робочу точку «P», через неї провести пряму, паралельну вісі магнітного потоку.

13 Для робочої точки «P» визначити магнітні потоки у стрижнях  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ . Результати занести у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунків магнітного кола

$U_{m ab}, A$	$\Phi_1, Bб$	$\Phi_2, Bб$	$\Phi_3, Bб$

13 Перевірити результати розрахунків магнітних потоків у стрижнях за першим законом Кірхгофа.

14 Скласти рівняння для незалежних магнітних контурів за другим законом Кірхгофа.

фа для розрахунку магнітних потоків у стрижнях.

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

**Тема: Дослідження втрат активної потужності котушки з феромагнітним осердям**

**МЕТА:** придбання практичних навичок при визначенні параметрів ідеальної котушки з феромагнітним осердям з урахуванням петлі гістерезису за експериментальними даними, вивчення фізичних процесів, що протікають в ідеальній котушці з феромагнітним осердям з урахуванням петлі гістерезису.

### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 15 «Нелінійні кола змінного струму [1, с.178-183].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 15.2,15.3[5].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 7.1-7.7 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

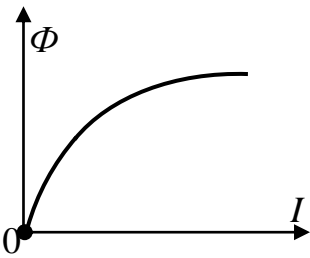
Таблиця 15.1 – Навчально-контролюючі завдання

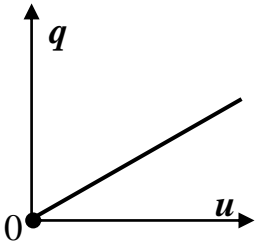
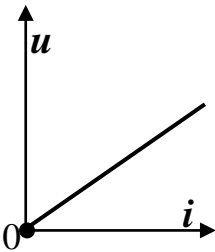
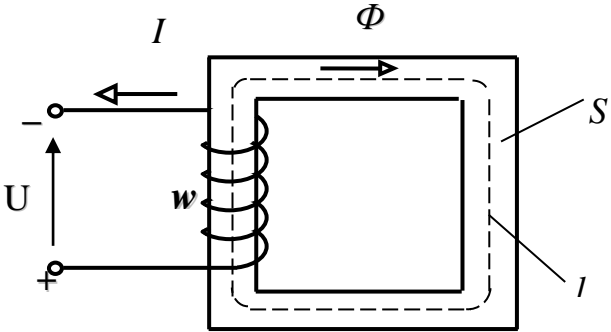
Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
<b>1.</b>	Опишіть математично зв'язок між напругою, струмом і лінійним активним опором у колі змінного синусоїдного струму. Зобразіть графічно даний зв'язок.	
<b>2.</b>	Опишіть математично зв'язок між кількістю витків котушки, магнітним потоком, електричним струмом, лінійною індуктивністю в колі змінного синусоїдного струму. Зобразіть графічно даний зв'язок.	
<b>3.</b>	Опишіть математично зв'язок між зарядом, напругою й лінійною ємністю в колі змінного синусоїдного струму. Зобразіть графічно даний зв'язок.	
<b>4.</b>	Покажіть графічно залежність магнітного потоку котушки зі сталлю від струму, що намагнічує.	
<b>5.</b>	Якою буде індуктивність котушки зі сталлю: лінійною або нелінійною?	

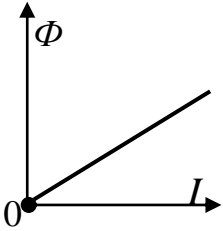
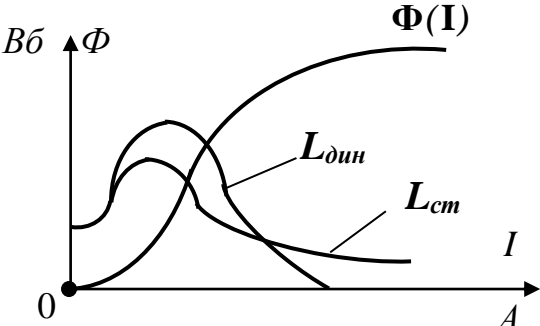
Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
6.	Складіть конструктивну схему котушки зі сталлю (зневажаючи магнітним потоком розсіювання) при живленні від джерела постійного струму.	
7.	Запишіть рівняння магнітного потоку через силу, що намагнічує, і магнітний опір для даної схеми.	
8.	Запишіть рівняння магнітного опору через конструктивні параметри магнітопроводу.	
9.	Запишіть закон електромагнетизму для котушки зі сталлю в колі постійного струму.	
10.	Отримайте залежність індуктивності від конструктивних параметрів котушки зі сталлю.	
11.	Запишіть алгоритм визначення динамічної індуктивності котушки графоаналітичним методом, якщо задані таблично залежність $\Phi = f(I)$ і значення струму, що намагнічує.	
12.	Запишіть алгоритм визначення статичної індуктивності котушки графо-аналітичним методом, якщо задані таблично залежність $\Phi = f(I)$ і значення струму, що намагнічує.	
13.	Приведіть залежність магнітного потоку від струму, що намагнічує, і покажіть криві статичної й динамічної індуктивності у функції струму.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 15$ .

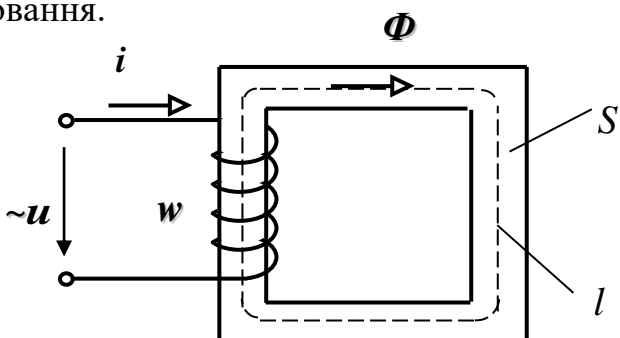
Таблиця 15.1а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	

Номер відповіді	Відповіді
2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби потоку і струму, що намагнічує;</li> <li>- будуємо залежність <math>\Phi = f(I)</math> нелінійної котушки за даними таблиці;</li> <li>- на графіку залежності <math>\Phi = f(I)</math> відзначаємо робочу при заданому значенні струму, що намагнічує;</li> <li>- проводимо пряму, що з'єднує робочу точку з початком координат;</li> <li>- вимірюємо величину кута між віссю абсцис і цією прямою;</li> <li>- визначаємо масштаб індуктивності;</li> <li>- визначаємо величину статичної індуктивності нелінійної котушки в заданій робочій точці.</li> </ul>
3.	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <math>q = Cu.</math> </div> </div>
4.	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <math>u = ri.</math> </div> </div>
5.	$\frac{w^2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot S}{l}$
6.	$\frac{w \cdot I}{R_M}$
7.	

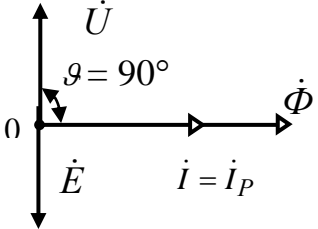
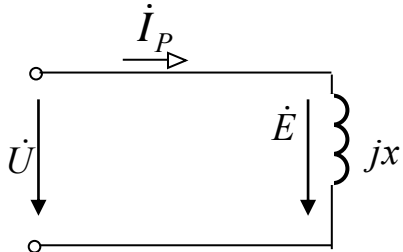
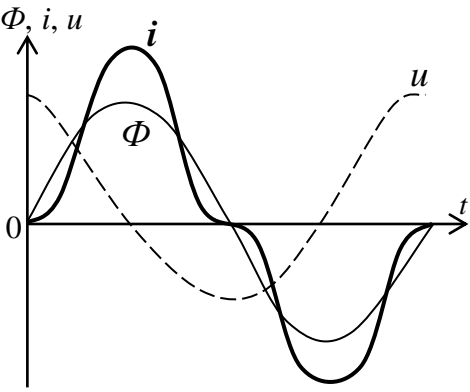
Номер відповіді	Відповіді
8.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби потоку і струму, що намагнічує;</li> <li>- будуємо залежність <math>\Phi = f(I)</math> нелінійної котушки за даними таблиці;</li> <li>- на графіку залежності <math>\Phi = f(I)</math> відзначаємо робочу точку при заданому значенні струму, що намагнічує;</li> <li>- проводимо дотичну в робочій точці до перетинання з віссю абсцис (віссю сили струму);</li> <li>- вимірюємо величину кута між віссю абсцис і дотичною;</li> <li>- визначаємо масштаб індуктивності;</li> <li>- визначаємо величину динамічної індуктивності нелінійної котушки в заданій робочій точці.</li> </ul>
9.	$\psi = w\Phi = LI .$
10.	Нелінійної.
11.	$\frac{l}{\mu \cdot \mu_0 \cdot S} .$
12.	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <math>\psi = w\Phi = Li</math> </div> </div>
13.	

Таблиця 15.2 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
	<p>На представленій схемі позначено: котушка с феромагнітним осереддям із числом витків <math>w</math>, сила змінного струму в котушці <math>i</math>. Магнітопровід характеризується: довжиною магнітопроводу – <math>l</math> і площею поперечного перерізу магнітопроводу – <math>S</math>. По магнітопроводу замикається основний магнітний потік <math>\Phi</math>. Котушка не має петлі гістерезису, відсутні вихрові струми, активний опір її дорівнює нулю, відсутній магнітний потік розсіювання.</p> 	
1.	Що таке ідеальна котушка з феромагнітним осереддям у колі змінного синусоїдного струму?	
2.	Математично запишіть закон електромагнетизму для даної котушки.	
3.	Запишіть рівняння миттєвої напруги джерела при його початковій фазі рівної $90^\circ$ .	
4.	Отримайте рівняння миттєвого магнітного потоку.	
5.	Покажіть графічно залежності $\Phi=f(t)$ , $i=f(t)$ , $u=f(t)$ у котушці з феромагнітним осереддям.	
6.	Запишіть рівняння миттєвого несинусоїдного струму, замінивши його еквівалентним синусоїдним.	
7.	Запишіть рівняння миттєвої ЕРС самоіндукції в ідеальній котушці.	
8.	Побудуйте векторну діаграму ідеальної котушки з феромагнітним осереддям у колі змінного струму.	
9.	Складіть розрахункову схему ідеальної котушки з феромагнітним осереддям у колі змінного струму.	
10.	Запишіть рівняння ідеальної котушки в комплексній формі.	
11.	Запишіть рівняння діючого значення поточкозчеплення ідеальної котушки.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 8$ .

Таблиця 15.2а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$E_m \cdot \sin(\omega \cdot t - 90^\circ)$ .
2.	
3.	$\psi = w \cdot \Phi = L \cdot I_p$ .
4.	$I_m \cdot \sin \omega \cdot t$ .
5.	
6.	$U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + 90^\circ)$ .
7.	Котушка з феромагнітним осередком не має петлі гістерезису, відсутні вихрові струми, активний опір її дорівнює нулю, магнітний потік розсіювання відсутній.
8.	$\Phi_m \cdot \sin \omega \cdot t$ .
9.	$\dot{U} = jx \cdot \dot{I}_p$ .
10.	$\psi = w \cdot \Phi = L \cdot i$ .
11.	

Таблиця 15.3 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Котушка з феромагнітним осердям має 1000 витків. Довжина середньої магнітної силової лінії магнітопроводу котушки дорівнює 0,4 м. Напруженість магнітного поля в робочій точці 400 А/м. <b>Визначити намагнічуючий струм котушки.</b>	
2.	Напруженість магнітного поля в робочій точці 400 А/м. Магнітна проникність матеріалу магнітопроводу дорівнює 0,001 Гн/м. <b>Визначити магнітну індукцію в осерді котушки.</b>	
3.	Перетин магнітопроводу дорівнює 0,008 м <sup>2</sup> . Магнітна індукція в магнітопроводі котушки 5 Тл. <b>Визначити магнітний потік у осерді котушки.</b>	
4.	В робочій точці котушки з феромагнітним осердям магнітний потік у осерді 0,02 Вб, намагнічуючий струм котушки 4 А. Котушка з осердям має 1000 витків. <b>Визначити статичну індуктивність в робочій точці.</b>	
5.	Ідеальну котушку з феромагнітним осердям, що споживала діюче значення струму 2 А, підключили до джерела змінної синусоїдної $u = 282 \sin(\omega t + 30^\circ)$ В. <b>Вказати рівняння миттєвого значення намагнічуючого струму.</b>	
6.	Ідеальну котушку з феромагнітним осердям, підключили до джерела змінної синусоїдної напруги $u = 282 \sin(\omega t + 30^\circ)$ В. Котушка споживала діюче значення струму 2 А. <b>Чому дорівнює індуктивний опір ідеальної котушки з феромагнітним осердям.</b>	
7.	Ідеальну котушку з феромагнітним осердям підключили до джерела змінної синусоїдної $u = 282 \sin(\omega t + 30^\circ)$ В. <b>Чому дорівнює початкова фаза магнітного потоку в осерді котушки?</b>	



Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
8.	Індуктивний опір ідеальної котушки з феромагнітним осердям, підключеної до джерела змінної синусоїдної напруги дорівнює 15,7 Ом. Частота джерела 50 Гц. <b>Визначити індуктивність котушки.</b>	
9.	Ідеальну котушку з феромагнітним осердям, підключили до джерела змінної синусоїдної напруги $u = 282 \sin(\omega t + 30^\circ)$ В. Котушка споживала діюче значення струму 2 А. <b>Чому дорівнює активний опір ідеальної котушки з феромагнітним осердям.</b>	
10.	Ідеальну котушку з феромагнітним осердям підключили до джерела змінної синусоїдної напруги $u = 282 \sin(\omega t + 30^\circ)$ В. <b>Чому дорівнює діюче значення ЕРС самоіндукції в ідеальній котушці з феромагнітним осердям?</b>	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 3$ .

Таблиця 15.3а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	<b>5</b>
2.	<b>- 60</b>
3.	<b>0</b>
4.	<b>0,4</b>
5.	<b>100</b>
6.	<b>0,04</b>
7.	<b>0,05</b>
8.	<b>0,16</b>
9.	<b>200</b>
10.	<b><math>2,82 \sin(\omega t - 60^\circ)</math></b>

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

1. Експериментальна установка складається з генератора постійного струму  $G$ , регулятора напруги  $R_H$ , амперметра  $PA$ , вольтметра  $PV$ , ватметра  $PW$  і котушки  $K$  з феромагнітним осердям. Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 4.1.

Для складання схеми необхідно мати 10 провідників (на схемі позначені номерами 1-10).

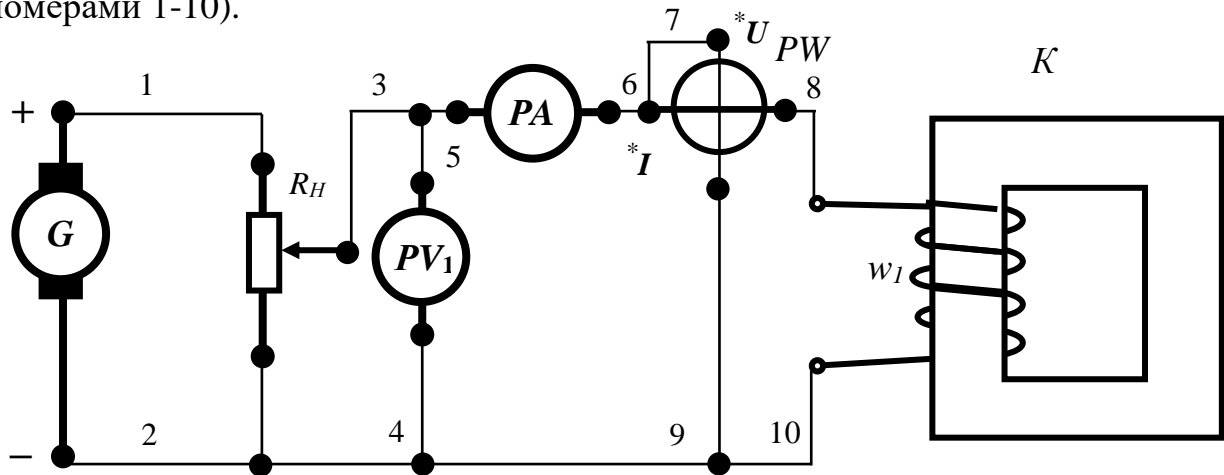


Рисунок 4.1 - Принципова схема експериментальної установки

2. Експериментальна установка складається з генератора змінного струму  $G$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ , амперметра  $PA$ , вольтметра  $PV$ , ватметра  $PW$ , котушки  $K$  з феромагнітним осердям.

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 4.2.

Для складання схеми необхідно мати 10 провідників (на схемі позначені номерами 1-10).

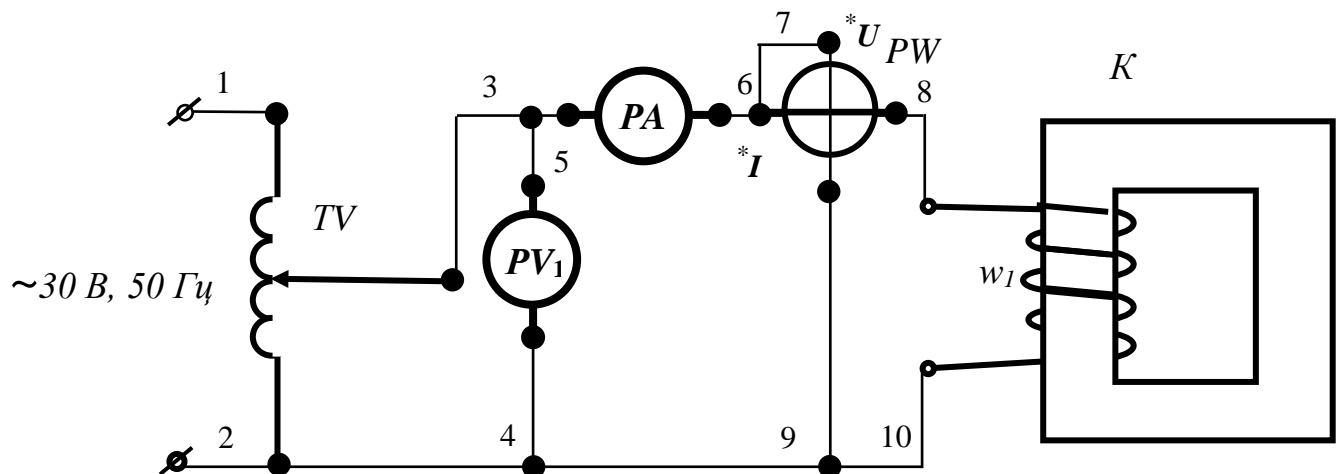


Рисунок 4.2 - Принципова схема експериментальної установки

### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів дорівнюють нулю;
- опір обмотки амперметра і обмотки струму ватметра дорівнює нулю;
- опір обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у них не протікає.

1. Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела постійного струму, наведена на рисунку 4.3.

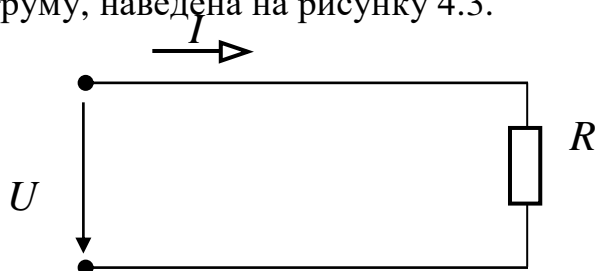


Рисунок 4.3 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела постійного струму

На розрахунковій схемі (рисунок 5.3) введені наступні умовні позначення:

$U$  – напруга на затискачах котушки з феромагнітним осердям, В;

$I$  – сила струму в електричному колі, А;

$R$  – опір проводу котушки, Ом;

2. Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела змінного струму, наведена на рисунку 4.4.

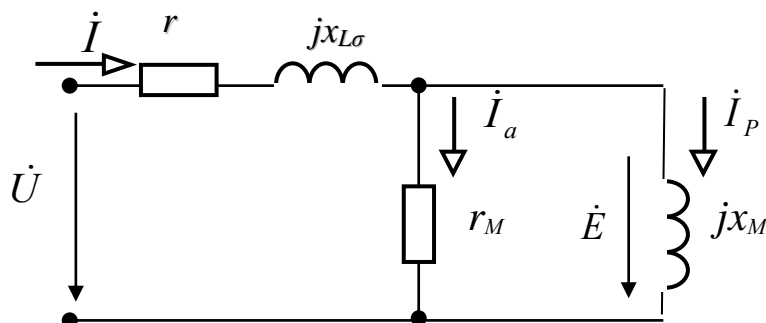


Рисунок 4.4 - Розрахункова схема електричного кола при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела змінного струму

На розрахунковій схемі (рисунок 4.4) введені наступні умовні позначення:

$\dot{U}$  – напруга на затискачах котушки з феромагнітним осердям,  $B$ ;  
 $\dot{I}$  – сила струму в електричному колі,  $A$ ;  
 $\dot{I}_a$  – активна складова струму,  $A$ ;  
 $\dot{I}_p$  – реактивна складова струму,  $A$ ;  
 $r$  – активний опір проводу котушки,  $\Omega$ ;  
 $jx_{L\sigma}$  – реактивний опір котушки магнітному потоку розсіювання,  $\Omega$ ;  
 $r_m$  – активний опір магнітопроводу котушки,  $\Omega$ ;  
 $jx_m$  – реактивний опір магнітопроводу котушки,  $\Omega$ .

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела постійного струму, наведена на рисунку 5.1.
- 2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 3 Встановити напругу за допомогою регулятора, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання приладів у колі котушки з феромагнітним осердям, результати занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати експериментальних досліджень

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	$I, A$	$U, B$	$P, W$
Підключення котушки до джерела <b>постійного</b> струму			

- 4 Зібрати схему експериментальної установки при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела постійного струму, наведена на рисунку 4.2.
- 5 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 6 Встановити напругу за допомогою регулятора, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання приладів у колі котушки з феромагнітним осердям, результати занести в таблицю 4.2.
- 7 Визначити за допомогою експериментальних даних таблиці 4.1 активний

опір проводу котушки з феромагнітним осердям:

$$r = R = \frac{U}{I}. \quad (4.1)$$

Таблиця 4.2 – Результати експериментальних досліджень

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	$I, A$	$U, B$	$P, Bm$
Підключення котушки до джерела змінного струму			

8 Визначити за допомогою експериментальних даних таблиці 4.2 активну потужність, що споживається проводом котушки з феромагнітним осердям на нагрів:

$$P_k = r \cdot I^2. \quad (4.2)$$

9 Визначити за допомогою експериментальних даних таблиці 4.2 активну потужність, що споживається магнітопроводом котушки з феромагнітним осердям на нагрів, використовуючи рівняння:

$$P_M = P - P_k. \quad (4.3)$$

10 Занести отримані значення в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку електричного кола

Фізичні величини, що характеризують коло			
$r, Om$	$P, Bm$	$P_k, Bm$	$P_M, Bm$

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 1

*Тема: Дослідження індуктивної котушки з феромагнітним осердям*

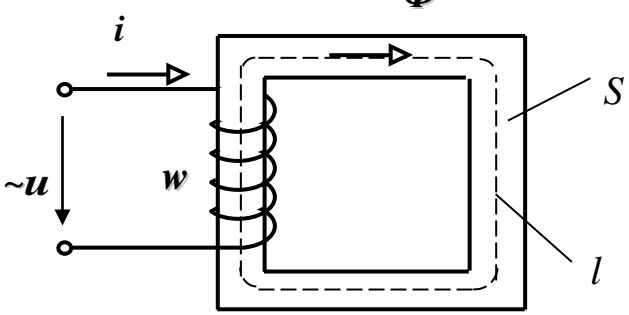
МЕТА: придбання практичних навичок при визначенні параметрів індуктивної котушки з феромагнітним осердям за експериментальними даними, вивчення фізичних процесів, що протікають в індуктивній котушці з феромагнітним осердям

#### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 15 «Нелінійні кола змінного струму» до експериментальної частини 1 [1, с.185-186].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 15.4 [5].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 7.1-7.6 звіту.

#### 2 НАВЧАЛЬНО–КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

Таблиця 15.4 – Навчально-контролюючі завдання

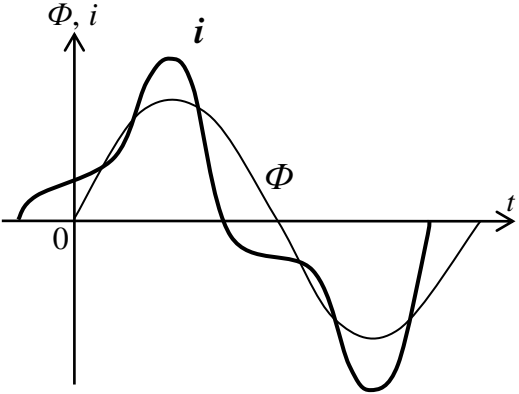
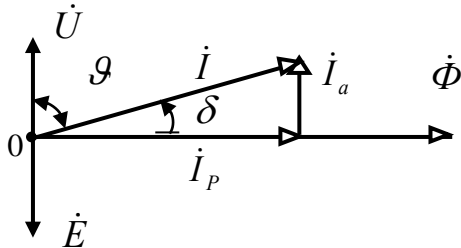
Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
	<p>На представленій схемі позначено: котушка с феромагнітним осереддям із числом витків <math>w</math>, сила змінного струму в котушці <math>i</math>. Магнітопровід характеризується: довжиною магнітопроводу – <math>l</math> і площею перерізу магнітопроводу – <math>S</math>. По-магнітопроводу замикається основний магнітний потік <math>\Phi</math>. У котушці є петля гістерезису й вихрові струми. Активний опір котушки дорівнює нулю, магнітний потік розсіювання відсутній.</p> 	
1.	Покажіть графічно криву струму в котушці з феромагнітним осереддям з урахуванням втрат на гістерезис і вихрові струми.	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
2.	Запишіть рівняння миттєвої напруги джерела при його початковій фазі рівної $90^\circ$ .	
3.	Запишіть рівняння миттєвого магнітного потоку в котушці з феромагнітним осереддям.	
4.	Запишіть рівняння миттєвого несинусоїдного струму, замінивши його еквівалентним синусоїдним для даного випадку.	
5.	Запишіть рівняння миттєвої ЕРС самоіндукції в котушці з феромагнітним осереддям.	
6.	Побудуйте векторну діаграму котушки з урахуванням втрат на гістерезис і вихрові струми.	
7.	З яких складових складається струм, що намагнічує, у котушці з феромагнітним осереддям?	
8.	Складіть розрахункову схему котушки з урахуванням втрат на гістерезис і вихрові струми.	
9.	Від чого і як залежать втрати активної потужності на гістерезис?	
10.	Від чого і як залежать втрати активної потужності на вихрові струми?	
11.	Чому дорівнюють втрати активної потужності в магнітопроводі з електротехнічної сталі.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 10$ .

Таблиця 15.4а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	
2.	$I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \delta)$ .
3.	Сумі втрат активної потужності на вихрові струми і гістерезис.
4.	Прямо пропорційні частоті струму, об'єму осереддя і площі петлі гістерезису.

Номер відповіді	Відповіді
5.	
6.	
7.	$E_m \cdot \sin(\omega \cdot t - 90^\circ)$ .
8.	Прямо пропорційні квадрату частоти струму, товщині окремих листів електротехнічної сталі і магнітної індукції.
9.	$\Phi_m \cdot \sin \omega t$ .
10.	Активна складова, реактивна складова.
11.	$U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ .

Таблиця 15.5 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Які фізичні явища і процеси спостерігаються в реальній котушці з феромагнітним осереддям у колі змінного струму?	

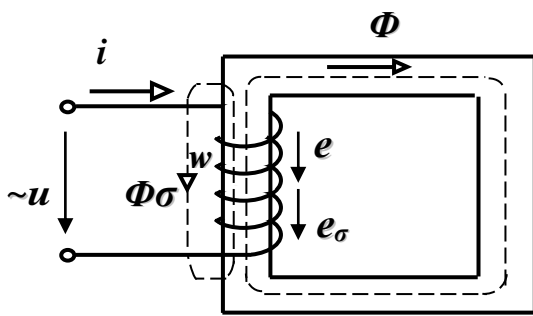
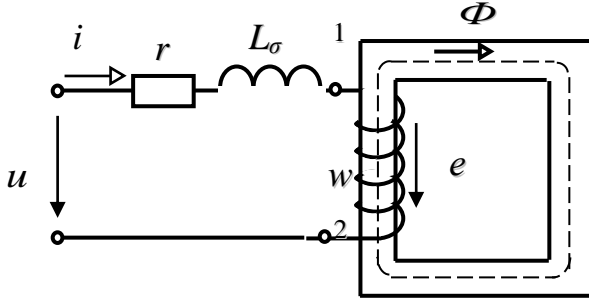
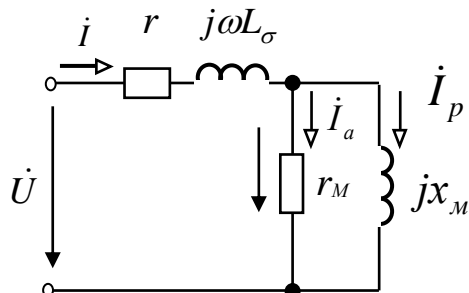


Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
2.	Складіть конструктивну схему реальної котушки з феромагнітним осереддям, указавши фізичні величини.	
3.	Запишіть рівняння реальної котушки з феромагнітним осереддям для миттєвих значень.	
4.	Складіть еквівалентну схему реальної котушки з феромагнітним осереддям, якщо винести на її затискачі індуктивний опір розсіювання і активний опір реальної котушки.	
5.	Складіть схему заміщення реальної котушки з феромагнітним осереддям у комплексній формі.	
6.	Запишіть рівняння реальної котушки з феромагнітним осереддям у комплексній формі.	
7.	Побудуйте векторну діаграму реальної котушки з феромагнітним осереддям.	
8.	Отримайте рівняння ЕРС самоіндукції, якщо початкова фаза магнітного потоку дорівнює нулю.	
9.	Запишіть розрахункову формулу діючого значення ЕРС самоіндукції.	
	Котушку з феромагнітним осереддям підключили до джерела постійної напруги <b>110 В</b> . Котушка споживала струм <b>10,5 А</b> . Потім цю же котушку підключили до джерела змінної синусоїдної напруги з діючим значенням <b>110 В</b> . Ватметр показав <b>1500 Вт</b> .	
10.	Визначити активний опір цієї котушки в омах.	
11.	Визначити активну потужність, що виділяється в провідниках даної котушки у ватах.	
12.	Визначити активну потужність, що виділяється в осередді котушки у ватах.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 4$ .

Таблиця 15.5а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$u = ri + L_{\sigma} \frac{di}{dt} - e$

Номер відповіді	Відповіді
2.	
3.	$\dot{U} = r\dot{I} + jx_{\sigma}\dot{I} - \dot{E}.$
4.	
5.	<b>1155.</b>
6.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- явище електричного струму в котушці;</li> <li>- явище електромагнетизму;</li> <li>- явище теплової дії струму в котушці;</li> <li>- явище електромагнітної індукції (самоіндукції);</li> <li>- явище перемагнічування в магнітопроводі;</li> <li>- явище вихрових струмів у магнітопроводі;</li> <li>- явище теплової дії вихрових струмів;</li> <li>- явище теплової дії від перемагнічування.</li> </ul>
7.	$4,44 \cdot f \cdot w \cdot \Phi_m.$
8.	$E_m \sin(\omega t - 90^\circ).$
9.	<b>345.</b>
10.	

Номер відповіді	Відповіді
11.	<b>10,48.</b>
12.	

Таблиця 15.6 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Котушку з феромагнітним осердям підключили до джерела постійної напруги 110 В. Котушка споживала струм 5 А. <b>Визначити потужність споживану котушкою.</b>	
2.	Котушка з феромагнітним осердям, підключена до джерела змінної синусоїдної напруги 110 В, споживала струм 5 А, активний опір котушки дорівнював 20 Ом. <b>Визначити активну потужність, що виділяється в провідниках даної котушки.</b>	
3.	Котушку з феромагнітним осердям підключили до джерела змінної синусоїдної напруги. Ватметр показав 3000 Вт. Активна потужність, що виділяється в провідниках даної котушки, дорівнює 2700 Вт. <b>Визначити активну потужність, що виділяється в осерді котушки.</b>	
4.	В котушці з феромагнітним осердям, що має 100 витків, підключеної до джерела змінної синусоїдної напруги, наводиться ЕРС самоіндукції, діюче значення якої складає 222 В. Частота джерела 50 Гц. <b>Визначити максимальний магнітний потік.</b>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
5.	В котушці з феромагнітним осердям, підключеної до джерела змінної синусоїдної напруги, наводиться ЕРС самоіндукції, діюче значення якої складає 200 В. Індуктивний опір магнітопроводу дорівнює 400 Ом. <b>Визначити реактивну складову струму.</b>	
6.	В котушці з феромагнітним осердям, підключеної до джерела змінної синусоїдної напруги, наводиться діюче значення ЕРС самоіндукції 200 В. Втрати активної потужності в осерді котушки складають 50 Вт. <b>Визначити активну складову струму.</b>	
7.	В котушці з феромагнітним осердям, підключеної до джерела змінної синусоїдної напруги, наводиться діюче значення ЕРС самоіндукції 200 В. Втрати активної потужності в осерді котушки складають 50 Вт. <b>Визначити активний опір феромагнітного осердя котушки.</b>	
8.	В котушці з феромагнітним осердям, підключеної до джерела змінної синусоїдної напруги, активна складова струму дорівнює 0,25 А, реактивна складова струму дорівнює 1 А. <b>Визначити повний струму котушки.</b>	
9.	В котушці з феромагнітним осердям, підключеної до джерела змінної синусоїдної напруги, активна складова струму дорівнює 0,25 А, реактивна складова струму дорівнює 1 А. <b>Визначити кут втрат котушки.</b>	
10.	В котушці з феромагнітним осердям початкова фаза магнітного потоку дорівнює нулю, а кут втрат котушки 20°. <b>Вказати початкову фазу струму в котушці.</b>	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 13$ .

Таблиця 15.6а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	<b>0,01</b>
2.	<b>0,25</b>
3.	<b>1,032</b>
4.	<b>800</b>
5.	<b>20</b>
6.	<b>300</b>
7.	<b>14</b>
8.	<b>550</b>
9.	<b>0,5</b>
10.	<b>500</b>

### 3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка (рисунок 5.1) складається з генератора змінного струму  $G$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ , амперметра  $PA$ , вольтметрів  $PV_1$ ,  $PV_2$ , ватметра  $PW$ , котушки з феромагнітним осердям і вимірювальна котушка  $K$ .

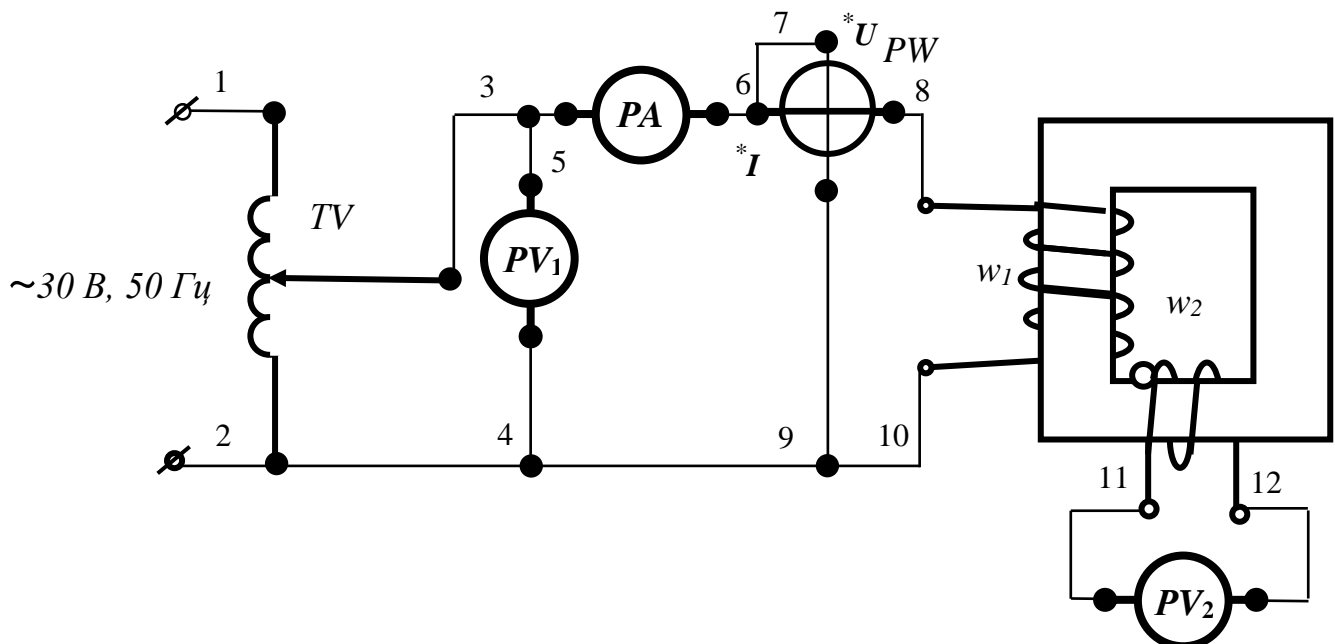


Рисунок 5.1 - Принципова схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 12 провідників (на схемі позначені номерами 1-12).

### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

Розрахункова схема електричного кола при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела змінного струму, наведена на рисунку 5.2.

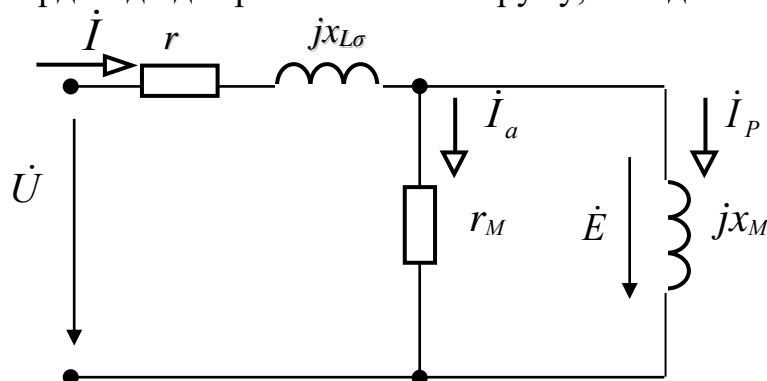


Рисунок 5.2 - Розрахункова схема при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела змінного струму

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

$\dot{U}$  – напруга на затискачах котушки з феромагнітним осердям,  $B$ ;

$\dot{I}$  – сила струму в електричному колі,  $A$ ;

$\dot{I}_a$  – активна складова струму,  $A$ ;

$\dot{I}_P$  – реактивна складова струму,  $A$ ;

$r$  – активний опір проводу котушки,  $\Omega$ ;

$jx_{L\sigma}$  – реактивний опір котушки магнітному потоку розсіювання,  $\Omega$ ;

$r_M$  – активний опір магнітопроводу котушки,  $\Omega$ ;

$jx_M$  – реактивний опір магнітопроводу котушки,  $\Omega$ .

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки при підключенні котушки з феромагнітним осердям до джерела змінного струму (рисунку 5.1).
- 2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 3 Встановити напругу за допомогою регулятора, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує 1А, зняти показання приладів, результати занести в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати експериментальних досліджень котушки

Умови проведення експерименту	Показання приладів			
	$I, A$	$U_1, B$	$U_2, B$	$P, W$
Підключення котушки до джерела змінного струму				

- 4 Записати параметри досліджуваної індуктивної котушки з феромагнітним

осереддям:

активний опір проводу котушки  $r_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  Ом.

число витків котушок:  $w_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  ;

і вимірювальної котушки  $w_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  .

5 Визначити за допомогою експериментальних даних активну потужність, що споживається проводом котушки на нагрів:

$$P_k = r_1 \cdot I^2 ; \quad (5.1)$$

де  $r_1$  – опір проводу котушки, Ом.

6 Записати активну потужність, що споживається котушкою з феромагнітним осердям.

7 Визначити за допомогою експериментальних даних активну потужність, що споживається магнітопроводом котушки з феромагнітним осердям на нагрів, використовуючи рівняння:

$$P = P_k + P_m ; \quad (5.2)$$

8 Визначити за допомогою експериментальних даних ЕРС взаємоіндукції у вимірювальній котушці, використовуючи рівняння:

$$U_2 = E_2 ; \quad (5.3)$$

9 Визначити амплітуду магнітного потоку у магнітопроводі котушки, використовуючи рівняння:

$$E_2 = 4,44 f \cdot w_2 \cdot \Phi_m . \quad (5.4)$$

10 Визначити ЕРС самоіндукції у котушці з феромагнітним осердям, використовуючи рівняння:

$$E_1 = 4,44 f \cdot w_1 \cdot \Phi_m . \quad (5.5)$$

11 Визначити активну складову струму в котушці з феромагнітним осердям, використовуючи рівняння:

$$I_a = \frac{P_m}{E_1} . \quad (5.6)$$

12 Визначити активний опір магнітопроводу котушки з феромагнітним осердям, використовуючи рівняння:

$$P_m = r_m \cdot I_a^2 . \quad (5.7)$$

13 Визначити реактивну складову струму в котушці з феромагнітним осердям, використовуючи рівняння:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} . \quad (5.8)$$

14 Визначити активний опір магнітопроводу котушки з феромагнітним осердям, використовуючи рівняння:

$$E_l = x_m \cdot I_p . \quad (5.9)$$

15 Визначити реактивний опір котушки з феромагнітним осердям потоку розсіювання, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_l = r \cdot \dot{I} + jx_m \cdot \dot{I} - \dot{E}_l . \quad (5.10)$$

16 Занести отримані значення в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку електричного кола

Фізичні величини, що характеризують коло										
$r, \text{ Ом}$	$P, \text{ Вт}$	$P_K, \text{ Вт}$	$P_M, \text{ Вт}$	$\Phi_m, \text{ Вб}$	$E_l, \text{ В}$	$I_a, \text{ А}$	$I_p, \text{ А}$	$r_m, \text{ Ом}$	$x_m, \text{ Ом}$	$x_\sigma, \text{ Ом}$

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 2

**Тема: Ферорезонанс напруги**

**МЕТА:** придбання практичних навичок при дослідженні режиму ферорезонансу напруги в електричних колах, що містять послідовно з'єднані конденсатор і індуктивну котушку з феромагнітним осердям

### 1 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 15 «Нелінійні кола змінного струму» [2, с.658-660].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 15.5 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.



1.4 Виконати пункти 7.1-7.9 звіту.

## 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

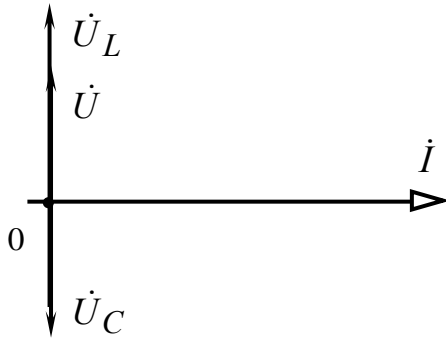
Таблиця 15.7 – Навчально-контролюючі завдання

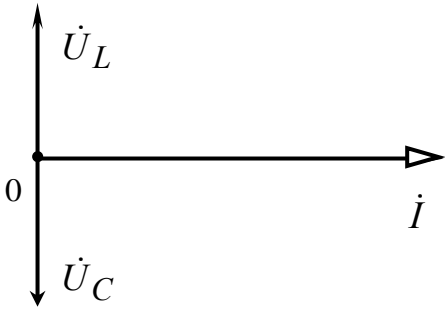
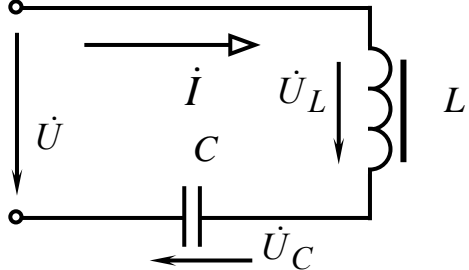
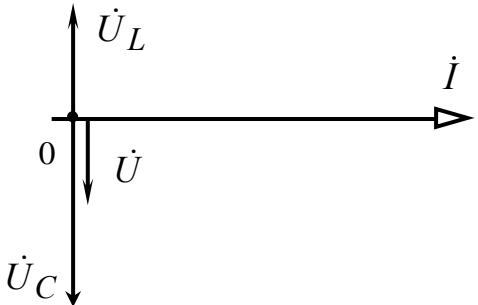
Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Які пристрої повинно містити електричне коло для виникнення в ньому ферорезонансу?	
2.	Яким явищем супроводжується ферорезонанс в електричному колі?	
3.	Чому при ферорезонансі виникає стрибкоподібні зміни струму (напруги) при незначній зміні напруги (струму) на вході електричного кола?	
4.	Що розуміють під ферорезонансом напруги?	
5.	Вкажіть умови виникнення ферорезонансу напруг.	
6.	Вкажіть розрахункову схему послідовно з'єднаних ідеальних конденсатора й котушки з феромагнітним осереддям.	
7.	Наведіть алгоритм побудови вольт-амперної характеристики електричного кола послідовно з'єднаних ідеальної котушки з феромагнітним осереддям і ідеального конденсатора.	
8.	Наведіть графічні залежності ідеальної котушки зі сталлю $U_L(I)$ , ідеального конденсатора $U_C(I)$ і вольт-амперну характеристику всього кола $U=(I)$ .	
9.	Яка точка на вольт-амперних характеристиках ідеальної котушки зі сталлю $U_L(I)$ , ідеального конденсатора $U_C(I)$ відповідає ферорезонансу напруги?	
10.	Побудуйте векторну діаграму електричного кола послідовно з'єднаних ідеальних конденсатора і ідеальної котушки з феромагнітним осереддям при індуктивному режимі у електричному колі.	

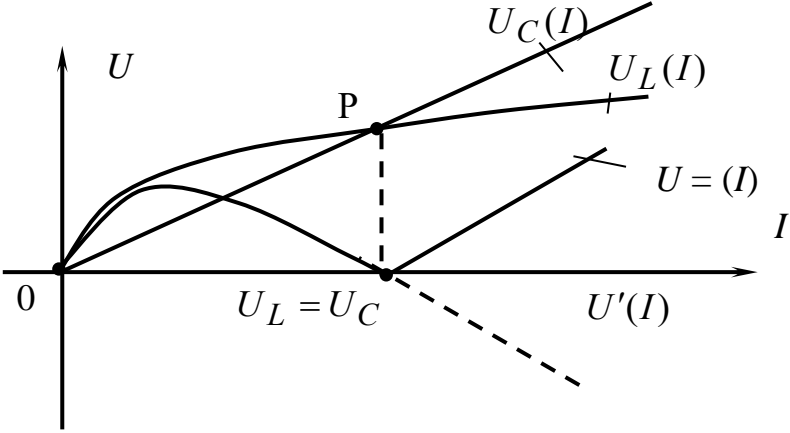
Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
11.	Чому дорівнює прикладена напруга до електричного кола для розрахункової схеми послідовно з'єднаних ідеальних конденсатора і ідеальної котушки з феромагнітним осереддям?	
12.	Побудуйте векторну діаграму електричного кола послідовно з'єднаних ідеальних конденсатора і ідеальної котушки з феромагнітним осереддям при резонансі напруги.	
13.	Чому дорівнює загальний реактивний опір електричного кола при резонансі напруги?	
14.	Побудуйте векторну діаграму для електричного кола з послідовно з'єднаних ідеальних конденсатора і ідеальної котушки з феромагнітним осереддям при ємнісному у режимі у електричному колі.	
15.	Яке співвідношення між напругами на нелінійній індуктивності і ємності при ферорезонансі напруг?	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 13$ .

Таблиця 15.7а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$U_L = U_C$
2.	Явищем стрибкоподібної зміни знаку кута зсуву фаз між основними гармоніками напруги і струму, а також різкою зміною струму (напруги) при незначній зміні напруги (струму) на вході електричного кола.
3.	
4.	$\dot{U} = \dot{U}_L + \dot{U}_C$

Номер відповіді	Відповіді
5.	Нулю.
6.	Точка «Р» перетину вольт-амперних характеристик ідеальної котушки зі сталлю $U_L(I)$ і ідеального конденсатора $U_C(I)$ при якій $U_L = U_C$ .
7.	
8.	
9.	Зміна знаку кута зсуву фаз між основними гармоніками напруги і струму при зміні напруги на вході електричного кола.
10.	
11.	Тому, що вольт-амперна характеристик котушки зі сталлю є нелінійною, що є слідством зміни параметру котушки – індуктивності.
12.	Котушку з феромагнітним магнітопроводом, з'єднану послідовно або паралельно з конденсатором.
13.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибираємо масштаби напруги й сили струму;</li> <li>- будуємо вольт-амперні характеристики ідеальної котушки зі сталлю <math>U_L(I)</math> і ідеального конденсатора <math>U_C(I)</math> за даними таблиць;</li> <li>- будуємо вольт-амперну характеристику всього кола шляхом підсумовування напруг при одній і тій же силі струму <math>I = f(U)</math>.</li> </ul>

Номер відповіді	Відповіді
14.	
15.	<p>1. Вольт-амперні характеристики котушки з феромагнітним осередком і ідеального конденсатора мають загальну точку перетину.</p> <p>2. Індуктивний опір кола дорівнює ємнісному опорю кола.</p>

### 3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

1. Експериментальна установка для дослідження ВАХ котушки з феромагнітним осередком і ВАХ конденсатора складається з генератора змінного струму  $G$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ , амперметра  $PA$ , вольтметра  $PV$ , котушки з феромагнітним осередком і конденсатора.

Принципова електрична схема експериментальної установки для дослідження ВАХ котушки з феромагнітним осередком і ВАХ конденсатора наведена на рисунку 5.3.

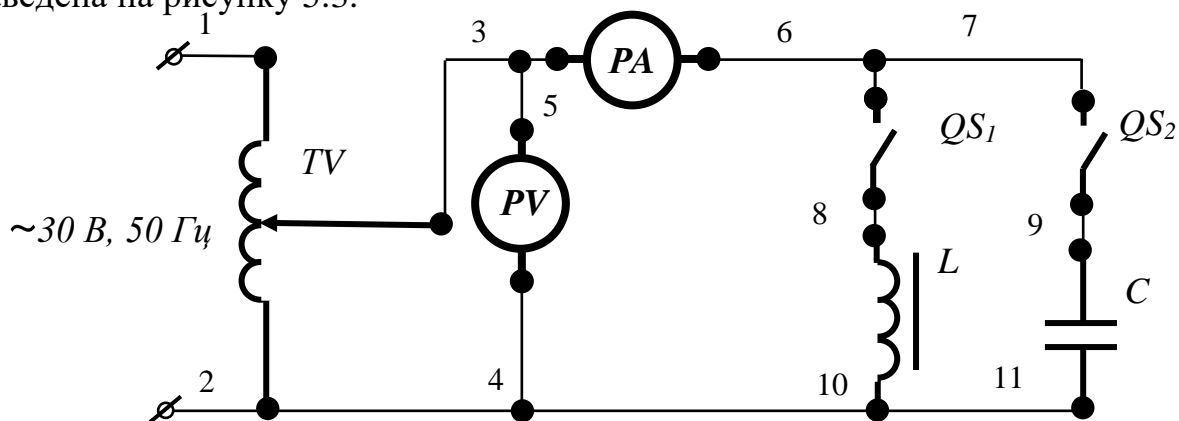


Рисунок 5.3 - Принципова схема експериментальної установки для дослідження ВАХ котушки з феромагнітним осередком і ВАХ конденсатора

Для складання схеми необхідно мати 11 провідників (на схемі позначені номерами 1-11).

2. Експериментальна установка для дослідження ферорезонансу складається з генератора змінного струму  $G$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ , реостат  $R_H$  для обмеження сили струму, амперметра  $PA$ , вольтметрів  $PV_1$ ,  $PV_2$ ,  $PV_3$ , котушки з феромагнітним осердям  $K$ , конденсатора  $C$  і вимикачі  $QS_1$ ,  $QS_2$ .

Принципова електрична схема експериментальної установки для дослідження ферорезонансу напруги наведена на рисунку 5.4.

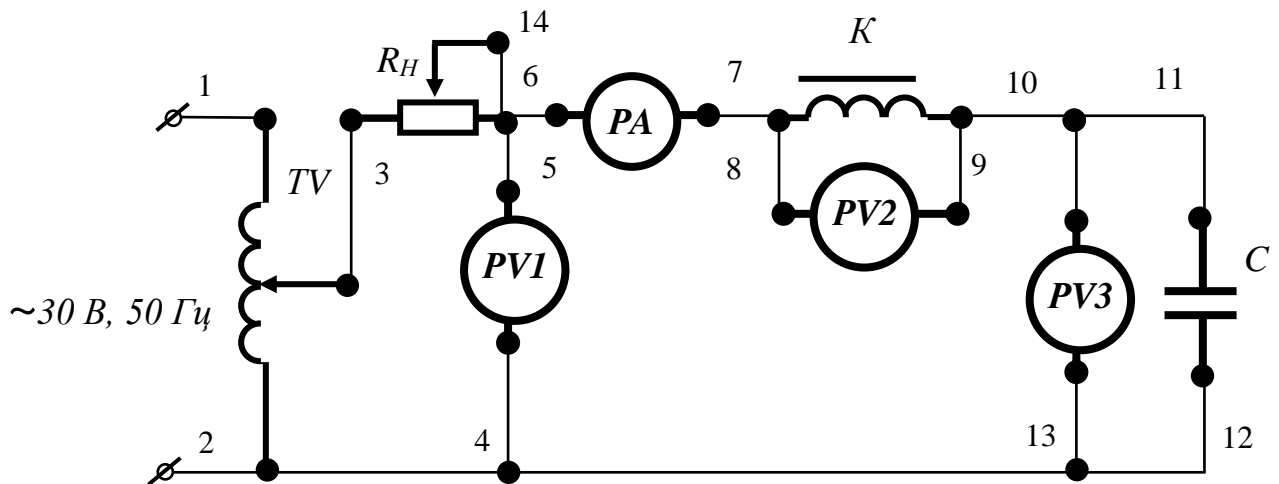


Рисунок 5.4 - Принципова електрична схема експериментальної установки для дослідження ферорезонансу напруги

Для складання схеми необхідно мати 14 провідників (на схемі позначені номерами 1-14).

### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки для дослідження ферорезонансу напруги, якщо прийняти що котушка з феромагнітним осердям ідеальна та ідеальний конденсатор, наведена на рисунку 5.5.

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- $\dot{U}$  – напруга на затискачах котушки з феромагнітним осердям,  $B$ ;
- $\dot{I}$  – сила струму в електричному колі,  $A$ ;
- $L$  – нелінійна індуктивність котушки з феромагнітним осердям,  $Gn$ ;
- $C$  – ємність конденсатора,  $\Phi$ .

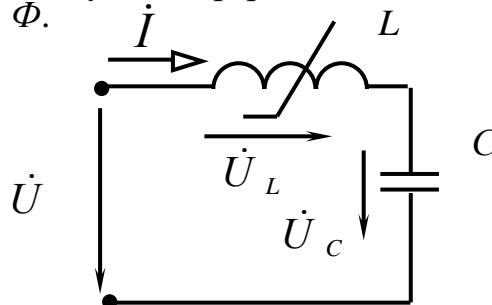


Рисунок 5.5 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки для дослідження ферорезонансу напруги

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки для дослідження ВАХ котушки з феромагнітним осердям і ВАХ конденсатора, що наведена на рисунку 5.3.
- 2 Замкнути вимикач  $QS_1$ , а вимикач  $QS_2$  розімкнути.
- 3 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 4 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує  $1\text{А}$ , зняти показання приладів у колі котушки з феромагнітним осердям, результати занести в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики котушки з феромагнітним осердям  $U_L(I_L)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $QS_2$ замкнений, вимикач $QS_1$ розімкнений	$U_L, \text{В}$	0								
	$I_L, \text{А}$									

- 5 Встановити ємність конденсатора 50...70 мкФ. Замкнути вимикач  $QS_2$ , а вимикач  $QS_1$  розімкнути.
- 6 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 7 Змінюючи напругу за допомогою регулятора напруги від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує  $1\text{А}$ , зняти показання приладів у колі конденсатора, результати занести в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики конденсатора  $U_C(I_C)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Вимикач $QS_2$ замкнений, вимикач $QS_1$ розімкнений	$U_C, \text{В}$	0								
	$I_C, \text{А}$									

- 8 Побудувати графіки ВАХ котушки з феромагнітним осердям  $U_L(I_L)$  і ВАХ конденсатора  $U_C(I_C)$  в одних осях. Визначити: чи можливий режим ферорезонансу напруги у колі при обраній ємності конденсатора, для цього знайдіть точку перетину графіків ВАХ котушки і конденсатора.
- 9 Побудувати в тих же осях графік ВАХ електричного кола  $U(I)$  при послідовному з'єднанні котушки з феромагнітним осердям і конденсатора, використовуючи рівняння:

$$U = |U_L - U_C|. \quad (5.11)$$

- 10 Визначити за допомогою графіка ВАХ електричного кола  $U(I)$ :
  - напругу в колі  $U_{СТР}$ , при якій відбувається стрибок струму;
  - силу струму на початку стрибка  $I_1$ ;
  - сила струму на при кінці стрибка  $I_2$ ;
  - визначити напругу на котушці з феромагнітним осердям при ферорезонансі напруги  $U_{LP}$ ;

- визначити напругу на конденсаторі при ферорезонансі напруги  $U_{CP}$ ;
- визначити силу струму при ферорезонансі напруги  $I_P$ ;
- визначити еквівалентну індуктивність котушки в момент ферорезонансу напруги, використовуючи рівняння:

$$L_e = \frac{U_{LP}}{\omega I_p}, \quad (5.12)$$

- визначити ємність конденсатора в момент ферорезонансу напруги, використовуючи рівняння:
- 

$$x_C = \frac{U_{CP}}{I_p}, \quad (5.13)$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot x_C}. \quad (5.14)$$

11 Результати розрахунку електричного кола при ферорезонансі напруги занести в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати розрахунку електричного кола

Фізичні величини, що характеризують коло							
$U_{Cтр}, B$	$I_1, A$	$I_2, A$	$I_P, A$	$U_{LP}, B$	$L_e, Гн$	$U_{CP}, B$	$C, \Phi$

12 Побудувати векторну діаграму напруги і струму для режиму ферорезонансу в масштабі.

13 Зібрати схему експериментальної установки для дослідження ферорезонансу напруги, що наведена на рисунку 5.4.

11 Ввести реостат  $R_H$  для обмеження сили струму.

12 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.

13 Змінюючи напругу за допомогою автотрансформатора від 0 до значення, при якому струм у електричному дослідному колі не перевищує  $2A$ , зняти експериментальну вольт-амперну характеристику  $U_E(I_E)$  електричного кола, показання приладів у електричному колі занести в таблицю 5.6.

14 Побудувати в тих же осях графік експериментальних досліджень ВАХ електричного кола  $U_E(I_E)$  при дослідженні ферорезонансу напруги.

Таблиця 5.6 – Результати експериментальних досліджень вольт-амперної характеристики кола  $U_E(I_E)$

Умови проведення експерименту	Показання приладів									
Реостат $R_H$ введений	$U_E, B$	0								
	$I_E, A$									

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

**Тема: Дослідження трансформатора з феромагнітним осердям**

**МЕТА:** придбання практичних навичок визначення параметрів трансформатора з феромагнітним осердям вивчити фізичні явище і процеси у трансформаторі з феромагнітним осердям

### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 15 «Нелінійні кола змінного струму» [1, с.186-191].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 15.8, 15.9 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

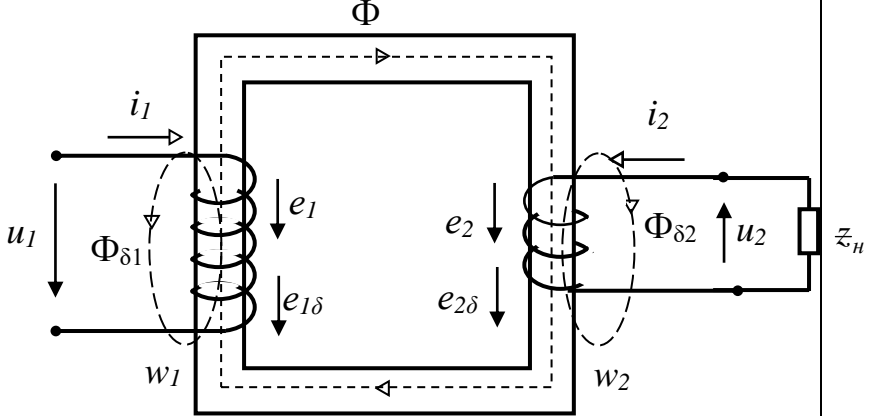
1.4 Виконати пункти 7.1-7.6 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

Таблиця 15.8 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
	На представленій конструктивній схемі трансформатора з феромагнітним осердям позначено: $w_1, w_2$ – числа витків первинної й вторинної обмоток; $u_1$ – напруга на затискачах первинної обмотки; $u_2$ - напруга на затискачах вторинної обмотки; $i_1, i_2$ – сили струмів первинної і вторинної обмоток; $\Phi$ основний магнітний потік у магнітопроводі; $\Phi_{\delta 1}$ – магнітний потік розсіювання в первинній обмотці; $\Phi_{\delta 2}$ – магнітний потік розсіювання у вторинній обмотці; $e_1$ , – ЕРС самоіндукції первинної обмотки; $e_2$ - ЕРС взаємної індукції вторинної обмотки; $e_{\delta 1}, e_{\delta 2}$ – ЕРС первинної і вторинної обмоток, створені відповідними магнітними потоками розсіювання.	



Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
	<p>У феромагнітному осередді є петля гістерезису і вихрові струми.</p> 	
1.	Як улаштований трансформатор з феромагнітним осереддям?	
2.	Які явища спостерігаються в первинній обмотці трансформатора з феромагнітним осереддям?	
3.	Які явища спостерігаються у вторинній обмотці трансформатора з феромагнітним осереддям при підключеному навантаженні?	
4.	Які явища спостерігаються в магнітопроводі трансформатора з феромагнітним осереддям?	
5.	Складіть розрахункову схему трансформатора з феромагнітним осереддям для комплексів, якщо $w_1 = w_2$ .	
6.	Запишіть рівняння рівноваги первинного контуру для миттєвих значень.	
7.	Запишіть рівняння рівноваги первинного контуру в комплексній формі.	
8.	Запишіть рівняння рівноваги вторинного контуру для миттєвих значень.	
9.	Запишіть рівняння рівноваги вторинного контуру в комплексній формі.	
10.	Запишіть рівняння для визначення діючого значення ЕРС самоіндукції первинної обмотки.	
11.	Запишіть рівняння для визначення діючого значення ЕРС взаємної індукції вторинної обмотки.	
12.	Що таке коефіцієнт трансформації трансформатора?	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
13.	Запишіть рівняння для визначення коефіцієнта трансформації.	
	Трансформатор з феромагнітним осередком має первинну обмотку з <b>1200 витків</b> , вторинну обмотку з <b>60 витків</b> . До первинної обмотки підведена напруга <b>4000 В</b> .	
14.	Визначити коефіцієнт трансформації даного трансформатора.	
15.	Визначити напруга на затискачах вторинної обмотки у вольтах.	
	На магнітопровід трансформатора намотали вимірювальну обмотку з <b>500 витків</b> . Частота струму в первинній обмотці дорівнює <b>50 Гц</b> . До вимірювальної обмотки підключили вольтметр, що показав <b>400 В</b> .	
16.	Визначити амплітуду магнітного потоку в магнітопроводі трансформатора у веберах.	

У разі вірного виконання завдання  $\sum_{\text{непарних}} - \sum_{\text{парних}} = 28$ .

Таблиця 15.8а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$e_2 = r_2 \cdot i_2 + L_{\sigma 2} \cdot \frac{di_2}{dt} + u_2.$
2.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- явище електромагнітної індукції (взаємоіндукція);</li> <li>- явище електричного струму;</li> <li>- явище теплової дії струму;</li> <li>- явище електромагнетизму;</li> <li>- явище електромагнітної індукції (самоіндукції).</li> </ul>
3.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- явище електричного струму;</li> <li>- явище електромагнетизму;</li> <li>- явище теплової дії струму;</li> <li>- явище електромагнітної індукції (самоіндукції).</li> </ul>
4.	$u_1 = r_1 \cdot i_1 + L_{\sigma 1} \cdot \frac{di_1}{dt} - e_1.$

Номер відповіді	Відповіді
5.	<p>The diagram shows a transformer circuit model. On the left, terminals 1 and 2 are connected to a voltage source <math>\dot{U}_1</math>. Terminal 1 is connected to a series resistor <math>r</math>, followed by a series inductor <math>jx_{\sigma 1}</math>. The primary winding is represented by a vertical branch containing a resistor <math>r_M</math> and a series inductor <math>jx_M</math>. The secondary winding is represented by a vertical branch containing a series inductor <math>jx_M</math> and a shunt load <math>Z_H</math>. The secondary terminals are 1' and 2'. A series resistor <math>r</math> and a series inductor <math>jx_{\sigma 2}</math> are connected between the primary and secondary windings. Currents are labeled: <math>\dot{I}_1</math> entering terminal 1, <math>\dot{I}_2</math> leaving terminal 1', <math>\dot{I}_0</math> entering the top of the primary winding, <math>\dot{I}_a</math> entering the top of the primary winding branch, and <math>\dot{I}_p</math> entering the top of the secondary winding branch. The induced EMFs are labeled <math>\dot{E}_1 = \dot{E}_2</math>.</p>
6.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- явище електромагнітної індукції;</li> <li>- явище вихрових струмів;</li> <li>- явище теплової дії вихрових струмів;</li> <li>- явище перемагнічування;</li> <li>- явище теплової дії від перемагнічування.</li> </ul>
7.	<b>20.</b>
8.	На замкнутому феромагнітному осередді розташовані дві обмотки. До однієї обмотки, що зветься первинної, підводить електрична енергія від джерела. До іншої обмотки, що називається вторинною обмоткою, підключене навантаження.
9.	Відношення електрорушійної сили самоіндукції до електрорушійної сили взаємоіндукції.
10.	$4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_m$ .
11.	$4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_m$ .
12.	$\dot{E}_2 = r_2 \cdot \dot{I}_2 + jx_{\sigma 2} \cdot \dot{I}_2 + \dot{U}_2$ .
13.	<b>0,016.</b>
14.	$\dot{U}_1 = r_1 \cdot \dot{I}_1 + jx_{\sigma 1} \cdot \dot{I}_1 - \dot{E}_1$ .
15.	<b>200.</b>
16.	$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$ .

Таблиця 15.9 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Що таке приведений трансформатор?	
2.	При якій умові виконується приведення вторинної обмотки до первинної обмотки?	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
3.	Як привести електрорушійну силу вторинного контуру до числа витків первинної обмотки?	
4.	Запишіть формулу приведення електрорушійної сили вторинного контуру до числа витків первинної обмотки.	
5.	Як привести напругу вторинного контуру до числа витків первинної обмотки?	
6.	Запишіть формулу приведення напруги вторинного контуру до числа витків первинної обмотки.	
7.	Як привести силу струму вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки?	
8.	Запишіть формулу приведення сили струму вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки	
9.	Як привести активний опір вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки?	
10.	Запишіть формулу приведення активного опору вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки	
11.	Як привести реактивний опір вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки?	
12.	Запишіть формулу приведення реактивного опору вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки	
13.	Як привести повний опір вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки?	
14.	Запишіть формулу приведення повного опору вторинної обмотки до числа витків первинної обмотки	
15.	Складіть розрахункову схему (схему заміщення) приведенного трансформатора комплексами.	
16.	Запишіть рівняння рівноваги первинного контуру приведенного трансформатора в комплексній формі.	
17.	Запишіть рівняння рівноваги вторинного контуру приведенного трансформатора в комплексній формі.	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = 9$ .

Таблиця 15.9а

Номер відповіді	Відповіді
1.	Добуток активного опору вторинної обмотки на квадрат коефіцієнта трансформації.
2.	$r_2 \cdot k^2$ .
3.	Добуток повного опору вторинної обмотки на квадрат коефіцієнта трансформації.

Номер відповіді	Відповіді
4.	$x_{\sigma 2} \cdot k^2$ .
5.	$\dot{E}'_2 = r'_2 \cdot \dot{I}'_2 + jx'_{\sigma 2} \cdot \dot{I}'_2 + \dot{U}'_2$ .
6.	Магнітний потік і потужність трансформатора залишаються без змін.
7.	$U_2 \cdot k$ .
8.	Обидві обмотки трансформатора приводять до однієї кількості витків.
9.	
10.	$E_2 \cdot k$ .
11.	$\frac{I_2}{k}$ .
12.	Добуток напруги вторинного контуру на коефіцієнт трансформації.
13.	Добуток реактивного опору вторинної обмотки на квадрат коефіцієнта трансформації.
14.	Добуток електрорушійної сили вторинного контуру на коефіцієнт трансформації.
15.	$\dot{U}_1 = r_1 \cdot \dot{I}_1 + jx_{\sigma 1} \cdot \dot{I}_1 - \dot{E}_1$ .
16.	Відношення сили струму вторинної обмотки до коефіцієнта трансформації
17.	$z_2 \cdot k^2$ .

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка складається з генератора змінного струму  $G$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ , амперметрів  $PA_1$ ,  $PA_2$ , вольтметрів  $PV_1$ ,  $PV_2$ , ватметра  $PW$ , навантажувального реостату  $R_H$ , вимикача  $QS_1$ . Принципова

електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 6.1.

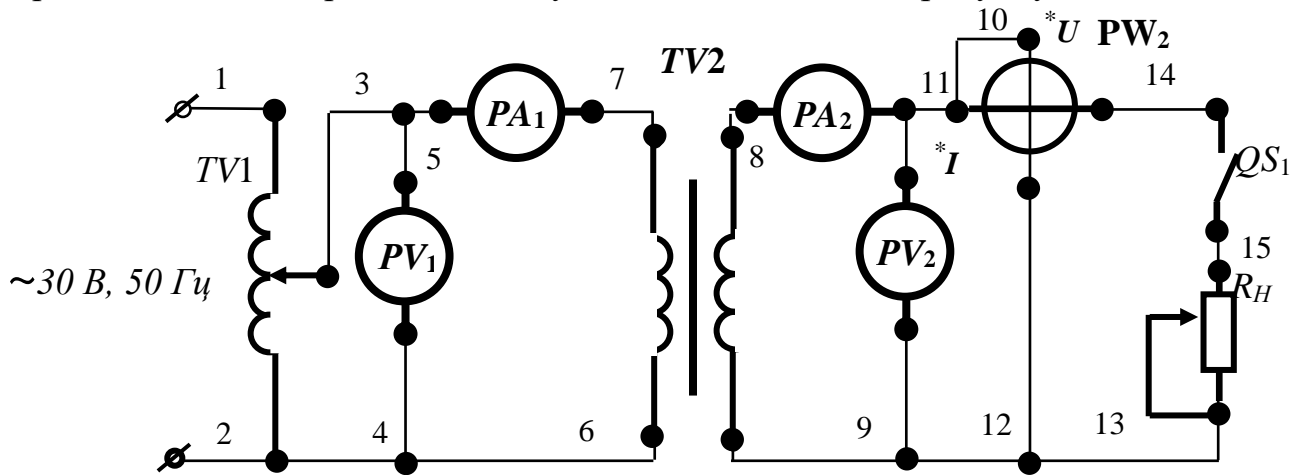


Рисунок 6.1 - Принципова схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 15 провідників (на схемі позначені номерами 1-15).

### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів дорівнюють нулю;
- опір обмотки амперметра і обмотки струму ватметра дорівнює нулю;
- опір обмоток вольтметрів і обмотки напруги ватметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у них не протікає.

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при дослідженні трансформатора з феромагнітним осердям наведена на рисунку 6.2.

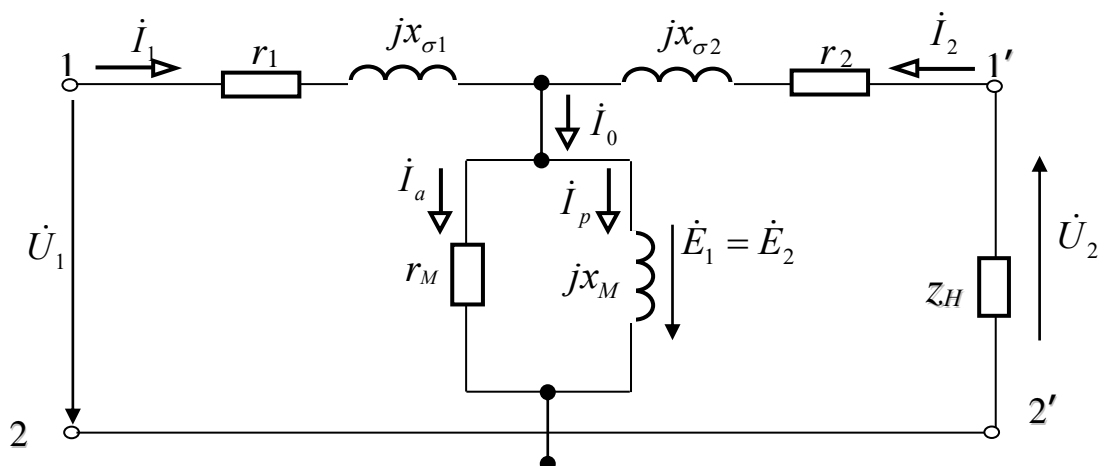


Рисунок 6.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при дослідженні трансформатора з феромагнітним осердям

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

$\dot{U}_1$  – напруга на затискачах первинної обмотки трансформатора,  $B$ ;  
 $\dot{I}_1$  – сила струму в електричному колі первинної обмотки трансформатора,  $A$ ;  
 $\dot{U}_2$  – напруга на затискачах вторинної обмотки трансформатора,  $B$ ;  
 $\dot{I}_2$  – сила струму в електричному колі вторинної обмотки трансформатора,  $A$ ;  
 $r_1$  – активний опір первинної обмотки,  $Om$ ;  
 $jx_{\sigma 1}$  – реактивний опір первинної обмотки магнітному потоку розсіювання,  $Om$ ;  
 $r_2$  – активний опір вторинної обмотки,  $Om$ ;  
 $jx_{\sigma 2}$  – реактивний опір вторинної обмотки магнітному потоку розсіювання,  $Om$ ;  
 $r_m$  – активний опір магнітопроводу,  $Om$ ;  
 $jx_m$  – реактивний опір магнітопроводу котушки,  $Om$ .  
 $\dot{I}_a$  – активна складова струму,  $A$ ;  
 $\dot{I}_p$  – реактивна складова струму,  $A$ ;  
 $Z_n$  – повний опір навантаження,  $Om$ .  
 $\dot{U}_1$  – напруга на затискачах первинної обмотки,  $B$ ;  
 $\dot{U}_2$  – напруга на затискачах вторинної обмотки,  $B$ ;  
 $\dot{I}_1$  – сила струму в колі первинної обмотки,  $A$ ;  
 $\dot{I}_2$  – сила струму в колі вторинної обмотки,  $A$ ;  
 $\dot{E}_1$  – ЕРС самоіндукції первинної обмотки,  $B$ ;  
 $\dot{E}_2$  – ЕРС взаємоіндукції вторинної обмотки,  $B$ ;

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки при підключенні трансформатора з феромагнітним осердям до джерела змінного струму, наведена на рисунку 6.1.
- 2 Розімкнути вимикач  $QS_1$  (режим холостого ходу трансформатора).
- 3.Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 4 Встановити напругу за допомогою ЛАТР  $TV_1$ , зняти показання приладів у колі котушки з феромагнітним осердям, результати занести в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати експериментальних досліджень

№ п/п	Умови проведення експерименту	Показання приладів				
		$U_1, B$	$U_2, B$	$I_1, A$	$I_2, A$	$P_2, Вт$
1	Вимикач $QS_1$ розімкнений (режим холостого ходу)					
2	Вимикач $QS_1$ замкнений (навантажувальний режим)					

5 Навантажувальний реостат  $R_H$  повністю ввести.

6 Замкнути вимикач  $QS_1$  (навантажувальний режим трансформатора), результати занести в таблицю 6.1.

7 Записати параметри досліджуваного трансформатора з феромагнітним осереддям:

число витків первинної обмотки:  $w_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  ;

число витків вторинної обмотки:  $w_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  .

активний опір первинної обмотки:  $r_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  ;

активний опір вторинної обмотки:  $r_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  ;

6.8 Визначити за допомогою експериментальних даних режиму ходостого ходу ЕРС взаємоіндукції у вторинній обмотці трансформатора, використовуючи режим холостого ходу:

$$U_2 = E_2. \quad (6.1)$$

6.9 Визначити амплітуду магнітного потоку у магнітопроводі трансформатора, використовуючи рівняння (4.4):

6.10 Визначити ЕРС самоіндукції у трансформаторі з феромагнітним осереддям, використовуючи рівняння (4.5):

6.13 Визначити втрати активної потужності у проводі первинної обмотки для режиму холостого ходу, використовуючи рівняння (4.2).

6.14 Визначити за допомогою розрахункових і експериментальних даних для режиму холостого ходу активну потужність, що споживається магнітопроводом котушки з феромагнітним осереддям на нагрів, використовуючи рівняння (4.3).

6.15 Визначити за допомогою розрахункових даних активну складову струму, використовуючи рівняння (5.6).

6.16 Визначити за допомогою розрахункових даних активний опір магнітопроводу котушки з феромагнітним осереддям, використовуючи рівняння (5.7).

6.17 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну складову струму, використовуючи рівняння (5.8).

6.18 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивний опір магнітопроводу котушки з феромагнітним осереддям, використовуючи рівняння (5.9).

6.19 Визначити за допомогою розрахункових і експериментальних даних для режиму холостого ходу ЕРС, що наводиться потоком розсіяння, яка складає 5% ЕРС самоіндукції первинної обмотки.

6.20 Визначити за допомогою розрахункових і експериментальних даних для режиму холостого ходу реактивний опір потоку розсіяння первинної обмотки, використовуючи рівняння:

$$x_{\sigma 1} = \frac{E_{\sigma 1}}{I_1}. \quad (6.2)$$

6.21 Визначити за допомогою розрахункових і експериментальних даних для режиму холостого ходу ЕРС, що наводиться потоком розсіяння, яка складає 5% ЕРС взаємоіндукції вторинної обмотки.

6.22. Визначити за допомогою розрахункових і експериментальних даних для



режиму холостого ходу реактивний опір потоку розсіяння вторинної обмотки, використовуючи рівняння:

$$x_{\sigma 2} = \frac{E_{\sigma 2}}{I_2}. \quad (6.3)$$

6.23 Визначити повний опір навантаження, використовуючи закон Ома.

6.24 Визначити активний опір навантаження, використовуючи рівняння:

$$P_2 = r_n \cdot I_2^2. \quad (6.4)$$

6.25 Визначити повний опір навантаження за допомогою експериментальних даних для навантажувального режиму, використовуючи закон Ома.

6.26 Визначити реактивний опір навантаження за допомогою розрахункових даних для навантажувального режиму, використовуючи рівняння:

$$Z_n = \sqrt{r_n^2 + x_n^2}. \quad (6.5)$$

6.14 Визначити кут зсуву фаз навантаження за допомогою розрахункових даних для навантажувального режиму, використовуючи рівняння, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arccos \frac{r_n}{z_n}. \quad (6.6)$$

6.15 Визначити коефіцієнт трансформації трансформатора за допомогою рівняння:

$$K = \frac{w_1}{w_2}. \quad (6.7)$$

6.16 Результати розрахунку електричного кола занести в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати розрахунку електричного кола

Фізичні величини, що характеризують коло							
$\Phi_m, \text{Вб}$	$E_1, \text{В}$	$P_{np.1} \text{Вт}$	$P_m, \text{Вт}$	$I_a, \text{А}$	$r_m, \text{Ом}$	$E_{\sigma 1}, \text{В}$	$x_{\sigma 1}, \text{Ом}$

Таблиця 8.2 – Продовження таблиці 6.2

Фізичні величини, що характеризують коло							
$E_2, \text{В}$	$E_{\sigma 2}, \text{В}$	$x_{\sigma 2}, \text{Ом}$	$\kappa$	$r_n, \text{Ом}$	$x_n, \text{Ом}$	$z_n, \text{Ом}$	$\varphi_n, \text{град}$

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

**Тема: Дослідження перехідних процесів в котушці у лінійних колах з постійною ЕРС**

**МЕТА:** придбання практичних навичок при дослідженні перехідних процесів в котушці у лінійних колах з постійною ЕРС

### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 16 «Перехідні процеси в лінійних колах [1, с.193-200].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 16.1, 16.2 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 7.1-7.6 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

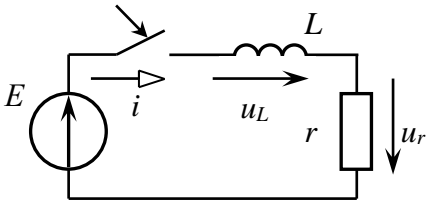
Таблиця 16.1 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Що розуміється під перехідними процесами в електричному колі?	
2.	Що розуміється під комутацією електричного кола?	
3.	Сформулюйте 1-й закон комутації.	
4.	Сформулюйте 2-й закон комутації.	
5.	Складіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу підключення котушки до джерела постійної електрорушійної сили.	
6.	Складіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	
7.	Запишіть розрахункову формулу постійної часу зазначеного перехідного процесу.	
8.	Складіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
9.	З характеристичного рівняння знайдіть корінь диференціального рівняння.	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
10.	Запишіть рівняння перехідного струму через примусову й вільну складові.	
11.	Запишіть примусову складову перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	
12.	Запишіть вільну складову перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	
13.	Запишіть загальне рішення диференціального рівняння зазначеного перехідного процесу.	
14.	Визначите постійну інтегрування в рівнянні перехідного струму, записавши початкові умови по першому закону комутації.	
15.	Запишіть рівняння перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	

У разі вірного виконання завдання  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = 27$ .

Таблиця 16.1а

Номер відповіді	Відповіді
1.	$\tau \cdot p + 1 = 0$ .
2.	$E = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$ .
3.	$A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
4.	
5.	У колі з ємністю напруга й заряд у момент комутації зберігають ті значення, які були до комутації, і починають змінюватися із цих значень.
6.	Включення й відключення пасивних або активних галузей, коротке замикання окремих ділянок, різного роду перемикування, раптова зміна параметрів кола.
7.	$-\frac{E}{r}$ .
8.	Процес переходу від одного сталого режиму роботи електричного кола до іншого.

Номер відповіді	Відповіді
9.	$i_{np} + i_{cv}$ .
10.	$-\frac{1}{\tau}$ .
11.	$\frac{E}{r} + A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
12.	У колі з індуктивністю струм і магнітний потік у момент комутації зберігають ті значення, які були до комутації, і починають змінюватися із цих значень.
13.	$\frac{E}{r} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ .
14.	$\frac{L}{r}$ .
15.	$\frac{E}{r}$ .

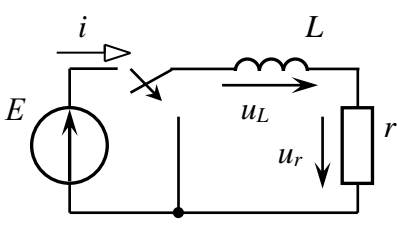
Таблиця 16.2 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Складіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу короткого замикання котушки, підключеної до джерела постійної електрорушійної сили.	
2.	Складіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	
3.	Запишіть розрахункову формулу постійної часу зазначеного перехідного процесу.	
4.	Складіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
5.	З характеристичного рівняння знайдіть корінь диференціального рівняння.	
6.	Запишіть рівняння перехідного струму через примусову і вільну складові.	
7.	Запишіть примусову складову перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	
8.	Запишіть вільну складову перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	

9.	Запишіть загальне рішення диференціального рівняння зазначеного перехідного процесу.	
10.	Визначите постійну інтегрування в рівнянні перехідного струму, записавши початкові умови по першому закону комутації.	
11.	Запишіть рівняння перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	

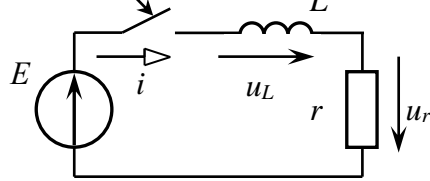
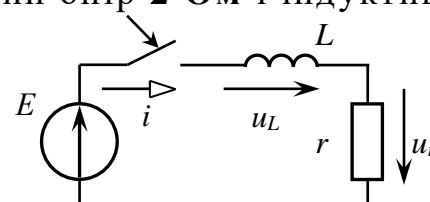
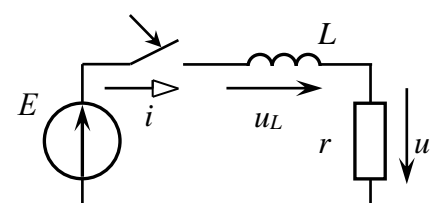
У разі вірного виконання завдання  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = 21$ .

Таблиця 16.2а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

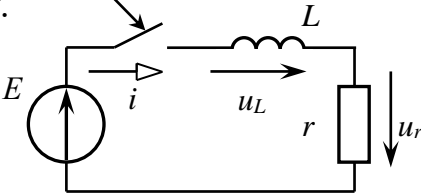
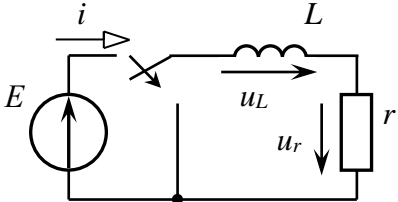
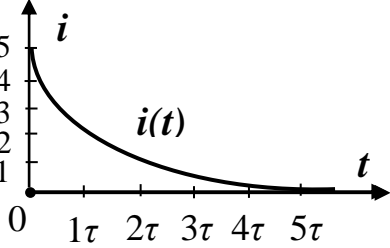
Номер відповіді	Відповіді
1.	0.
2.	$-\frac{1}{\tau}$ .
3.	$i_{np} + i_{cv}$ .
4.	$A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
5.	$0 = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$ .
6.	$\tau \cdot p + 1 = 0$ .
7.	
8.	$\frac{E}{r}$ .
9.	$\frac{E}{r} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .

10.	$\frac{L}{r}$ .
11.	$0 + A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .

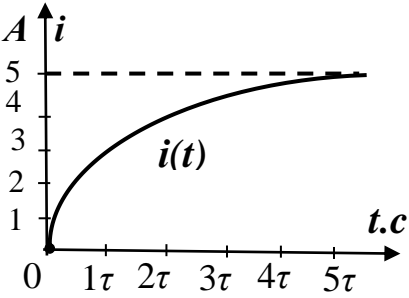
Таблиця 16.3 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	<p>Котушка індуктивності має параметри: активний опір <b>2 Ом</b> і індуктивність <b>0,5 Гн</b>.</p>  <p>Визначити постійну часу вказаного перехідного процесу.</p>	
2.	<p>Характеристичне рівняння для диференціального рівняння кола перехідного процесу підключення котушки до джерела постійної електричної сили <b><math>4p + 5 = 0</math></b>.</p> <p>Визначити корінь характеристичного рівняння.</p>	
3.	<p>Котушка індуктивності має параметри: Активний опір <b>2 Ом</b> і індуктивність <b>0,5 Гн</b>.</p>  <p>Вказати характеристичне рівняння перехідного процесу.</p>	
4.	<p>Корінь характеристичного диференціального рівняння вказаного перехідного процесу – <b><math>20 \frac{1}{c}</math></b>.</p>  <p>Визначити постійну часу перехідного процесу</p>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
5.	<p>Котушка індуктивності з параметрами: активний опір <b>2 Ом</b> і індуктивність <b>0,5 Гн</b>.</p>  <p>Визначити силу перехідного струму в колі в початковий момент часу <math>t = 0</math> вказаного перехідного процесу.</p>	
6.	<p>Котушка індуктивності з параметрами: активний опір <b>2 Ом</b> і індуктивність <b>0,5 Гн</b> підключається до джерела постійної електрорушійної сили <b>5 В</b>.</p> <p>Визначити постійну інтегрування перехідного струму в колі при підключенні котушки до джерела постійної електрорушійної сили.</p>	
7.	<p>Постійна часу перехідного процесу короткого замикання котушки підключенні до джерела постійної ЕРС дорівнює <b>0,4 с</b>.</p> <p>.Визначити корінь характеристичного рівняння</p>	
8.	<p>Коротке замикання котушки індуктивності з параметрами: активний опір <b>7 Ом</b> і індуктивність <b>0,5 Гн</b> підключається до джерела постійної електрорушійної сили <b>3,5 В</b>.</p> <p>Визначити силу струму в колі в початковий момент часу <math>t = 0</math> вказаного перехідного процесу.</p>	
9.	<p>Перехідний процес підключення котушки до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Примушений струм дорівнює <b>5 А</b>, постійна інтегрування перехідного струму в колі дорівнює <b>-5 А</b>, корінь характеристичного рівняння <b><math>-0,2 \frac{1}{c}</math></b>.</p> <p>Вкажіть рівняння перехідного струму зазначеного перехідного процесу.</p>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
10.	<p>Коротке замикання котушки, підключеної до джерела постійної електрорушійної сили. Примушений струм дорівнює нулю, постійна інтегрування перехідного струму в колі <math>5 \text{ А}</math>, корінь характеристичного рівняння <math>-0,2 \frac{1}{\text{с}}</math>.</p> <p>Вкажіть рівняння перехідного струму зазначеного перехідного процесу.</p>	
11.	<p>Задана розрахункова схема перехідного процесу.</p>  <p>Вкажіть графічну залежність сили перехідного струму.</p>	
12.	<p>Задана розрахункова схема перехідного процесу.</p>  <p>Вкажіть графічну залежність сили струму перехідного процесу.</p>	
13.	<p>Заданий графік сили струму перехідного процесу</p>  <p>Вкажіть, чому дорівнюють примушена і вільна складова заданого графіку перехідного струму.</p>	



Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
14.	<p>Заданий графік сили струму перехідного процесу.</p>  <p>Вкажіть, чому дорівнюють примушена і вільна складова заданного графіку перехідного струму.</p>	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -3$ .

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка (рисунок 7.1) складається з наступних елементів: джерела постійної напруги 4-6 В, джерела живлення змінної напруги 30 В, резистора  $R_3$  в колі вмикання котушки і резистора  $R_P$  в колі короткого замикання котушки, однополюсного рубильника  $QS_1$ , котушки індуктивності  $K$ , поляризованого реле  $KV$ , перемикача  $QS_2$ , осцилографа, вольтметрів  $PV_1$ ,  $PV_2$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ .

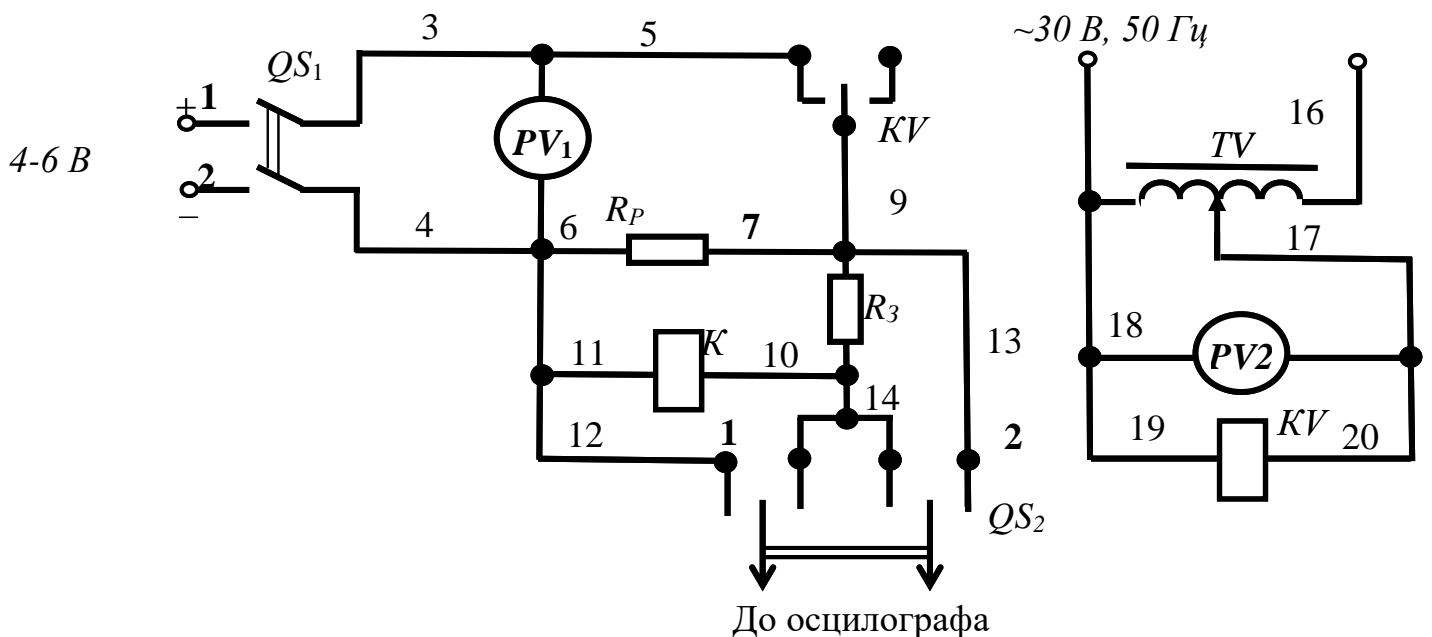


Рисунок 7.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 20 провідників (на схемі позначені номерами 1-20).

### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при включенні перемикача  $QS_2$  в положення **1** - рисунок 7.2а і при включенні перемикача  $QS_2$  в положення **2** має вигляд, наведений на рисунку 7.2б.

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

$E$  – ЕРС джерела живлення,  $B$ ;

$r$  – активний опір котушки,  $Om$ ;

$L$  – індуктивність котушки,  $Гн$ ,

$r_3$  – активний опір резистора при включенні котушки,  $Om$ ;

$r_P$  – активний опір резистора при короткому замиканні котушки,  $Om$ ;

$i$  – перехідний струм,  $A$ ;

$u_r$  – напруга на активному опорі котушки,  $B$ ;

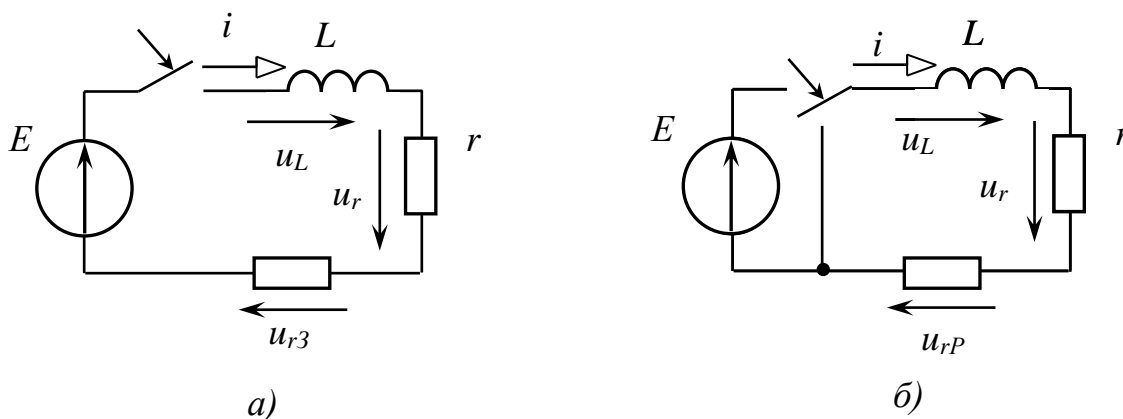


Рисунок 7.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

$u_L$  – напруга на індуктивності котушки,  $B$ ;

$u_{r3}$  – напруга на активному опорі резистора при включенні котушки,  $B$ ;

$u_{rP}$  – напруга на активному опорі резистора при короткому замиканні котушки,  $B$ ;

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
2. Підключити експериментальну установку до джерела постійної напруги, а поляризоване реле до джерела змінної напруги із частотою  $50 Гц$ .
3. Установити зазначені викладачем значення опорів резисторів  $R_3$ ,  $R_P$ .
4. Включити осцилограф і подивитися на екрані криві зміни сили струму і напруги в колі з котушкою при включенні.
5. Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1– Результати експериментальних досліджень

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	$r_3, Ом$	$r_P, Ом$	PV1, В
Перемикач <b>QSI</b> замкнений			

6. Запишіть параметри котушки: активний опір  $r = \underline{\hspace{2cm}}$ , індуктивність  $L = \underline{\hspace{2cm}}$ .

7 Визначити активний опір електричного кола, використовуючи рівняння:

- активний опір електричного кола при включенні котушки до джерела живлення:

$$r_B = r + r_3, \quad (7.1)$$

де  $r$  – активний опір котушки,  $Ом$ ;

$r_3$  - опір реостату при заряді котушки,  $Ом$ ;

8. Визначити за допомогою експериментальних даних ЕРС джерела живлення  $E$ , використовуючи рівняння:

$$U_1 = E; \quad (7.2)$$

9. Визначити постійну часу перехідного процесу  $\tau_B$  при підключенні котушки до джерела постійної ЕРС, використовуючи рівняння:

$$\tau_B = \frac{L}{r_B}. \quad (7.3)$$

10 Визначити корінь характеристичного рівняння  $\rho_B$  за допомогою експериментальних даних, використовуючи рівняння:

$$\rho_B = -\frac{1}{\tau_B}. \quad (7.4)$$

11. Визначити примусовий струм  $i_{пр}$  при підключенні котушки до джерела постійної ЕРС за допомогою експериментальних даних.

12 Визначити постійну інтегрування вільного струму при підключенні котушки до джерела постійної ЕРС за допомогою експериментальних даних.

13 Записати рівняння перехідного струму  $i(t)$  при підключенні котушки до джерела постійної ЕРС

14 Занести отримані значення в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 - Результати розрахунку електричного кола при включенні котушки

Фізичні величини, що характеризують коло при включенні котушки						
$E,$ $B$	$\tau_B,$ $c$	$p_B,$ $1/c$	$r_B,$ $Ом$	$i_{np},$ $A$	$A,$ $A$	$i(t),$ $A$

15 Визначити активний опір електричного кола при короткому замиканні котушки, використовуючи рівняння:

- активний опір електричного кола при короткому замиканні котушки:

$$r_K = r + r_p, \quad (7.5)$$

де  $r_p$ - опір реостату при короткому замиканні котушки,  $Ом$ ;

16. Визначити постійну часу перехідного процесу  $\tau_K$  при короткому замиканні котушки, використовуючи рівняння:

$$\tau_K = \frac{L}{r_K}. \quad (7.6)$$

17 Визначити корінь характеристичного рівняння  $p_K$  за допомогою експериментальних даних, використовуючи рівняння:

$$p_K = -\frac{1}{\tau_K}. \quad (7.7)$$

18. Визначити примусовий струм  $i_{np}$  при короткому замиканні котушки за допомогою експериментальних даних.

19 Визначити постійну інтегрування вільного струму при короткому замиканні котушки за допомогою експериментальних даних.

20. Записати рівняння перехідного струму  $i(t)$  при короткому замиканні котушки.

21 Занести отримані значення в таблицю 7.3.

Таблиця 7.3 - Результати розрахунку електричного кола при короткому замиканні котушки

Фізичні величини, що характеризують коло при короткому замиканні котушки						
$E,$ $B$	$\tau_K,$ $c$	$p_K,$ $1/c$	$r_K,$ $Ом$	$i_{np},$ $A$	$A,$ $A$	$i(t),$ $A$

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 8

**Тема: Дослідження перехідних процесів зарядження і розрядження конденсатора через резистор в лінійних колах з постійною ЕРС**

МЕТА: придбання практичних навичок при дослідженні перехідних процесів зарядження і розрядження конденсатора через резистор в лінійних колах з постійною ЕРС.

### 1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 16 «Перехідні процеси в лінійних колах [1, с.201-203].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 16.4-16.6 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 7.1-7.6 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО–КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

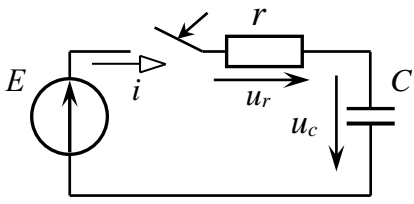
Таблиця 16.4 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Складіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу зарядки конденсатора через резистор від джерела постійної електрорушійної сили.	
2.	Складіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	
3.	Запишіть вираження постійної часу зазначеного перехідного процесу.	
4.	Складіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
5.	З характеристичного рівняння знайдіть корінь диференціального рівняння.	
6.	Запишіть рівняння перехідної напруги на ємності через примусову і вільну складові.	
7.	Запишіть примусову складову перехідної напруги на ємності.	
8.	Запишіть вільну складову перехідної напруги на ємності.	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
9.	Запишіть загальне рішення диференціального рівняння.	
10.	Визначте постійну інтегрування в рівнянні перехідної напруги на ємності, записавши початкові умови по другому закону комутації.	
11.	Запишіть рівняння перехідної напруги на ємності.	

У разі вірного виконання завдання  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = 16$ .

Таблиця 16.4а– Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$u_{C_{np}} + u_{C_{св}}$ .
2.	$-\frac{1}{\tau}$ .
3.	$E$ .
4.	$A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
5.	$E = r \cdot C \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c$ .
6.	
7.	$-E$ .
8.	$\tau \cdot p + 1 = 0$ .
9.	$E + A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
10.	$r \cdot C$ .
11.	$E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ .

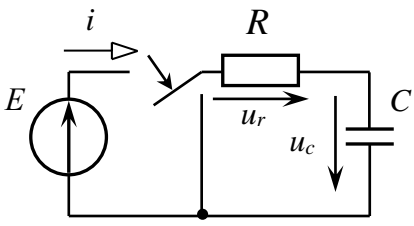
Таблиця 16.5– Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	Вкажіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу розрядки конденсатора через резистор, підключених до джерела постійної електрорушійної сили.	
2.	Вкажіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	
3.	Запишіть розрахункову формулу постійної часу зазначеного перехідного процесу.	
4.	Вкажіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
5.	З характеристичного рівняння знайдіть корінь диференціального рівняння.	
6.	Запишіть рівняння перехідної напруги на ємності через примусову у вільну складові.	
7.	Запишіть примусову складову перехідної напруги на ємності.	
8.	Запишіть вільну складову перехідної напруги на ємності.	
9.	Запишіть загальне рішення диференціального рівняння.	
10.	Визначите постійну інтегрування в рівнянні перехідної напруги на ємності, записавши початкові умови по другому закону комутації.	
11.	Запишіть рівняння перехідної напруги на ємності.	

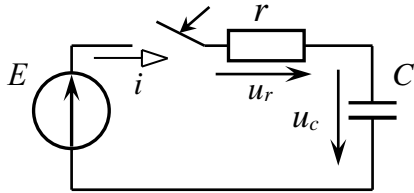
У разі вірного виконання завдання  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = 34$ .

Таблиця 16.5а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

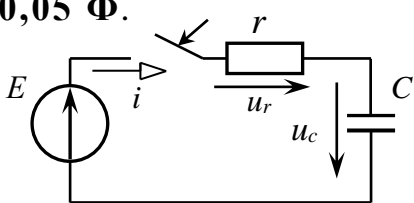
Номер відповіді	Відповіді
1.	$A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
2.	$u_{C_{np}} + u_{C_{св}}$ .
3.	$\tau \cdot p + 1 = 0$ .
4.	$0 = r \cdot C \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c$ .

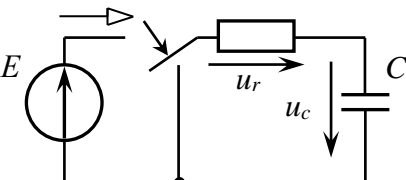
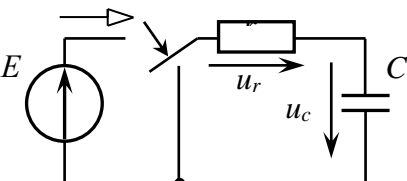
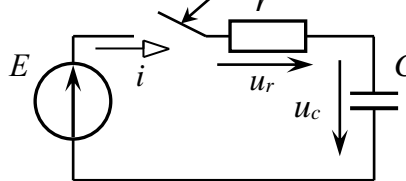
Номер відповіді	Відповіді
5.	$-\frac{1}{\tau}$ .
6.	$E$ .
7.	$E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
8.	
9.	$0 + A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
10.	0.
11.	$r \cdot C$ .

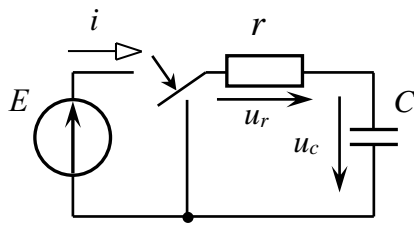
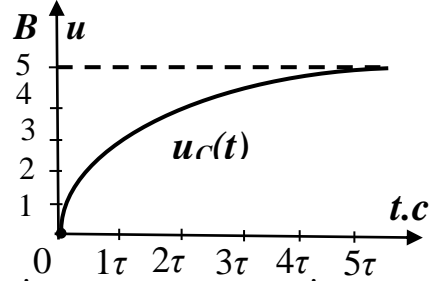
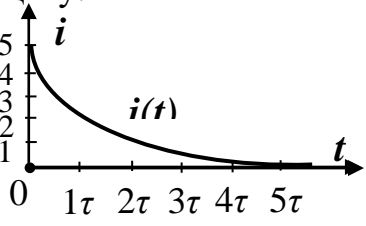
Таблиця 16.6 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
1.	<p>Для заданої розрахункової схеми перехідного процесу відомо: активний опір резистора <b>2 Ом</b> і ємність ідеального конденсатора <b>0,05 Ф</b>.</p>  <p>Визначити постійну часу перехідного процесу підключення зазначеного кола до джерела постійної електрорушійної сили.</p>	
2.	<p>Характеристичне рівняння для диференціального рівняння кола перехідного процесу зарядки конденсатора через резистор від джерела постійної електрорушійної сили <b><math>0,5p + 1 = 0</math></b>.</p> <p>Визначити корінь характеристичного рівняння.</p>	



Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
3.	<p>Для заданої розрахункової схеми перехідного процесу відомо: активний опір резистора <b>2 Ом</b> і ємність ідеального конденсатора <b>0,05 Ф</b>.</p>  <p>Чому дорівнює ємнісний опір ідеального конденсатора, підключеного до джерела постійної електрорушійної сили.</p>	
4.	<p>Корінь характеристичного рівняння для диференціального рівняння кола для перехідного процесу зарядки конденсатора через резистор від джерела постійної електрорушійної сили <math>-0,2 \frac{1}{c}</math>.</p> <p>Визначити постійну часу перехідного процесу.</p>	
5.	<p>Коло перехідного процесу зарядки ідеального конденсатора з ємністю <b>0,05 Ф</b> через резистор з активним опором <b>2 Ом</b> від джерела постійної електрорушійної сили <b>15 В</b>.</p> <p>Визначити напругу на ємності в початковий момент часу <math>t=0</math> зазначеного перехідного процесу.</p>	
6.	<p>Коло перехідного процесу зарядки ідеального конденсатора з ємністю <b>0,05 Ф</b> через резистор з активним опором <b>2 Ом</b> від джерела постійної електрорушійної сили <b>15 В</b>.</p> <p>Визначити постійну інтегрування перехідної напруги на ємності при підключенні котушки до джерела постійної електрорушійної сили.</p>	
7.	<p>Постійна часу перехідного процесу зарядки конденсатора через резистор від джерела постійної електрорушійної сили дорівнює <b>4 с</b>.</p> <p>Визначити корінь характеристичного рівняння.</p>	

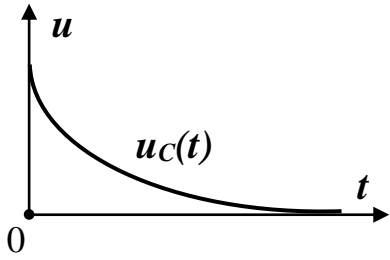
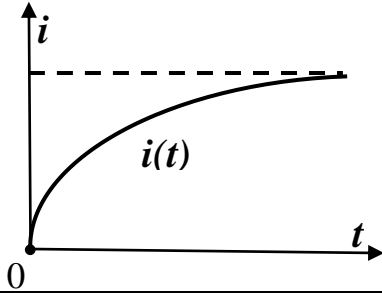
Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
8.	<p>Перехідний процес зарядки ідеального конденсатора через резистор, підключених до джерела постійної електрорушійної сили. Примушена напруга на ємності дорівнює <b>10 В</b>, постійна інтегрування перехідної напруги на ємності дорівнює <b>-10 В</b>, корінь характеристичного рівняння <math>-2 \frac{1}{c}</math>.</p> <p>Вкажіть рівняння перехідної напруги на ємності зазначеного перехідного процесу.</p>	
9.	<p>Для заданої розрахункової схеми перехідного процесу відомо: ємність <b>0,05 Ф</b>, активний опір <b>2 Ом</b>, електрорушійна сила джерела <b>10 В</b>.</p>  <p>Визначити напругу на ємності в початковий момент часу <math>t=0</math> зазначеного перехідного процесу.</p>	
10.	<p>Для заданої розрахункової схеми перехідного процесу примушена напруга на ємності дорівнює нулю, постійна інтегрування перехідної напруги на ємності дорівнює <b>10 В</b>, корінь характеристичного рівняння <math>-2 \frac{1}{c}</math>.</p>  <p>Вкажіть рівняння перехідної напруги на ємності зазначеного перехідного процесу.</p>	
11.	<p>Задана розрахункова схема перехідного процесу.</p>  <p>Вкажіть графічну залежність напругу на ємності зазначеного перехідного процесу.</p>	

Номер питання, завдання	Питання, завдання	Номер правильної відповіді
12.	<p>Задана розрахункова схема перехідного процесу</p>  <p>Вкажіть графічну залежність напругу на ємності зазначеного перехідного процесу.</p>	
13.	<p>Заданий графік переходної напруги на ємності перехідного процесу.</p>  <p>Вкажіть, чому дорівнюють примушена складова і рівняння вільної складової для заданого графіка.</p>	
14.	<p>Заданий графік переходної напруги на ємності перехідного процесу.</p>  <p>Вкажіть, чому дорівнюють примушена складова і рівняння вільної складової для заданого графіка.</p>	

У разі вірного виконання завдання  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -3$ .

Таблиця 16.6а – Відповіді на навчально-контролюючі завдання

Номер відповіді	Відповіді
1.	$10 \cdot (1 - e^{-2 \cdot t})$ .
2.	10.
3.	$\infty$ .

Номер відповіді	Відповіді
4.	5.
5.	$10 \cdot e^{-2t}$ .
6.	0,1.
7.	0.
8.	-0,25.
9.	-2.
10.	-15.
11.	Примушена складова напруги на ємності дорівнює <b>5 В</b> , рівняння вільної складової $-5e^{-t/\tau}$ В.
12.	
13.	Примушена складова напруги на ємності дорівнює <b>0 В</b> , рівняння вільної складової $5e^{-t/\tau}$ В.
14.	

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка (рисунок 8.1) складається з наступних елементів: джерела постійної напруги 4-6 В, джерела живлення змінної напруги 30 В, конденсатора  $C$ , резистора  $R_3$  в колі зарядження конденсатора і резистора  $R_P$  в колі розрядження конденсатора, однополюсного вимикача  $QS_1$ , поляризованого реле  $KV$ , перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$ , осцилографа, вольтметрів  $PV_1$ ,

$PV_2$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ .

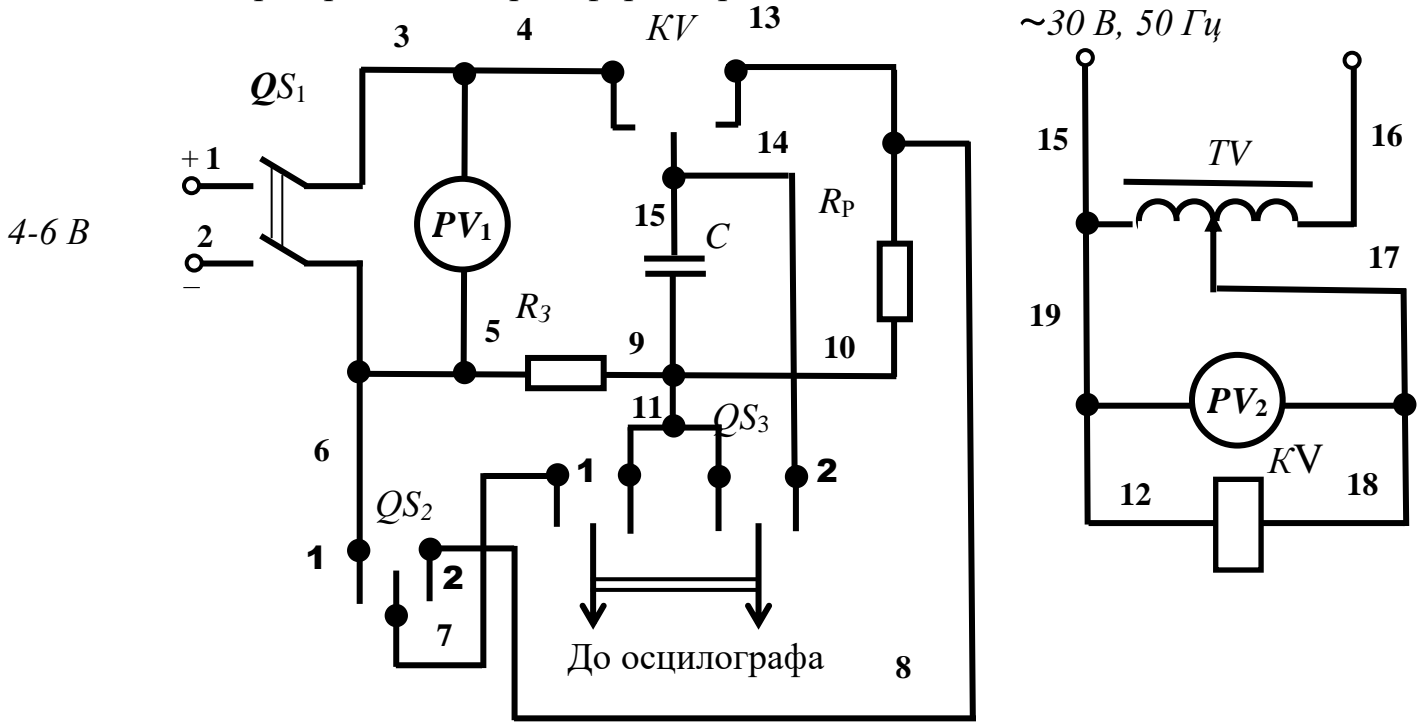


Рисунок 8.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 19 провідників (на схемі позначені номерами 1-19).

### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при включенні вимикача  $QS_1$ , перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$  в положення **1** (зарядження конденсатора) наведена на рисунку 8.2а і при включенні перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$  в положення **2** (розрядження конденсатора) наведена на рисунку 8.2б.

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:  
 $E$  – ЕРС джерела живлення,  $B$ ;  
 $r_3$  – активний опір резистора в колі зарядження конденсатора,  $\Omega$ ;  
 $C$  – ємність конденсатора,  $\Phi$ ,

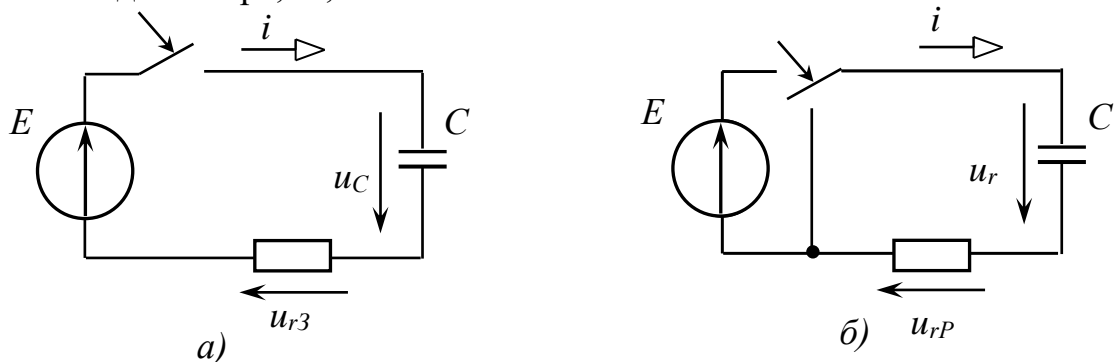


Рисунок 8.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної

## установки

- $r_P$  – активний опір резистора в колі розрядження конденсатора, Ом;  
 $i$  – перехідний струм, А;  
 $u_C$  – напруга на ємності конденсатора, В;  
 $u_{r3}$  – напруга на активному опорі резистора в колі зарядження конденсатора, В;  
 $u_{rP}$  – напруга на активному опорі резистора в колі розрядження конденсатора, В;

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2 Підключити експериментальну установку до джерела постійної напруги, а поляризоване реле до джерела змінної напруги із частотою 50 Гц.
- 3 Установити зазначені викладачем значення опорів зарядного резистора.
- 4 Включити осцилограф і подивитися на екрані форми кривих сили струму і напруги при зарядженні і розрядженні конденсатора.
- 5 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Результати експериментальних досліджень при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС і його розрядженні

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	r <sub>3</sub> , Ом	r <sub>P</sub> , Ом	PV1, В
Вимикач <b>QS<sub>I</sub></b> замкнений			

- 6 Запишіть ємність конденсатора  $C = \dots$ .
- 7 Визначити за допомогою експериментальних даних ЕРС джерела живлення  $E$  використовуючи рівняння (7.1).
- 8 Визначити постійну часу перехідного процесу  $\tau_3$  при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС, використовуючи рівняння:

$$\tau_3 = r_3 \cdot C, \quad (8.1)$$

де  $\tau_3$  – постійна часу при заряді конденсатора через резистор, с.

- 9 Визначити корінь характеристичного рівняння  $p_3$  при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС, використовуючи рівняння:

$$p_3 = -\frac{1}{r_3 \cdot C}, \quad (8.2)$$

- 10 Визначити примушену напругу на ємності при зарядженні конденсатора через резистор від джерела постійної ЕРС за допомогою експериментальних даних.
- 11 Визначити постійну інтегрування вільної складової напруги на ємності при зарядженні конденсатора через резистор від джерела постійної ЕРС за

допомогою експериментальних даних.

12 Записати рівняння перехідної напруги на ємності  $u_C(t)$  при зарядженні конденсатора через резистор від джерела постійної ЕРС.

13 Занести отримані значення в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати розрахунку електричного кола при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС

Фізичні величини, що характеризують коло					
$E,$ $B$	$\tau_3,$ $c$	$p_3,$ $1/c$	$u_{C np},$ $B$	$A,$ $B$	$u_C(t), B$

14 Визначити постійну часу перехідного процесу  $\tau_p$  при розрядженні конденсатора через резистор, відключений від джерела постійної ЕРС використовуючи рівняння:

$$\tau_p = r_p \cdot C. \quad (8.3)$$

15 Визначити корінь характеристичного рівняння  $p_p$  при розрядженні конденсатора через резистор, відключений від джерела постійної ЕРС, використовуючи рівняння:

$$p_p = -\frac{1}{r_p \cdot C}. \quad (8.4)$$

16 Визначити примушену напругу на ємності при розрядженні конденсатора через резистор за допомогою експериментальних даних.

17 Визначити постійну інтегрування вільної складової напруги на ємності при розрядженні конденсатора за допомогою експериментальних даних.

18. Записати рівняння перехідної напруги на ємності  $u_C(t)$  при розрядженні конденсатора.

19 Занести отримані значення в таблицю 8.3.

Таблиця 8.3 – Результати розрахунку електричного кола при розрядженні конденсатора

Фізичні величини, що характеризують коло					
$E,$ $B$	$\tau_p,$ $c$	$p_p,$ $1/c$	$u_{C np},$ $B$	$A,$ $B$	$u_C(t), B$

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 9

**Тема: Дослідження перехідних процесів у лінійному електричному колі з послідовно з'єднаними котушкою і конденсатором**

МЕТА: придбання практичних навичок при дослідженні перехідних процесів у лінійному електричному колі з послідовно з'єднаними котушкою і конденсатором

### 1 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 16 «Перехідні процеси в лінійних колах» [1, с.204-208].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 16.7– 16.9 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 7.1-7.4 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

Таблиця 16.7

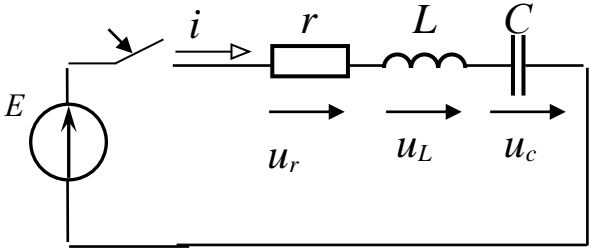
Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	Вкажіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу включення послідовно з'єднаних реальної котушки й ідеальний конденсатор до джерела постійної ЕРС	
2.	Вкажіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	
3.	Перетворіть отримане диференціальне рівняння, увівши позначення $2\alpha = \frac{r}{L}$ ; $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ .	
4.	Вкажіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
5.	Визначите корінь диференціального рівняння, для випадку якщо $\alpha > \omega_0$ .	
6.	Запишіть примусову складову перехідного струму для даного випадку.	
7.	Запишіть вільну складову перехідного струму для даного випадку.	
8.	Запишіть загальне рішення диференціального рівняння для даного випадку.	



Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
9.	Визначте постійні інтегрування в рівнянні перехідного струму, записавши початкові умови по першому і другому законах комутації.	
10.	Запишіть вираження перехідного струму для зазначеного випадку.	
11.	Який характер носить перехідний процес за даних умов.	
12.	Запишіть корінь характеристичного рівняння для випадку, якщо $\alpha < \omega_0$ .	
13.	Запишіть вираження перехідного струму для зазначеного випадку.	
14.	Який характер носить перехідний процес за даних умов.	
15.	Запишіть корінь характеристичного рівняння для випадку, якщо $\alpha = \omega_0$ .	
16.	Запишіть вираження перехідного струму для зазначеного випадку.	
17.	Який характер носить перехідний процес за даних умов.	

При правильному виконанні завдання  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = 17$ .

Таблиця 16.7а

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	
2.	$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{di}{dt} + \omega_0^2 \cdot i = 0.$
3.	$E = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt.$

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
4.	$0 + A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t}.$
5.	$\pm \frac{E}{L \cdot (p_2 - p_1)}.$
6.	Аперіодичний.
7.	$(A_1 + A_2 \cdot t) \cdot e^{-\alpha t}.$
8.	$p^2 + 2 \cdot \alpha \cdot p + \omega_0^2 = 0.$
9.	$-\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}.$
10.	$-\alpha \pm j\omega.$
11.	0.
12.	$\frac{E}{L \cdot (p_2 - p_1)} \cdot (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}).$
13.	Періодичний.
14.	$\frac{E}{\omega \cdot L} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin \omega \cdot t.$
15.	Граничний аперіодичний.
16.	$A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t}.$
17.	$\alpha.$

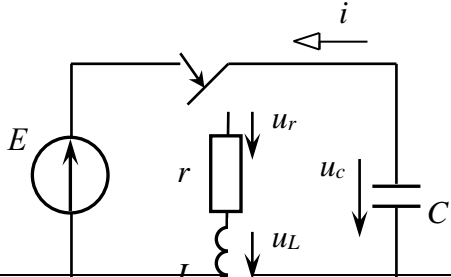
Таблиця 16.8

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	Вкажіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу розрядки ідеального конденсатора в колі з реальною котушкою.	
2.	Вкажіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
3.	Перетворіть отримане диференціальне рівняння, увівши позначення $2\alpha = \frac{r}{L}$ ; $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ .	
4.	Вкажіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
5.	Визначите корінь характеристичного рівняння, для випадку якщо $\alpha > \omega_0$ .	
6.	Запишіть примусову складову перехідної напруги на конденсаторі для даного випадку.	
7.	Запишіть вільну складову перехідної напруги на конденсаторі для даного випадку.	
8.	Запишіть загальне рішення рівняння для даного випадку.	
9.	Визначите постійні інтегрування перехідної напруги на конденсаторі, записавши початкові умови по законах комутації.	
10.	Запишіть вираження перехідної напруги на конденсаторі для зазначеного випадку.	
11.	Який характер носить перехідний процес за даних умов.	
12.	Запишіть корінь характеристичного рівняння для випадку, якщо $\alpha < \omega_0$ .	
13.	Знайдіть вираження перехідної напруги на конденсаторі для зазначеного випадку.	
14.	Який характер носить перехідний процес за даних умов.	
15.	Запишіть корінь характеристичного рівняння для випадку, якщо $\alpha = \omega_0$ .	
16.	Запишіть вираження перехідної напруги на конденсаторі для зазначеного випадку.	
17.	Який характер носить перехідний процес за даних умов.	
18.	Запишіть вираження періоду власних коливань при розрядці конденсатора на котушку.	
19.	Запишіть вираження періоду власних коливань при розрядці конденсатора на котушку, для випадку, якщо втрати активної потужності в контурі відсутні.	

При правильному виконанні завдання  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = 16$ .

Таблиця 16.8а

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	
2.	$\frac{E \cdot p_2}{(p_2 - p_1)}; \quad \frac{E \cdot p_1}{(p_2 - p_1)}$
3.	$A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t}.$
4.	0.
5.	$-\alpha \pm j\omega.$
6.	$p^2 + 2 \cdot \alpha \cdot p + \omega_0^2 = 0.$
7.	$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{di}{dt} + \omega_0^2 \cdot i = 0.$
8.	$E \cdot (1 - \alpha \cdot t) \cdot e^{-\alpha t}.$
9.	$0 = i \cdot r + L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt.$
10.	$\frac{E}{\omega \cdot \sqrt{LC}} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi).$
11.	Періодичний.
12.	$-\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}.$
13.	$\frac{E}{(p_2 - p_1)} \cdot (p_2 \cdot e^{p_1 t} - p_1 \cdot e^{p_2 t}).$
14.	Аперіодичний.

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
15.	$\frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}}$ .
16.	$0 + A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t}$ .
17.	$2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$ .
18.	$\alpha$ .
19.	Граничний аперіодичний.

Таблиця 16.9

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки і ідеального конденсатора до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Відомо, що <math>\alpha = 5 \frac{1}{c}</math>,</p> <p><math>\omega_0 = 3 \frac{1}{c}</math>. <b>Визначити корні диференціального рівняння для заданого випадку.</b></p>	
2.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки і ідеального конденсатора до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Відомо, що <math>\alpha = 5 \frac{1}{c}</math>,</p> <p><math>\omega_0 = 3 \frac{1}{c}</math>.</p> <p><b>Який характер носить перехідний процес?</b></p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
3.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки і ідеального конденсатора до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Відомо, що <math>\alpha = 12 \frac{1}{c}</math>,</p> <p><math>\omega_0 = 20 \frac{1}{c}</math>.</p> <p><b>Визначити корні диференціального рівняння для заданого випадку.</b></p>	
4.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки і ідеального конденсатора до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Відомо, що <math>\alpha = 12 \frac{1}{c}</math>,</p> <p><math>\omega_0 = 20 \frac{1}{c}</math>.</p> <p><b>Який характер носить перехідний процес?</b></p>	
5.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки і ідеального конденсатора до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Відомо, що <math>\alpha = 12 \frac{1}{c}</math>,</p> <p><math>\omega_0 = 12 \frac{1}{c}</math>.</p> <p><b>Вкажіть корні диференціального рівняння для заданого випадку.</b></p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
6.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки і ідеального конденсатора до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Відомо, що <math>\alpha = 12 \frac{1}{c}</math>, <math>\omega_0 = 12 \frac{1}{c}</math>. Який характер носить перехідний процес?</p>	
7.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки з активним опором <b>4 Ом</b>, індуктивністю <b>12 мГн</b> і ідеального конденсатора з ємністю <b>160 мкФ</b> до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p><b>Вкажіть примушену складову перехідного струму.</b></p>	
8.	<p>Характеристичне рівняння для диференціального рівняння кола перехідного процесу розрядки ідеального конденсатора на реальну котушку <math>p^2 + 4p + 3 = 0</math>.</p> <p><b>Вкажіть корні характеристичного рівняння для заданого випадку.</b></p>	
9.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки з активним опором <b>4 Ом</b>, індуктивністю <b>2 Гн</b> і ідеального конденсатора з ємністю <b>2 Ф</b> до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p><b>Визначити частоту незатухаючих коливань <math>\omega_0</math>.</b></p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
10.	<p>Перехідний процес включення послідовно з'єднаних реальної котушки і ідеального конденсатора до джерела постійної електрорушійної сили.</p> <p>Відомо, що <math>\alpha = 12 \frac{1}{c}</math>, <math>\omega_0 = 20 \frac{1}{c}</math>. Вкажіть частоту затухаючих коливань <math>\omega</math>.</p>	

У разі вірного виконання тестів  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = -3$ .

Таблиця 16.9а

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	$p_1 = -1 \frac{1}{c}, p_2 = -3 \frac{1}{c}$ .
2.	0.
3.	0,5.
4.	$p_1 = -1 \frac{1}{c}, p_2 = -9 \frac{1}{c}$ .
5.	Периодичний.
6.	Аперіодичний.
7.	$p_1 = -12+j16; p_2 = -12-j16$ .
8.	Гранично аперіодичний.
9.	$12 \frac{1}{c}$ .
10.	4.



### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка (рисунок 9.1) складається з наступних елементів: акумуляторної батареї  $G$ , зарядного резистора  $R_3$ , за допомогою якого задається процес заряду (аперіодичний, гранично аперіодичний, періодичний), розрядного резистора  $R_p$ , за допомогою якого задається процес розряду (аперіодичний, гранично аперіодичний, періодичний), однополюсного вимикача  $QS_1$ , котушки індуктивності  $K$ , поляризованого реле  $KV$ , яке по чергово включає процес заряду і розряду конденсатора на котушку, двох перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$ , осцилографа і вольтметрів  $PV_1$  (контролює напругу процесу заряду конденсатора через котушку) і  $PV_2$  напругу на котушці поляризованого реле.

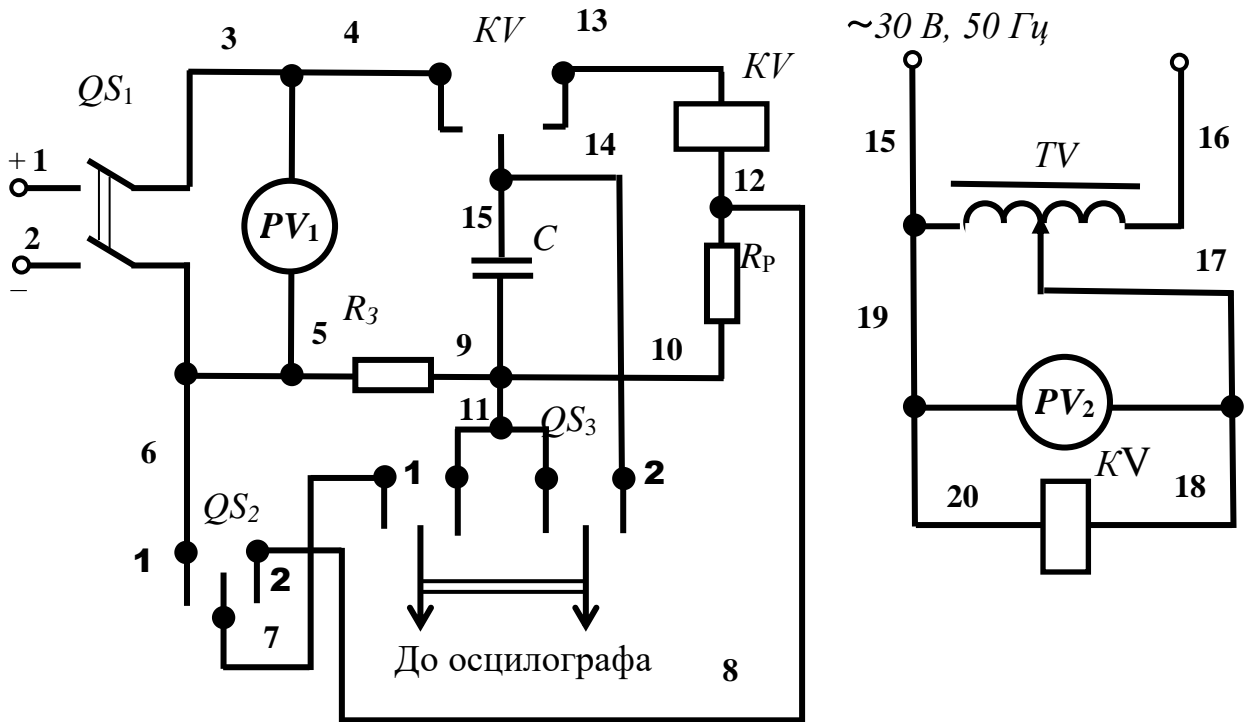


Рисунок 9.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 20 провідників (на схемі позначені номерами 1-20).

#### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при включенні перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$  в положення **1** (зарядження конденсатора) наведена на рисунку 9.2а і при включенні перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$  в положення **2** (розрядження конденсатора) наведена на рисунку 9.2б.

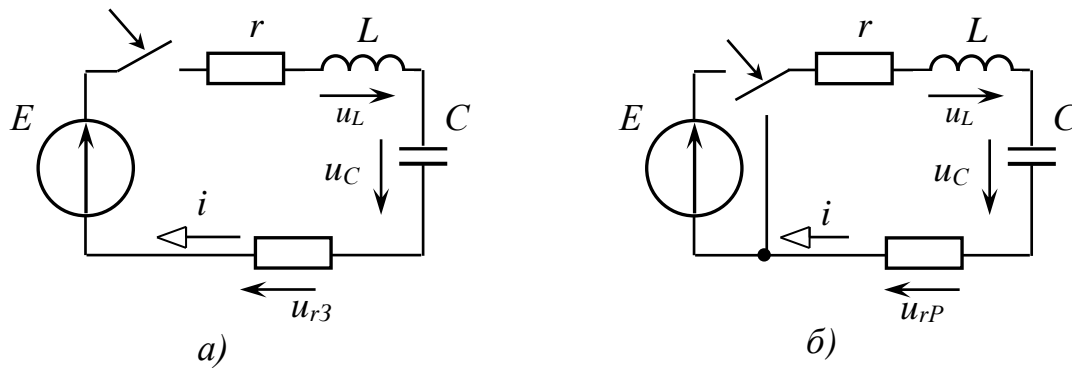


Рисунок 9.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
2. Підключити експериментальну установку до джерела постійної напруги, а поляризоване реле до джерела змінної напруги із частотою 50 Гц.
3. Установити значення опорів зарядного  $R_3$  і розрядного  $R_P$  резисторів для виникнення в електричному колі аперіодичного заряду і розряду конденсатора.
4. Включити осцилограф і подивитися на екрані криві сили струму і напруги в при аперіодичному режимі в електричному колі.
5. Установити значення опору розрядного резистора  $R_P$  для виникнення в електричному колі гранично аперіодичного розряду конденсатора.
6. Подивитися на екрані осцилографа криві сили струму і напруги в при гранично аперіодичному режимі в електричному колі.
7. Установити значення опору розрядного резистора  $R_P$  для виникнення в електричному колі періодичного розряду конденсатора.
8. Подивитися на екрані осцилографа криві сили струму і напруги при періодичному режимі в електричному колі.
9. Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 9.1.

Таблиця 9.1 – Результати експериментальних досліджень при періодичному розряді конденсатора

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	$r_3, \text{ Ом}$	$r_P, \text{ Ом}$	$U_1, \text{ В}$
Аперіодичний характер перехідного процесу			
Гранично аперіодичний характер перехідного процесу			
Періодичний характер перехідного процесу			

- 10 Запишіть параметри котушки і ємність конденсатора.

## ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 10

**Тема: Дослідження перехідних процесів в нерозгалуженому колі з котушкою при підключенні її до джерела синусоїдної напруги**

**МЕТА:** придбання практичних навичок при дослідженні перехідних процесів в котушці у лінійних колах з синусоїдною ЕРС

### 1 ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 16 «Перехідні процеси в лінійних колах [1, с.208-209].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 16.10, 16.11 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 7.1-7.6 звіту.

### 2 НАВЧАЛЬНО-КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

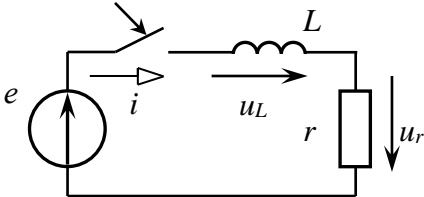
Таблиця 16.10 – Навчально-контролюючі завдання

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	Вкажіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу підключення котушки до джерела гармонійної електрорушійної сили, задавшись її загальним вираженням.	
2.	Вкажіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	
3.	Запишіть розрахункову формулу постійної часу зазначеного перехідного процесу.	
4.	Вкажіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
5.	З характеристичного рівняння знайдіть корінь диференціального рівняння.	
6.	Запишіть рівняння перехідного струму через примусову і вільну складові.	
7.	Запишіть примусову складову перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	
8.	Запишіть вільну складову перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	
9.	Запишіть загальне рішення диференціального рівняння зазначеного перехідного процесу.	

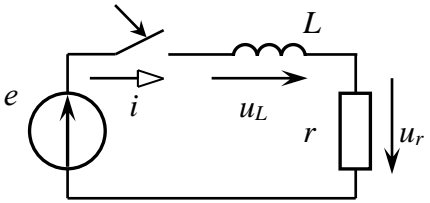
Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
10.	Визначите постійну інтегрування в рівнянні перехідного струму, записавши початкові умови по першому закону комутації.	
11.	Запишіть рівняння перехідного струму зазначеного перехідного процесу.	

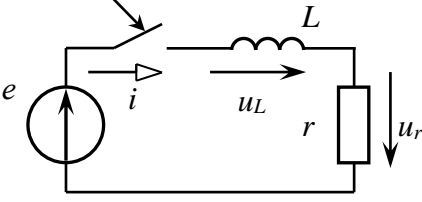
При правильному виконанні завдання  $\sum_{\text{нечет}} - \sum_{\text{чет}} = 12$ .

Таблиця 16.10а

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	$\frac{E_m}{z} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e - \varphi) - \frac{E_m}{z} \cdot \sin(\psi_e - \varphi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
2.	$A \cdot e^{p \cdot t}$ .
3.	$i_{np} + i_{cv}$ .
4.	$-\frac{E_m}{r} \cdot \sin(\psi_e - \varphi)$ .
5.	$\frac{E_m}{z} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e - \varphi) + A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ .
6.	$\frac{L}{r}$ .
7.	$\frac{E_m}{z} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e - \varphi)$ .
8.	$e = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$ .
9.	$-\frac{1}{\tau}$ .
10.	$\tau \cdot p + 1 = 0$ .
11.	

Таблиця 16.11

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	<p>Котушка індуктивності має параметрами: активний опір <b>4 Ом</b> і індуктивність <b>0,1 Гн</b>.</p>  <p>Вкажіть постійну часу перехідного процесу підключення котушки до джерела синусоїдної електричної сили.</p>	
2.	<p>Постійну часу перехідного процесу підключення котушки до джерела синусоїдної електричної сили дорівнює <b>0,1 с</b>.</p> <p>Вкажіть корінь характеристичного рівняння.</p>	
3.	<p>Котушка індуктивності з параметрами: активний опір <b>6 Ом</b> і індуктивність <b>0,02548 Гн</b> підключена до джерела синусоїдної електричної сили з частотою <b>50 Гц</b>.</p> <p>Чому дорівнює індуктивний опір котушки.</p>	
4.	<p>Котушка індуктивності з параметрами: активний опір <b>6 Ом</b> і індуктивність <b>0,02548 Гн</b> підключена до джерела синусоїдної електричної сили з частотою <b>50 Гц</b>.</p> <p>Чому дорівнює повний опір котушки.</p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
5.	<p>Котушка індуктивності з повним опором <b>10 Ом</b> підключається до джерела синусоїдної електрорушійної сили <math>e = 141 \sin \omega t</math>, В. Кут зсуву фаз котушки <math>30^\circ</math>.</p>  <p>Вкажіть рівняння примушеної складової перехідного струму зазначеного перехідного процесу.</p>	
6.	<p>Котушка індуктивності з повним опором <b>10 Ом</b> підключається до джерела синусоїдної електрорушійної сили <math>e = 141 \sin \omega t</math>, В.</p> <p>Вкажіть силу перехідного струму в колі в початковий момент часу <math>t=0</math> зазначеного перехідного процесу.</p>	
7.	<p>Котушка індуктивності підключається до джерела синусоїдної електрорушійної сили. Початкова фаза синусоїдної електрорушійної сили <math>30^\circ</math>, кут зсуву фаз котушки <math>53^\circ</math>.</p> <p>Вкажіть початкову фазу примушеної складової перехідного струму зазначеного перехідного процесу.</p>	
8.	<p>Котушка індуктивності підключається до джерела синусоїдної електрорушійної сили. Сила струму в колі в початковий момент часу <math>t=0</math> дорівнює <b>0 А</b>. Рівняння примушеної складової перехідного струму <math>i_{\text{пр}} = 10 \sin(\omega t + 30^\circ)</math>, А.</p> <p>Вкажіть постійну інтегрування сили перехідного струму зазначеного перехідного процесу.</p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
9.	<p>Котушка індуктивності має параметрами: активний опір <b>10 Ом</b> і індуктивність <b>0,5 Гн</b>.</p>  <p><b>Вкажіть характеристичне рівняння.</b></p>	
10.	<p>Постійна інтегрування перехідного струму дорівнює <b>5 А</b>, корінь характеристичного рівняння – <b><math>0,2 \frac{1}{c}</math></b>.</p> <p><b>Вкажіть рівняння вільної складової перехідного струму зазначеного перехідного процесу.</b></p>	

У разі вірного виконання тестів  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -23$ .

Таблиця 16.11а

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	<b><math>14,1 \sin (\omega t - 30^\circ)</math>.</b>
2.	<b>0,025.</b>
3.	<b><math>-23^\circ</math>.</b>
4.	<b><math>10 + 0,5p = 0</math>.</b>
5.	<b>0.</b>
6.	<b>8.</b>
7.	<b>10.</b>
8.	<b><math>5 \cdot e^{-0,2 \cdot t}</math>.</b>
9.	<b>-10.</b>

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
10.	-5.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка складається з наступних елементів: джерела живлення змінної напруги 30 В, резистора  $R_3$  в колі вмикання котушки і резистора  $R_P$  в колі короткого замикання котушки, однополюсного вимикача  $QS_1$ , котушки індуктивності  $K$ , поляризованого реле  $KV$ , діоду  $VD$ , конденсатору  $C$ , перемикача  $QS_2$ , осцилографа  $PV_1$  (контролює напругу процесу підключення котушки) і  $PV_2$  (контролює напругу на котушці поляризованого реле), лабораторного автотрансформатора  $TV$ , що регулює напругу на котушці поляризованого реле.

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 10.1.

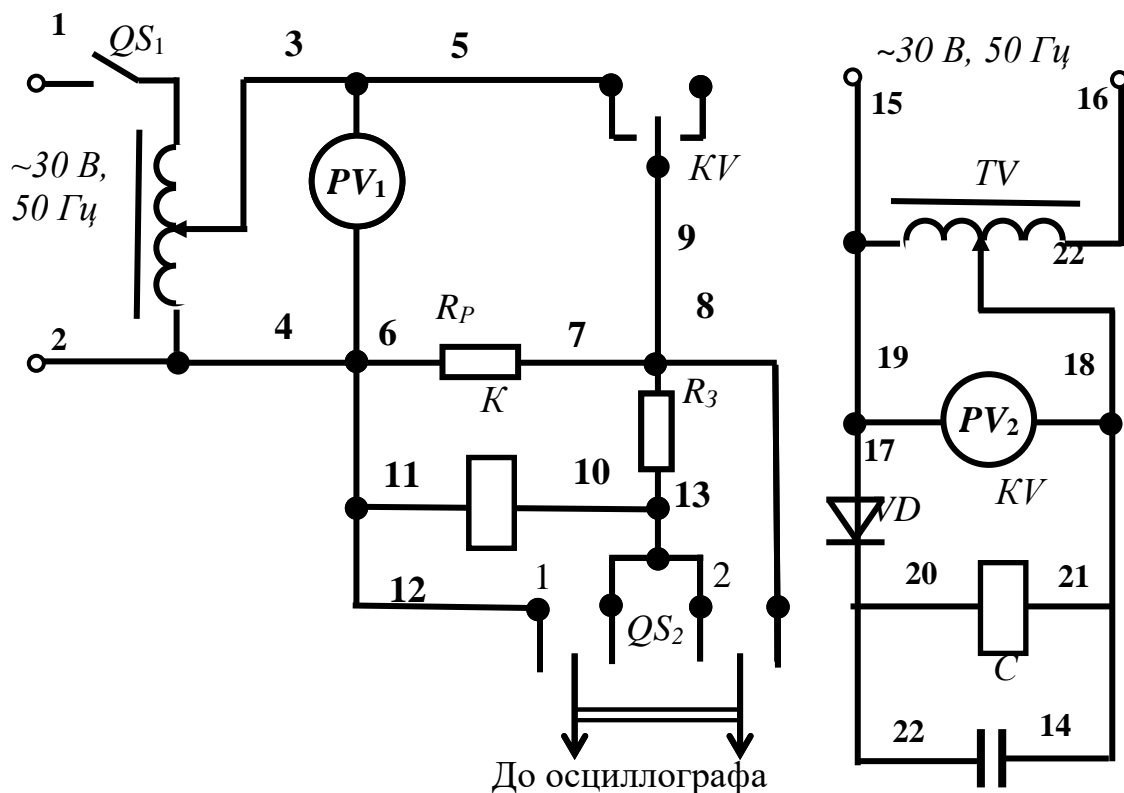


Рисунок 10.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 22 провідники (на схемі позначені номерами 1-22).



### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів і контактів вимикачів дорівнюють нулю;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ньому не протікає.

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при включенні перемикача  $QS_2$  в положення **1** - рисунок 10.2а і при включенні перемикача  $QS_2$  в положення **2** має вигляд, наведений на рисунку 10.2б.

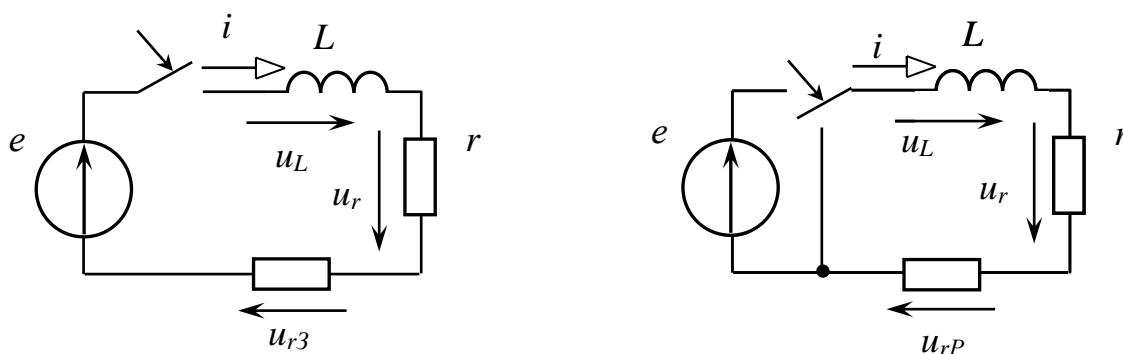


Рисунок 10.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- $E$  – ЕРС джерела живлення,  $B$ ;
- $r$  – активний опір котушки,  $Om$ ;
- $L$  – індуктивність котушки,  $Гн$ ;
- $r_3$  – активний опір резистора при включенні котушки,  $Om$ ;
- $r_P$  – активний опір резистора при короткому замиканні котушки,  $Om$ ;
- $i$  – перехідний струм,  $A$ ;
- $u_r$  – напруга на активному опорі котушки,  $B$ ;
- $u_L$  – напруга на індуктивності котушки,  $B$ ;
- $u_{r3}$  – напруга на активному опорі резистора при включенні котушки,  $B$ ;
- $u_{rP}$  – напруга на активному опорі резистора при короткому замиканні котушки,  $B$ .

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
2. Підключити експериментальну установку до джерела постійної напруги, а поляризоване реле до джерела змінної напруги із частотою  $50 Гц$ .
3. Установити зазначені викладачем значення опорів резисторів  $R_3$ ,  $R_P$ .
4. Включити осцилограф і подивитися на екрані криві зміни сили струму і напруги в колі з котушкою при включенні.

5. Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 10.1.  
 6. Запишіть параметри котушки експериментальної установки: активний опір  $r =$  \_\_\_\_\_, індуктивність  $L =$  \_\_\_\_\_.

Початкова фаза синусоїдної електрорушійної сили  $\psi_e$  задається викладачем.

7. Визначити активний опір електричного кола при включенні котушки до джерела синусоїдної ЕРС, використовуючи рівняння (7.1,7.2):  
 8. Визначити за допомогою експериментальних даних амплітудне значення ЕРС джерела живлення  $E$ , використовуючи рівняння:

$$U_m = E_m, \quad (10.1)$$

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U. \quad (10.2)$$

9. Визначити постійну часу перехідного процесу  $\tau_B$  при підключенні котушки до джерела синусоїдної ЕРС, використовуючи рівняння (7.3).  
 10. Визначити корінь характеристичного рівняння  $\rho_B$  при підключенні котушки до джерела синусоїдної ЕРС за допомогою експериментальних даних, використовуючи рівняння (7.4):  
 11. Визначити примусовий струм  $i_{np}$  при підключенні котушки до джерела синусоїдної ЕРС за допомогою експериментальних даних.  
 12. Визначити постійну інтегрування вільного струму при підключенні котушки до джерела синусоїдної ЕРС за допомогою експериментальних даних.  
 13. Записати рівняння перехідного струму  $i(t)$  при підключенні котушки до джерела синусоїдної ЕРС  
 14. Занести отримані значення в таблицю 10.2.

Таблиця 10.2 - Результати розрахунку електричного кола при включенні котушки

Фізичні величини, що характеризують коло при включенні котушки						
$E,$ $B$	$\tau_B,$ $c$	$\rho_B,$ $1/c$	$r_B,$ $\text{Ом}$	$i_{np},$ $A$	$A,$ $A$	$i(t),$ $A$

## Лабораторна робота 11

### Тема: Дослідження перехідних процесів зарядження і розрядження конденсатора через резистор в лінійних колах з синусоїдною ЕРС

МЕТА: придбання практичних навичок при дослідженні перехідних процесів зарядження і розрядження конденсатора через резистор в лінійних колах з синусоїдною ЕРС

#### 1 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОЇ ПІДГОТОВКИ:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 16 «Перехідні процеси в лінійних колах [1, с.209-210].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 16.12, 16.13 [5].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 7.1-7.6 звіту.

#### НАВЧАЛЬНО–КОНТРОЛЮЮЧІ ЗАВДАННЯ

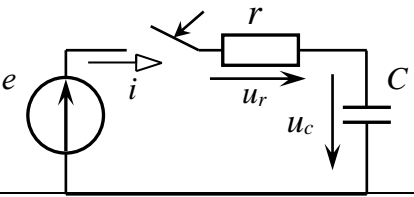
Таблиця 16.12

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	Вкажіть розрахункову схему для дослідження перехідного процесу зарядки конденсатора через резистор, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили, задавшись її загальним вираженням.	
2.	Вкажіть диференціальне рівняння кола в післякомутаційний період.	
3.	Як розрахувати постійну часу зазначеного перехідного процесу?	
4.	Вкажіть характеристичне рівняння отриманого диференціального рівняння.	
5.	З характеристичного рівняння знайдіть корінь диференціального рівняння.	
6.	Запишіть рівняння перехідної напруги на ємності через примусову й вільну складові.	
7.	Запишіть примусову складову перехідної напруги на ємності.	
8.	Запишіть вільну складову перехідної напруги на ємності.	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
9.	Запишіть загальне рішення диференціального рівняння.	
10.	Визначте постійну інтегрування в рівнянні перехідної напруги на ємності, записавши початкові умови по другому закону комутації.	
11.	Запишіть рівняння перехідної напруги на ємності.	

При правильному виконанні завдання  $\sum_{\text{непарні}} - \sum_{\text{парні}} = 16$ .

Таблиця 16.12а

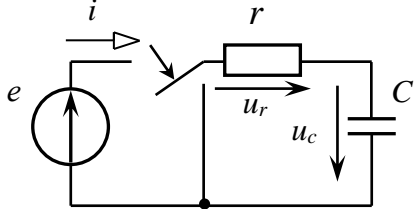
Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	
2.	$\tau \cdot p + 1 = 0.$
3.	$Ae^{-\frac{t}{\tau}}.$
4.	$e = r \cdot C \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c.$
5.	$-U_{Cm} \cdot \sin(\psi_e + \varphi - 90^\circ).$
6.	$U_{Cm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e + \varphi - 90^\circ) - U_{Cm} \cdot \sin(\psi_e + \varphi - 90^\circ).$
7.	$U_{Cm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e + \varphi - 90^\circ).$
8.	$r \cdot C.$
9.	$U_{Cm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e + \varphi - 90^\circ) + Ae^{-\frac{t}{\tau}}.$

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
10.	$-\frac{1}{\tau}$ .
11.	$u_{C_{np}} + u_{C_{св}}$ .

Таблиця 16.13

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
1.	<p>Перехідний процес зарядки конденсатора ємністю <b>0,004 Ф</b> через резистор опором <b>100 Ом</b>, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили.</p> <p><b>Вкажіть постійну часу перехідного процесу.</b></p>	
2.	<p>Перехідний процес зарядки конденсатора ємністю <b>0,004 Ф</b> через резистор опором <b>100 Ом</b>, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили.</p> <p><b>Вкажіть корінь характеристичного рівняння.</b></p>	
3.	<p>Перехідний процес зарядки конденсатора ємністю <b>0,000106 Ф</b> через резистор опором <b>40 Ом</b>, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили з частотою <b>50Гц</b>.</p> <p><b>Чому дорівнює ємнісний опір конденсатора.</b></p>	
4.	<p>Перехідний процес зарядки конденсатора ємністю <b>0,000106 Ф</b> через резистор опором <b>40 Ом</b>, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили з частотою <b>50Гц</b>.</p> <p><b>Чому дорівнює повний опір конденсатора.</b></p>	
5.	<p>Перехідний процес зарядки конденсатора з ємнісним опором <b>20 Ом</b> через резистор, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили. Рівняння сили струму у примушеному режимі <math>i = 10 \sin \omega t</math>, А.</p> <p><b>Вкажіть рівняння примушеної складової напруги на ємності зазначеного перехідного процесу.</b></p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
6.	<p>Перехідний процес зарядки конденсатора через резистор, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили. Початкова фаза сили струму у примушеному режимі дорівнює <math>30^\circ</math>.</p> <p><b>Вкажіть початкову фазу примушеної складової напруги на ємності зазначеного перехідного процесу.</b></p>	
7.	<p>Корінь характеристичного рівняння кола дорівнює <math>-0,5 \frac{1}{с}</math>.</p>  <p><b>Вкажіть постійну часу перехідного процесу.</b></p>	
8.	<p>Перехідний процес розряду конденсатора через резистор, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили. Сила перехідного струму в колі в початковий момент часу <math>t=0</math> дорівнює <math>5 \text{ А}</math>. Ємність конденсатора <math>0,01 \text{ Ф}</math>.</p> <p><b>Визначити швидкість зміни напруги на ємності в початковий момент часу <math>t=0</math>.</b></p>	
9.	<p>Перехідний процес розряду конденсатора через резистор, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили.</p>  <p>Швидкість зміни напруги на ємності в початковий момент часу <math>t=0</math> дорівнює <math>200 \text{ В/с}</math>. Ємність конденсатора <math>0,2 \text{ Ф}</math>.</p> <p><b>Вкажіть силу перехідного струму в колі в початковий момент часу <math>t=0</math> зазначеного перехідного процесу.</b></p>	

Номер питання, завдання	ПИТАННЯ, ЗАВДАННЯ	Номер правильної відповіді
10.	<p>Перехідний процес розряду конденсатора через резистор, підключених до джерела гармонійної електрорушійної сили.</p>  <p>Швидкість зміни напруги на ємності в початковий момент часу <math>t=0</math> дорівнює <b>100 В/с</b>, сила перехідного струму в колі в початковий момент часу <math>t=0</math> дорівнює <b>5 А</b>.</p> <p><b>Вкажіть ємність конденсатора зазначеного перехідного процесу.</b></p>	

У разі вірного виконання тестів  $\Sigma_{\text{непарних}} - \Sigma_{\text{парних}} = -21$ .

Таблиця 16.13а

Номер відповіді	ВІДПОВІДІ
1.	30.
2.	40.
3.	0,4.
4.	2.
5.	500.
6.	-2,5.
7.	$200 \sin (\omega t - 90^\circ)$ .
8.	0,05.
9.	-60.
10.	50.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка складається з наступних елементів: джерела синусоїдної напруги 30 В, джерела живлення змінної напруги 30 В, конденсатора  $C$ , резистора  $R_3$  в колі зарядження конденсатора і резистора  $R_P$  в колі розрядження конденсатора, однополюсного вимикача  $QS_1$ , поляризованого реле  $KV$ , діоду  $VD$ , конденсатору  $C$ , перемикача  $QS_2$ , осцилографа, перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$  осцилографа, вольтметрів  $PV_1$ ,  $PV_2$ , лабораторного автотрансформатора  $TV$ . Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 11.1.

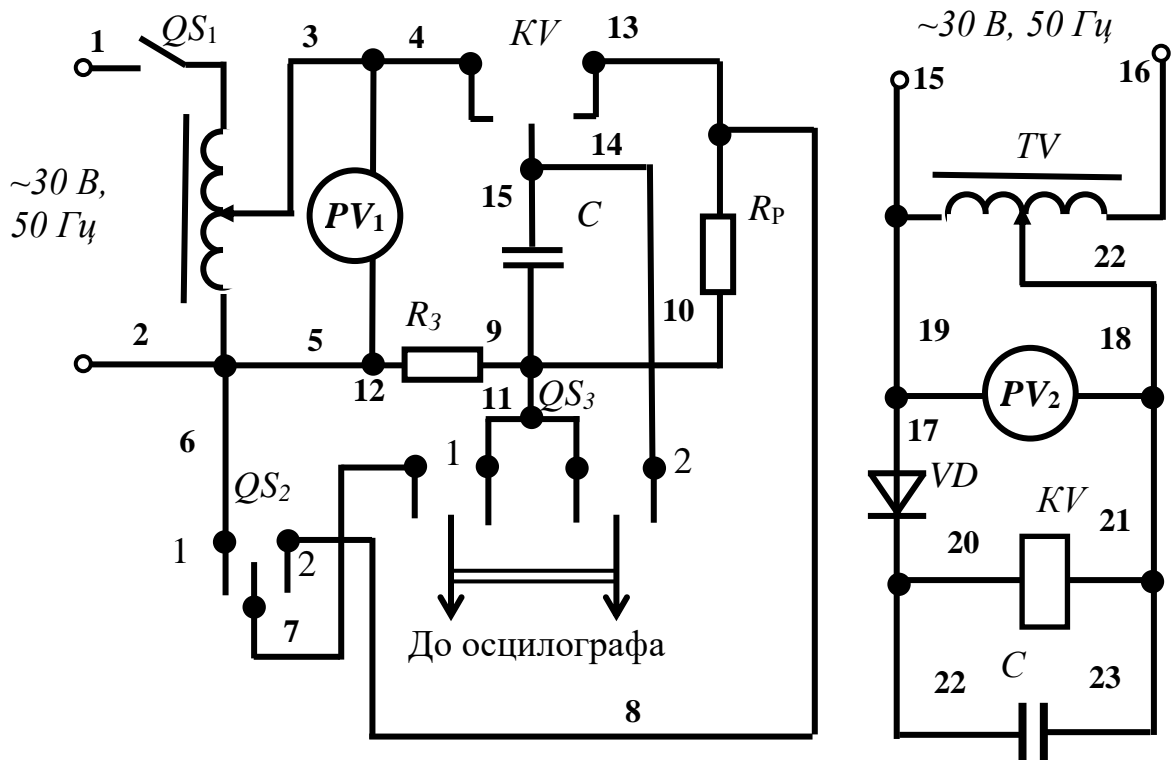


Рисунок 11. 1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 23 провідники (на схемі позначені номерами 1-23).

#### 3.2 Розрахункова схема експериментальної установки

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при включенні перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$  в положення **1** (зарядження конденсатора) наведена на рисунку 11.2а і при включенні перемикачів  $QS_2$ ,  $QS_3$  в положення **2** (розрядження конденсатора) наведена на рисунку 11.2б.



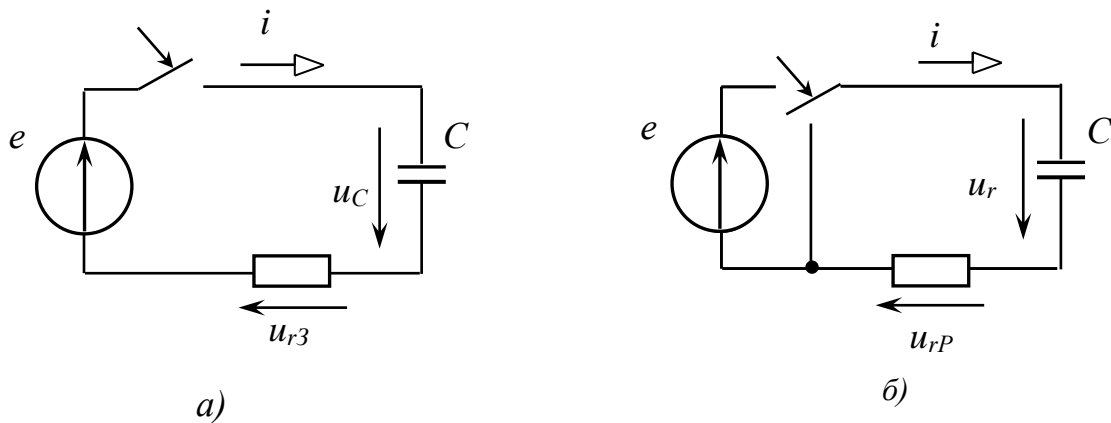


Рисунок 11.2 - Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:  
 $e$  – ЕРС джерела живлення,  $B$ ;  
 $r_3$  – активний опір резистора в колі зарядження конденсатора,  $Ом$ ;  
 $C$  – ємність конденсатора,  $\Phi$ ,  
 $r_P$  – активний опір резистора в колі розрядження конденсатора,  $Ом$ ;  
 $i$  – перехідний струм,  $A$ ;  
 $u_C$  – напруга на ємності конденсатора,  $B$ ;  
 $u_{r3}$  – напруга на активному опорі резистора в колі зарядження конденсатора,  $B$ ;  
 $u_{rP}$  – напруга на активному опорі резистора в колі розрядження конденсатора,  $B$

### 3.3 Завдання експериментального дослідження

- 1 Зібрати схему експериментальної установки.
2. Підключити експериментальну установку до джерела постійної напруги, а поляризоване реле до джерела змінної напруги із частотою  $50 Гц$ .
3. Установити зазначені викладачем значення опорів зарядного резистора.
4. Включити осцилограф і подивитися на екрані форми кривих сили струму і напруги при зарядженні і розрядженні конденсатора.
5. Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 11.1

Таблиця 11.1 – Результати експериментальних досліджень при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	$r_3, Ом$	$r_P, Ом$	$U_1, B$
Вимикач $QS_1$ замкнений			

6. Запишіть ємність конденсатора  $C = \underline{\hspace{2cm}}$ . Початкова фаза синусоїдної ЕРС  $\psi_e$  задається викладачем.

7. Визначити за допомогою експериментальних даних ЕРС джерела живлення  $E$  використовуючи рівняння (8.1,8.2).
8. Визначити постійну часу перехідного процесу  $\tau_3$  при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС, використовуючи рівняння (8.1).
9. Визначити корінь характеристичного рівняння  $p_3$  при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС, використовуючи рівняння (8.2).
10. Визначити примушену напругу на ємності при зарядженні конденсатора від джерела синусоїдної ЕРС за допомогою експериментальних даних.
11. Визначити постійну інтегрування вільної складової напруги на ємності при зарядженні конденсатора від джерела синусоїдної ЕРС за допомогою експериментальних даних.
12. Записати рівняння перехідної напруги на ємності  $u_C(t)$  при зарядженні конденсатора від джерела синусоїдної ЕРС.
13. Занести отримані значення в таблицю 11.2.

Таблиця 11.2 –Результати розрахунку електричного кола при зарядженні конденсатора від джерела постійної ЕРС

Фізичні величини, що характеризують коло					
$E, B$	$\tau_3, c$	$p_3, 1/c$	$u_{C np}, B$	$A, B$	$u_C(t), B$

## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

За виконання кожної лабораторної роботи у першому модулі (M1) максимально можна отримати 2,5 бали, у другому модулі (M2) – 3 бали. Кількісна оцінка визначається за наступними показниками:

1) вхідний контроль - усне опитування студентів за контрольними запитаннями до лабораторної роботи і таблицями для самостійної підготовки, які вказані у завданні для домашньої підготовки на початку методичної вказівки до лабораторної роботи згідно тематичного робочого зошита. За усне опитування максимально можна отримати 30 % балів за лабораторну роботу;

2) виконання експериментального дослідження та оформлення звіту з лабораторної роботи, за який максимально можна отримати 20 % балів за лабораторну роботу;

3) вихідний контроль з лабораторної роботи (захист лабораторної роботи), за який максимально можна отримати 50 % балів за лабораторну роботу.

Вхідний контроль у лабораторну роботу здійснюється шляхом усного опитування кожного студента на початку заняття. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Підготовка та оформлення звіту з лабораторної роботи здійснюється студентом безпосередньо на лабораторному занятті. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно виконаним пунктам звіту.

Вихідний контроль з лабораторної роботи здійснюється шляхом письмового опитування студента наприкінці заняття, тобто шляхом письмового розв'язання ним певної задачі. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Лабораторна робота вважається виконаною позитивно, якщо студент у підсумку отримав не менше, ніж 60 % балів, тобто 1,2 бала. У протилежному випадку студент зобов'язаний підвищити бал за лабораторну роботу у відведений термін на консультації викладача, який її проводив.

Підвищення рейтингу полягає у виконанні певних завдань щодо лабораторної роботи: вхідний контроль, підготовка та оформлення звіту, вихідний контроль. Підвищити рейтинг з лабораторної роботи можна не більше, ніж 60 % балів за лабораторну роботу.

Якщо лабораторне заняття пропущено з поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимально 100 % балів за лабораторну роботу.

У разі пропуску лабораторного заняття студент повинен його відпрацювати у відведений термін на консультації викладача, який його проводив. Якщо лабораторне заняття пропущено з поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимально 2,5 бали у M1 і 3 бали у модулі 2. Якщо лабораторне заняття пропущено без поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимально 1,2 бали.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчаров В.В. Теоретичні основи електротехніки. /В.В. Овчаров. - К.: Урожай, 1993. - 224 с.
2. Зевеке Г.В. Основы теории цепей./Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов: учебник, 5 изд. - М.; Атомэнергоиздат, 1989. – 657 с.
3. Попова І.О. Теоретичні основи електротехніки, частина 3. Курс лекцій. – Мелітополь: Видавництво Мелітопольська типографія «Люкс», 2018. – 185 с.
4. Попова І.О. Теоретичні основи електротехніки. Методичні вказівки з лабораторних робіт для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» з напрямку підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання / І.О. Попова. – Мелітополь : ТДАТУ, 2019. – 102 с.
5. Попова І.О. Теоретичні основи електротехніки, частина 3. Методичні вказівки для організації самостійної роботи студентів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» /І.О. Попова. – Мелітополь: Люкс, 2018. –145 с.