

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра „Автоматика та комп'ютерні системи”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних занять
з дисципліни**

„ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ”

**для студентів спеціальностей
«Електричний транспорт» і
«Електричні системи та комплекси»
заочної форми навчання**

Харків 2010

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні кафедри „Автоматика та комп'ютерні системи” 20 грудня 2008 р., протокол №4.

Укладачі:

доц. О.Ф. Єнікєєв,
старш. викл. О.І. Рудской

Рецензент

проф. В.М. Терьошин

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних занять
з дисципліни

„ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ”

для студентів спеціальностей
«Електричний транспорт» і
«Електричні системи та комплекси»
заочної форми навчання

Відповідальний за випуск Єнікєєв О.Ф.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 24.12.08 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,7 5. Обл.-вид.арк. 2,0

Замовлення № Тираж 75. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, майд.. Фейєрбаха, 7

**УКРАЇНЬСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра „Автоматика та комп'ютерні системи”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних занять з дисципліни
„Теоретичні основи електротехніки”
для студентів спеціальностей
«Електричний транспорт» і «Електричні системи та
комплекси»
заочної форми навчання

Харків - 2009

Методичні вказівки до лабораторних робіт розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Автоматика і комп'ютерні системи” 20 грудня 2008 року протокол № 4

Укладачі:
Доцент Єнікєєв О.Ф.
Ст. викладач Рудской
О.І.

Рецензент:
Професор Терьошин В.М.

ЗМІСТ

Загальні вказівки до підготовки і виконання лабораторних робіт	4
Порядок складання звітів	5
1 Лабораторна робота 1	
Дослідна перевірка законів Кірхгофа	6
2 Лабораторна робота 2	
Дослідження кіл постійного струму	8
3 Лабораторна робота 3	
Дослідження лінійного кола змінного струму. резонанс струмів та напруг	11
4 Лабораторна робота 4	
Визначення коефіцієнтів чотириполюсників	16
5 Лабораторна робота 5	
Експериментальне дослідження трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії «зіркою»	18
6 Лабораторна робота 6	
Дослідження перехідних процесів у лінійному електричному колі, що містить активні опори, котушку індуктивності і конденсатор	23
7 Лабораторна робота 7	
Експериментальне дослідження кіл з нелінійними елементами	26
8 Лабораторна робота 8	
Дослідження котушки індуктивності з замкненим магнітопроводом	28
9 Лабораторна робота 9	
Нелінійне магнітне коло при ферорезонансі напруг ...	30
Список літератури	32

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ПІДГОТОВКИ І ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для виконання робіт в лабораторії „Електротехніка” групу студентів ділять на бригади, кожна з яких складається з двох-трьох людей. Бригада виконує всі лабораторні роботи, які передбачено навчальним планом. У відповідності до плану проведення лабораторних робіт, студенти завчасно готуються до занять в лабораторії „Електротехніка”. Підготовка включає: вивчення відповідних розділів теоретичного курсу за конспектами лекцій і навчальною літературою; виконання необхідних розрахунків; підготовку таблиць спостережень, у які студент повинен записувати усі дослідні дані. Студенти, що виконали усі передбачені планом лабораторні роботи і своєчасно захистили звіти по них, одержують залік за відповідний розділ курсу.

Розрахунково-графічну частину лабораторної роботи, письмові відповіді на питання і оформлення звітів студенти виконують у формі домашньої роботи.

Для забезпечення безпеки роботи у лабораторії і попередження псування приладів студенти зобов'язані дотримуватись таких правил:

- при першому відвідуванні лабораторії студенти повинні ретельно ознайомитися з правилами техніки безпеки і правилами внутрішнього розпорядку в лабораторії;

- допуск студентів до лабораторії проводиться тільки в години, встановлені розкладом. Ті, хто пропустив зайняття з поважних причин, виконують роботи в спеціально заплановані кафедрою додаткові години;

- перш ніж приступити до виконання наступної роботи, необхідно здати викладачу повністю оформлений звіт попередньої роботи. Студенти, що не склали такий звіт, до лабораторної роботи не допускаються;

- виконані раніше лабораторні роботи повинні бути захищені. При відсутності заліку з трьох і більше лабораторних робіт студент не допускається до виконання наступної роботи;
- у лабораторії студенти працюють біля своїх стендів, додержуючись встановленого порядку і тиші (ходіння по лабораторії без необхідності не дозволяється). Вихід з лабораторії допускається тільки з дозволу викладача;
- при складанні схем необхідно слідкувати за тим, щоб вимірювальні прилади (реостати і апарати) відповідали робочим значенням струмів і напруг;
- перед початком роботи стрілки електровимірювальних приладів повинні бути встановлені на нуль, а прилади з декількома межами вимірювань повинні бути ввімкнені на максимальні;
- перед тим, як ввімкнути установку в роботу, необхідно показати складену схему керівнику занять для перевірки;
- якщо за умовами роботи вимагається змінити схему з'єднань, то це потрібно виконувати при знятій напрузі, а перед ввімкненням установки знову пред'явити схему для перевірки керівнику занять;
- результати вимірювань студенти зобов'язані показати для перевірки викладачу, який дає дозвіл на закінчення роботи. До отримання такого дозволу забороняється розбирати схему;
- після закінчення роботи схема розбирається, робоче місце приводиться в порядок і здається отримане обладнання;
- з виконаної роботи кожний студент складає звіт, який здає викладачу перед наступною роботою.

ПОРЯДОК СКЛАДАННЯ ЗВІТІВ

1 Звіти по роботах виконуються на спеціальних бланках встановленої форми на аркушах білого паперу

формату 11 відповідно до ДОСТ 7.32-81.

2 Звіти виконують чорнилами чітко і акуратно, схеми і графіки – з використанням креслярських інструментів.

3 Діаграми виконують у масштабі.

4 У звітах усі буквені позначення і умовні графічні позначення в схемах повинні відповідати ДОСТ 7.32-81.

5 Звіти повинні вміщувати:

а) прізвище та ініціали того, хто виконав роботу, номер групи, курсу і дату виконання роботи;

б) номер роботи та її назву;

в) електричні схеми, за якими виконується робота;

г) таблицю з результатами вимірювання і розрахунків;

д) діаграми і графіки;

е) висновки з роботи;

ж) відповіді на питання.

6 Звіт приймається до захисту при наявності у ньому відміток викладача про допуск до лабораторної роботи і про перевірку результатів вимірювань.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1 ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА ЗАКОНІВ КІРХГОФА

Мета роботи: виконати шляхом досліду експериментальну перевірку першого та другого законів Кірхгофа.

1.1 Стислі теоретичні відомості

Для розрахунку кіл постійного струму використовуються:

• *закон Ома* – сила струму у гілці пропорційна прикладеній напрузі та зворотно пропорційна її опору

$$I = \frac{U}{R};$$

• *перший закон Кірхгофа* – алгебраїчна сума струмів у

вузлі дорівнює нулю. Струми, які входять до вузла, при підсумовуванні беруться зі знаком «плюс». Струми, які виходять із вузла, беруться зі знаком «мінус»

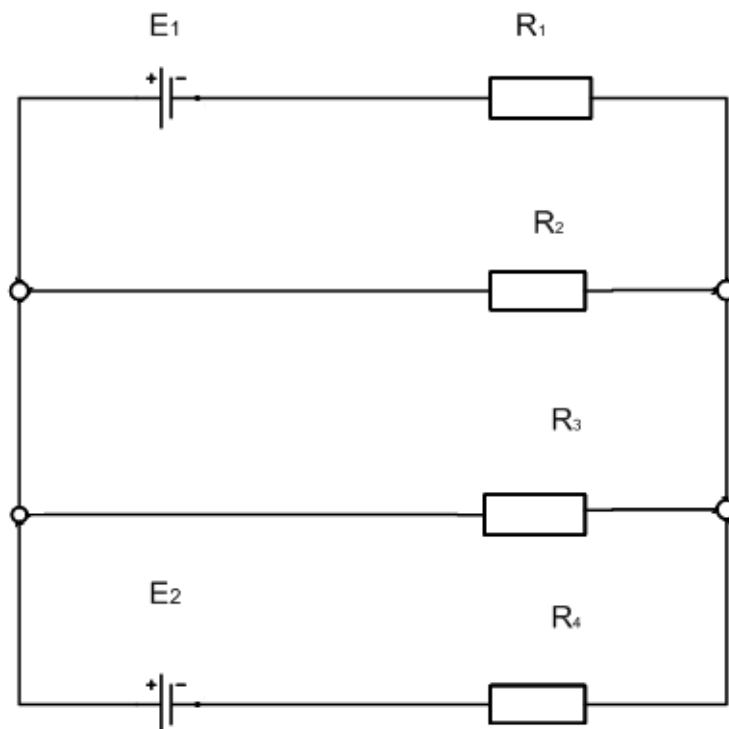
$$\sum_{k=1}^n I_k = 0;$$

• *другий закон Кірхгофа* – алгебраїчна сума падінь напруг вдовж замкнутого контуру дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, які діють у даному контурі. При підсумовуванні струми та ЕРС беруться зі знаком «плюс», якщо вони збігаються із напрямом обходу контуру, та зі знаком «мінус», якщо вони не збігаються із напрямом обходу.

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{i=1}^m E_i .$$

1.2 Дослідна установка

Схема дослідної установки подана на рисунку 1.1. Для вимірювань напруг використовується цифровий вольтметр В7-27.



$$R_1 = 270\Omega, \quad R_2 = 540\Omega, \quad R_3 = 680\Omega, \quad R_4 = 270\Omega$$

Рисунок 1.1 – Структурна схема дослідної установки

1.3 Порядок виконання роботи:

- увімкнути дослідну установку у мережу промислової напруги та виконати усі необхідні вимірювання. Результати вимірювань занести до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Результати вимірювань

$E_1, В$	$E_2, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$I_4, А$

- виконати перевірку другого закону Кірхгофа за результатами досліду та зробити висновок;
- за допомогою закону Ома визначити струми. При визначенні струмів недоцільне округлення результатів розрахунку;
- виконати перевірку першого закону Кірхгофа за результатами досліду та зробити висновок.

Контрольні питання

- 1 Дати визначення закону Ома.
- 2 Дати визначення першого закону Кірхгофа.
- 3 Дати визначення другого закону Кірхгофа.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2 ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: дослідження розподілу струмів і напруг у розгалуженому колі постійного струму з одним джерелом ЕРС.

2.1 Стислі теоретичні відомості

Закон Ома встановлює залежність між силою струму, напругою й опором для найпростішого електричного кола, що являє собою один замкнутий контур. На практиці

зустрічаються більш складні електричні кола, що містять кілька замкнутих контурів і кілька вузлів. Електричний стан такого електричного кола визначається законами Кірхгофа.

Мета дослідження електричних кіл: визначення струмів, падінь напруг на елементах кола, потужностей, розрахунок опорів, що входять у коло, і т.п. При аналізі електричних кіл розглядають не кола з реальними елементами, а їхні схеми заміщення, що відбивають властивості реальних елементів електричного кола за певних умов. Для електричного кола повинен виконуватися і закон збереження енергії. Сума потужностей, що віддаються джерелами енергії, дорівнює сумі потужностей, яка споживається приймачами

$$\sum_{k=1}^m E_k I_k = \sum_{j=1}^n I_j^2 R_j .$$

Якщо струм через джерело не збігається з напрямком ЕРС, то це джерело розглядається як споживач і відповідний добуток записується зі знаком «мінус».

2.2 Підготовка до роботи:

- вивчити теоретичний матеріал з розрахунку й аналізу електричних кіл постійного струму, використовуючи конспект лекцій і відповідні розділи підручників;
- зробити попередній розрахунок електричної схеми постійного струму (рисунок 2.1) з однією ЕРС, перемикач П в положенні «Розімкнуто»;
- перемикач у положенні «Замкнуто». Вихідні дані для розрахунків взяти в таблиці варіантів:
 - а) записати розрахункові рівняння для визначення струмів, падіння напруг і потужності на приймачах електричної енергії і зробити розрахунок;
 - б) розрахункові дані занести в таблицю 2.1;
 - в) за розрахунковими даними вибрати межі вимірювань вимірювальних приладів для проведення дослідження двох електричних кіл.

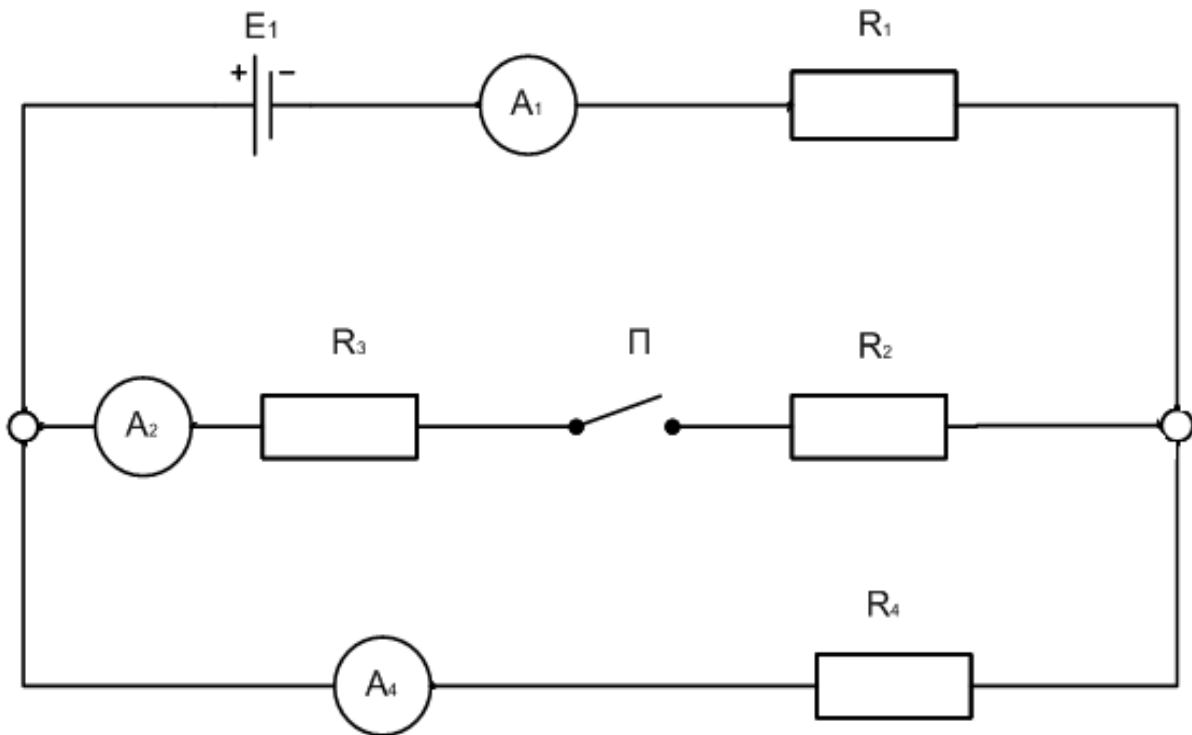


Рисунок 2.1 – Електрична схема постійного струму

2.3 Порядок виконання роботи:

- встановити значення ЕРС відповідно до даних таблиці варіантів;
- скласти електричне коло згідно з рисунком 2.1 (перемикач П у положенні «Розімкнуто»);
- виміряти струм і напруги на приймачах електричної енергії;
- за даними вимірювань напруг на приймачах електричної енергії визначити опори;
- результати вимірювань і розрахунків занести в таблицю 2.1;
- провести аналогічні дослідження електричного кола (рисунок 2.1) при переведенні перемикача П у положення «Ввімкнуто». Результати вимірювань і розрахунків занести в таблицю 2.1.

Методичні вказівки до виконання роботи: при складанні електричного кола необхідно використовувати резистори R_1 , R_2 , R_3 , R_4 лабораторного стенда. За джерело

ЕРС Е використовувати +5В, а також відповідні електровимірювальні прилади універсального стенда.

Таблиця 2.1 – Розрахункові та дослідні дані

Поло- ження П	Спосіб визна- чення	Е	U ₁	U ₄	I	R ₁	R ₄	P ₁	P ₄	P _{сп}	P _е
		В	В	В	А	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	Вт
Вимк- нено	Розрах.										
	Досл.										
Ввімк- нено	Розрах.										
	Досл.										

Контрольні питання

1 Яке з'єднання приймачів енергії називається послідовним, паралельним і мішаним?

2 Подати на графіку зовнішні вольт-амперні характеристики реальних і ідеальних джерел, ЕРС і струму.

3 Як розподіляються струми, напруги і потужності при послідовному і паралельному з'єднанні споживачів?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНОГО КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ. РЕЗОНАНС СТРУМІВ ТА НАПРУГ

Мета роботи: дослідження кола змінного струму з послідовними та паралельними з'єднаннями котушки індуктивності і конденсатора, а також дослідження явищ резонансу струмів та напруг.

3.1 Стислі теоретичні відомості

У колі змінного струму з послідовним з'єднанням котушки індуктивності і конденсатора може спостерігатися явище резонансу напруг. При резонансі напруг струм і напруга кола збігаються по фазі. Резонанс настає, коли реактивні опори котушки та конденсатора пов'язані таким співвідношенням $X_L = X_C$. З цієї умови знаходимо кутову

частоту, при якій у колі настає резонанс

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

При резонансі напруг повний опір кола має активний характер $\mathbf{Z}=\mathbf{R}$, а струм у колі досягає найбільшого значення. У момент резонансу напруги на реактивних опорах \mathbf{X}_L і \mathbf{X}_C можуть бути значно більші напруги живильної мережі.

У колі змінного струму з паралельним з'єднанням котушки індуктивності і конденсатора може спостерігатися явище резонансу струмів. Резонансом струмів називається такий режим роботи кола, при якому струм у нерозгалуженій частині кола збігається по фазі з напругою. Резонанс струмів настає, коли реактивна провідність паралельного з'єднання котушки індуктивності і конденсатора дорівнює нулю. Таким чином, при резонансі струмів повна провідність кола \mathbf{Y} мінімальна, внаслідок чого струм \mathbf{I} на вході кола буде мінімальним.

З умов резонансу випливає, що в момент резонансу реактивні струми у вітках \mathbf{I}_{L0} і \mathbf{I}_{C0} однакові та знаходяться у протифазі. Вони цілком компенсують один одного, тобто коло у цілому має активний характер. При резонансі струм \mathbf{I}_0 на вході кола може бути значно меншим струмів у вітках, тому це явище одержало назву резонансу струмів.

Відношення \mathbf{I}_{L0} або струму \mathbf{I}_{C0} до струму в нерозгалуженій частині кола \mathbf{I}_0 називається добротністю коливального контуру

$$\frac{I_{C0}}{I_{L0}} = Q.$$

3.2 Підготовка до роботи

- 1 Вивчити теоретичний матеріал з розрахунку кола

змінного струму з послідовним та паралельним з'єднанням приймачів, використовуючи конспект лекцій і навчальну літературу.

2 За заданим значенням струму та напруги визначити такі параметри кола:

повний опір усього кола.....	$Z;$
активний опір кола.....	$R;$
ємнісний опір конденсатора.....	$X_C;$
індуктивний опір котушки.....	$X_L;$
реактивну потужність.....	$Q;$
повну потужність.....	$S;$
резонансну частоту.....	$\omega_0;$
повну провідність кола.....	$Y;$
активну провідність котушки.....	$g_k;$
індуктивну провідність котушки.....	$b_L;$
ємнісну провідність конденсатора....	$b_C;$
активну складову струму кола.....	$I_a;$
індуктивну складову струму.....	$I_L;$
ємнісну складову струму.....	$I_C.$

3.3 Порядок виконання роботи:

- скласти схему кола згідно з рисунком 3.1;
- після перевірки викладачем увімкнути коло до джерела змінного струму з регульованою частотою;
 - змінюючи частоту джерела, зробити вимірювання струму, напруги й активної потужності кола;
 - результати вимірювань занести в таблицю 3.1;
- скласти схему кола за рисунком 3.2;
- після перевірки викладачем увімкнути коло до джерела змінного струму з регульованою частотою;
 - змінюючи частоту джерела, зробити вимірювання струму, напруги й активної потужності схеми;
 - результати вимірювань занести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

f, Гц									
$U_R, В$									

$U_L, \text{В}$									
$U_C, \text{В}$									
$I, \text{А}$									

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань

$f, \text{Гц}$									
$U_R, \text{В}$									
$U_L, \text{В}$									
$I, \text{А}$									

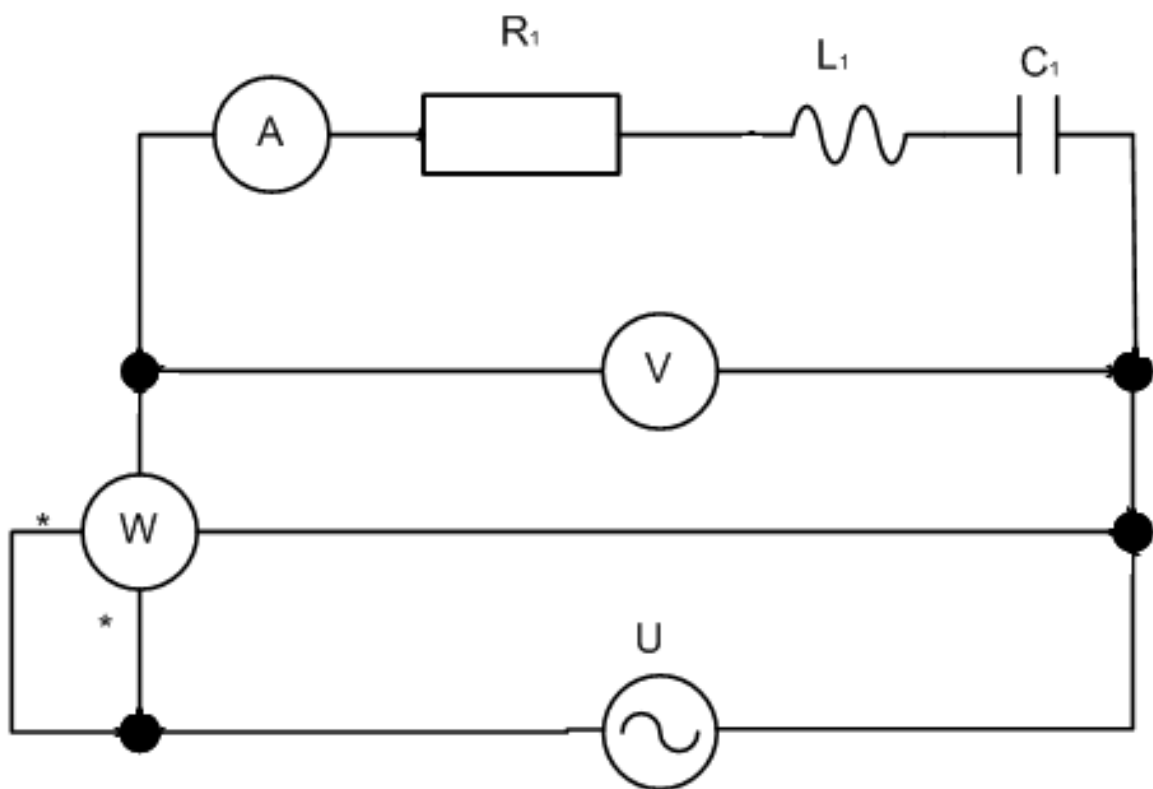


Рисунок 3.1 – Схема дослідження резонансу напруг

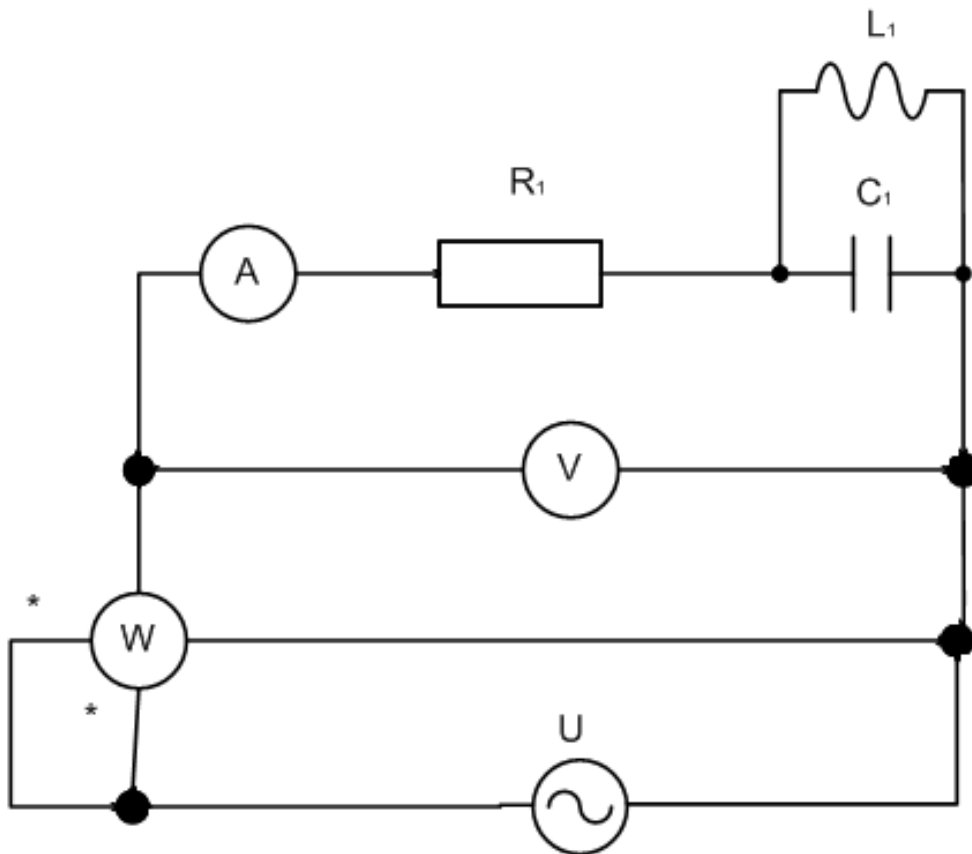


Рисунок 3.2 – Схема дослідження резонансу струмів

3.4 Аналіз отриманих результатів

На аркуші міліметрового паперу побудувати в масштабі залежності струму у колі від частоти. Пояснити характер отриманих кривих.

Побудувати в масштабі векторні діаграми напруг для трьох випадків:

- а) до настання резонансу;
- б) при резонансі напруг;
- в) після резонансу.

Контрольні питання

1 Що розуміють під активним, індуктивним, ємнісним і повним опором кола змінного струму?

2 Які співвідношення між струмом і напругою на активному, індуктивному і ємнісному опорах?

3 Поясніть фізичний зміст активної, реактивної і повної потужності кола змінного струму.

4 У якому електричному колі можливий резонанс напруг і при якій умові?

5 Якими способами можна настроїти контур у резонанс?

6 Як можна знайти резонанс напруг у колі?

7 Чому напруга на реальній котушці індуктивності при резонансі не дорівнює напрузі на затискачах конденсатора?

8 У якому електричному колі може спостерігатися явище резонансу струмів і при якій умові?

9 Якими способами можна домогтися резонансу струмів?

10 Як визначити за показниками приладів момент резонансу струмів?

11 Чому і як прагнуть підвищити коефіцієнт потужності в електричних колах?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ЧОТИРИПОЛЮСНИКА

Метою роботи є визначення коефіцієнтів пасивного лінійного чотириполюсника за дослідом холостого ходу і короткого замикання.

4.1 Стислі теоретичні відомості

Чотириполюсником називають електричну схему, що має два вхідних і два вихідних затискачі. Прикладами пасивних чотириполюсників, що не мають джерел енергії, є трансформатор, електричний фільтр, підсилювач сигналів, мостова схема випрямляча. Для кожного пасивного чотириполюсника напруга і струм на вході \dot{U}_1 та \dot{I}_1 пов'язані з напругою і струмом на виході \dot{U}_2 та \dot{I}_2 двома рівняннями:

$$\dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 ;$$

$$I_1 = C U_2 + D I_2 .$$

В цих рівняннях комплексні коефіцієнти А, В, С, D залежать від схеми внутрішніх з'єднань чотирьохполюсника, від значень опорів схеми та частоти. Вони можуть бути визначені розрахунковим або дослідним шляхом за методом холостого ходу та короткого замикання.

4.2 Порядок виконання роботи:

- скласти електричну схему згідно з рисунком 4.1;
- здійснити за схемою:
 - а) дослід холостого ходу;
 - б) досліди короткого замикання з боку затискачів 2-2 і затискачів 1-1;

• за даними холостого ходу ($Z_{10} = U_{10} / I_{10} * e^{j\varphi_{10}} = A/C$) і короткого замикання ($Z_{1k} = U_{1k} / I_{1k} * e^{j\varphi_{1k}} = B/D$, $Z_{2k} = U_{2k} / I_{2k} * e^{j\varphi_{2k}} = B/A$) обчислити коефіцієнти чотирьохполюсника $A = \sqrt{\frac{Z_{10}Z_{1k}}{Z_{2k}(Z_{10} - Z_{1k})}}$, $B = AZ_{2k}$, $C = A / Z_{10}$, $D = AZ_{2k}/Z_{1k}$;

- перевірити співвідношення $AD - BC = 1$.

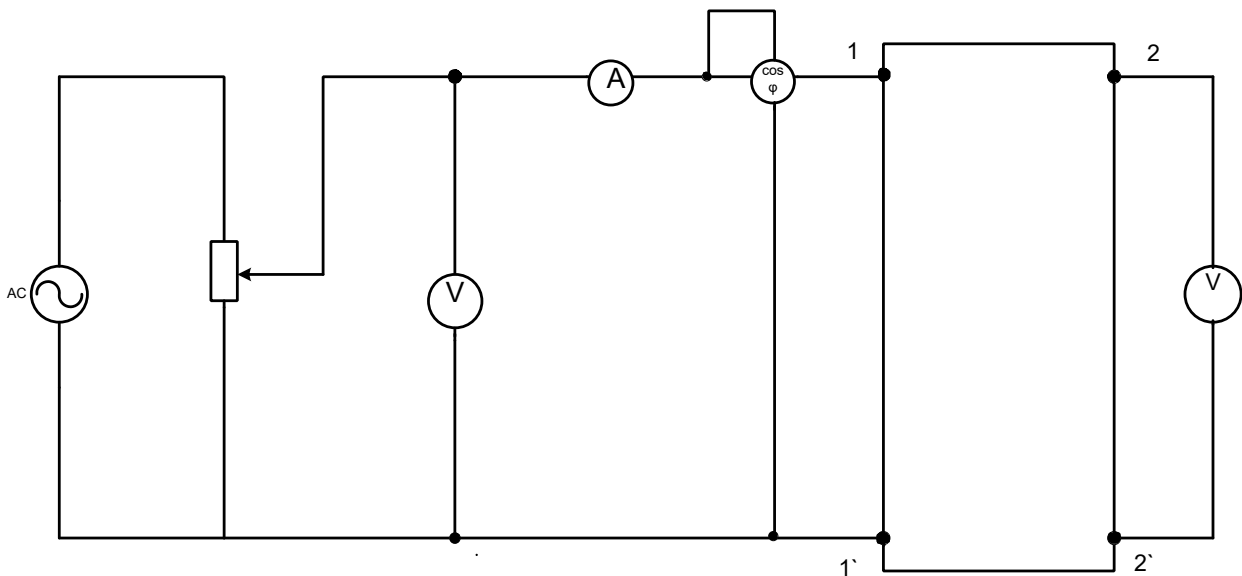


Рисунок 4.1 – Електрична схема для дослідження коефіцієнтів чотирьохполюсника

Контрольні питання

- 1 Дайте визначення пасивного й активного чотириполюсника.
- 2 Які рівняння називають основними рівняннями чотириполюсника?
- 3 Від чого залежать коефіцієнти чотириполюсника ?
- 4 Яким співвідношенням зв'язані ці коефіцієнти ?
- 5 Як дослідним шляхом визначають коефіцієнти чотириполюсника ?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО КОЛА ПРИ З'ЄДНАННІ ПРИЙМАЧІВ ЕНЕРГІЇ «ЗІРКОЮ»

Мета роботи: дослідження симетричних і несиметричних режимів роботи трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії зіркою. Особливості три - і чотирипровідного трифазного кола.

5.1 Стислі теоретичні відомості

Якщо знехтувати опорами лінійних і нейтральних проводів, то фазні напруги приймача дорівнюють фазним напругам генератора $U_a=U_A$; $U_b=U_B$; $U_c=U_C$. Тоді струми в кожній фазі приймача визначаються за допомогою закону Ома у символічній формі. При з'єднанні приймача «зіркою» фазні і лінійні струми рівні між собою. При симетричному навантаженні струми у фазах рівні і зсунуті на той самий кут по відношенню до відповідних фазних напруг. При симетричному навантаженні струм у нейтральному проводі дорівнює нулю і необхідність у цьому проводі відпадає. Трифазне коло без нейтрального проводу буде трипровідним. При з'єднанні «зіркою» симетричних (трифазних) джерел живлення фазні та лінійні напруги пов'язані таким співвідношенням:

$$U_{\pi} = \sqrt{3}U_{\phi}.$$

Для визначення струмів при симетричному навантаженні досить визначити струм в одній з фаз, що входять у трифазне коло. У трипровідне коло при з'єднанні «зіркою» вмикаються тільки симетричні трифазні приймачі: електричні двигуни, електричні печі і т.п.

При побудові векторних діаграм для трифазних кіл за вихідні приймаються вектори лінійних напруг U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} . Система цих напруг задається джерелом електричної енергії. Вона симетрична і на векторній діаграмі утворить рівносторонній трикутник ABC. Вектори фазних напруг U_A , U_B , U_C зображуються таким чином, щоб виконувалися векторні співвідношення

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B;$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C;$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

При цьому точка **N** знаходиться в центрі трикутника ABC. Вектори фазних струмів направляють під кутами, які формуються приймачем, до векторів відповідних фазних напруг.

При несиметричному навантаженні, завдяки нейтральному проводу, напруги на кожній із фаз приймача будуть незмінними і рівними відповідним фазним напругам джерела живлення як за величиною, так і за фазою. При цьому струми у фазах будуть різними і через нейтральний провід буде протікати відповідний струм. Отже, нейтральний провід забезпечує симетрію фазних напруг приймача при несиметричних приймачах. Тому в чотирипровідну мережу вмикають однофазні несиметричні приймачі (наприклад, лампи розжарювання) і режим роботи кожної фази приймача, що знаходиться під незмінною фазною напругою джерела живлення, не буде залежати від режиму роботи інших фаз. Очевидно, що струми в кожній з фаз можна визначити за формулами, що раніше наводилися.

У випадку обриву нейтрального проводу і несиметричного навантаження між нейтральними точками

генератора і приймача виникає напруга зсуву нейтралі U_{nN} , що викликає перекид фазних напруг на приймачах. Тому в нейтральний провід не вмикають ні плавкі запобіжники, ні рубильники, ні вимикачі. Для визначення U_{an} , можна користуватися формулою вузлової напруги. Знаючи U_{nN} , можна визначити фазні напруги приймачів і розрахувати струми, які протікають через них.

Істотна асиметрія струмів у чотирипровідному трифазному колі виникає при обриві одного з лінійних проводів, при перегорянні запобіжника в ньому. Наприклад, при обриві лінійного проводу фази А струм $I_A = 0$ (лампи, ввімкнені в цю фазу, гаснуть). Струм у нейтральному проводі для цього випадку $I_N = I_B + I_C$.

5.2 Порядок виконання роботи:

- скласти електричну схему, як показано на рисунку 5.1, для дослідження трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії за схемою «зірка»;
- щоб уникнути короткого замикання в колі, необхідно переконатися, що навантажувальний реостат R_A знаходиться в положенні «Введено»;
- вимірювальні прилади (вольтметри й амперметри) варто вибрати, виходячи із заданого значення напруги мережі (**$\sim 3 \times 36 \text{ В}$**) і зазначених на навантажувальних реостатах їхніх номінальних даних;
- перевірити правильність складання електричної схеми і пред'явити викладачу для перевірки;
- з дозволу викладача подати напругу на стенд і провести досліди несиметричного навантаження фаз з нейтральним проводом і без нього;
- при всіх перерахованих дослідах виміряти струми у фазах і нульовому проводі, а також фазні і лінійні напруги на навантаженнях і напругу зсуву нейтралі;
- дані вимірювань занести в таблицю 5.1 і пред'явити викладачу.

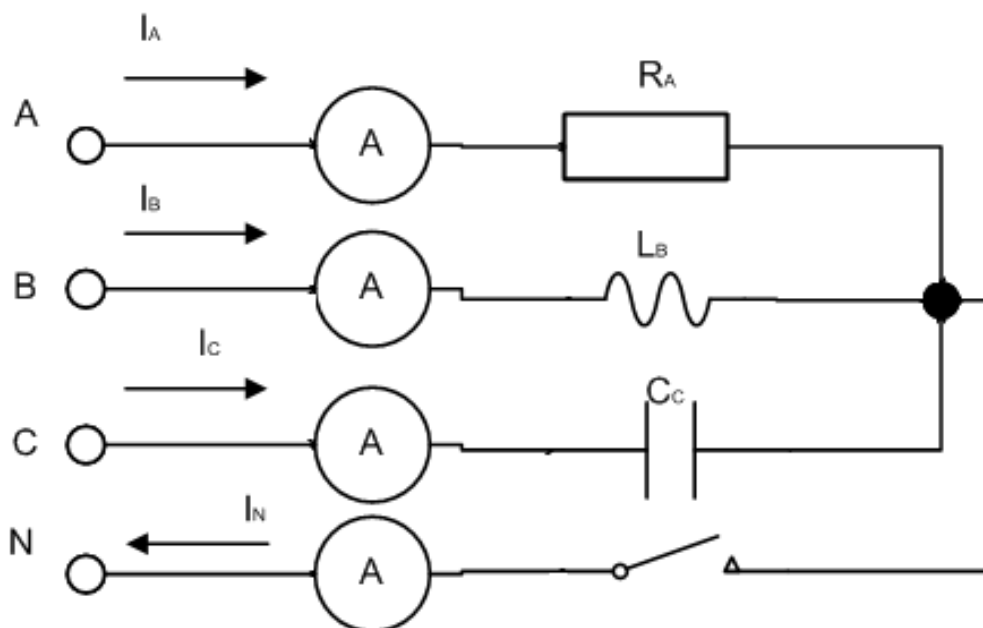


Рисунок 5.1 – Електрична схема для дослідів

Таблиця 5.1 – Експериментальні дані

Несиметричне навантаження	I_A	I_B	I_C	I_N	U_A	U_B	U_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{NN}
	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
З нульовим проводом											
Без нульового проводу											

5.3 Аналіз отриманих результатів і висновки

1 Побудувати векторну діаграму для випадку несиметричного навантаження фаз без нейтрального

проводу, використовуючи дані вимірювань таблиці 4.1. При побудові векторної діаграми для випадку несиметричного навантаження фаз без нейтрального проводу положення нейтральної точки приймача (**точка n**) визначається за допомогою циркуля з розхилом, рівним в масштабі фазним напругам приймачів енергії, шляхом зарубок з вершин рівностороннього трикутника ABC, утвореного векторами лінійних напруг U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} .

2 За векторною діаграмою визначити графічно напругу зсуву нейтралі U_{NB} і порівняти його з експериментальним значенням (показами вольтметра).

3 Використовуючи дані вимірювань таблиці 4.1, побудувати в масштабі сполучені векторні діаграми струмів і напруг для всіх режимів і визначити за ними графічно струм у нейтральному проводі.

Контрольні питання

- 1 Які електричні кола називаються трифазними?
- 2 Як з'єднати фази струмоприймачів за схемою «зірка»?
- 3 Які напруги називаються фазними і які лінійними?
- 4 Як вони вимірюються?
- 5 Які співвідношення між лінійними і фазними струмами і напругами для симетричної трифазної системи при з'єднанні навантаження за схемою «зірка»?
- 6 Яке буде співвідношення між лінійною і фазною напругами у випадку, коли одна фаза ввімкнена неправильно (переплутані початок і кінець цієї фази)?
- 7 Пояснити, яке навантаження фаз вважається рівномірним, однорідним.
- 8 Призначення нейтрального проводу.
- 9 Як визначається графічно й аналітично величина струму в нейтральному проводі?

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛІНІЙНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ КОЛІ, ЩО МІСТИТЬ АКТИВНІ ОПОРИ, КОТУШКУ ІНДУКТИВНОСТІ І КОНДЕНСАТОР

Мета роботи: експериментальне дослідження характеру перехідних процесів при різних значеннях параметрів кола, що містить активний опір, індуктивний та ємнісний елементи.

6.1 Стислі теоретичні відомості

Під перехідними процесами розуміються процеси переходу від одного режиму роботи електричного кола до іншого, при якому спостерігається зміна параметрів схеми чи її конфігурації, величини амплітуди або фази, форми або частоти сигналів діючих в схемі активних елементів. Теорія розрахунку перехідних процесів базується на двох законах комутації:

- у будь-якій вітці з індуктивністю струм і магнітний потік у момент комутації зберігають ті значення, які вони мали до комутації, і в подальшому змінюються, починаючи саме з цих значень $i_L(0_+) = i_L(0_-)$;
- у будь-якій вітці, що містить конденсатор, падіння напруги і заряд на ньому зберігають ті значення, які вони мали до комутації, і в подальшому змінюються, починаючи саме з цих значень $u_C(0_+) = u_C(0_-)$.

6.2 Порядок виконання роботи:

- скласти робоче електричне коло згідно з рисунком 6.1, ввімкнути осцилограф;
- після перевірки правильності складеної схеми керівником занять ввімкнути генератор прямокутних імпульсів і подати його вихідний сигнал на вхід досліджуваного кола;
- за допомогою осцилографа дослідити характер

перехідних процесів в електричному колі для трьох варіантів конфігурації цього кола;

- дослідити характер перехідних процесів у колі при наявності в ньому лише елементів r і L :

- форму падіння напруги на індуктивному елементі L ;
- форму імпульсів на вході досліджуваного

електричного кола;

- вказані вище дії виконати для двох значень активного опору кола, в одній системі координат зарисувати з екрана осцилографа епюри напруг при різних значеннях параметрів кола;

- дослідити характер перехідних процесів в електричному колі, який містить активний опір та ємнісний опір (конденсатор C);

- дослідити характер перехідних процесів в електричному колі, що містить r , L і C елементи, змінюючи параметри елементів, отримати в колі коливальний і аперіодичний перехідні процеси;

- для випадків коливального і аперіодичного перехідних процесів зарисувати з екрана осцилографа форму падіння напруг на котушці індуктивності, конденсаторі і форму імпульсів з виходу задаючого генератора.

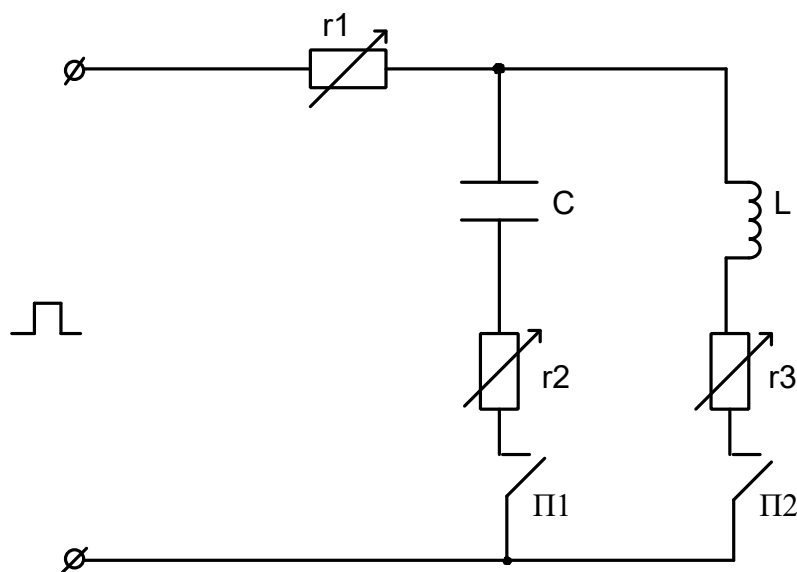


Рисунок 6.1 – Електрична схема дослідження перехідних процесів

6.3 Методичні вказівки до виконання роботи:

- при виконанні роботи керуватися загальними вимогами, що поставлені до виконання лабораторних робіт на універсальному лабораторному стенді;
- для проведення досліджень необхідно використовувати осцилограф С1-83, генератор прямокутних імпульсів, котушку індуктивності, конденсатор С та змінні резистори лабораторного стенда, додаткові конденсатори малої ємності;
- рівень амплітуди та тривалість вихідних імпульсів задаючого генератора вибрати.

6.4 Аналіз отриманих результатів та висновки

1 Проаналізувати і зробити висновок про вплив на форму і параметри досліджуваних сигналів величини активного опору кола, величини індуктивності котушки і ємності конденсатора в режимі перехідних процесів. Охарактеризувати вплив на електричну сталу часу перелічених вище елементів.

2 Пояснити причини виникнення аперіодичного або коливального перехідного процесу при зміні співвідношень між величинами r з одного боку і L чи C з іншого боку.

3 Побудувати епюри перехідних напруг для усіх вказаних у робочому завданні конфігурацій електричного кола і параметрів елементів.

Контрольні питання

- 1 Що таке стала часу електричного кола?
- 2 Що таке початкові умови кола, в якому відбувається комутація?
- 3 Чим визначається швидкість згасання коливального процесу при перехідному режимі?

4 Чим зумовлено виникнення в електричному колі режиму перехідних коливань?

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ З НЕЛІНІЙНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Мета роботи: дослідити нерозгалужене та розгалужене коло з нелінійними елементами, зробити перевірку графоаналітичного методу розрахунку подібних кіл.

7.1 Стислі теоретичні відомості

Прикладами нелінійних елементів є напівпровідникові прилади, котушки з металевим осереддям, лампи розжарювання та інші. Характерною особливістю розрахунку таких кіл є те, що закони Ома та Кірхгофа працюють тільки для окремих їхніх режимів роботи. Тому для розрахунку подібних кіл використовується графоаналітичний метод, який полягає у побудові вольт-амперних характеристик нелінійних елементів з розрахунком режимів роботи схеми у конкретних їхніх точках.

7.2 Порядок виконання роботи:

- складіть електричне коло постійного струму згідно з рисунком 7.1 з лампами розжарювання 15 Вт та 40 Вт, потім послідовне та рівнобіжне ввімкнення вказаних нелінійних елементів;
- регулюючи вихідну напругу джерела живлення, зніміть вольт-амперні характеристики ламп розжарювання 15 Вт та 40 Вт, потім послідовного та паралельного ввімкнення вказаних нелінійних елементів. Результати дослідів занесіть до таблиці 7.1;
- на підставі дослідних даних побудуйте вольт-амперні характеристики ламп розжарювання 15 Вт та 40 Вт, послідовного та паралельного ввімкнення вказаних

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8 ДОСЛІДЖЕННЯ КОТУШКИ ІНДУКТИВНОСТІ З ЗАМКНЕНИМ МАГНІТОПРОВОДОМ

Мета роботи: дослідження вольт-амперних характеристик котушки індуктивності з замкненим магнітопроводом.

8.1 Стислі теоретичні відомості

Магнітний опір котушки з замкненим магнітопроводом залежить від магнітної проникності матеріалу, від геометрії самого магнітопроводу, а також величини повітряного проміжку. Змінюючи величину повітряного проміжку в замкненому магнітопроводі, маємо змінний магнітний опір усього магнітного кола і, отже, маємо змінну величину індуктивності котушки. Комплексний опір котушки індуктивності впливає на струм, який тече через неї, при незмінній напрузі. Таким чином, величина повітряного проміжку котушки впливає на її вольт-амперну характеристику.

8.2 Порядок виконання роботи:

- скласти електричне коло, як показано на рисунку 8.1, і увімкнути його до регульованого джерела синусоїдальної напруги;
- встановити заданий повітряний зазор ($\delta = 0, 1, 3$ мм) і, плавно змінюючи напругу на котушці за допомогою реостата від нуля до 40 В, записати обмірювані значення струму і напруги в таблицю;
- зробити аналогічні виміри для двох інших значень повітряного зазора і записати їх у таблицю;
- за результатами вимірів побудувати вольт-амперні характеристики при різних зазорах магнітопроводу котушки на одному графіку і зробити висновок про вплив зазора на

магнітний опір.

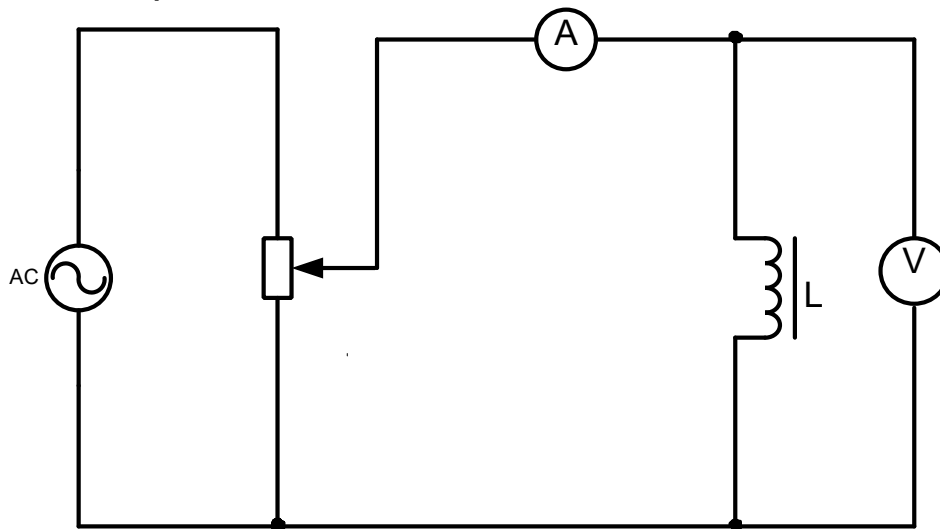


Рисунок 8.1 – Електрична схема для дослідів

Таблиця 8.1 – Експериментальні дані

Номер дослідів	Повітряний зазор, мм	Обмірювані величини	1	2	3	4	5	6	7
		U, В							
		I, mA							
		U, В							
		I, mA							
		U, В							
		I, mA							

Контрольні питання

1 Поясніть вплив осердя на значення індуктивності котушки.

2 Як зміниться вольт-амперна характеристика котушки при збільшенні частоти напруги живлення?

3 Поясніть причину викривлення форми струму при живленні котушки індуктивності синусоїдальною напругою.

9 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9 НЕЛІНІЙНЕ МАГНІТНЕ КОЛО ПРИ ФЕРОРЕЗОНАНСІ

НАПРУГ

Мета роботи: експериментальне дослідження явища, що спостерігається при послідовному ввімкненні конденсатора і котушки із стальним осердям.

9.1 Стислі теоретичні відомості

Оскільки котушка з металевим осердям має нелінійну вольт-амперну характеристику, то при послідовному ввімкненні R, L та C виникає явище ферорезонансу. Це явище супроводжується стрибками струму і має релейний характер. Ферорезонансу напруг, на відміну від резонансу напруг в лінійних колах, можна досягти шляхом плавної зміни напруги на вході кола.

9.2. Порядок виконання роботи:

- складіть електричне коло змінного струму згідно з рисунком 9.1, яке складається з джерела змінного струму, конденсатора, котушки з осердям з електротехнічної сталі, вольтметра і амперметра;
- регулюючи вихідну напругу джерела живлення, зніміть загальну вольт-амперну характеристику з виділенням точок, в яких мають місце стрибки струму;
- зніміть дослідним шляхом вольт-амперні характеристики нелінійної індуктивності та ємності (достатньо двох точок), при цьому максимальні значення струмів бажано мати однаковими;
- побудуйте загальну вольт-амперну характеристику, на якій визначте точку резонансу (точку стрибка струму) і через цю точку проведіть пряму лінію, що визначає приблизну вольт-амперну характеристику активного опору;
- побудуйте на тому ж графіку характеристики котушки (нелінійну) та ємності;
- складіть графічно характеристики U_R , U_L , U_C та виконайте порівняння сумарної характеристики з

експериментальною $U(I)$;

- зробіть висновки з роботи.

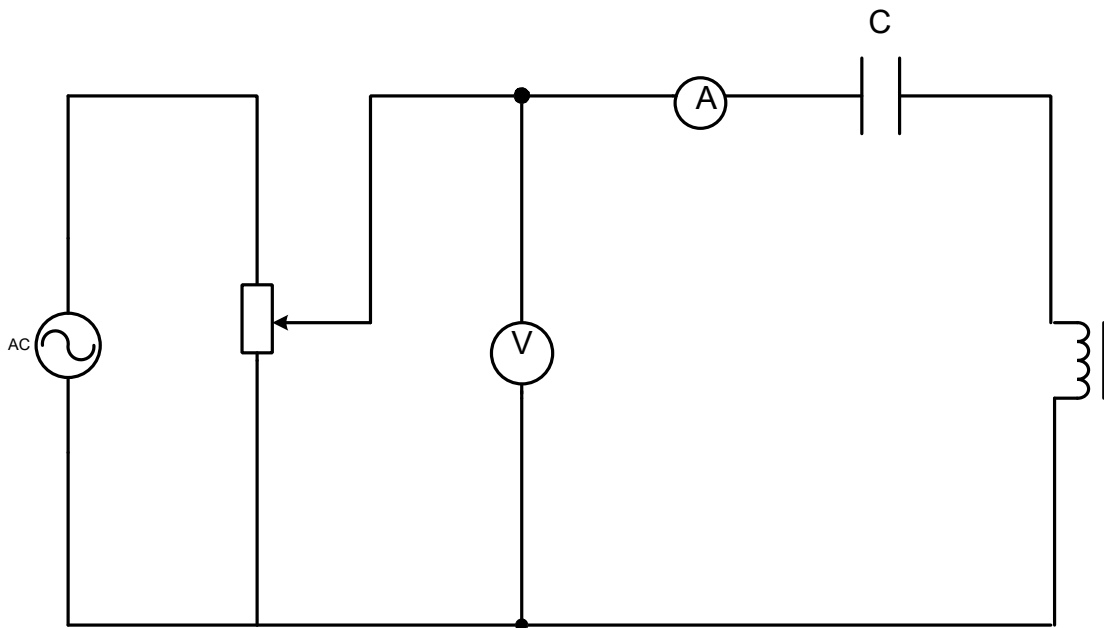


Рисунок 9.1 – Електрична схема досліду ферорезонансу напруг

Контрольні питання

- 1 В якому колі та коли виникає ферорезонанс напруг?
- 2 Запишіть векторне рівняння для діючих значень напруг на окремих ділянках послідовного RLC – кола при синусоїдальному змінному струмі.
- 3 Поясніть, чому напруга на реальному дроселі при ферорезонансі не дорівнює напрузі на затискачах конденсатора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 2000.

2 Основы теории цепей /Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М.: Энергия, 1989.

3 Соболев Ю.В., Бабаев М.М., Давиденко М.Г. Теорія електричних і магнітних кіл. – Харків: ХФВ «Транспорт України», 2002.

