

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

«Теорія електричних та магнітних кіл»

для студентів спеціальності
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
освітнього ступення – бакалавр

ТЕРНОПІЛЬ – ТНЕУ
2018

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Теорія електричних та магнітних кіл” для освітнього ступення – бакалавр, спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування / Укл.: Албанський І.Б.– Тернопіль: Гал-друк, 2018. – 42 с.

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт складаються з частин, що рекомендовані освітньо-професійної програми підготовки бакалавра галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування, спеціальність 151 – «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»

Укладач: Албанський Іван Богданович, к.т.н, старший викладач

Рецензенти: Сабадаш І.О. к.т.н., доцент, директор інституту мікропроцесорних систем керування об’єктами електроенергетики
Касянчук М.М., к.ф.-м.н., доцент кафедри комп’ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри спеціалізованих комп’ютерних систем протокол №2 від 11.09.2018р.

Розглянуто та схвалено науково-методичною комісією з автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій протокол №2 від 11.09.2018р.

Розглянуто та схвалено науково-методичною радою факультету комп’ютерних інформаційних технологій, протокол №1 від 29.08.2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

«Теорія електричних та магнітних кіл»

для студентів спеціальності
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
освітнього ступення – бакалавр

ТЕРНОПІЛЬ – ТНЕУ
2018

Зміст

Лабораторна робота №1. Робота в лабораторії, та ознайомлення з вимірювальною апаратурою	6
Лабораторна робота №2. Дослідження електричних кіл і вимірювання основних електричних величин	8
Лабораторна робота №3. Дослідження лінійного розгалуженого кола постійного струму	10
Лабораторна робота №4. Дослідження передачі електричної енергії постійним струмом по двопровідній лінії	14
Лабораторна робота №5. Дослідження лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму.	18
Лабораторна робота №6. Дослідження лінійного розгалуженого кола синусоїдального струму	23
Лабораторна робота №7. Дослідження пасивного чотириполюсника	27
Лабораторна робота №8. Дослідження електричних кіл з індуктивним зв'язком	31
Лабораторна робота №9. Дослідження перехідних процесів в лінійних електричних колах з одним реактивним елементом	36
Література	41

Лабораторна робота №1

Тема: Робота в лабораторії, та ознайомлення з вимірювальною апаратурою.

До проведення лабораторної роботи необхідна домашня підготовка, з тем щоби була можливість засвоїти теоретичну частину матеріалу. Вивчається даний розділ за підручником, конспектом лекцій. Після цього виконати попередні розрахунки, якщо вони є у відповідній лабораторній роботі. Вміти відповісти на всі питання для контролю. Викладач, який проводить заняття має підтвердити знання і рівень попередньої підготовки студента.

Поведінка студента в лабораторії.

До початку роботи з апаратурою студент має пройти інструктаж по техніці безпеки, виконувати в подальшому всі вивчені положення, особливо ті, які відносяться до роботи з електротехнічними і електронними пристроями. Щоби не створити електричне коло для проходження струму через ділянки тіла, які одночасно дотикаються до різних приладів, що можуть бути під різними напругами, студенти мають працювати однією рукою, що виключить дотикання двох приладів одночасно.

При виникненню небезпеки потрібно вимкнути силову сітку “рубильником” або витягнути з розетки шнур живлення несправного електротехнічного пристрою.

Необхідно виконувати також правила експлуатації електронної вимірювальної апаратури. Наприклад, не можна замикати накоротко виводи виходу генераторів, джерел живлення і подібних пристроїв, при цьому в колах можуть виникнути значні струми, що може вивести апаратуру з ладу.

При роботі з вольтметрами потрібно знати порядок вимірюваної напруги і встановити перемикачем такий діапазон, щоби стрілка не зашкалювала, а в цифрових не переповнювались розряди.

При виконанні лабораторних робіт необхідно виконувати правила, які є необхідні для підвищення точності вимірювань. Важливим є з'єднування корпусів макету і вимірювальних приладів до контуру заземлення, при цьому їх потенціали будуть однаковими.

Після цього як викладач допустив до роботи, студенти мають збирати електричні кола і під'єднувати вимірювальну апаратуру. Перед тим як ввімкнути джерела живлення, студенти зобов'язані отримати дозвіл викладача. Не можна розбирати зібрані кола без дозволу викладача.

Студенти перед початком нової роботи мають представити оформлений звіт по попередній роботі. В звіті проводяться короткі теоретичні відомості, розрахункові формули, таблиці з виміряними величинами, їх графіки, аналіз отриманих результатів, висновки по роботі. Захист робіт проводиться у відведений для цього час. Після останньої захищеної роботи студент отримує залік або допуск до екзамену.

Контрольно-вимірювальна апаратура.

Генератор стандартних сигналів- в ньому генеруються синусоїдальні періодичні, електричні коливання з різними частотами, які складаються з

дискретних діапазонів, в середині яких частота плавно змінюється ручкою “частота”. Вихідна напруга коливань також змінюється дискретно і плавно відповідними подільниками. Вихідний сигнал генератора підєднується через кабель із входом відповідної електричної схеми лабораторного стенда, а земляний кінець- з клемою корпусу стенда.

Електроний осцилограф є універсальним вимірювальним приладом, з допомогою якого можна проводити різні вимірювання в електричних колах. За допомогою осцилографа можна визначити амплітуду, форму сигналів, зсув фаз, спостерігати процеси зміни в часі, досліджувати спектральні характеристики і проводити багато інших вимірювань.

Перед початком вимірювань необхідно ввімкнути напругу сітки живлення, прогріти прилад, а ручками “яскравість”, “фокус”, “частота розгортки” встановити на екрані осцилографа найтоншу лінію розгортки із нормальним свіченням.

Встановити ручками “Режим роботи-автоколивань” “частота розгортки”, ручками \updownarrow по вертикалі і \rightleftarrows по горизонталі, встановлюється промінь розгортки на середині екрану осцилографа.

“Вхід” осцилографа через кабель з’єднується з виходом досліджуваної електричної схеми лабораторного стенду.

Один із провідників кабеля з’єднується з корпусом осцилографа, називається земляним та має бути з’єднаним з корпусом \perp (землею) стенда.

Другий провідник називається потенціальним і підєднується до клеми потенціальної точки стенда. Земляний і потенціальний провідники осцилографа легко визначити експериментально. Для цього перемикач “вихідна напруга” встановити не менше 1В і по чергово доторкатись рукою до кожного провідника осцилографа. При доторканні до земляного провідника лінія розгортки на екрані не зміститься по вертикалі, а при дотиканні до потенціального провідника зміститься по вертикалі і додадуться різноманітні коливання.

Прийнято в вимірювальних приладах робити земляні провідники більших розмірів за потенціальні.

Щоби дослідити процеси і виміряти сигнали необхідно ручкою “Частота розгортки” встановити 2-3 періоди коливань по горизонталі, а ручками “синхронізація” і “стабілізація” досягнути стійкого зображення.

Лабораторна робота №2

Тема: Дослідження електричних кіл і вимірювання основних електричних величин

Мета роботи: Складання електричних кіл і вимірювання основних електричних величин. Перевірка справедливості основних співвідношень в електричних колах.

Порядок виконання роботи.

Скласти електричне коло (рис. 2.1) з заданими в таблиці 2.1 значеннями опору R_1 і ЕРС E . Виміряти напругу U , струм I та потужність P в колі. Результати вимірювань занести в таблицю 2.2.

Таблиця 2.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, B	6	8	9	10	11	12	14	16	18	20
$R_1, Ом$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$R_2, Ом$	50	50	100	100	50	100	100	50	50	50

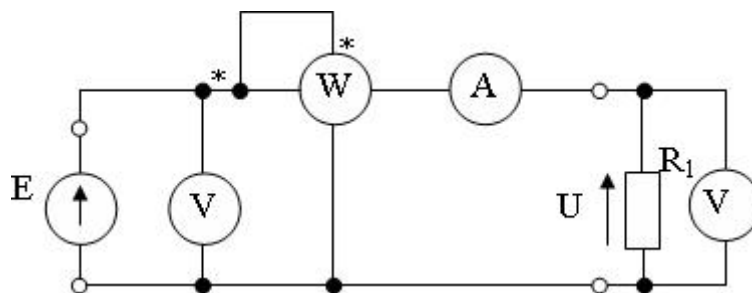


Рисунок 2.1

Таблиця 2.2.

Встановлено		Виміряно				Розраховано	
E, B	$R_1, Ом$	U, B	I, A	$P, Вт$	$R_1, Ом$	I, A	$P, Вт$

Скласти електричне коло (рис 2.2), підбравши значення елементів у відповідності таблиці 2.1. Виміряти електричні величини, вказані в табл. 2.3, при заданому значенні E .

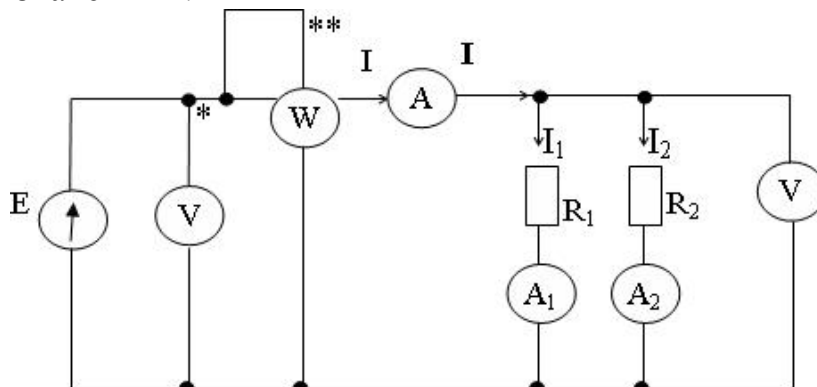


Рисунок 2.2

Таблиця 2.3.

Встановлено			Виміряно						Розраховано			
E, B	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	I, A	I_1, A	I_2, A	U, B	$P, Вт$	$R_1, Ом$	I, A	I_1, A	I_2, A	$R, Ом$

Скласти електричне коло (рис 2.3.) з елементами, значення яких задані в таблиці 2.1. Виконати вимірювання електричних величин, вказаних в таблиці 2.4.

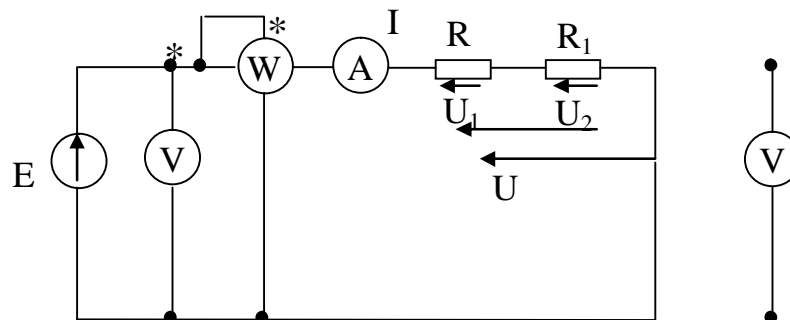


Рисунок 2.3

Таблиця 2.4.

Встановлено			Виміряно						Розраховано			
E, B	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	I, A	U_1, B	U_2, B	U, B	$P, Вт$	$R_1, Ом$	I, A	U_1, B	U_2, B	$R_2, Ом$

Обробка результатів дослідження.

По встановлених значеннях електричних величин для кожного з досліджуваних кіл розрахувати невідомі значення величин і занести в табл. 2.22.4.

На основі проведених досліджень переконатись в справедливості закону Ома, першого та другого закону Кірхгофа. Зробити відповідні висновки.

Контрольні запитання.

1. Дайте визначення електричного кола, елемента кола, вітки, вузла і контуру електричного кола.
2. В чому відмінність між ідеальними і реальними Е.Р.С. ?
3. Запишіть рівняння зовнішньої характеристики реального джерела Е.Р.С.
4. Як виміряти ЕРС і внутрішній опір джерела?
5. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола, перший та другий закон Кірхгофа.

Лабораторна робота №3

Тема: Дослідження лінійного розгалуженого кола постійного струму.

Мета роботи: Дослідження принципу накладання, принципу взаємності, і теореми про еквівалентний генератор в лінійному електричному колі постійного струму.

Основні теоретичні відомості.

Дослідження принцип накладання.

Струм в будь – якій вітці лінійного кола з декількома джерелами електричної енергії рівний алгебраїчній сумі струмів, викликаний в цій вітці кожним із джерел окремо. Принцип накладання дозволяє розділити складне електричне коло на прості кола, в кожному з яких діє тільки по одному джерелу електричної енергії.

Згідно принципу накладання струм в будь – якій вітці електричного кола:

$$I_k = G_{k1}E_1 + G_{k2}E_2 + \dots + G_{kk}E_k + \dots + G_{km}E_{m1} + G_{kl}E_l = \\ = I_{k1} + I_{k2} + \dots + I_{kk} + \dots + I_{ku} + \dots + I_{kn},$$

де $E_1, E_2 \dots E_n - e, p, c.$ джерел у вітках кола;

G_{kk} – вхідна провідність вітки K ;

G_{km} – взаємна провідність K і M віток;

I_{ku} – струм у вітках K викликаний ЕРС E_m у вітці M .

У відповідності із принципом накладання електричне коло, зображене на рис. 3.1а, можна розділити на два простих кола, зображених на рис 3.1б і рис 3.1в. Струми у вітках вихідного кола згідно з принципом накладання:

$$I_1 = I_{11} + I_{12}$$

$$I_2 = I_{21} + I_{22}$$

$$I_3 = I_{31} + I_{32}$$

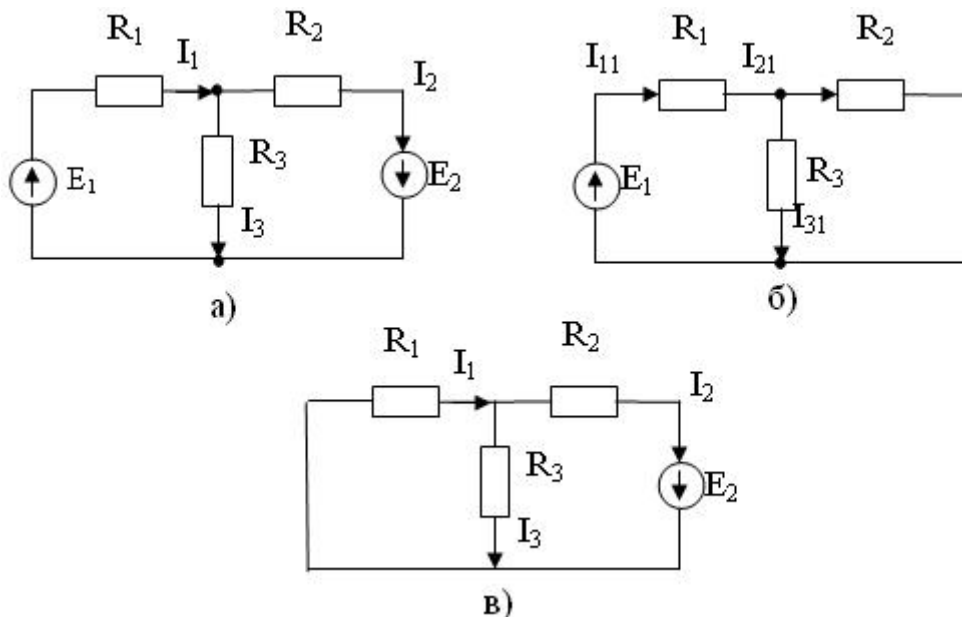


Рисунок 3.1

Дослідження принципу взаємності

Припустимо, що в електричному колі діє тільки ЕРС E_k , а всі інші рівні нулю. Тоді струм у вітці k :

$$I_k = G_{kk} E_k,$$

а у вітці m :

$$I_m = G_{mk} E_k.$$

Звідси вхідна провідність вітки k :

$$G_{kk} = I_k / E_k$$

і взаємна провідність віток m і k :

$$G_{mk} = I_m / E_k.$$

Таким чином, вхідна провідність вітки визначається як відношення струму до ЕРС в цій вітці, а взаємна провідність між двома вітками – як відношення струму в одній вітці до ЕРС в другій вітці при відсутності джерел в інших вітках.

Для лінійних електричних кіл справедливий принцип взаємності – якщо ЕРС E_k у вітці k викликає струм I_m у вітці m , то така сама ЕРС $E_m = E_k$ у вітці m викликає такий самий струм I_k у вітці k :

$$I_m = I_k$$

З цього принципу випливає, що

$$G_{km} = G_{mk}$$

Дослідження теореми про еквівалентний генератор.

По відношенню до будь-якої вітки складного електричного кола всю іншу частину кола можна замінити еквівалентним джерелом ЕРС E_0 з внутрішнім опором R_0 (рис.3.2)

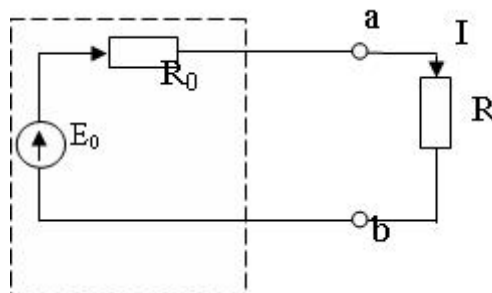


Рисунок 3.2

При цьому струм :

$$I = \frac{E_0}{R_0 + R}.$$

Електрорушійна сила E_0 еквівалентного джерела ЕРС рівна напрузі холостого ходу U_{xx} у вітці ab (рис.3.3). Внутрішній опір R_0 еквівалентного джерела ЕРС рівний еквівалентному опору R_e відносно вітки ab . Тобто $E_0 = U_{xx}$, $R_0 = R_e$. Внутрішній опір R_0 можна визначити з дослідів холостого ходу і короткого замикання:

$$R_0 = \frac{U_{xx}}{I_{кз}}$$

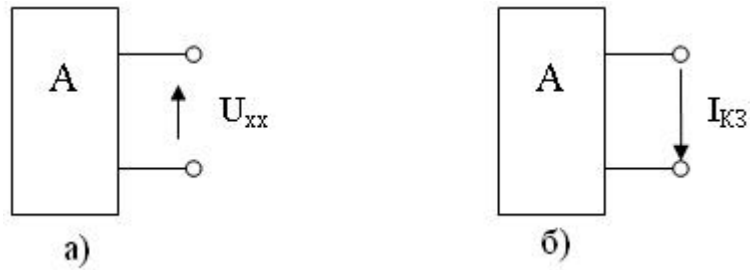


Рисунок 3.3

Порядок виконання роботи

1. Для експериментального дослідження принципу накладання виміряти струми у вітках досліджуваного поля, зображеного на рис.3.4:

- а) при дії одного джерела E_1 ;
- б) при дії одного джерела E_2 ;
- в) при одночасній дії джерел E_1 і E_2 .

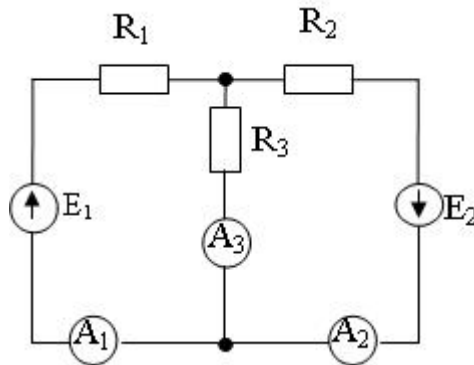


Рисунок 3.4

Результати досліджень заносимо в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Режим роботи кола	I_1, A	I_2, A	I_3, A
$E_1=B; E_2=0$			
$E_1=0; E_2=B$			
$E_1=B; E_2=B$			

2. Для дослідження принципу взаємності виміряти струми у вітках кола:

- а) при дії одного джерела E_1 ;
- б) при дії одного джерела $E_2=E_1$;

Результати вимірювань занести в табл 3.2.

Таблиця 3.2

Режим роботи кола	I_1	I_2	I_3	G_{11}	G_{12}	G_{13}	G_{21}	G_{22}	G_{23}
	A	A	A	См	См	См	См	См	См
$E_1=B$									
$E_2=B$									

Для перевірки теореми про еквівалентний генератор провести досліди:

- а) вилучити з третьої вітки резистор R_3 і в точках розриву виміряти напругу холостого ходу U_{xx} при дії обидвох джерел;

б) закортити резистор R_3 у третій вітці і виміряти в ній струм короткого замикання $I_{кз}$;

в) замінити електричне коло відносно третьої вітки еквівалентним джерелом (рис.3.4) ЕРС $E_0=U_{xx}$ і внутрішнім опором $R_0 = U_{xx}/I_{кз}$ і виміряти струм I_3 в третій вітці.

Обробка результатів дослідю

1. По результатах досліджень п.1 переконатись у справедливості принципу накладання.

2. По результатах досліджень п.2 обчислити вхідні та взаємні провідності віток вказані в табл.3.2. і переконатись у справедливості принципу взаємності.

3. По результатах досліджень п.3 переконатись у справедливості теореми про еквівалентний генератор.

Контрольні питання

1. В чому полягає суть принципу накладання?
2. Чи справедливий принцип накладання для визначення потужності в лінійному електричному колі?
3. Як визначають вхідні та взаємні провідності віток?
4. В чому полягає принцип взаємності?
5. Як формулюється теорема про еквівалентний генератор?
6. Як визначаються параметри еквівалентного генератора ЕРС?

Лабораторна робота №4

Тема: Дослідження передачі електричної енергії постійним струмом по двопровідній лінії.

Мета роботи: Вивчення закономірностей передачі електричної енергії постійним струмом по двопровідній лінії.

Основні теоретичні відомості.

Розглянемо передачу енергії по двопровідній лінії, схема заміщення якої приведена на рис.4.1, при незмінному значенні напруги U_1 на початку лінії $U_1 = \text{const}$.

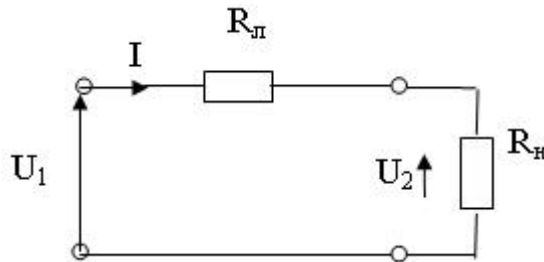


Рисунок 4.1

Струм в лінії:

$$I = \frac{U_1}{R_H + R_L} = \frac{U_2}{R_H};$$

де R_H – опір навантаження;

R_L – опір проводів лінії.

Напруга на затискачах навантаження:

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - I R_L = I R_H.$$

Втрата напруги в лінії:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = I R_L.$$

Потужність на початку лінії:

$$P_1 = U_1 I.$$

Потужність, що передається навантаженню:

$$P_2 = U_2 I = I^2 R_H = \left(\frac{U_1}{R_H + R_L} \right)^2 R_H.$$

Коефіцієнт корисної дії лінії передачі:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I}{U_1 I} = \frac{U_1 - I R_L}{U_1} = 1 - \frac{R_L}{R_H} \frac{I}{U_1} = \frac{R_H}{R_H + R_L}.$$

За одержаними рівняннями на рис.4.2 побудовані залежності U_2 , ΔU , P_1 , P_2 і η від струму I .

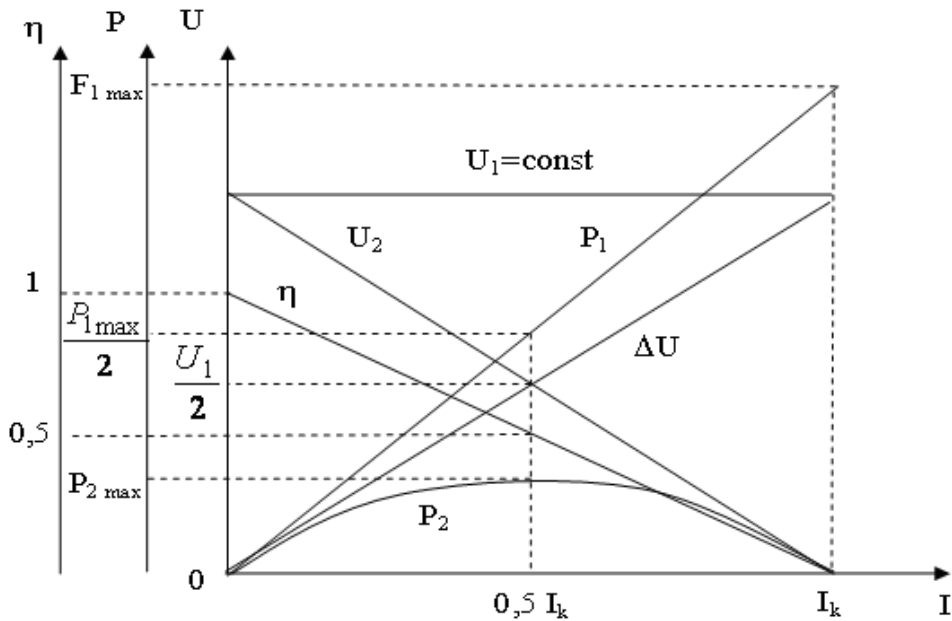


Рисунок 4.2.

При холостому ході лінії, тобто, при $R_n = \infty$, маємо:

$$I = 0, \Delta U = 0, U_2 = U_1, P_1 = 0, P_2 = 0, \eta = 1.$$

При короткому замиканні лінії, тобто, при $R_n = 0$, маємо:

$$I = I_{к.з.} = \frac{U_1}{R_l}; \Delta U = U_1; U_2 = 0; P_1 = \frac{U_1^2}{R_l}; P_2 = 0; \eta = 0.$$

Коротке замикання являється аварійним режимом роботи лінії.

Визначимо значення опору R_n , при якому в навантаженні споживається максимальна потужність. Для цього дослідимо залежність $P_2(R_n)$ на максимум, прирівнявши до нуля похідну P_2 по R_n :

$$\frac{dP_2}{dR_n} = U_1^2 \frac{(R_n + R_l)^2 - 2R_n(R_n + R_l)}{(R_n + R_l)^3} = 0.$$

Звідси отримуємо $R_n = R_l$. Отже, максимальна потужність поступає в навантаженні при умові, що опір навантаження рівний опорі лінії.

При цьому

$$I = \frac{U_1}{2R_l} = \frac{I_k}{2}; \Delta U = \frac{U_1}{2}; U_2 = \frac{U_1}{2}; P_1 = \frac{U_1^2}{4R_l}; P_2 = \frac{U_1^2}{8R_l}; \eta = 0,5.$$

У зв'язку з низьким значення ККД такий режим в електроенергетиці не використовують. При передачі по лінії значних потужностей прагнуть одержати якомога вищий ККД, для чого необхідно, щоб $R_n \gg R_l$. ККД сучасних ліній електропередач складає 0,94-0,97. Однак режим передачі максимальної потужності використовується в малопотужних лініях зв'язку, коли необхідно отримати максимальну потужність, не рахуючись з ККД.

Задану потужність можна передати по лінії при різних значеннях напруги. Підвищення напруги на навантаженні U_2 при передачі незмінної потужності $P_2 = const$ приводить до зменшення струму в лінії $I = P_2/U_2$. При цьому зменшуються втрати в проводах

$$\Delta P = I^2 R_{л.} = \left(\frac{P_2}{U_1} \right)^2 R_{л.}$$

і підвищується ККД лінії

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + \left(\frac{P_2}{U_1} \right)^2 R_{л.}} = \frac{1}{1 + \frac{P_2 R_{л.}}{U_1^2}}$$

Зменшення струму в лінії дозволяє при збереженні тих же значень ККД зменшити площу перерізу проводів, що веде до економії кольорових металів. З другого боку, підвищення напруги приводять до необхідності посилення ізоляції проводів лінії.

Порядок виконання роботи

1. За зображеною на рис.4.3. схемою скласти електричне коло для дослідження передачі енергії постійним струмом по двопровідній лінії при заданих в табл. 4.1 значеннях U_1 і $R_{л.}$

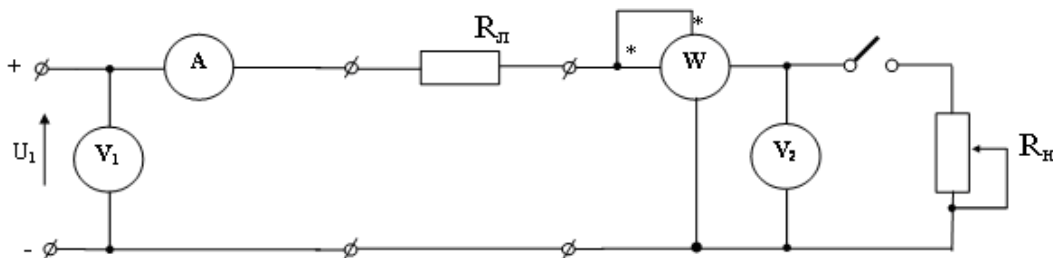


Рисунок 4.3

Таблиця 4.1

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_1 , В	12	16	16	20	21	10	15	18	24	18
$R_{н.}$, Ом	20	20	25	25	30	20	20	25	25	20
$R_{л.}$, Вт	5	8	4	6	4	4	6	5	8	10

2. Дослідити роботу лінії:

- при холостому ході;
- при короткому замиканні;
- при змінному навантаженні.

Значення напруги U_1 підтримувати незмінним при всіх режимах роботи. Результати вимірювань занести в таблицю 4.2.

3. Дослідити передачу по лінії заданої в табл.3.1. потужності P_2 при різних значеннях напруги U_2 .

Для цього слід спочатку визначити мінімальне і максимальне значення опору навантаження, при яких можлива передача заданої потужності P_2 . Мінімальне значення опору $R_{н.}$ визначається максимальним струмом установки I_{\max} , і може бути знайдене за формулою $R_{\min} = P_2 / I_{\max}^2$. Максимальне значення опору $R_{н.}$, яке визначається максимальною напругою установки, рекомендується визначити експериментально. З цією метою при

$U_1 = U_{1max}$ шляхом зміни опору R_n , добиваються заданого значення потужності P_2 .

Таблиця 4.2

Режим	№ п/п	Вимірювання				Обчислення				
		U_1 , В	U_2 , В	I, А	P_2 , Вт	ΔU , В	P_1 , Вт	ΔP , Вт	η , %	R_n , Ом
<i>Холостого ходу</i>	1									
<i>Змінного навантаж.</i>	2									
	3									
	4									
<i>Короткого замикання</i>	5									

Після цього, змінюючи R_n від R_{min} до R_{max} , по кожному значенню R_n установлюють напругу U_1 при якій потужність P_2 рівна заданій.

Результати вимірювань занести в табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

№ п/п	Вимірювання				Обчислення			
	P_2 , Вт	U_1 , В	U_2 , В	I, А	ΔU , В	P_1 , Вт	P_1 , Вт	η , %
1								
2								
3								

Обробка результатів дослідю.

1. Обчислити всі величини, вказані в табл. 4.2.
2. Побудувати криві залежностей U_1 , U_2 , ΔU , P_1 , P_2 , ΔP , η від струму I. Всі криві розмістити на одному рисунку.
3. Визначити реальний опір лінії і максимальну потужність, яку можна передати по лінії $R_n = \dots \text{Ом}$ $P_{2max} = \dots \text{Вт}$.
4. Обчислити всі величини, вказані в табл. 4.3.
5. Побудувати залежності U_1 , ΔU , P_1 і η від напруги при передачі по лінії заданої потужності P_2 (табл. 4.3.).
6. Зробити висновки по роботі.

Контрольні питання:

1. Який режим роботи лінії називають холостим ходом (коротким замиканням)?
2. Що таке ККД до лінії і від чого він залежить?
3. Приведіть залежності U_2 , ΔU , P_1 , P_2 , η від струму в лінії.
4. При якій умові по лінії можна передати максимальну потужність? Від чого залежить значення максимальної потужності?
5. Як впливає підвищення напруги на ефективність передачі електричної енергії по лінії?
6. Чим обмежується максимальне значення напруги і струму в лінії?

Лабораторна робота №5.

Тема: Дослідження лінійного нерозгалуженого кола синусоїдального струму.

Мета роботи: Дослідження нерозгалужених електричних кіл синусоїдального струму з резистивними, індуктивними і ємнісними елементами.

Дослідження явища резонансу напруг і частотних характеристик послідовного контуру.

Основні теоретичні відомості.

Розглянемо електричне коло з послідовним з'єднанням резистивного R , індуктивного L і ємнісного C елементів (рис.5.1), яке часто називають послідовним резонансним контуром.

$$I = I_m \sin \omega t = I \sqrt{2} \sin \omega t$$

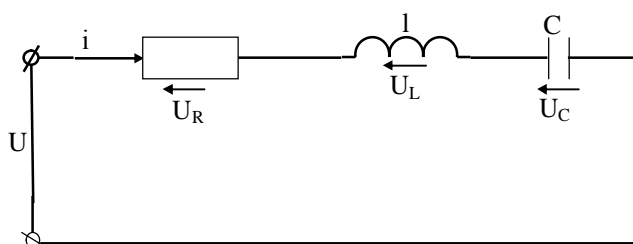


Рисунок 5.1

Якщо в колі протікає синусоїдний струм то миттєві значення напруг на окремих елементах кола будуть рівні :

$$U_R = R \cdot I = R I_m \sin \omega t = U_{Rm} \sin \omega t$$

$$U_L = L \frac{d}{dt} = X_L I_m \cos \omega t = U_{Lm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$U_C = \frac{1}{C} \int i dt = -X_C I_m \cos \omega t = U_{Cm} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

де $X_L = \omega L$, $X_C = 1/\omega C$ – індуктивний і ємнісний опір відповідно;
 $\omega = 2\pi f$ - кутова частота.

Як видно з отриманих виразів, напруга U_R на резистивному елементі співпадає по фазі із струмом, напруга U_L на індуктивному елементі випереджує струм по фазі на кут $\pi/2$, а напруга U_C на ємнісному елементі відстає по фазі від струму на кут $\pi/2$.

Діючи значення напруг на елементах кола:

$$\begin{aligned} U &= U_R + U_L + U_C = R I_m \sin \omega t + (X_L - X_C) I_m \cos \omega t = \\ &= \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} I_m \sin (\omega t + \varphi) = Z I_m \sin (\omega t + \varphi) = \\ &= U \sin (\omega t + \varphi) = U \sqrt{2} \sin (\omega t + \varphi), \end{aligned}$$

де $Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{R^2 + x^2}$ – повний опір кола, R – активний опір кола,

$$x = x_L - x_C = \omega L - 1/\omega C \text{ - реактивний опір кола,}$$

а $\varphi = \arctg x/R = \arctg \frac{x_L - x_C}{R}$ - різниця фаз напруги на вході кола і струму.

Зв'язок між діючими значеннями струму і напруги, прикладеної до кола:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}}.$$

Векторна діаграма струму і напруг наведена на рис.5.2, для випадку $U_L > U_C$ вектор напруги \vec{U} рівний геометричній сумі напруг на елементах, коли :

$$U = \sqrt{V^2_R + (V_L - V_C)^2}.$$

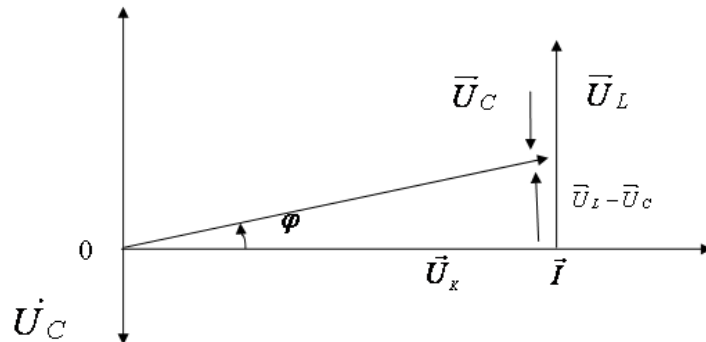


Рисунок 5.2

Активна P , реактивна Q і повна S потужності в колі:

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R$$

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 x$$

$$S = UI = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

коефіцієнт якості потужності:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}.$$

Фазовий зсув між струмом і прикладеною напругою залежить від співвідношення між індуктивним X_L і ємнісним X_C опорами. При $x_L > x_C : U_L > U_C, \varphi > 0$, напруга U випереджує по фазі струм на кут φ . При $x_L < x_C = V_L > V_C, \varphi < 0$, напруга U відстає по фазі і від струму на кут φ .

Дослідження явища резонансу напруг і частотних характеристик послідовного контуру.

При $x_L = x_C$ напруга $U_L = U_C$, кут $\varphi = 0$ і струм співпадає по фазі з прикладною напругою U . В колі настає резонанс напруг.

Із умови резонансу $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ випливає, що резонансу в колі можна досягти зміною частоти джерела живлення, яке прикладається до контуру. Частота, при якій настає резонанс, називається резонансною частотою:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

При резонансі реактивний опір кола $x = x_L - x_C = 0$. Повний опір $Z=R$ мінімальний, а струм досягає найбільшого значення $I_0 = U/R$.

Індуктивний і ємнісний опори при резонансі

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho.$$

Величину ρ називають характеристичним або хвильовим опором контуру. Якщо $\rho \gg R$, то напруги на індуктивному чи ємнісному елементі при резонансі перевищують напругу на вході кола.

Для характеристики резонансних властивостей контуру використовують величину $Q = \rho/R$, яка називається добротністю контуру. Добротність чисельно рівна відношенню напруги на індуктивному чи ємнісному елементі при резонансі до напруги, прикладеної до кола:

$$Q = \frac{\rho I}{RI} = \frac{\omega_0 LI}{RI} = \frac{U_L}{U_R} = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U}.$$

Величину $d = 1/Q$ називають загасанням контуру.

Зміна частоти призводить до зміни параметрів кола і відповідно до зміни струмів і напруг в колі. Залежності від частоти параметрів кола (повного і реактивного опорів), а також кута φ називають частотними характеристиками кола, а залежності від частоти діючих значень струмів і напруг резонансними кривими.

Порядок виконання роботи.

1. Скласти електричне коло за зображеною на рис.5.3 схемою із заданими в таблиці 5.1. параметрами елементів.

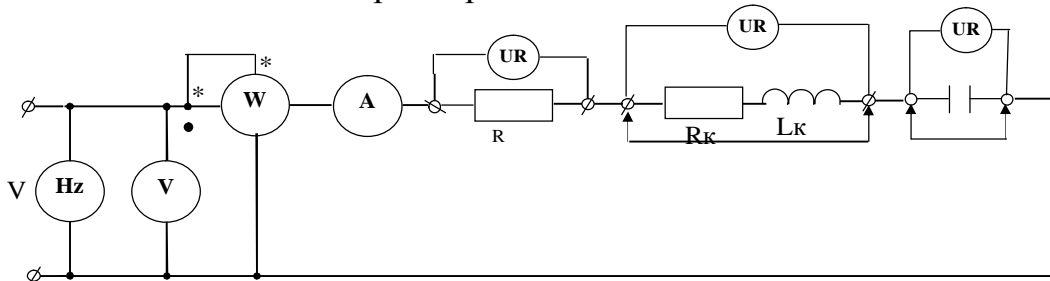


Рисунок 5.3

Таблиця 5.1

№ бригади		1	2	3	4	5
<i>U</i>	<i>B</i>	20	15	10	12	18
<i>F</i>	<i>Гц</i>	250	200	350	450	550
<i>R</i>	<i>Ом</i>	50	60	70	80	90
<i>L</i>	<i>мГн</i>					
<i>C</i>	<i>мкф</i>	100	200	300	400	500

2. Дослідити при заданих в таблиці 5.1 значеннях напруги U і частоти f джерела електричного кола при ввімкненні:

- а) резистора;
 - б) індуктивної котушки;
 - в) конденсатора;
 - а також послідовно з'єднаних:
 - г) резистора і індуктивної котушки;
 - д) резистора і конденсатора;
 - е) резистора, індуктивної котушки і конденсатора.
- Результати вимірювань занести в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

№ <i>n</i> / <i>n</i>	Ввімк- нуто елемен- ти	Вимірювання						Обчислення										
		U	f	U _R	U _L	U _C	I	P	Z	R	X	X _L	X _C	L	C	φ	Q	S
		В	Гц	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	МГн	мкф	град	Вар	ВА
1	R																	
2	L																	
3	C																	
4	R,L																	
5	R,C																	
6	R,L,C																	

Таблиця 5.3

№ <i>n</i> / <i>n</i>	Вимірювання							Обчислення										
	f	U	U _R	U _L	U _C	I	P	R= R _k	Z	X	X _L	X _C	U _C = U _R	U _L	U _p	cos φ	φ	
	Гц	В	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	В		град	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		

3. Дослідити режим резонансу напруг в нерозгалуженому колі, що складається з індуктивної котушки і конденсатора. Зняти резонансні криві, і частотні характеристики кола.

Перш за все слід, плавно змінюючи частоту напруги живлення, визначити за максимумом струму резонансну частоту кола f_0 . Після цього перейти до зняття резонансних кривих. При всіх дослідах підтримувати незмінним значення напруги U , задане в таблиці 5.1.

Результати вимірювань занести в таблицю 5.3.

Обробка результатів досліду.

1. Розрахувати всі величини, вказані в таблиці 5.2. Порівняти активні, реактивні і повні опори кіл з послідовним з'єднанням елементів з відповідними опорами окремих елементів.

2. За даними спостережень і обчислень (таблиця 5.2) побудувати для кожного кола векторну діаграму струму і напруг.

3. Обчислити всі величини, вказані в таблиці 5.3.

4. Побудувати резонансні криві (залежності U , U_k , U_L , U_C , U_a , I від частоти). Всі криві розмістити на одному рисунку.

5. Побудувати на одному рисунку частотні характеристики кола (залежності R , X_L , X_C , X , Z , φ від частоти).

6. Визначити характеристичний опір ρ і добротність Q контуру.

7. Зробити висновки по роботі.

Контрольні питання.

1. Що таке миттєве, максимальне і діюче значення синусоїдального струму (напруги)?

2. Як розрахувати діюче значення струму в нерозгалуженому колі синусоїдального струму?

3. Як визначити кут зсуву фаз між напругою і струмом в колі з послідовно з'єднаними елементами R, L, C .

4. Побудувати векторні діаграми струму і напруг в колі, що складається з послідовно з'єднаних елементів R і L (R і C ; L і C ; R, L, C).

5. В колі з послідовним з'єднанням резистивного і ємнісного елементів $U = 10\text{В}$, $U_C = 6\text{В}$. Чому рівна напруга U_R ?

6. Визначте активну, реактивну і повну потужність в колі з послідовним з'єднанням R, L, C –елементів, якщо $U=100\text{В}$, $R=300\text{ Ом}$, $X_L = 20\text{ Ом}$, $X_C = 60\text{ Ом}$.

7. В яких колах і при якій умові виникає резонанс напруг?

8. Як за показами приладів встановити, коли наступив резонанс напруг?

9. Що таке характеристичний опір і добротність контуру?

Лабораторна робота №6

Тема: Дослідження лінійного розгалуженого кола синусоїдального струму.

Мета роботи: Дослідження розгалуженого кола синусоїдального струму з резистивним, індуктивним і ємнісним елементами. Дослідження явища резонансу струмів.

Основні теоретичні відомості.

При живленні лінійного електричного кола з паралельним з'єднанням резистивного G , індуктивного L і ємнісного C елементів (рисунок 6.1) від джерела синусоїдальної напруги.

$$u = U_m \sin \omega \cdot t$$

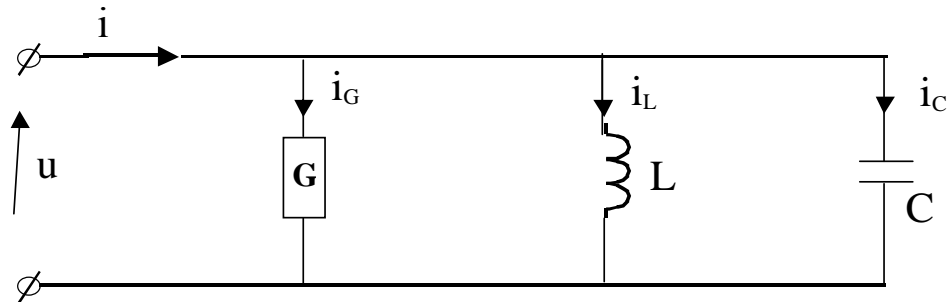


Рисунок 6.1

Миттєві значення струмів у вітках кола:

$$i_G = Gu = GU_m \sin \omega \cdot t,$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int u dt = \frac{1}{\omega L} U_m \cos \omega \cdot t = b_L U_m \sin \left(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2} \right),$$

$$i_C = C \frac{du}{dt} = \omega \cdot C \cdot U_m \cos \omega \cdot t = b_C U_m \sin \left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2} \right),$$

де $b_L = 1/\omega L$ - індуктивна провідність,

$b_C = \omega C$ - ємнісна провідність,

$\omega = 2\pi \cdot f$ - кутова частота.

З цих виразів випливає, що струм в резистивному елементі співпадає по фазі з напругою, струм в індуктивному елементі відстає по фазі від напруги на кут $\pi/2$, а струм в ємнісному елементі випереджає напругу на кут $\pi/2$. Загальний струм у нерозгалуженій частині кола.

$$i = i_G + i_L + i_C = GU_m \sin \omega \cdot t - (b_L - b_C)U_m \sin \left(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2} \right) =$$

$$= \sqrt{G^2 + (b_L - b_C)^2} U_m \sin(\omega \cdot t - \varphi) = y \cdot U_m \sin(\omega \cdot t - \varphi) = I_m \sin(\omega \cdot t - \varphi)$$

Величину $y = \sqrt{G^2 + (b_L - b_C)^2} = \sqrt{G^2 + b^2}$ називають повною провідністю кола.

Величину G - активною провідністю і $b = b_L - b_C$ - реактивною провідністю кола.

Струм в нерозгалуженій частині кола зсунутий по фазі відносно напруги на кут $\varphi = \arctg \frac{b_L - b_C}{G}$.

Діючі значення струмів у вітках кола

$$I_G = GU, \quad I_L = b_L U, \quad I_C = b_C U, \quad I = yU.$$

При $b_L > b_C$ струм $I_L > I_C$ і загальний струм I відстає по фазі від напруги, тобто, $0 < \varphi < \pi/2$. При $b_L < b_C$ струм $I_L < I_C$ і загальний струм I випереджує напругу, тобто, $-\pi/2 < \varphi < 0$.

Векторна діаграма кола для випадку $b_L > b_C$ наведена на рисунку 6.2.

Вектор загального струму \vec{I} рівний геометричній сумі векторів струмів віток:

$$\vec{I} = \vec{I}_G + \vec{I}_L = \vec{I}_C$$

Діюче значення струму на вході кола:

$$I = \sqrt{I_G^2 + (I_L - I_C)^2}$$

Активна P , реактивна Q і повна S потужності в колі визначаються виразами:

$$P = UI \cos \varphi = U^2 G$$

$$Q = UI \sin \varphi = U^2 b$$

$$S = UI = U^2 y = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

коефіцієнт потужності $\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{G}{y}$.

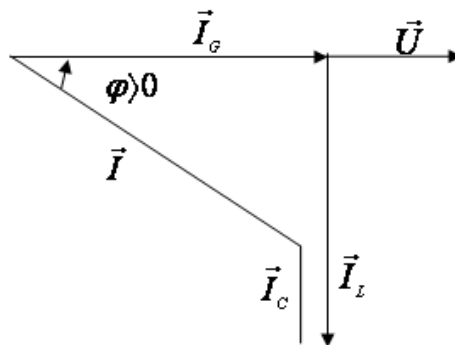


Рисунок 6.2

Дослідження явища резонансу струмів.

При $b_L > b_C$ реактивна провідність кола $b = b_L - b_C = 0$ і повна провідність кола $y = G$. Загальний струм $I = I_G$ і співпадає по фазі з напругою U . В колі настає резонанс струмів, при якому діють значення струмів в індуктивному і ємнісному елементах рівні $I_L = I_C$. Враховуючи, що при резонансі $\omega C = 1/\omega L$, явища резонансу струмів в колі можна досягнути

зміною частоти джерела живлення або змінного L або C . Частота, на якій спостерігаються явище резонансу, називається резонансною:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{або} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

При резонансі струми в котушці і конденсаторі можуть значно перевищувати загальний струм в колі, якщо хвильова провідність кола $\gamma = \sqrt{\frac{C}{L}}$ значно більше активної провідності G .

Величину, яка визначає кратність перевищення струму в колі при резонансі називають *добротністю*:

$$Q = \frac{I_{Lo}}{I_o} = \frac{I_{Co}}{I_o} = \frac{\omega_o C}{G} = \frac{\gamma}{G}.$$

Величину, обернену до добротності $d = 1/Q$, називають *загасанням кола*.

Порядок виконання роботи.

1. Скласти електричну схему за рисунком 6.3 з параметрами елементів, поданими в таблиці 6.1.

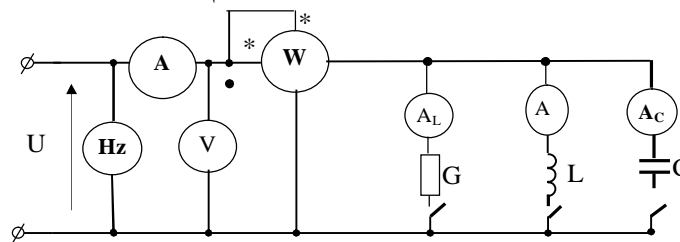


Рисунок 6.3

Таблиця 6.1

Варіант	U, B	$f, Гц$	$R, Ом$	$L, мГц$	$C, мкФ$
1	10	200	60	10	10
2	12	400	80	10	8
3	16	600	90	8	9
4	14	800	70	13	9
5	10	300	100	12	7
6	12	500	90	13	10
7	14	700	80	14	9
8	16	200	80	12	8
9	14	400	100	7	8
10	12	600	80	12	10

2. Дослідити при вказаних в таблицях напруги U і частоти f електричне коло з паралельно з'єднаними елементами:

- резистором і котушкою;
- резистором і конденсатором;
- резистором, котушкою і конденсатором.

Результати досліджень занести в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2

Ввімк нуто сітки	Виміряно						Обчислено								
	U	I _G	I _i	I _c	I	P	G	B _L	B _C	B	y	cos φ	φ	Q	S
	В	А	А	А	А	Вт	С м	С м	С м	С м	С м		гра д	ВА Р	Р А
G,L															
G,C															
G,L,C															

3. Дослідити електричне коло з паралельно ввімкнутими резисторами, котушкою і конденсаторами при зміні частоти і незмінному значенні напруги живлення. Результати вимірювань занести в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3.

f	Виміряно						Обчислено						
	U	I _G	I _i	I _c	I	P	G	B _L	B _C	B	y	cos φ	φ
Гц	В	А	А	А	А	Вт	С м	С м	См	См	См		град
100													
200													
...													
1000													

Обробка результатів досліджу

1. Обчислити всі величини, вказані в таблиці 6.2.
2. За даними спостережень і обчислень, приведених в таблиці 6.2, побудувати для всіх дослідів векторні діаграми струмів і напруг.
3. На основі досліджень п.3 обчислити всі величини, вказані в табл.6.3.

Контрольні питання

1. Що таке миттєве, максимальне і діюче значення синусоїдального струму (напруги)?
2. Що таке активна і реактивна провідності віток?
3. Як визначити струм в нерозгалуженій частині кола? Трикутник провідностей і трикутник струмів.
4. Як визначити кут зсуву фаз між струмом і напругою з паралельно з'єднаними елементами R, L, C ?
5. Побудувати векторні діаграми струмів і напруги при паралельному з'єднанні R і L (R і C ; L і C ; R, L, C).
6. В яких колах і при якій умові виникає резонанс струмів?
7. Як за показами приладів встановити, коли наступив резонанс струмів?

Лабораторна робота №7

Тема: Дослідження пасивного чотириполюсника.

Мета роботи: Експериментальне визначення коефіцієнтів лінійного пасивного чотириполюсника та дослідження його роботи при змінному навантаженні.

Основні теоретичні відомості.

Електротехнічні пристрої, що мають два вхідних і два вихідних зажимачі називають *чотириполюсниками*. Чотириполюсниками, що не містять в собі джерел електричної енергії називаються пасивними. Прикладом пасивних чотириполюсників можуть бути трансформатори, електричні фільтри, лінії передачі електричної енергії. Чотириполюсники, що мають однакові властивості як з сторони входу, так із сторони виходу називаються електричними.

Вхідні і вихідні напруги і струми лінійного пасивного чотириполюсника (рис.7.1) зв'язані між собою канонічними рівняннями.

$$\begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2 \\ I_1 &= CU_2 + DI_2 \end{aligned} \quad (7.1)$$

Коефіцієнти A, B, C, D , що входять в рівняння(7.1), називаються постійними коефіцієнтами чотириполюсниками, між якими існує зв'язок:

$$AD - BC = 1$$

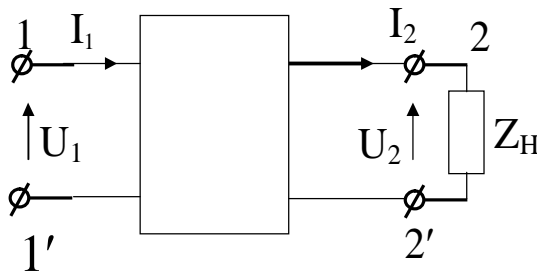


Рисунок 7.1

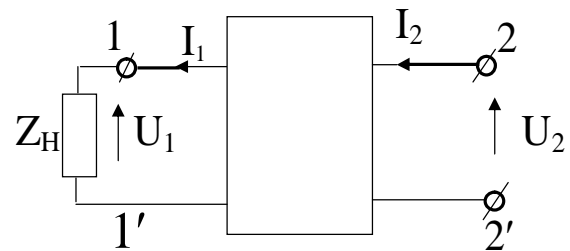


Рисунок 7.2

При живленні чотириполюсника з сторони вихідних зажимачів (рис.7.2), рівняння чотириполюсника приймають вигляд:

$$\begin{aligned} U_2 &= DU_1 + BI_1 \\ I_2 &= CU_1 + AI_1 \end{aligned}$$

Таким чином, при заміні вхідних і вихідних зажимачів чотириполюсника в рівняннях міняються місцями коефіцієнти A і D . У симетричного чотириполюсника $A = D$.

Коефіцієнти чотириполюсника можна визначити експериментально з дослідів холостого ходу і короткого замикання з сторони первинних і вторинних зажимачів. Опір чотириполюсника в режимі холостого ходу і короткого замикання при живленні його з сторони первинних зажимачів:

$$\underline{Z}_{1X} = \frac{U_{1X}}{I_{1X}} = \frac{A}{C}, \underline{Z}_{1K} = \frac{U_{1K}}{I_{1K}} = \frac{B}{D}, \quad (7.2)$$

а при живленні зі сторони вторинних зажимачів:

$$\underline{Z}_{2X} = \frac{U_{2X}}{I_{2X}} = \frac{D}{C}, \underline{Z}_{2K} = \frac{U_{2K}}{I_{2K}} = \frac{B}{A}. \quad (7.3)$$

Оскільки три коефіцієнти чотириполюсника з чотирьох являються незалежними, то для їх визначення достатньо даних трьох дослідів, а четвертий може служити для перевірки. Використавши три будь-які досліди з чотирьох і співвідношення $AD - BC = 1$ знайдемо вирази коефіцієнту:

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{\frac{\underline{Z}_{1X}}{\underline{Z}_{2X} - \underline{Z}_{2K}}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{1X}}{\underline{Z}_{2X}(\underline{Z}_{1X} - \underline{Z}_{1K})}} \\ &= \sqrt{\frac{\underline{Z}_{1K} \cdot \underline{Z}_{2K}}{\underline{Z}_{2K}(\underline{Z}_{2X} - \underline{Z}_{2K})}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{1K} \cdot \underline{Z}_{1X}}{\underline{Z}_{2K}(\underline{Z}_{1X} - \underline{Z}_{1K})}}. \end{aligned} \quad (7.4)$$

З формули (7.4) одержуються два значення коефіцієнта:

$$A_1 = +ae^{j\alpha}; A_2 = -ae^{j\alpha} = ae^{j(\alpha+\pi)}.$$

Це пояснюється тим, що коефіцієнт A залежить не тільки від елементів схеми чотириполюсника, але і від вибору позитивних напрямів струмів і напруг відносно затискачів чотириполюсника. Однозначно коефіцієнт A можна визначити з дослідів холостого ходу шляхом вимірювання кута фазового зсуву $\varphi = \psi_{u_2} - \psi_{u_1}$ між вихідною і вхідною напругами за допомогою фазометра:

$$A = \frac{U_{1X}}{U_{2X}} = \frac{U_1}{U_2} e^{j(\psi_{u_1} - \psi_{u_2})} = ae^{j\alpha} = ae^{-j\varphi}.$$

Решту коефіцієнтів визначаються з виразів (7.2), (7.3).

Для визначення коефіцієнтів симетричного чотириполюсника достатньо провести один дослід холостого ходу і один дослід короткого замикання.

Оскільки пасивний чотириполюсник характеризується трьома незалежними коефіцієнтами, то його можна представити у вигляді триелементної Т-подібної (рис.7.3.), або П-подібної (рис.7.4) схеми заміщення.

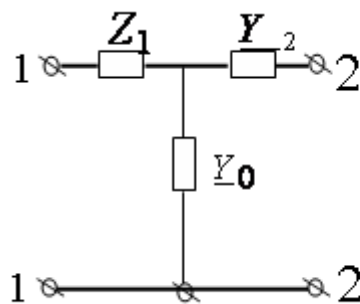


Рисунок 7.3

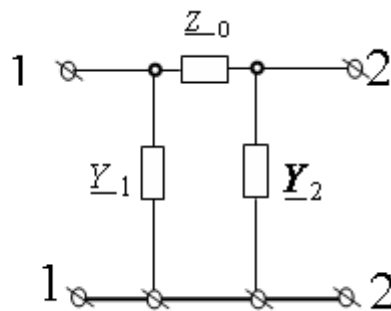


Рисунок 7.4

Для Т-подібної схеми: $\underline{Y}_0 = C, \underline{Z}_1 = \frac{A-1}{C}, \underline{Z}_2 = \frac{D-1}{C}$.

Для П-подібної схеми: $\underline{Z}_0 = B, \underline{Y}_1 = \frac{D-1}{C}, \underline{Y}_2 = \frac{A-1}{B}$.

Порядок виконання роботи.

1. Скласти електричне коло, зображене на рисунку 7.5 для дослідження пасивного чотирьополіусника з елементами, поданими в таблиці 7.1.

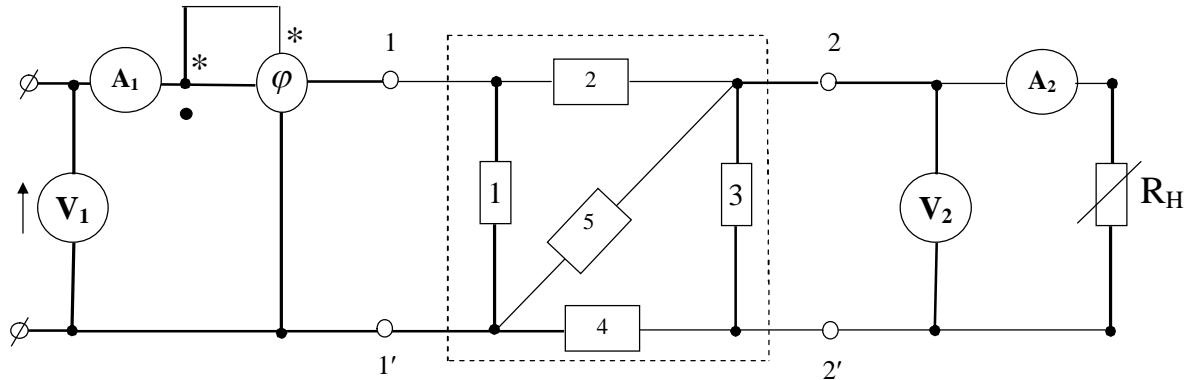


Рисунок 7.5.

Таблиця 7.1.

Варіант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напруга живлення $f = 50\text{Гц}$	В	30	20	25	30	25	20	30	20	30	25
Елементи схеми чотирьополіусника	1	L_3	C_2	L_1	C_2	R_2	C_1	R_3	L_3	R_2	L_3
	2	R_1	C_3	R_1	R_2	L_1	R_1	R_1	L_3	L_1	L_1
	3	C_1	L_1	L_3	L_1	C_1	L_3	C_1	C_3	C_1	R_2
	4	L_1	R_1	C_1	R_1	L_3	L_1	L_3	L_1	R_1	C_3
	5	R_3	L_3	R_2	L_3	C_3	R_2	L_1	C_1	L_3	C_1

2. Дослідити чотирьополіусник в режимі холостого ходу, короткого замикання і змінного навантаження при живленні з сторони входу. Результати досліджень записати в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Режим роботи	№ п/п	Виміряно					Обчислено			
		U_1	I_1	φ_1	U_2	I_2	P_1	P_2	η	R_H
		В	А	град	В	А	Вт	Вт		Ом
Холостий хід	1									
Змінне навантаження	2									
	3									
	4									
	5									
	...									
	9									
Коротке замикання	10									

3. Дослідити чотириполіусник в режимі холостого ходу і короткого замикання при живленні з сторони вторинних затискачів. Результати досліджень записати в таблицю 7.3.

Таблиця 7.3

Режим роботи	Виміряно			Обчислено	
	U_2	I_2	φ_2	Z_{2X}	Z_{2K}
	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>град</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>
Холостий хід					
Коротке замикання					

4. Скласти електричне коло за схемою рис.7.6 для експериментального визначення коефіцієнта A чотириполіусника при живленні з сторони первинних затискачів.

Додатковий опір $R_g = /50 \div 100/$ Ом служить для обмеження струму в колі фазометра.

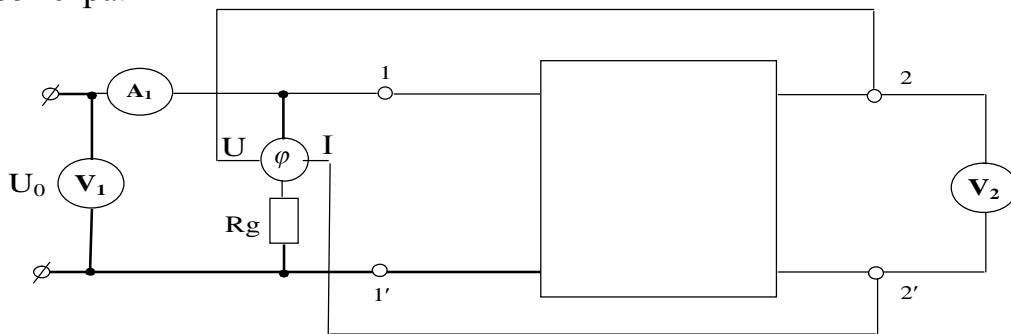


Рисунок 7.6

Обробка результатів дослідів

1. За даними досліджень обчислити всі величини, що вказані в таблицях 7.2 і 7.3.
2. Визначити коефіцієнти A, B, C, D чотириполіусника.
3. Визначити параметри елементів Т- і П-подібної схеми заміщення.
4. Побудувати графічно залежності $I_1, P_1, U_1, U_2, P_2, \eta$ від струму I_2 чотириполіусника.
5. Зробити висновки про виконану роботу.

Контрольні питання

1. Визначення чотириполіусника. Що таке активний і пасивний чотириполіусник?
2. Основні рівняння чотириполіусника.
3. Що таке параметри чотириполіусника?
4. Які властивості чотириполіусника?
5. Які режими роботи чотириполіусника?

Лабораторна робота №8

Тема: Дослідження електричних кіл з індуктивним зв'язком.

Мета роботи: Вивчити особливості процесів в електричних колах із взаємною індукцією. Визначити дослідним шляхом взаємну індуктивність котушок. Експериментально дослідити кола з індуктивно зв'язаними котушками.

Основні теоретичні відомості.

Елементи електричних кіл називають індуктивно (магнітно) зв'язаними, якщо вони зв'язані спільними магнітними потоками, утвореними струмами цих елементів. Це має місце у випадку індуктивно зв'язаних котушок. Кожна з таких котушок зв'язана не тільки з магнітним потоком самоіндукції, утвореним струмом в даній котушці, але і з магнітним потоком взаємоіндукції, утвореним струмом в іншій котушці. При цьому в котушках додатково до ЕРС самоіндукції e_L виникає і ЕРС взаємної індукції e_M , яка впливає на розподіл струмів і напруг в колі.

Індуктивний зв'язок двох котушок характеризують коефіцієнтом зв'язку:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}},$$

де M - взаємна індуктивність, L_1, L_2 - індуктивності котушок. Коефіцієнт зв'язку завжди менший одиниці.

ЕРС взаємоіндукції e_M , які наводяться в котушках, або зрівноважуючи їх напруги $U_M = -e_M$, необхідно врахувати при складанні рівнянь за другим законом Кірхгофа. Напряга взаємоіндукції на першій котушці, яка індуктивно зв'язана і з другою котушкою, визначається виразом:

$$U_{M1} = \frac{di_2}{dt},$$

або в комплексній формі:

$$U_{M1} = j\omega M I_2 = jx_M I_2 = \underline{Z}_M I_2,$$

де $x_M = \omega M$ - опір взаємної індукції;

$\underline{Z}_M = jx_M = j\omega M$ - комплексний опір взаємної індукції.

Якщо струми в котушках орієнтовані однаково відносно однойменних затискачів котушок, позначених на схемі крапками, то магнітні потоки самоіндукції в котушках направлені згідно (таке ввімкнення називають *узгодженим*). В цьому випадку напруги самоіндукції і взаємоіндукції на котушці входять в рівняння з однаковими знаками. При різній орієнтації струмів відносно однойменних затискачів котушок магнітні потоки самоіндукції і взаємоіндукції направлені протилежно (таке ввімкнення називають *узгодженим*). В цьому випадку напруги самоіндукції і взаємоіндукції на котушці входять в рівняння з однаковими знаками. При різній орієнтації струмів відносно однойменних затискачів котушок магнітні потоки самоіндукції і взаємоіндукції направлені протилежно (таке ввімкнення

називають зустрічним), і знаки у напруг взаєміндукції і самоіндукції протилежні.

Схема послідовного узгодженого з'єднання котушок приведена на рис.8.1а, а схема зустрічного ввімкнення – на рис.8.1б.

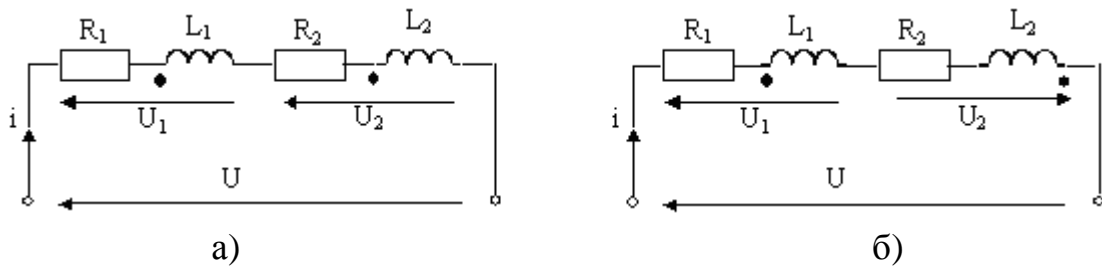


Рисунок 8.1

Рівняння напруг для приведених схем:

$$U = U_1 + U_2 = R_1 I + j\omega L_1 I \pm j\omega M I + R_2 I + j\omega L_2 I \pm j\omega M I = \\ = [R_1 + R_2 + j\omega(L_1 + L_2 \pm 2M)] I = (R_e + j\omega L_3) I = z_e I.$$

Знак плюс відповідає узгодженому, а мінус – зустрічному ввімкненні котушок. Еквівалентний активний опір котушок $R_C = R_1 + R_2$, а еквівалентний реактивний опір $x_e = \omega L_e$, де еквівалентна індуктивність:

$$L_e = L_1 + L_2 + 2M = L_{3z} \quad (8.1)$$

при узгодженому ввімкненні і:

$$L_e = L_1 + L_2 - 2M = L_{3y} \quad (8.2)$$

при зустрічному ввімкненні. В результаті віднімання рівності (8.2) із (8.1) отримаємо

$$M = \frac{L_{3z} - L_{3y}}{4} = \frac{x_{3z} - x_{3y}}{4\omega}. \quad (8.3)$$

Визначивши експериментально L_{3z} і L_{3y} , або x_{3z} і x_{3y} , можна визначити взаємну індуктивність двох котушок.

Векторні діаграми струмів і напруг для двох випадків узгодженого і зустрічного ввімкнення котушок наведені на рис.8.2а, 8.2б.

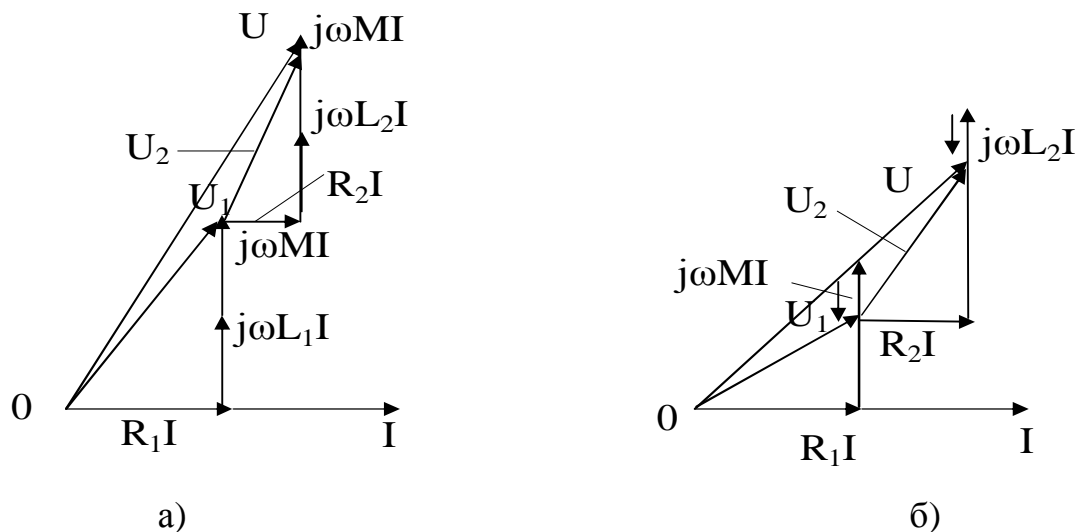


Рисунок 8.2.

Схема паралельного з'єднання двох індуктивно зв'язаних котушок, ввімкнених узгоджено, наведена на рис.8.3.

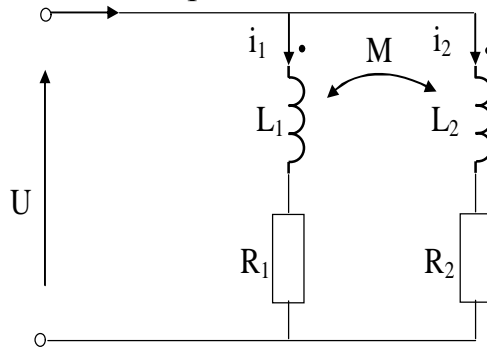


Рисунок 8.3.

Рівняння за законами Кірхгофа для цього випадку:

$$I_1 + I_2 = I; \quad I_1 Z_1 + I_2 Z_M = \dot{U}; \quad \dot{I}_1 Z_M + \dot{I}_2 Z_2 = \dot{U},$$

де $Z_1 = R_1 + j\omega L_1$, $Z_2 = R_2 + j\omega L_2$, $Z_M = j\omega M$

Розв'язуючи рівняння, отримаємо:

$$\dot{I}_1 = \frac{Z_2 - Z_M}{Z_1 Z_2 - Z_M^2} \dot{U}; \quad \dot{I}_2 = \frac{Z_1 - Z_M}{Z_1 Z_2 - Z_M^2} \dot{U}; \quad \dot{I} = \frac{Z_1 + Z_2 - 2Z_M}{Z_1 Z_2 - Z_M^2} \dot{U}; \quad (8.4)$$

Еквівалентний опір віток і всього кола:

$$Z_{e1} = \frac{\dot{U}}{I_1} = \frac{Z_1 Z_2 - Z_M^2}{Z_2 - Z_M}; \quad Z_{e2} = \frac{\dot{U}}{I_2} = \frac{Z_1 Z_2 - Z_M^2}{Z_1 - Z_M}; \quad Z_e = \frac{\dot{U}}{I} = \frac{Z_1 Z_2 - Z_M^2}{Z_1 + Z_2 - 2Z_M}; \quad (8.5)$$

Всі вище приведені співвідношення справедливі і для випадку зустрічного ввімкнення котушок при умові, що Z_M замінюється на $-Z_M$.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати коло згідно рис.8.4а.

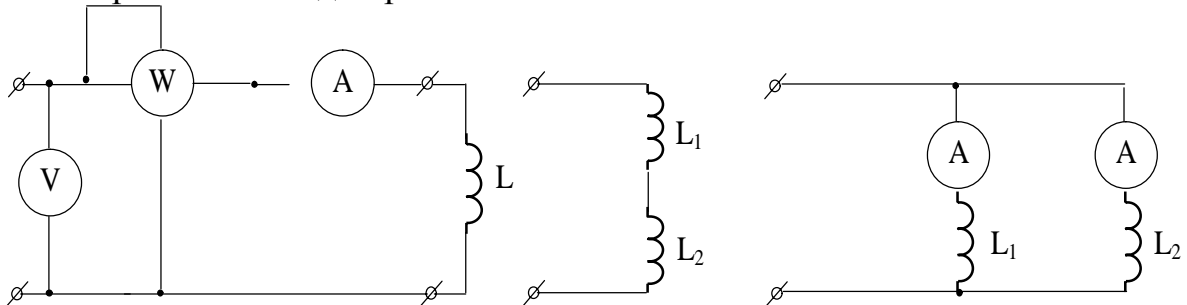


Рисунок 8.4

2. Визначити параметри котушок за показами амперметра, вольтметра і ватметра. Результати вимірювань занести в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

№ котушки	Вимірювання			Обчислення			
	U В	I А	P Вт	Z Ом	R Ом	x Ом	L Гн
1	20						
2	20						

2. Дослідити коло з послідовно з'єднаними котушками при згідному і зустрічному ввімкненні. Результати вимірювань занести в табл.8.2. За показами приладів визначити однойменні затискачі котушок.

Таблиця 8.2

З'єднання котушки	Вимірювання			Обчислення			
	U В	I А	P Вт	\underline{Z}_e Ом	R_e Ом	x_e Ом	L_e Гн
Згідне	30						
Зустрічне	30						

4. Дослідити коло при паралельному з'єднанні котушок. Результати вимірів занести в табл.8.3.

Таблиця 8.3.

Ввімкнення котушки	Вимірювання					Обчислення			
	U В	I А	I_1 А	I_2 А	P Вт	\underline{Z}_e Ом	R_e Ом	x_e Ом	L_e Гн
Згідне	10								
Зустрічне	10								

Обробка результатів дослідів

1. За даними дослідів 3 розрахувати параметри котушок, використовуючи формули:

$$\underline{z} = \frac{U}{I}, \quad R = \frac{P}{I^2}, \quad x = \sqrt{\underline{z}^2 - R^2}, \quad L = \frac{x}{\omega}$$

Результати розрахунків занести в табл. 8.2.

2. За даними дослідів 4, використовуючи формули (8.4), розрахувати еквівалентні опори кола при послідовному з'єднанні котушок. Результати розрахунків занести в табл.8.2.

3. Визначити взаємну індуктивність M і коефіцієнт зв'язку котушок.

4. Побудувати векторні діаграми напруг і струмів електричних кіл з послідовно з'єднаними котушками для випадків згідного і зустрічного ввімкнень.

5. При прийнятому в досліді 4 значенні напруги U розрахувати комплекси струмів в котушках і активну потужність при паралельному з'єднанні котушок використовуючи співвідношення (8.3). Параметри котушок взяти з табл. 8.1 і п.2. Результати розрахунків занести в табл.8.3 і порівняти їх з експериментальними даними.

6. Побудувати векторні діаграми струмів і напруг кіл з паралельно з'єднаними котушками для випадків згідного і зустрічного ввімкнень. Побудову векторної діаграми зручніше починати з зображення вектора

струму в одній із котушок I_1 або I_2 /. Розташування інших двох векторів струму знаходять шляхом побудови трикутника струмів.

Контрольні питання

1. В чому полягають особливості розрахунку кіл з індуктивно зв'язаними котушками?

2. Як вибрати знаки перед напругами взаємоіндукції при складанні рівнянь за другим законом Кірхгофа?

3. Що таке згідне і зустрічне ввімкнення індуктивно-зв'язаних котушок?

4. Чому дорівнює еквівалентний опір при послідовному з'єднанні двох індуктивно з'єднаних котушок?

5. Як експериментально визначити однойменні затискачі індуктивно зв'язаних котушок?

6. Як експериментально визначити взаємну індуктивність двох котушок?

Лабораторна робота №9

Тема: Дослідження перехідних процесів в лінійних електричних колах з одним реактивним елементом.

Мета роботи: Дослідження перехідних процесів в колах з R-L та R-C при їх комутації.

Основні теоретичні відомості.

Процеси, які виникають в різних фізичних системах (механічних, електричних, теплових, тощо), при переході від одного сталого режиму до іншого в результаті стрибкоподібної зміни параметрів системи, називаються *перехідними* процесами.

Перехідний процес в колах з RC.

1.1 Заряд конденсатора

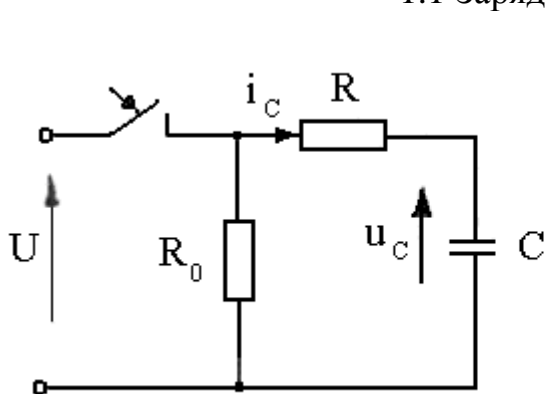


Рисунок 9.1

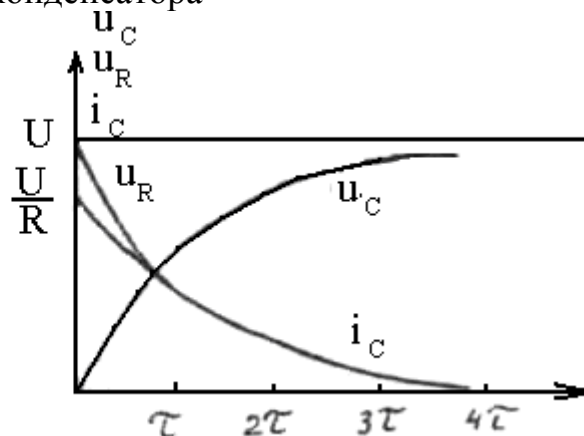


Рисунок 9.2

При ввімкненні кола з конденсатором ємністю C , з'єднаного послідовно з резистором R , на джерело з постійного напругою U (рис.9.1) відбувається заряд конденсатора і протікає струм i_C . Перехідний процес описується диференціальним рівнянням:

$$i_C R + u_C = U, \quad \text{де} \quad i_C = C \frac{du_C}{dt}.$$

Розрахунок перехідного процесу при умові, що напруга на конденсаторі до комутації $u_C(0) = 0$, має такі результати:

$$u_C = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right), \quad i_C = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}.$$

Напруга на резисторі R :

$$u_R = U e^{-\frac{t}{RC}}$$

Часові залежності U_C , Z_C , u_R наведені на рис.9.2.

Перехідний процес вважають практично завершеним через $t = (3 \div 4)\tau$. Величина $\tau = RC$ називається *постійною часу*. Вона характеризує швидкість протікання перехідного процесу.

Розряд конденсатора

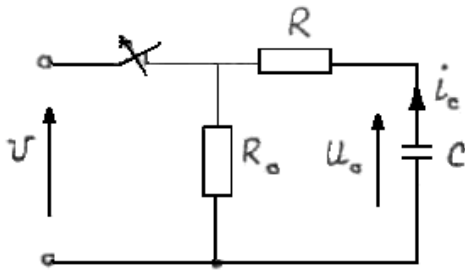


Рисунок 9.3

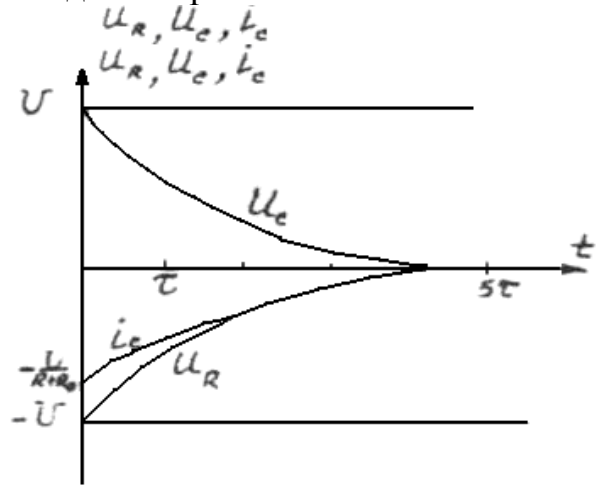


Рисунок 9.4

Напруга на конденсаторі (рис. 9.3) до моменту комутації $U_C(Q) = U$. Після комутації конденсатор буде розряджатись через резистори R і R_0 .

Перехідний процес описується рівнянням:

$$(R + R_0)C \frac{dU_C}{dt} + U_C = 0.$$

Розв'язок цього рівняння дає вирази напруги і струму при розряді конденсатора.

$$U_C = U e^{-\frac{t}{(R+R_0)C}};$$

$$i_C = -\frac{U}{R + R_0} e^{-\frac{t}{(R+R_0)C}}.$$

Напруга на резисторі R :

$$U_R = i \cdot R = -U e^{-\frac{t}{(R+R_0)C}}.$$

Часові залежності U_C, U_R, i_C приведені на рисунку 9.4. Постійна часу розряду конденсатора $\tau_p = (R + R_0)C$.

Перехідний процес в колах з RL.

2.1) Увімкнення котушки на постійну напругу.

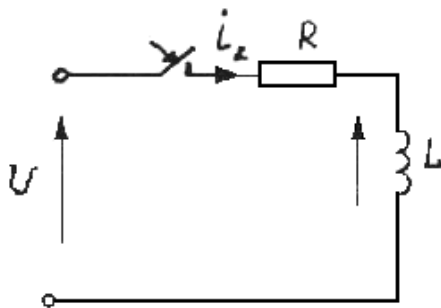


Рисунок 9.5

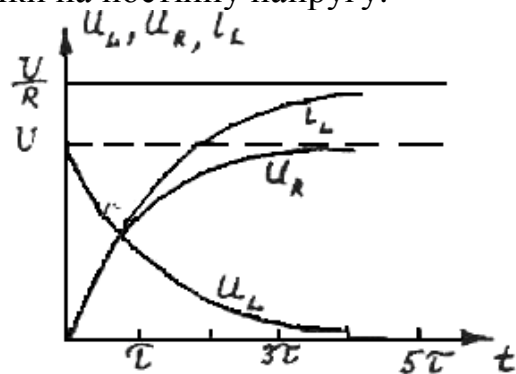


Рисунок 9.6

Стан кола після комутації (рис. 9.5) описується рівнянням:

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L = U.$$

Розв'язавши дане рівняння відносно U_L і i_L , отримаємо:

$$U_L = Ue^{-\frac{R}{L}t}; \quad i_L = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right).$$

Напруга на резисторі R:

$$U_R = i_L \cdot R = U \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right).$$

Постійна часу перехідного процесу:

$$\tau = \frac{L}{R}.$$

Часові залежності U_L , U_R , i_L наведені на рис 9.6.

2.2 Замикання котушки індуктивності на активний опір.

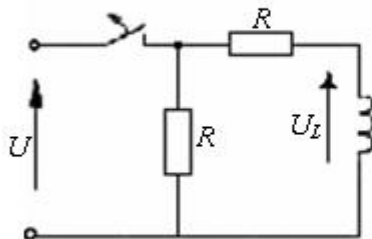


Рисунок 9.7

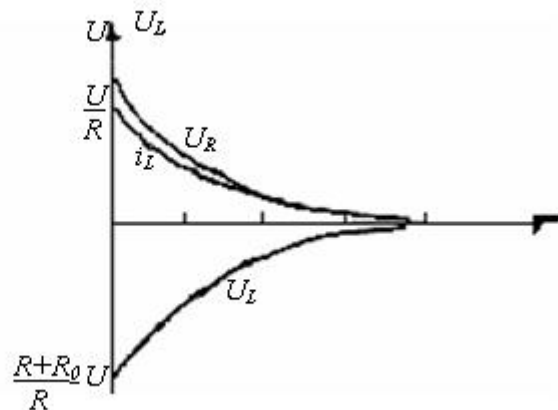


Рисунок 9.8

Електричний стан схеми (рис. 9.7) після комутації описується рівнянням:

$$L \frac{di_L}{dt} + (R + R_0)i_L = 0.$$

Розв'язавши рівняння отримаємо:

$$i_L = \frac{U}{R} e^{-\frac{R+R_0}{L}t}; \quad U_L = -\frac{R+R_0}{R} U e^{-\frac{R+R_0}{L}t}; \quad U_R = i_L R = U e^{-\frac{R+R_0}{L}t}.$$

Величина $\tau = \frac{L}{R+R_0}$ - постійна часу. Часові залежності U_L , U_R , i_L наведені на рис. 9.8.

Порядок виконання роботи

Дослідження перехідних процесів в колах з RC елементами.

1.1. Перевірити баланс і калібровку осцилографа за часом і амплітудою.

1.2. Скласти електричну схему згідно варіанту (рис. 9.9), використовуючи в якості комутуючого пристрою S один із контактів електронного ключа, регулюючих резисторів $R1 \div R3$ конденсатора C . ($R1 \div R3, C$ - елементи набірної поля робочого стенду).

1.3. Встановити напругу U на вході кола рівну 10...20 В. Отримати на екрані осцилографа криву напруги на конденсаторі. Змінюючи опір резисторів $R1 - R3$, проаналізувати, як впливають їх опори на тривалість перехідного процесу.

1.4. Змінюючи опір резисторів, які найбільше впливають на постійну часу τ при замиканні ключа S , досягти, щоб значення τ відповідали заданим викладачем в межах 0,4 ... 1,2 ms. При цьому перехідний процес в ключ s розімкнутий, має закінчитися. Отриманий графік $U_C(t)$ привести у звіті на масштабній сітці. Використовуючи графік, визначити τ , як час зменшення вільної складової в e раз.

проміжку часу, коли

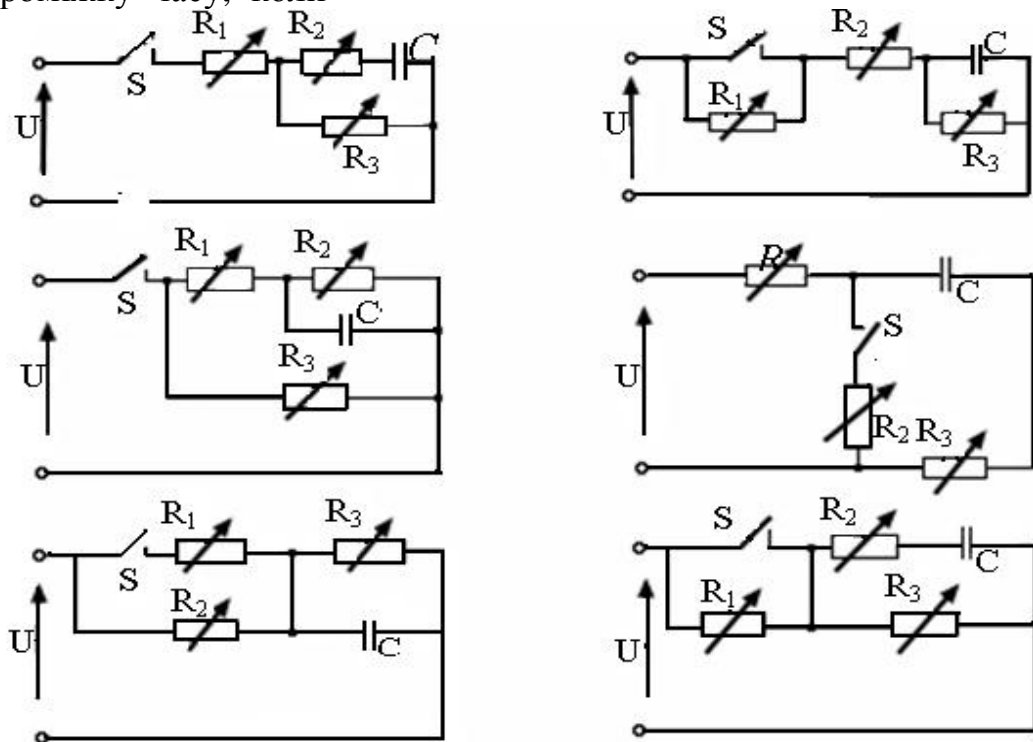


Рисунок 9.9

1.5. Отримавши на екрані осцилографа криву зміни одного із струмів, визначити на ній τ . Порівняти знайдені в пп. 1.4 і 1.5 значення постійної часу.

1.6. Виміряти опір резисторів $R1 \div R3$ і розрахувати значення τ . При значних розходженнях розрахункового значення від експериментального після консультації з викладачем повторити виміри або розрахунок.

Дослідження перехідних процесів в колах з RL елементами

2.1. Скласти електричне коло, схема якого зображена на рис. 9.10. В якості котушки (L, R) використати блок змінної індуктивності; R_0, R_1, R_2 - елементи

набірного поля ($R_0 = 10 \dots 20 \text{ Ом}$, $R_1 = 51 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$). Резистор використовують для отримання осцилограми струму i_L .

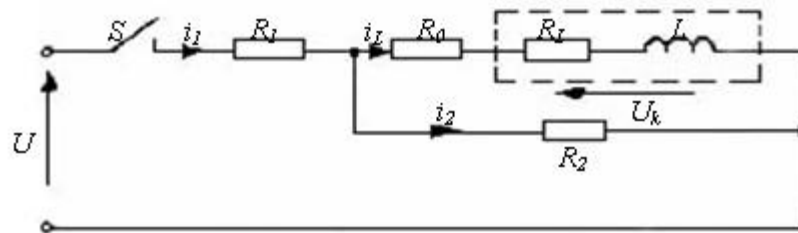


Рисунок 9.10

Встановивши значення індуктивності $L = 90 \text{ мГн}$, $U = 10 \dots 20 \text{ В}$, отримати на екрані осцилографа досліджувану величину $\{i_1, i_2, i_L, U_K\}$. Осцилограми привести у звіті у вигляді графіків на масштабній сітці.

2.2. Виміряти U , опір резисторів R_1 , R_2 і R_L котушки.

2.3. Розрахувати досліджувальні величини при ввімкненні і розімкненні ключа S . Відповідні графіки нанести для порівняння на осцилограми п. 2.1.

3. Зробити висновки за результатами роботи, звернувши увагу на зв'язок постійної часу а тривалістю перехідного процесу і на його залежність від параметрів кола, а також на порівняння постійних часу, отриманих за осцилограмами різних величин.

Контрольні питання

1. Дайте визначення постійної часу.
2. Як за кривою перехідного процесу визначили постійну часу?
3. Чому конденсатор не може заряджатися або розряджатися миттєво?
4. Сформулюйте закони комутації.
5. Запишіть рівняння кривих струму і напруги при:
 - а) заряді конденсатора;
 - б) розряді конденсатора.
6. Намалюйте графіки струму і напруги при:
 - а) розряді конденсатора;
 - б) заряді конденсатора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шегедин О.І., Маляр В.С.. Теоретичні основи електротехніки. Частина 1. - Львів: 2004.
2. Збірник задач з теоретичних основ електротехніки/За редакцією О.Ю. Воробкевича. - Львів: Магнолія плюс, 2004.
3. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. - Львів: Афіша, 2001.
4. Рекус Г.Г., Білоусов А.И. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники. - М.: Высшая школа, 2001.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Ч.1.Электрические цепи. - М.: Гардарика, 2002.
6. Новгородцев А.Б. Расчет электрических цепей в MATLAB. СПб: Питер, 2004.
7. Перхач В.С. Теоретична електротехніка. Львів, Каменярь, 1992.
8. Сборник задач по ТОЕ. Ред. Шебес П.И. Москва, Энергоатомиздат, 1989.
9. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. ТОЗ. Москва, Энергоатомиздат, 1986.
10. Основы теории цепей. Ред. Ионкин З.Г. Москва, Энергоатомиздат, 1984.
11. Завадский В.А. Компьютерная электроника. К.: ВЕК 1996.
12. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов. Опадчий Ю.Ф. и др.; Под ред. Глудкина О.П. - М.: Горячая Линия - Телеком, 2000. 768 с
13. Соловьев Г.Н. Схемотехника ЗВМ. -М.; Внсі. Шк. 1987.
14. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 308 с.
15. Мигулин И.Н., Чаповский М.З. Интегральные микросхемы в радиозлектронных устройствах. - 2-е изд., перераб. и доп. - К.: Техніка, 1985. -208 с.
16. Степаненко И.П. Основы микрозлектроники. М.: Советское радио. 1980.
17. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы. М.: Советское радио. 1983.
18. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиозлектронной аппаратуре. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Сов. Радио, 1979. - 368 с.
19. Резисторы. Справочник/ Под.ред. И.И.Четверткова. -М.: Энергоиздат, 1981. - 352 с.
20. Справочник по электрическим конденсаторам/ Под. общ. ред. И.И.Четверткова и В.Ф.Смирнова. - М.:Радио и связь, 1983. -576с.
21. Якубовский С.В. и др. Аналоговые и цифровые интегральные схемы. - М.: Радио и связь, 1984.
22. ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА
23. Источники электропитания радиозлектронной аппаратуры. Справочник / Под ред. Г.С. Найвельта. - М.: Радио и связь, 1986. -576с.
24. Гершунский Б.С. и др. Справочник по основам электронной техники. - М.: Высшая школа, 1974.-352с.
25. Денискин Ю.Д. и др. Электронные приборы / Под ред. Р.А.Ниландера - М.: Энергия, 1980. - 280 с.

26. Остапенко П.С. Аналоговне полупроводниковме интегральне микросхемм.
27. М.: Радио и связь, 1981. - 280 с.
28. Справочник радиолюбителя-конструктора. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1982. - 478 С.
29. Лолонников Д.Е. Операционне усилители: Принципи построения, теория, схемотехника. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 216 с.
30. Терехов В.А. Задачник по злектронньм приборам: Учеб. Пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1983. - 280 с.

