

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА



Я.Б. Форкун, М. Л. Глебова, Г. В. Капустін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт за темами
„Лінійні електричні кола постійного та синусоїдного струму”
з дисципліни „Теоретичні основи електротехніки”
(для студентів усіх форм навчання напрямів
6.050701 - "Електротехніка та електротехнології "
і 6.050702 - "Електромеханіка")

Харків
ХНАМГ
2010

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за темами «Лінійні електричні кола постійного та синусоїдного струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 - «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 - «Електромеханіка») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Форкун Я.Б., Глебова М.Л., Капустін Г.В. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 44 с.

Укладачі: доц., к.т.н. Я.Б. Форкун,
доц., к.т.н. М.Л. Глебова,
доц., к.т.н. Г.В. Капустін

Рецензент: проф., д.т.н. А.Г. Сосков

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 10 від 11.05.2010 р.

Вступ

Електротехнікою називається широка галузь практичного застосування електромагнітних явищ. Теоретичні основи електротехніки (ТОЕ) – дисципліна, яка займається питаннями розрахунку й вивчення явищ, що характеризуються поняттями електричних струмів, напруг, потужностей, магнітних потоків, а також поняттями напруженості електричного та індукції магнітного полів. Таким чином, ТОЕ є теоретичною базою для всіх електротехнічних спеціальностей.

Метою дисципліни є оволодіння фундаментальними поняттями, теорією та методологією сучасної теоретичної електротехніки, засвоєння фундаментальних знань, які є необхідною базою для подальшого вивчення електротехнічних дисциплін.

Предметом вивчення дисципліни є основні закони теорії електричних кіл, теорії електромагнітного поля і оволодіння навичками їх практичного застосування для дослідження і розрахунків сучасних електротехнічних пристроїв.

Вивчення курсу ТОЕ потребує знання курсів фізики, а саме розділу «Електрика та магнетизм», математики, передусім розділів: системи лінійних алгебраїчних рівнянь, теорія матриць, похідна та інтеграл, диференційні рівняння, функціональні ряди, інтегральні перетворення Лапласа, векторна алгебра.

Теоретичні положення курсу засвоюються ґрунтовно тільки тоді, коли вони використані для вирішення конкретних задач. Саме тому лабораторні роботи відіграють важливу роль при вивченні дисципліни «Теоретичні основи електротехніки». Метою їх проведення є набуття студентами навичок практичних досліджень електричних кіл та отримання під час виконання розрахункової частини підтвердження положень теорії. Слід зазначити, що розрахункова частина лабораторних робіт є найбільш трудомісткою, тому вона повинна включати в себе всі необхідні розрахунки, але не бути занадто об'ємною (у зв'язку з чим ефективним є використання ЕОМ, що, по-перше, зменшить час обчислювальних операцій і, по-друге, дасть можливість швидкої перевірки розрахунків).

Ці методичні вказівки складені відповідно до програми курсу «Теоретичні основи електротехніки» і призначені для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 - «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 – «Електромеханіка», які вивчають даний курс протягом двох семестрів. Разом з тим, при проведенні лабораторних робіт треба враховувати деякі особливості, пов'язані з різницею у навчальних програмах вище вказаних спеціальностей стосовно часу, що відведений для цього типу занять.

Усі лабораторні роботи студенти виконують на універсальних навчально-

дослідницьких лабораторних стендах УДЛС-1. Кожна робота має кілька етапів, а саме: підготовка, виконання експерименту, обробка даних і оформлення звіту, складання заліку. У розділі «Загальні відомості» кожної лабораторної роботи студенти знайдуть необхідні положення з теорії електричних кіл за відповідною тематикою роботи.

Під час виконання лабораторних робіт використовуються елементи набір-ного поля стенду, порядкові номери і зразкові параметри яких наведені в табл.1.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ ТОЕ

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки з наступним записом про це в спеціальному журналі. Значення напруг, з якими студент має справу при аналізі кіл на стендах УДЛС-1, не становлять небезпеки для життя людини. Усі джерела живлення забезпечені захистом від перевантажень. Тому збирання, перевірку і включення електричних кіл студенти проводять самостійно. Однак з огляду на те, що все обладнання лабораторії, в тому числі стенди і вимірювальні прилади, під'єднані до мережі 220/127 В, варто дотримуватися певних правил безпеки.

Під час роботи в лабораторії забороняється:

- доторкатися до труб опалювальної системи;
- самостійно включати вилки вимірювальних приладів у мережу;
- відключати заземлення вимірювальних приладів;
- виймати блоки стенда;
- залишати без нагляду включений стенд і вимірювальні прилади.

У разі пошкодження блоків стенда, елементів або вимірювальних приладів слід негайно відключити їх від мережі живлення і сповістити про це викладача.

По закінченні роботи на стенді необхідно виключити живлення всіх активних блоків стенда і вимірювальних приладів.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Роботу в лабораторії проводять відповідно до планів аудиторних занять. Звичайно робота триває 2, 4 або 6 аудиторних годин. За цей час студент повинен виконати роботу, оформити звіт про неї і скласти залік за темою роботи.

Під час першого, ввідного заняття, студенти формують бригади у кількості 3-4 чоловік. За бригадою до кінця навчального року закріплюється робочий стенд, номер якого і є номером комплексу елементів набір-ного стенду та номером варіанта за цими методичними вказівками.

Перед тим як приступити до виконання роботи студент отримує допуск, який свідчить про те, що він підготовлений до занять (вивчив теоретичний матеріал, підготував чернетку, зробив необхідні попередні розрахунки). Під час роботи за стендом забороняється голосно розмовляти, ходити по лабораторії, залишати лабораторію без дозволу викладача. Експериментальні дані, занесені в чернетку, наприкінці кожного досліду подають викладачеві. У разі невірних результатів досліди повторюють.

До захисту роботи допускається студент, який виконав і оформив звіт про лабораторну роботу. Під час захисту студент повинен вирішити задачу за темою лабораторної роботи і відповісти на запитання викладача (перелік теоретичних питань, які треба знати, наведений наприкінці кожної роботи).

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ ПРО ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Звіти виконують в учнівських зошитах або на аркушах формату А4.

Текст повинен бути написаний чітко й акуратно. Електричні схеми та графічну частину робіт, до якої входять графіки залежностей та діаграми, що є результатами дослідів або обчислень, необхідно виконувати згідно з вимогами державних стандартів на міліметровці із застосуванням креслярського знаряддя.

Зразок титульного аркуша зошита, що містить всі звіти лабораторних робіт, наведений нижче. Після захисту останньої роботи студент повинен здати зошит викладачеві.

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

- назву роботи;
- мету роботи;
- перелік приладів, обладнання і елементів;
- назву першого досліду й принципову схему досліджуваного кола;
- результати дослідження за першим дослідом (таблиці, графіки, розрахункові формули й обчислення);
- назву другого досліду і т. ін. (див. попередні пункти);
- висновки.

Оформлення кожної роботи треба починати з нової сторінки.

Літерні позначення основних електричних величин і їхніх одиниць наведені в табл. 2. Позначення дані в російському алфавіті.

ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО АРКУША:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

ЗВІТИ
ПРО ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ
З ДИСЦИПЛІНИ "ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ"

Виконала
студентки групи СТ 2008-1
2 курсу

Мовчан А.М.

Перевірила
доц. кафедри

Форкун Я.Б.

ХАРКІВ - ХНАМГ – 2010

Таблиця 1 - Порядкові номери і зразкові параметри елементів набірного поля

Номер елемента	Вид елемента	Тип	R , Ом	L , мГн	C , мкФ	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, мА	$P_{ном}$, Вт
1	Резистор	МЛТ-2(1+1)	50	—	—			4
2	Резистор	МЛТ-2(1+1)	75	—	—			4
3	Резистор	МЛТ-2	100	—	—			2
4	Резистор	МЛТ-2	150					2
5	Резистор	МЛТ-2	200					2
6	Резистор	МЛТ-2	300					2
7	Резистор	МЛТ-2	510					2
8	Резистор	МЛТ-2	750					2
9	Резистор	МЛТ-2	820					2
10	Резистор	МЛТ-2	1000	—	—			2
11	Конденсатор	МБМ	—	—	0,1	160		
12	Конденсатор	МБМ	—	—	0,25	160		
13	Конденсатор	МБМ	—	—	0,5	160		
14	Конденсатор	МБМ	—	—	0,75	160		
15	Конденсатор	МБМ	—	—	1,0	160		
16	Конденсатор	МБМ	—	—	1,25	160		
17	Конденсатор	МБМ	—	—	1,5	160		
18	Конденсатор	МБМ	—	—	1,75	160		
19	Конденсатор	МБМ	—	—	2,0	160		
20	Індуктивність	—	—	2	—	—	225	
21	Індуктивність	—	—	3	—	—	190	
22	Індуктивність	—	—	5	—	—	150	
23	Індуктивність	—	—	7	—	—	125	
24	Індуктивність	—	—	10	—	—	100	
25	Індуктивність	—	—	15	—	—	85	
26	Індуктивність	—	—	20	—	—	75	
27	Індуктивність	—	—	30	—	—	60	
28	Індуктивність	—	—	50	—	—	50	
29	Індуктивність	—	—	70	—	—	40	

Таблиця 2 - Літерні позначення основних електричних величин і їхніх одиниць

Найменування фізичної величини	Позначення		Найменування фізичної величини	Позначення	
	вели- чина	оди- ниця		вели- ли- чина	оди- ниця
Ємність	C	Φ	Частота: - коливань - кутова	f ω	Гц рад/с
Заряд	Q	Кл	Струм	I, i	A
Індукція	B	Тл	Потенціал	V, φ	V
Індуктивність - власна - взаємна	L M	Гн Гн	Потокозчеплення	ψ	Вб
Коефіцієнт потужності в синусоїдальному режимі	$\cos\varphi$	—	Проникливість (діелектрична) - вакууму - абсолютна - відносна	ε_o ε_a ε	Ф/м Ф/м —
Коефіцієнт трансформації	n	—	Проникливість (магнітна) - порожності - абсолютна - відносна	μ_o μ_a μ	Гн/м Гн/м —
Магнітний потік	Φ	Вб	Провідність: - повна - активна - реактивна	Y G X	См См См
Потужність: - повна - активна - реактивна	S P Q	ВА Вт ВАР	Сила електрорушійна	E, e	V
Напруга	u, U	V	Зсув фаз між напругою і струмом	φ	$\text{рад}(\circ)$
Напруженість поля: - електричного - магнітного	E H	В/М А/М	Опір - повний - активний - реактивний	Z R X	Ом Ом Ом
Початкова фаза	ψ	$\text{рад}(\circ)$	Число фаз багатофазної системи	m	—
Період	T	s	Число витків	n	—
Постійна часу	τ	s	Енергія електромагнітна	W	Дж

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕНДА УДЛС-1 Й ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОПОРУ ПОСТІЙНИХ РЕЗИСТОРІВ

1.1. Мета роботи:

- придбання навичок роботи на стенді УДЛС-1;
- придбання навичок роботи з вимірювальними приладами;
- збирання простих електричних кіл і їх дослідження.

1.2. Обладнання і прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд УДЛС-1;
- елементи набірної плати стенда;
- амперметр Щ4300, Щ4313;
- мультиметр.

1.3. Підготовчий етап лабораторної роботи включає вивчення теоретичного матеріалу [1 – с.28-35, 2 – с.9-23]

Результатом підготовчого етапу є:

- набуття навичок визначення за експериментальними даними величини опору резисторів;
- набуття навичок з проведення розрахунку кіл постійного струму за законами Кірхгофа, складання балансу і побудова потенціальної діаграми

1.4. Загальні відомості

Електричне коло – сукупність пристроїв, призначених для передачі, розподілу і взаємного перетворення електромагнітної та інших видів енергії та інформації, якщо процеси, що відбуваються у пристроях, можуть бути описані за допомогою понять про електрорушійну силу (ЕРС), струм і напругу.

Основними елементами електричного кола є *джерела* електричної енергії - пристрої, що перетворюють механічну, теплову, хімічну та інші види енергії в електромагнітну; *перетворювачі* електромагнітної енергії (трансформатори, перетворювачі частоти та ін.); *пристрої передачі* електромагнітної енергії; *споживачі* електромагнітної енергії, що перетворюють електромагнітну енергію в механічну, теплову, хімічну та ін.

Електричний струм (провідність) - це явище впорядкованого руху заряджених часток. Струм спрямований від точки з більшим потенціалом до точки з меншим потенціалом. Відповідно до закону Ома опір ділянки кола, що містить активний опір R , дорівнює відношенню напруги на кінцях провода до струму в ньому:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1.1)$$

Кола, в яких процеси отримання електричної енергії в джерелах, передача та перетворення у споживачах відбуваються при незмінних у часі струмах і напругах, називаються *колами постійного струму*.

Основними структурними одиницями електричних кіл є вітка, вузол і контур:

- *вітка* – ділянка кола, вздовж якої протікає один і той же струм; утворюється вітка кількома послідовно з'єднаними елементами (*вітки*, приєднані до одних і тих самих вузлів, називаються паралельними);
- *вузол* – точка на схемі, де з'єднуються три і більше вітки;
- *контур*, це будь-який замкнутий шлях на схемі, що проходить по декількох вітках.

Стан будь-якого електричного кола повністю характеризується законами Кірхгофа. В електричному колі в жодній з її точок не можуть накопичуватися електричні заряди, тому що це викликало б зміну потенціалів точок кола і напруг на її ділянках. Це положення виражає *перший закон Кірхгофа*, що формулюється так: алгебраїчна сума струмів, що сходяться в одному вузлі, дорівнює нулю: $\sum I = 0$. Зі знаком „+” записують струми, що втікають у вузол, а зі знаком „-” що відтікають (напрямки струмів попередньо довільно обирають).

Другий закон Кірхгофа встановлює баланс напруг у контурах електричного кола. Формулюється так: у всякому контурі електричного кола алгебраїчна сума напруг на окремих ділянках контура дорівнює нулю, або – алгебраїчна сума падінь напруг уздовж контура дорівнює алгебраїчній сумі електрорушійних сил (ЕРС) вздовж цього контуру (знаки ЕРС або падінь напруг залежать від їх напрямків і обраних напрямків обходу контурів):

$$\sum_{k=1}^l U_k = \sum_{k=1}^p E_k . \quad (1.2)$$

де l - кількість пасивних елементів контура; p - кількість джерел напруги.

Якщо електричне коло містить m віток і n вузлів, то за першим законом Кірхгофа складають $n-1$ рівнянь, а за другим $m-n+1$ рівнянь. Вирішення системи лінійних рівнянь дозволяє визначати струми у вітках і напруги на ділянках кола.

Так, для кола на рис.1.3 за законами Кірхгофа треба скласти систему з трьох рівнянь (скільки невідомих струмів), довільно обравши напрямки струмів у вітках і напрямки обходу контурів:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot (R_3 + R_4) = E_1 \\ -I_3 \cdot (R_3 + R_4) + I_2 \cdot R_2 = -E_2 . \end{cases} \quad (1.3)$$

Проведення балансу потужностей для електричного кола і побудова потенціальної діаграми для будь-якого замкнутого контуру є перевіркою розрахунку. Баланс показує рівність суми потужностей джерел сумі потужностей теплових втрат усіх споживачів. У загальному вигляді баланс має вигляд

$$\sum_{k=1}^p (\pm E_k \cdot I_k) + j \cdot U_{ab} = \sum_{k=1}^l I_k^2 \cdot R_k, \quad (1.4)$$

де p – кількість ЕРС у схемі;

l – кількість опорів у схемі;

U_{ab} – напруга між деякою точкою «а», куди втікає струм джерела струму j , і іншою точкою «b», звідки струм джерела струму j витікає (баланс складено для випадку, коли маємо тільки одне джерело струму, розташоване саме між вузлами «а» та «b» кола).

Правило складання балансу: якщо напрямок джерела ЕРС E_k і напрямок струму I_k , що протікає через нього, збігаються, то доданок $E_k \cdot I_k$ беремо зі знаком "+", навпаки - зі знаком "-".

Для схеми на рис.1.3 баланс виглядає наступним чином:

$$E_1 \cdot I_1 - E_2 \cdot I_2 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot (R_3 + R_4). \quad (1.5)$$

Потенціальна діаграма - це графік розподілу потенціалів уздовж замкнутого контуру чи його ділянки. По осі абсцис цього графіка відкладають опори окремих ділянок контуру, починаючи з довільної точки, потенціал якої вважають рівним нулю (обрану точку „заземлюють”), по осі ординат відкладають потенціали точок. Перед побудовою діаграм визначають потенціали окремих точок, обирають масштаби по осях абсцис і ординат, напрямок обходу. Так, для схеми на рис.1.3 (у випадку побудови діаграми для зовнішнього контуру) вирази для розрахунку потенціалів точок мають вигляд: $\varphi_2 = 0$; $\varphi_3 = \varphi_2 + E_1$; $\varphi_1 = \varphi_3 - I_1 \cdot R_1$; $\varphi_4 = \varphi_1 - E_2$; $\varphi_2 = \varphi_4 - I_2 \cdot R_2 = 0$.

1.5. Порядок виконання роботи

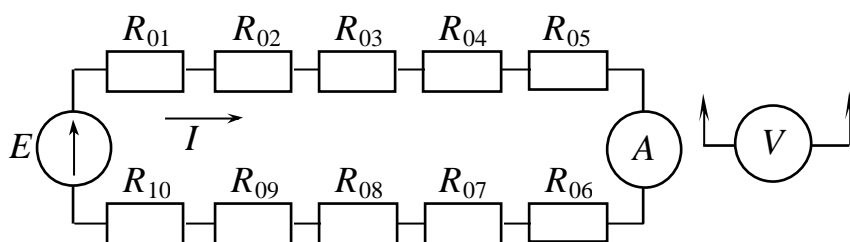


Рис. 1.1 – схема для визначення величин опорів постійних резисторів

1.5.1. Визначення величин опорів постійних резисторів

Зібрати електричну схему (рис.1.1). Встановити межі виміру на приладах: на ампер-

метрі - 20 мА, на вольтметрі -20 В. Як джерело ЕРС E слід використовувати регульоване джерело постійної напруги (ДР) з блоку постійних напруг. Встановити струм в колі 4 чи 5 мА, який підтримувати незмінним протягом експерименту. Виміряти напругу на вході кола $U_{\text{вх}} = E$, а потім - падіння напруги на кожному резисторі. Результати занести до табл.3 (рядок „Напруга”). Вимкнути блок постійних напруг, перевести мультиметр у режим вимірювання активних опорів, результати вимірювання опорів $R_{01} \div R_{10}$ занести до табл.3 (рядок «Опори за результатами вимірювання омметром»).

Таблиця 3 – Результати експерименту, п. 1.5.1

Параметр	РЕЗИСТОРИ									
	R_{01}	R_{02}	R_{03}	R_{04}	R_{05}	R_{06}	R_{07}	R_{08}	R_{09}	R_{10}
Напруга, В										
Опори за розрахунком, Ом										
Опори за результатами вимірювання омметром, Ом										
Провідність опорів, См										

1.5.2. Визначення внутрішнього опору нерегульованого (ДН) і регульованого (ДР) джерел постійної напруги

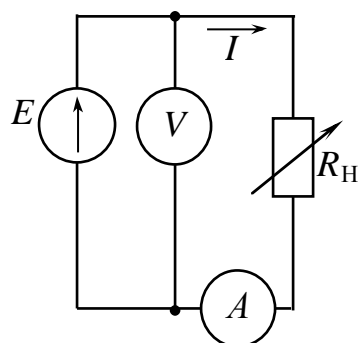


Рис. 1.2 – Схема для зняття ВАХ

Зібрати електричну схему (рис.1.2). Встановити межі вимірів амперметра Щ4300 - 2000 мА (або 500 мА), а для амперметра Щ4313 – 500 мА; для мультиметра встановити межу 200 В. Як змінний резистор R_H взяти резистор R_4 з блоку змінних пасивних елементів. Змінюючи величину опора R_4 , встановити необхідний струм у колі. Результати вимірів занести до табл.4.

Таблиця 4 - Результати експерименту (п. 1.5.2)

Параметр	Струм, мА					
	0	50	100	150	200	300
Напруга (ДН), В						
Напруга (ДР, $U_{\text{max.}}$), В						

1.5.3. Експериментальна перевірка законів Кірхгофа і закону Ома

Зібрати схему (рис.1.3) таким чином, щоб мати змогу провести виміри струмів у всіх її вітках і напруг на ділянках кола, де це потрібно. Нумери елементів набірного поля, що використовують як активні опори R_1 - R_4 , взяти з табл.5 вихідних даних; E_1 - це джерело нерегульоване ДН, а E_2 - джерело регульоване ДР, напрямок і величина якого залежить від номеру варіанта (див. табл.5).

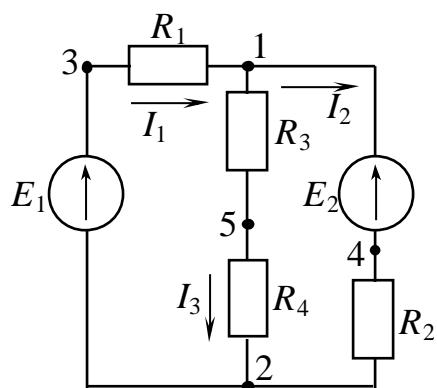


Рис. 1.3 – Схема для експериментальної перевірки законів Кірхгофа і закону Ома

льоване ДР, напрямок і величина якого залежить від номеру варіанта (див. табл.5).

Примітка: за вказівкою викладача даний опит можна виконувати у ході другої лабораторної роботи, якщо останню робити за РОЗДІЛОМ А.

Виміряти за допомогою амперметра Щ4300 (або Щ4313) струми I_1 , I_2 , I_3 і за допомогою мультиметра - напруги на окремих ділянках кола. Значення струмів і напруг занести до табл.6.

Таблиця 5 – Вихідні дані (п.1.5.3)

Елемент схеми	Номер стенду													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R_1 , №	03	04	03	05	03	04	03	05	04	03	05	03	04	03
R_2 , №	02	01	04	01	02	05	04	02	03	04	04	01	03	02
R_3 , №	05	03	05	03	04	07	06	03	02	05	06	04	05	06
R_4 , №	06	05	01	06	06	02	02	06	06	02	03	06	06	04
E_2 , В	3↑	5↑	5↓	10↓	12↑	10↑	7↓	10↓	7↓	5↑	10↑	4↓	6↓	6↓

Таблиця 6 - Результати експерименту й розрахунку (п. 1.5.3)

Визначено	Позначення на схемі рис.1.3								
	I_1 , мА	I_2 , мА	I_3 , мА	U_{31} , В	U_{15} , В	U_{52} , В	U_{14} , В	U_{42} , В	U_{32} , В
експериментом									
розрахунком									

1.6. Обробка експериментальних даних

1.6.1. За даними експерименту (п. 1.5.1) визначити величини опорів резисторів $R_{01} \div R_{10}$ (формула (1.1)) та їх провідності:

$$G_k = \frac{1}{R_k}. \quad (1.6)$$

Величини опорів резисторів $R_{01} \div R_{10}$ та провідностей занести до табл.3 (рядки „Опори за розрахунком” і „Провідність опорів” відповідно). Величини опорів резисторів $R_{01} \div R_{10}$ потім використовують для розрахунку за пунктом 1.6.3 і для проведення розрахункової частини лабораторної роботи № 2.

1.6.2. За даними табл.4 (п.1.5.2) побудувати вольт-амперні характеристики джерел \mathcal{E} та \mathcal{P} , визначити їх внутрішні опори - $R_{дж} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$. (1.7)

1.6.3. За вихідними даними п.1.5.3 провести розрахунок струмів за законами Кірхгофа і напруг на окремих ділянках кола за законом Ома. Занести результати розрахунків до табл.6. Провести баланс потужностей, побудувати потенційну діаграму для зовнішнього контуру схеми рис.1.3.

1.7. Висновки

За результатами роботи зробити висновки відносно виконання законів Ома і Кірхгофа, а також про причини можливих похибок при визначенні опорів резисторів.

1.8. Контрольні запитання

1. Що називають електричним колом і схемою електричного кола?
2. Які елементи кола називають активними і пасивними? Навести приклади.
3. Сформулюйте закони Ома і Кірхгофа.
4. Наведіть порядок розрахунку електричного кола за законами Кірхгофа.
5. Наведіть порядок проведення балансу потужностей.
6. Поясніть, як побудувати потенціальну діаграму для контуру електричної схеми?

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ЛІНІЙНИХ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1. Мета роботи:

- придбання навичок експериментального дослідження складних електричних кіл постійного струму;
- придбання навичок розрахунку складних електричних кіл різними методами.

2.2. Обладнання і прилади:

- блок постійної напруги стенду УДІС-1;
- елементи набірної плати стенду;
- амперметр Щ4300, Щ4313;
- мультиметр.

2.3. Підготовчий етап лабораторної роботи передбачає вивчення теоретичного матеріалу [1- с. 40-67, 2 – с. 24-59]

Результатом підготовчого етапу є:

- набуття навичок розрахункового визначення струмів електричного кола різними методами;
- набуття навичок з вибору того чи іншого методу розрахунку з точки зору зменшення часу, якого потребує цей розрахунок.

2.4. Загальні відомості

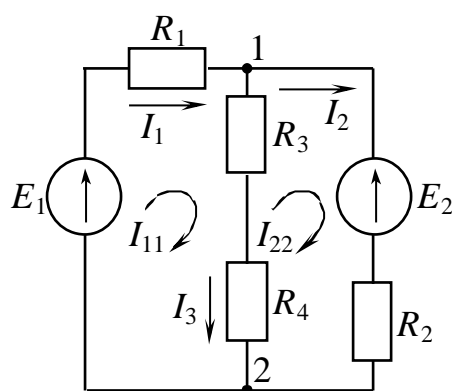


Рис. 2.1 –

Досліджувана схема

Розглянемо на прикладі схеми рис.2.1, що досліджується в роботі (РОЗДІЛ А), розрахунок струмів I_1 , I_2 , I_3 різними методами, а саме: методом контурних струмів, методом двох вузлів (окремий випадок методу вузлових потенціалів), методом накладання і методом еквівалентного генератора.

Кількість рівнянь за методом *контурних струмів*, як відомо, дорівнює числу незалежних контурів, або числу рівнянь за другим законом Кірхгофа. Напрямки контурних струмів обирають довільно, але доцільно спрямовувати контурні струми однаково. За методом струм кожної вітки дорівнює алгебраїчній сумі тих чи інших контурних струмів. У нашому випадку треба скласти і вирішити систему двох рівнянь відносно невідомих контурних струмів I_{11} , I_{22} (контурні струми спрямовані в одну сторону за годинниковою стрілкою):

$$\begin{cases} I_{11} \cdot R_{11} + I_{22} \cdot R_{12} = E_{11} \\ I_{11} \cdot R_{21} + I_{22} \cdot R_{22} = E_{22} \end{cases}, \quad (2.1)$$

де I_{11}, I_{22} – контурні струми першого і другого контурів відповідно;

R_{11}, R_{22} – власний опір першого і другого контурів відповідно:

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_4, \quad R_{22} = R_3 + R_4 + R_2. \quad (2.2)$$

$R_{12} = R_{21} = -(R_3 + R_4)$ – взаємний опір першого і другого контурів.

E_{11}, E_{22} – власна електрорушійна сила (ЕРС) першого і другого контурів:

$$E_{11} = E_1, E_{22} = -E_2. \quad (2.3)$$

Струми у вітках:

$$I_1 = I_{11}, I_2 = I_{22}, I_3 = I_{11} - I_{22}. \quad (2.4)$$

При розрахунку струмів I_1, I_2, I_3 за методом *двох вузлів* спочатку знаходять напругу між точками «1» та «2» – U_{12} , а потім, користуючись законом Ома для ділянки кола, струми у вітках:

$$U_{12} = \frac{E_1 / R_1 + E_2 / R_2}{1 / R_1 + 1 / (R_3 + R_4) + 1 / R_2}; \quad (2.5)$$

$$I_1 = \frac{-U_{12} + E_1}{R_1}; I_2 = \frac{U_{12} - E_2}{R_2}; I_3 = \frac{U_{12}}{R_3 + R_4}. \quad (2.6)$$

Метод *накладання* для розрахунку електричних кіл впливає з принципу

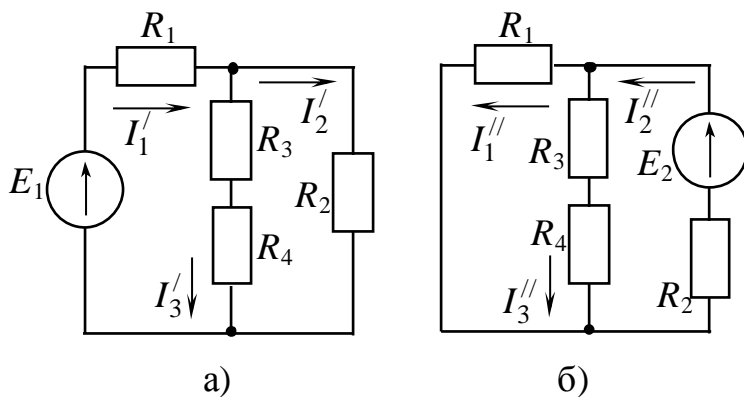


Рис. 2.2 – Схеми для визначення часткових струмів (метод накладання)

накладання (суперпозиції): струм у будь-якій вітці лінійного електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі так званих часткових струмів, що викликані кожним з джерел енергії окремо. Впливає принцип з лінійності рівнянь, що отримані за законами Кірхгофа для кіл з постійними параметрами.

Наприклад, для схеми на рис.2.1 струм I_1 : $I_1 = I_1' - I_1''$,

де I_1' – частковий струм, викликаний тільки ЕРС E_1 (треба замкнути ЕРС E_2) – рис.2.2,а;

I_1'' – частковий струм, викликаний тільки ЕРС E_2 (треба замкнути ЕРС E_1) – рис.2.2,б.

Аналогічно для струмів I_2 та I_3 : $I_2 = I_2' - I_2''$, $I_3 = I_3' + I_3''$.

Формули для визначення часткових струмів (рис.2.2):

$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{(R_3 + R_4) \cdot R_2}{R_3 + R_4 + R_2}}; I_2' = I_1' \cdot \frac{(R_3 + R_4)}{R_3 + R_4 + R_2}; I_3' = I_1' \cdot \frac{R_2}{R_3 + R_4 + R_2} = I_1' - I_2'. \quad (2.7)$$

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{(R_3 + R_4) \cdot R_1}{R_3 + R_4 + R_1}}; I_1'' = I_2'' \cdot \frac{(R_3 + R_4)}{R_3 + R_4 + R_1}; I_3'' = I_2'' \cdot \frac{R_1}{R_3 + R_4 + R_1} = I_2'' - I_1''. \quad (2.8)$$

Метод еквівалентного генератора використовують для розрахунку стру-

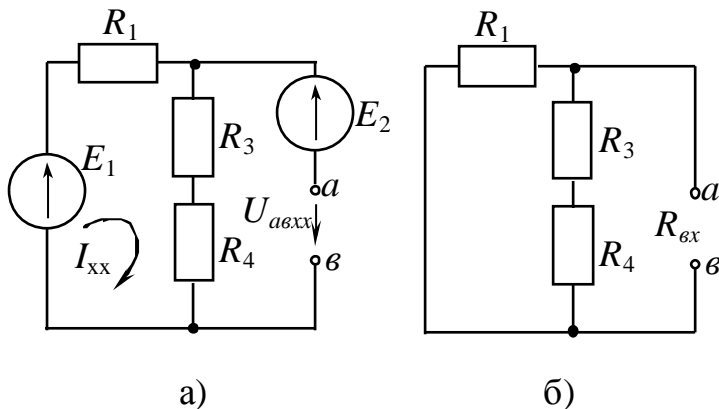


Рис. 2.3 – Метод еквівалентного генератора

му в одній вітці електричного кола. Визначимо струм I_2 за цим методом. Для чого спочатку „вириваємо” опір R_2 (рис.2.3,а).

$$\text{Тоді } I_2 = \frac{U_{avxx}}{R_2 + R_{gx}}, \quad (2.9)$$

де U_{avxx} - напруга холостого ходу на затискачах розриву;

R_{gx} - вхідний опір відносно затисків розриву.

Формули для визначення

U_{avxx} і R_{gx} :

$$U_{avxx} = -E_2 + I_{xx} \cdot (R_3 + R_4), \quad (2.10)$$

$$\text{де струм холостого ходу: } I_{xx} = \frac{E_1}{R_3 + R_4 + R_1}. \quad (2.11)$$

Вхідний опір відносно затисків розриву (рис.2.3,б).

$$R_{gx} = \frac{R_1 \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_4}. \quad (2.12)$$

Передача енергії по лініях передачі

Спрощена схема передачі електричної енергії зображена на рис.2.4.

На схемі позначено:

U_1 - напруга генератора (на початку лінії);

U_n - напруга на навантаженні (кінець лінії);

R_n - навантаження наприкінці лінії;

R_0 - опір, що враховує опір проводів.

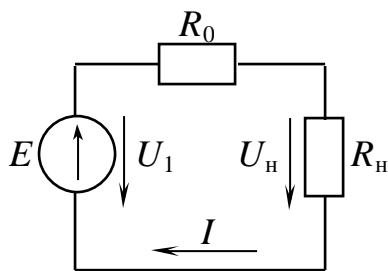


Рис.2.4 - Спрощена схема передачі електричної енергії

У реальних лініях передачі коефіцієнт корисної дії (К.К.Д.) $\eta = 0,94 \div 0,97$, тому U_2 всього на кілька процентів відрізняється від U_1 .

Криві (рис.2.5), що повністю характеризують режим роботи лінії при $U_1 = \text{const}$, описують рівняннями:

1. $P_1 = U_1 \cdot I$ - потужність генератора;
2. $U_H = U_1 - I \cdot R_0$ - напруга на навантаженні;

3.

$$P_H = P_1 - I^2 \cdot R_0 = U_1 \cdot I - I^2 \cdot R_0 = I \cdot (U_1 - I \cdot R_0) - \text{потужність навантаження};$$

$$4. \text{ ККД } - \eta = \frac{P_H}{P_1} = \frac{U_1 \cdot I - I^2 \cdot R_0}{U_1 \cdot I} = 1 - \frac{I \cdot R_0}{U_1} = \frac{I^2 \cdot R_H}{I^2 \cdot (R_0 + R_H)} = \frac{R_H}{R_0 + R_H}.$$

Чим більшою буде напруга U_1 , тим більшим буде і ККД передачі (високий ККД досягається при виконанні умови $R_0 \ll R_H$).

2.5. Порядок виконання роботи

Слід відзначити, що робота має два розділи, які охоплюють одні й ті ж теми і є приблизно однаковими за часом виконання. Звичайно студенти спеціальностей ЕТ, СА, СТ виконують розділ А, а студенти інших спеціальностей – розділ Б. При чому пункт 2.5.4 розділу А («Дослідження передачі енергії по лініях передачі») виконують студенти всіх спеціальностей, як останній пункт цієї лабораторної роботи.

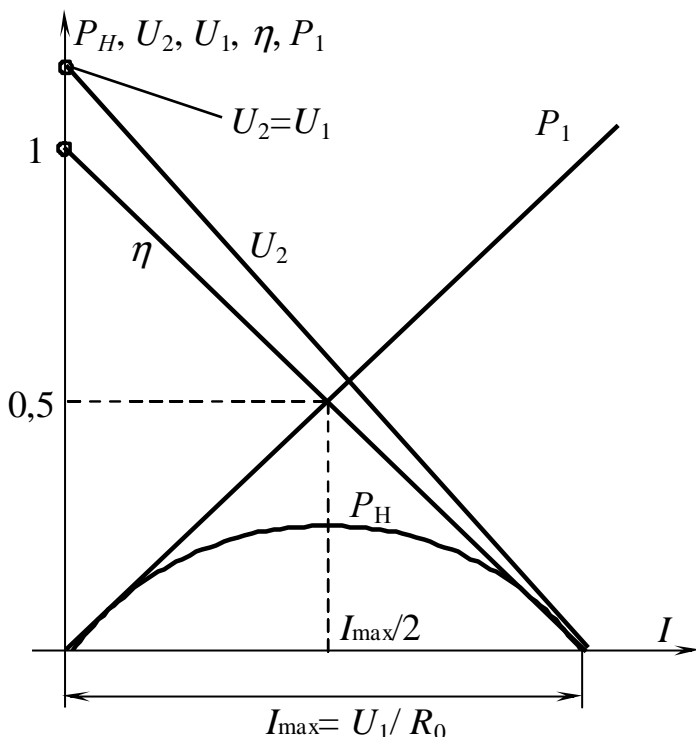


Рис.2.5 – Залежності $U_i(I)$, $P_i(I)$, $\eta(I)$

Під час проведення експериментів схеми треба складати так, щоб мати змогу провести виміри струмів у всіх вітках і напруг на окремих ділянках, де це потрібно.

Під час проведення експериментів схеми треба складати так, щоб мати змогу провести виміри струмів у всіх вітках і напруг на окремих ділянках, де це потрібно.

РОЗДІЛ А

2.5.1. Експериментальна перевірка методу двох вузлів

Зібрати схему (рис.2.1). Номери елементів набірнього поля, що використовуються як активні опори $R_1 - R_4$, взяти з табл.5 вихідних даних. ЕРС E_1 - це джерело нерегульоване ДН, а E_2 - джерело регульоване ДР, напрямок і величина якого залежить від номера варіанта (див. табл.5, лабораторна робота №1). Виміряти за допомогою амперметра Щ4300 (або Щ4313) і мультиметра струми I_1, I_2, I_3 та напругу U_{12} . Вихідні дані, а також значення струмів I_1, I_2, I_3 й напруги U_{12} , занести до табл.7.

2.5.2. Експериментальна перевірка методу еквівалентного генератора

Провести розмикання вітки з опором R_2 в точках *а-в* (рис.2.3,а). До точок розриву підключити мультиметр і виміряти напругу холостого ходу U_{xx} . Для визначення вхідного опору відімкнути ЕРС E_1 та E_2 , а місця, де вони знаходилися раніше, закоротити перемичками (рис.2.3,б). До точок розриву *а-в* підключити мультиметр у режимі вимірювання опору й виміряти вхідний опір $R_{вх}$. Величини, отримані в ході експерименту, занести до табл.7.

2.5.3. Експериментальна перевірка методу накладання

Зібрати схему (рис.2.2,а), що містить тільки джерело нерегульоване E_1 , виміряти часткові струми $I'_1 \div I'_3$. Зібрати схему (рис.2.2,б), що містить тільки джерело регульоване E_2 , виміряти часткові струми $I''_1 \div I''_3$. Значення часткових струмів занести в табл.8. Значення струмів $I_1 \div I_3$ для схеми, що містить два джерела, переписати з табл.7.

2.5.4. Дослідження передачі енергії по лініях передачі

Зібрати схему (рис.2.4). У якості опору R_0 взяти резистор R_{01} з набору елементів, а в якості опору R_n - змінний опір R_4 з блоку стенда. ЕРС E - це джерело нерегульоване ДН. Змінюючи опір навантаження від холостого ходу до короткого замикання виміряти струм у колі, напруги на навантаженні та на джерелі. Дані вимірів занести до табл.9.

2.6. Обробка експериментальних даних

2.6.1. Провести для схеми рис.2.1 розрахунки струмів за законами Кірхгофа, за методами контурних струмів, двох вузлів, еквівалентного генератора і накладання. Занести результати розрахунків до табл.7, 8.

2.6.2. Провести баланс потужностей; побудувати потенційну діаграму для зовнішнього контуру схеми рис.2.1.

2.6.3. За даними досліду 2.5.4 побудувати сумісні графіки залежностей $U_i = f(I), P_i(I), \eta(I)$, попередньо розрахувавши P_n, η .

Таблиця 7 - результати експерименту й розрахунку, п. 2.5.1 та 2.5.2, розділ А

		Вихідні дані						Струми віток			Контурні струми		Метод двох вузлів	метод екв. генератора	
		$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$	$I_{11}, \text{мА}$	$I_{22}, \text{мА}$	$U_{12}, \text{В}$	$U_{xx}, \text{В}$	$R_{bx}, \text{Ом}$
розрахунок	З. К.														
	мкт														
	мду														
	мег							-		-					
експеримент											-	-			

Таблиця 8 - результати експерименту й розрахунку, п. 2.5.3, , розділ А

метод накладання									
	ЕРС E_1			ЕРС E_2			ЕРС E_1 і E_2		
	$I'_1, \text{мА}$	$I'_2, \text{мА}$	$I'_3, \text{мА}$	$I''_1, \text{мА}$	$I''_2, \text{мА}$	$I''_3, \text{мА}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$
розрахунок									
експерим.									

Примітка: мкт – метод контурних струмів; мду – метод двох вузлів; мег – метод еквівалентного генератора

Таблиця 9 - Результати експерименту й розрахунку (п. 2.5.4), розділ А

	R_H , Ом	∞	500	300	200	70	50	10	0
Експеримент	I , мА								
	U_H , В								
	U_1 , В								
Розрахунок	P_H , Вт								
	η								

Примітка. При розрахунках можна не враховувати внутрішні опори джерел; розрахунки повинні бути подані в звіті в повному обсязі.

РОЗДІЛ Б

2.5.1. Експериментальна перевірка методу накладання

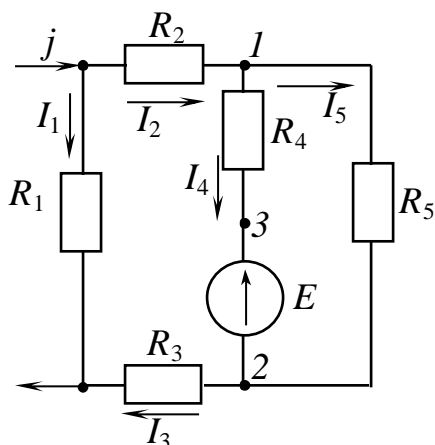


Рис. 2.6 – Експериментальна перевірка методу накладання

Зібрати схему (рис.2.6). У якості джерела ЕРС E і джерела струму j використовують відповідно джерело нерегульоване і джерело регульоване блоку постійної напруги (для встановлення значення j використовуємо амперметр на вході кола). Номери елементів набірної плати, що використовуються як активні опори $R_1 \div R_5$, значення E та j взяти з табл.10 вихідних даних. Заповнити табл.11.

Виміряти струми $I_1 \div I_5$ (в мА). Результати вимірів занести до табл.12.

Закоротити джерело ЕРС E у схемі на рис.2.6 і виміряти часткові струми $I'_1 \div I'_5$ в отриманій схемі тільки з джерелом струму j , результати вимірів (в мА) занести до табл.12. Повернути в схему на рис.2.6 джерело ЕРС E й усунути джерело струму j . У схемі тільки з джерелом ЕРС E виміряти часткові струми $I''_1 \div I''_5$, результати вимірів (в мА) занести до табл.12.

2.5.2. Експериментальна перевірка принципу взаємності

Усунути джерело струму j в схемі на рис.2.6. Виміряти струм I_1 . Перенести джерело ЕРС E у вітку з опором R_1 , тобто ввімкнути його послідовно з опором R_1 , а між затискачами «3»-«2» ввімкнути амперметр, яким і виміряти струм I_4 . Результати занести до табл.13.

Таблиця 10 – Вихідні дані для виконання п.2.5.1, розділ Б

Параметр	Номер стенду													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
J , мА	20	25	30	15	30	25	70	30	70	40	50	40	60	100
R_1 , №	10	10	08	09	09	07	10	10	05	07	07	04	06	05
R_2 , №	02	05	05	08	03	03	02	01	01	06	06	01	03	02
R_3 , №	03	03	04	04	02	02	09	07	07	05	05	03	01	04
R_4 , №	01	01	02	03	04	04	04	02	06	04	02	05	05	03
R_5 , №	09	09	10	10	10	10	10	05	10	10	10	06	08	08

Таблиця 11- Вихідні дані для розрахунку п.2.5.1, розділ Б

E , В	J , мА	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом

Таблиця 12 – Результати експерименту й розрахунку п. 2.5.1, розділ Б

Визначено	Схема з джерелом																
	J						E						J та E				
	J	I'_1	I'_2	I'_3	I'_4	I'_5	E	I''_1	I''_2	I''_3	I''_4	I''_5	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
розрахунком																	
експериментом																	

Таблиця 13 – Результати експерименту п.2.5.2, розділ Б

№ з/п	EPC E ввімкнена:	Струм, мА
1.	між затискачами «3»-«2»	$I_1=$
2.	послідовно з R_1	$I_4=$

2.5.3. Експериментальна перевірка методу двох вузлів

Зібрати схему (рис.2.7). Номери елементів набірної поля, що використовуються як активні опори R_1 - R_5 , взяти з табл.10 вихідних даних; E_1 - це джерело нерегульоване ДН; а в якості джерела E_2 використати джерело регульоване ДР (значення $E_2=10$ В для всіх варіантів). Виміряти струми $I_1 \div I_3$, а також напругу U_{12} . Результати вимірів занести до табл.14.

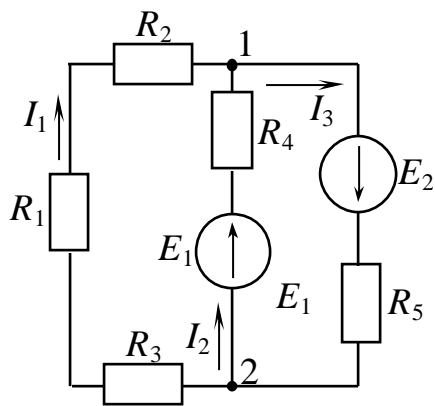


Рис. 2.7 - Експериментальна перевірка методу двох вузлів

Таблиця 14 - Результати експерименту й розрахунку п.2.5.3

Визначено	Струм, мА			Напруга, В
	I_1	I_2	I_3	U_{12}
розрахунком				
експериментом				

2.5.4. Експериментальна перевірка методу еквівалентного генератора

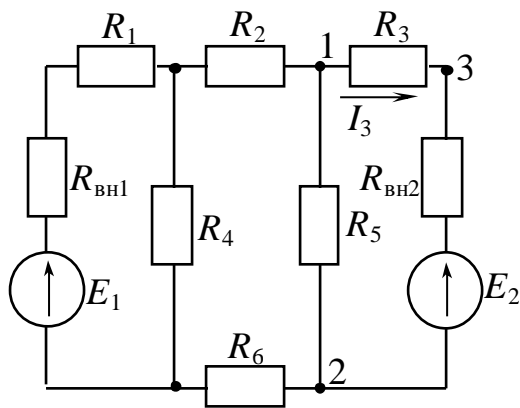


Рис. 2.8 - експериментальна перевірка методу еквівалентного генератора

Зібрати схему рис.2.8, параметри якої для свого варіанта взяти з табл.15. В якості джерела E_2 використати джерело регульоване ДР, в якості E_1 - джерело нерегульоване ДН. Заповнити табл.16 вихідних даних.

Примітка. Значення внутрішніх опорів джерел $R_{вн1}$, $R_{вн2}$ беремо з п.1.6.2 лабораторної роботи №1, але за вказівкою викладача їх можна не враховувати.

У схемі рис.2.8 виміряти значення струму I_3 . Усунути опір R_3 , тобто зробити розрив між затискачами «1»-«3». До точок розриву («1»-«3») під'єднати мульт-

Таблиця 15 – Вихідні дані п.2.5.4, розділ Б

Параметр	Номер стенда													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
E_2 , В	5	4	3	-2	-6	-4	-3	-5	7	6	5	18	15	12
R_1 , №	01	02	02	02	05	07	10	10	10	10	10	08	05	07
R_2 , №	03	03	08	07	07	09	07	05	07	02	02	02	03	04
R_3 , №	04	04	03	03	02	01	01	02	04	01	08	10	06	08
R_4 , №	10	08	09	10	10	08	08	06	09	09	09	09	07	09
R_5 , №	09	07	07	05	08	10	09	10	08	08	07	07	09	10
R_6 , №	02	01	10	09	09	03	03	03	03	07	04	01	04	03

тиметр в режимі вимірювання напруги; виміряти напругу холостого ходу U_{xx} активного двополюсника. Для вимірювання вхідного опора $R_{вх}$ двополюсника треба ЕРС E_1 та E_2 усунути зі схеми, а місця, де вони знаходилися, закоротити. До точок розриву («1»–«3») під'єднати мультиметр у режимі вимірювання активних опорів (для омметра встановити межу виміру - 2 КОм). Результати вимірів занести до табл.17.

Таблиця 16 – Вихідні дані для розрахунку п.2.5.4, розділ Б

Джерела, В		Опори, Ом					
E_1 , В	E_2 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом

Таблиця 17 - Результати експерименту й розрахунку п.2.5.4, розділ Б

Визначено	Параметр		
	I_3 , мА	U_{xx} , В	$R_{вх}$, Ом
розрахунком			
експериментом			

2.6. Обробка експериментальних даних (розділ Б)

2.6.1. За вихідними даними п. 2.5.1 методом накладання розрахувати всі струми; результати занести до табл.12.

2.6.2. За даними табл.13 визначити взаємні провідності першої і четвертої віток (G_{14} , G_{41}) а також визначити вхідну провідність першої вітки G_{11} .

2.6.3. За вихідними даними п 2.5.3 методом двох вузлів розрахувати напругу U_{12} і всі струми; результати занести до табл.14.

2.6.4. За вихідними даними п 2.5.4 методом еквівалентного генератора розрахувати струм I_3 . Результати розрахунків U_{xx} , $R_{вх}$, I_3 занести до табл.17.

2.7. Висновки

За результатами роботи зробити висновки щодо причин можливих розходжень між результатами розрахунків різними методами й результатами експерименту; про доцільність використання того чи іншого методу розрахунку струмів у складних електричних колах; про ефективність передачі енергії від активного двополюсника до навантаження.

2.8. Контрольні запитання

1. Наведіть формулювання принципу накладання, для розрахунку яких електричних кіл доцільно його застосовувати?
2. Поясніть суть і особливості методу контурних струмів.
3. Поясніть, у чому полягає принцип взаємності. Проілюструвати на прикладі.
4. Поясніть суть методу вузлових потенціалів і методу двох вузлів.
5. Поясніть суть теореми про еквівалентний генератор.

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРОЗГАЛУЖЕНОГО ЛІНІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

3.1. Мета роботи:

- дослідження режимів роботи в електричному колі синусоїдного струму при послідовному з'єднанні R , L і C ;
- аналіз результатів вимірювань за допомогою векторних діаграм.

3.2. Обладнання та прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд УДЛС-1 (блок змінної напруги стенда, що працює в режимі генерації синусоїдної напруги);
- елементи набірної плати і блоки змінного опору, індуктивності й ємності стенда;
- амперметр Щ4300 (Щ4313);
- мультиметр.

3.3. Підготовчий етап лабораторної роботи передбачає вивчення теоретичного матеріалу [1 – с.81-106, 110-112, 2 – с.63-75, 81-86, 105-110].

У результаті підготовки необхідно знати:

- мету, зміст, порядок виконання роботи;
- визначення понять миттєвого значення, фази, початкової фази і частоти гармонійної функції, комплексної амплітуди; принцип зображення цих величин на комплексній площині;
- порядок побудови векторних діаграм;
- визначення комплексного, повного, активного і реактивного (індуктивного і ємнісного) опорів;
- визначення миттєвої, активної, реактивної, повної комплексної потужностей;
- умови резонансу в послідовному контурі, визначення резонансної частоти, резонансних кривих і частотних характеристик.

3.4. Загальні відомості

Струм, що змінюється за законом синуса, називається *синусоїдним*, або гармонічним. Миттєве значення такого струму:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_i) = I_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_i) = I_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi_i\right), \quad (3.1)$$

де I_m – амплітудне, тобто максимальне значення струму, А;

$(\omega \cdot t + \varphi)$ – фаза або аргумент синуса; характеризує стан коливання, рад;

φ_i – початкова фаза; визначає величину зміщення синусоїди відносно нуля (якщо $\varphi > 0$ синусоїда зсунута вліво, а якщо $\varphi < 0$ синусоїда зсунута вправо), рад;

T – період, тобто час, за який відбувається одне повне коливання, с;

f – частота коливань, тобто кількість коливань в секунду, Гц=1/с;

ω – кутова частота, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$; швидкість зміни аргументу синуса, рад/с.

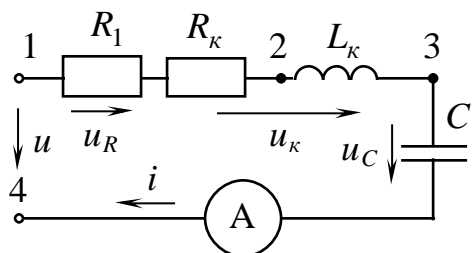
Розрахунок кола синусоїдного струму полегшується, якщо гармонічну функцію часу $i(t)$ замінити відповідною комплексною амплітудою $I_m = I_m \cdot e^{j \cdot \varphi_i}$. Така заміна дозволяє перетворити систему інтегрально-диференціальних рівнянь, складену для миттєвих значень струмів та напруг, в систему алгебраїчних рівнянь, представлену в комплексних амплітудах струмів, напруг, ЕРС.

Комплекс діючого значення струму:

$$\underline{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j \cdot \varphi_i} = I \cdot e^{j \cdot \varphi_i}, \quad (3.2)$$

де $I = I_m / \sqrt{2}$ – діюче значення гармонічної функції.

Векторні діаграми – діаграми, що зображують сукупність векторів синусоїдних величин, які розглядаються на комплексній площині з дотриманням їх взаємної орієнтації.



Звичайно векторна діаграма струмів відображає перший закон Кірхгофа, а векторна діаграма напруг – другий закон Кірхгофа. Для послідовного контуру, тобто послі-

Рис. 3.1 – досліджуваний послідовний коливальний контур

довного з'єднання елементів R ($R = R_1 + R_k$), L та C (рис.3.1) закон Ома в комплексній формі має вигляд:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{R + j \cdot X} = \frac{U_m}{R + j(\omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C))}, \quad (3.3)$$

де $Z = Z \cdot e^{j \cdot \varphi}$ – комплексний опір, (3.4)

$$X = X_L - X_C = \omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C) \text{ - реактивний опір;} \quad (3.5)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C))^2} \text{ - модуль повного опору;} \quad (3.6)$$

$$\varphi = \arctg((\omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C)) / R) \text{ - кут зсуву фаз між напругою і струмом.} \quad (3.7)$$

$$\text{На підставі другого закону Кірхгофа: } \underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C. \quad (3.8)$$

Під час побудови векторних діаграм для послідовного контуру дотримуються таких правил: вектор активної складової напруги \underline{U}_A співпадає зі стру-

мом, а вектори реактивних напруг \underline{U}_L та \underline{U}_C зсунуті щодо вектора струму на $\pm 90^\circ$. Вектор вхідної напруги $\underline{U}_{вх}$ випереджає чи відстає (залежно від характеру кола) від вектора струму \underline{I} на кут φ . Прямокутний трикутник, сторонами якого є $\underline{U}_{вх}$, \underline{U}_A та $\underline{U}_P = \underline{U}_L - \underline{U}_C$, є трикутником напруги (див. рис.3.2).

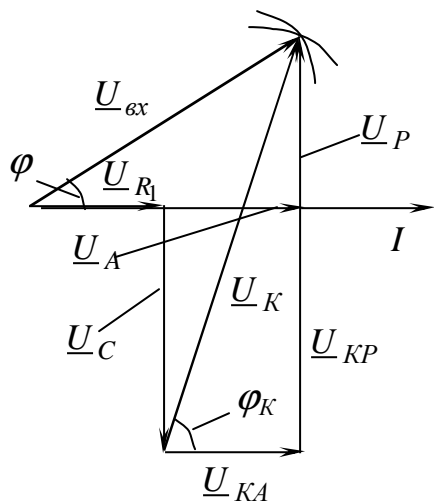


Рис.3.2 – Трикутник напруг кола R-

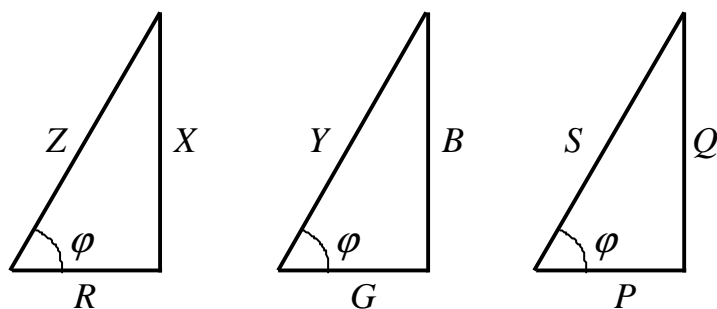
Векторну діаграму за експериментальними даними (діючі значення U_R, U_L , і U_C) будують відповідно до рівняння (3.8), але у зв'язку з тим, що невідомий кут зсуву φ_K між напругою на котушці \underline{U}_K і струмом \underline{I} , діаграму будують методом зарубок (рис.3.2).

Поділивши всі сторони трикутника напруг на струм, можна отримати трикутник опорів (рис.3.3):

$$R = \frac{U_A}{I}; X = \frac{U_P}{I}; Z = \frac{U}{I}. \quad (3.9)$$

Рис.3.3 також відображає трикутник провідностей (G, B, Y – відповідно активна, реактивна та повні провідності).

Помноживши сторони трикутника опорів на I^2 , можна отримати трикутник потужностей (рис.3.3):



$$\varphi = \arctg(X/R) \quad \varphi = \arctg(B/G) \quad \varphi = \arctg(Q/P)$$

Рис.3.2 – Трикутники опорів, провідностей і потужностей

$P = R \cdot I^2$ - активна потужність, Вт;

$Q = X \cdot I^2$ - реактивна потужність, ВАР,

$S = Z \cdot I^2$ - повна потужність, ВА.

Комплексна потужність:

$$\tilde{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = P + j \cdot Q, \quad (3.10)$$

де \underline{I}^* - спряжений комплекс струму.

Як відомо, при зміні частоти або параметрів L і C змінюється реактивний опір кола: $X = \omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C)$.

Режим роботи послідовного кола, що містить R, L і C , при якому кут зсуву фаз між струмом і напругою на вході кола дорівнює нулю, називають *резо-*

нансом напруг. При цьому вхідний опір має чисто активний характер. Для послідовного контуру умова резонансу:

$$X = \omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} = 0, \text{ або } \omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}. \quad (3.11)$$

При цьому:

- $U_L = U_C$, $Q = Q_L - Q_C = 0$ - реактивна потужність;
- резонансна частота - $\omega_0 = 1/\sqrt{L \cdot C}$; (3.12)

- характеристичний опір контуру: $\rho = \omega_0 \cdot L = 1/(\omega_0 \cdot C) = \sqrt{L/C}$. (3.13)

- добротність контуру: $Q = \frac{\rho}{R} = \frac{U_{L\text{д}a\zeta}}{U} = \frac{U_{\text{д}a\zeta}}{U}$; (3.14)

- згасання: $d = 1/Q = R/\rho$, (3.15)

де $U_{L\text{рез}}$, $U_{C\text{рез}}$ - напруга на індуктивності та ємності при резонансі.

Залежності діючих (амплітудних) значень напруг на окремих елементах кола і струму від частоти вхідної напруги при незмінній його амплітуді називають *резонансними* характеристиками. Резонансні характеристики описують виразами:

$$I(\omega) = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - 1/\omega \cdot C)^2}} - \text{струм в колі}; \quad (3.16)$$

$$U_L(\omega) = \omega \cdot L \cdot I = (U \cdot \omega \cdot L) / \left(\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - 1/\omega \cdot C)^2} \right) - \text{напруга на індуктивності}; \quad (3.17)$$

$$U_C(\omega) = \frac{1}{\omega \cdot C} \cdot I = \frac{U}{\omega \cdot C \cdot \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - 1/\omega \cdot C)^2}} - \text{напруга на ємності}; \quad (3.18)$$

$$U_R(\omega) = R \cdot I = \frac{U \cdot R}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - 1/\omega \cdot C)^2}} - \text{напруга на активному опорі}. \quad (3.19)$$

Фазочастотна характеристика кола, тобто залежність кута зсуву фаз між напругою і струмом на вході кола від частоти:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{(\omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C))}{R}\right) \quad (3.20)$$

Резонансні й фазочастотні характеристики послідовного контуру наведені на рис.3.4. З аналізу резонансних характеристик бачимо, що частоти, при яких напруги на індуктивності (U_L) і ємності (U_C) досягають своїх максимальних значень, не співпадають з резонансною частотою: максимум напруги U_L має місце при частоті $\omega_L > \omega_0$, а максимум напруги U_C - при частоті $\omega_C < \omega_0$.

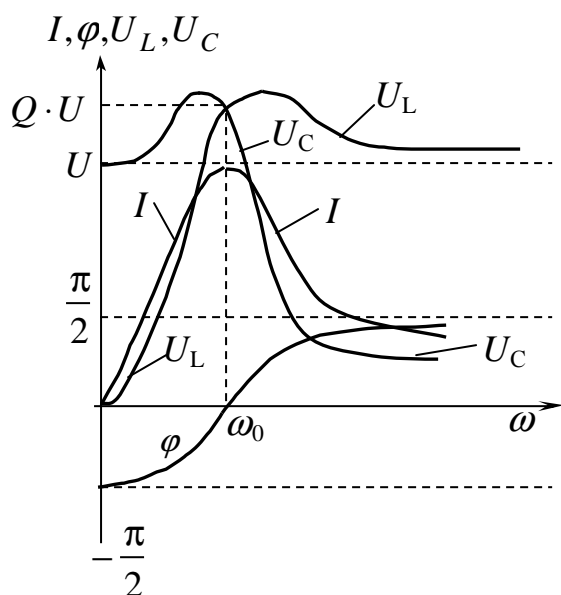


Рис.3.4 - Фазочастотна та резонансні характеристики

напруги на резисторі U_{R_1} , напруги на котушці індуктивності U_K , напруги на конденсаторі U_C .

Таблиця 18

Номер стенда	U , В	f , кГц	R_1 , Ом	L , мГн	C , мкФ	R_K , Ом
1	10	2	44	4	0,72	6
2	7	2,5	29	4	0,72	6
3	12	5	54	4	0,52	6
4	7	4	27	5	0,25	8
5	14	5,5	62	5	0,25	8
6	7	3	26	6	0,21	9
7	6	4	32	5	0,2	8
8	9	6	55	3	0,53	5
9	12	7	75	3	0,34	5
10	10	2,5	41	6	0,47	9
11	10	5	42	5	0,42	8
12	9	6,5	52	5	0,56	8
13	9	3	49	8	0,26	11
14	8	2	41	6,5	0,24	9

3.5. Порядок виконання роботи

3.5.1. Визначення параметрів нерозгалуженого кола за допомогою векторної діаграми

Зібрати електричне коло послідовного коливального контуру (рис.3.1). Вихідні дані для проведення експерименту взяти з табл.18 вихідних даних для свого варіанта (R_1, L, C - змінні опір, ємність та індуктивність з блоків змінних пасивних елементів). Увімкнути джерело змінної напруги, встановити на вході кола задані величини діючої напруги U і частоти f . Виміряти й занести до табл.20 величини струму I , напруги на резисторі U_{R_1} , напруги на котушці індуктивності U_K , напруги на конденсаторі U_C .

Таблиця 19

Номер стенда	U , В	R_1 , Ом	L , мГн	C , мкФ
1	10	44	4	0,72
2	12	54	4	0,54
3	7	27	5	0,26
4	7	26	6	0,22
5	6	32	5	0,21
6	7	26	6	0,28
7	9	55	3	0,55
8	12	75	3	0,36
9	10	41	6	0,5
10	9	52	5	0,58
11	9	49	8	0,27
12	8	44	4	0,31
13	8	41	6,5	0,25
14	9	36	6	0,18

Таблиця 20

I , мА	U_{R_1} , В	U_K , В	U_C , В	φ , град

3.5.2. Дослідження явища резонансу напруг

Встановити параметри послідовного контуру відповідно до табл.19, використавши в якості R_1, L, C змінні опори, ємність та індуктивність з блоків змінних пасивних елементів. Підтримуючи напругу на вході постійною, виміряти й занести в табл.21 величини I, U_R, U_K, U_C для вказаних значень частоти (в діапазоні 0,5÷7,5 кГц).

Таблиця 21

f , кГц	I , мА	U_R , В	U_K , В	U_C , В	φ , град
0,5					
1,0					
1,5					
2,0					
2,5					
3,0					
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
6,5					
7,0					
7,5					

3.6. Обробка експериментальних даних

3.6.1. За даними табл.20 побудувати векторну діаграму досліджуваного кола методом зарубок (рис.3.3). З діаграми визначити активну U_{KA} і реактивну U_{KP} , складові напруги на котушці U_K , побудувати трикутник напруг на котушці. Обчислити параметри котушки Z_K, X_K, R_K, L_K і побудувати трикутник опорів котушки. Результати занести до табл.22.

3.6.2. Визначити з діаграми активну $U_A = U_{R_1} + U_{K_A}$ і реактивну $U_P = U_L - U_C$ складові напруги на вході, побудувати трикутник напруг всього кола. Використовуючи вирази: $R = R_1 + R_K$; $X = X_L - X_C$; $Z = \frac{U}{I}$, обчислити і занести до табл.22 величини активного R , реактивного X і повного опора Z кола.

3.6.3. За виразами $P = I^2 \cdot R$; $Q = I^2 \cdot X$; $S = U \cdot I$ обчислити і занести до табл.22 величини активної P , реактивної Q і повної S потужності кола.

3.6.4. Використовуючи вираз $U_C = I/\omega C$, визначити і занести до табл.22 величину ємності C .

3.6.5. Відповідно до формули (3.7) обчислити величину кута зсуву фаз φ між напругою \underline{U} і струмом \underline{I} .

Прийнявши початкову фазу струму $\varphi_i = 0$, обчислити і записати вирази:

- комплексів струму \underline{I} , вхідної напруги \underline{U} в досліджуваному колі;
- миттєвих значень струму $i(t)$ і напруги $u(t)$;
- комплексної повної потужності \tilde{S} в показовій та алгебраїчній формах.

Таблиця 22

Z_K , Ом	X_K , Ом	L_K , мГ	R_K , Ом	X , Ом	R , Ом	Z , Ом	C , мкФ	P , Вт	Q , ВАР	S , ВА

3.6.6. За даними табл.21 побудувати резонансні криві $I(\omega)$, $U_K(\omega)$, $U_C(\omega)$. За графіками визначити величини I_{\max} , $U_{C\max}$, $U_{L\max}$ і відповідні їм частоти ω_0 , ω_C , ω_L . Побудувати також фазочастотну характеристику $\varphi = f(\omega)$, використавши вираз (3.7). Занести величини φ для кожної кутової частоти ω до табл.21.

3.7. Висновки

За результатами роботи зробити висновки:

- про вплив характеру кола на кут зсуву фаз між струмом і напругою на її вході;
- про неможливість застосування законів Кірхгофа для діючих значень струмів і напруг;
- про вплив добротності контуру на форму резонансних кривих.

3.8. Контрольні запитання

1. Що називають миттєвим значенням синусоїдної величини? Якими параметрами ця величина характеризується? Як розраховують миттєві значення струму і напруги у виконаній роботі?
2. Якими коефіцієнтами характеризується синусоїдна величина?
3. Що таке комплексна амплітуда, комплекс діючого значення гармонічної величини? Як виражають індуктивний X_L і ємнісний X_C опори через параметри L , C і f ? Як визначають комплексний опір \underline{Z} ?
4. Сформулюйте закони Ома і Кірхгофа в комплексній формі.
5. Який порядок побудови векторної діаграми послідовного контуру? Як з векторної діаграми отримати трикутники напруг, опорів, провідностей і потужностей?
6. Як визначають комплексну потужність кола?
7. Поясніть, при якому співвідношенні параметрів X_L і X_C виникає резонанс напруг? Наведіть можливі причини виникнення резонансу.
8. Розкрийте фізичне значення понять характеристичного опору ρ , добротності Q для послідовного контуру.
9. Що розуміють під резонансною і фазочастотною характеристиками послідовного контуру? Як визначити резонансний режим за цими кривими?
10. Яке практичне застосування має явище резонансу?

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗГАЛУЖЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

4.1 Мета роботи:

- дослідження режимів роботи розгалужених електричних кіл синусоїдного струму;
- аналіз отриманих результатів вимірювань за допомогою векторних діаграм.

4.2. Обладнання та прилади:

- універсальний навчально-дослідницький лабораторний стенд УДЛС-1 (блок змінної напруги стенда УДЛС-1, який працює в режимі генерації синусоїдної напруги);
- елементи набірного поля стенда і блоки змінного опору, індуктивності та ємності стенда;
- амперметр Щ4300, Щ4313;
- мультиметр.

4.3. Підготовчий етап лабораторної роботи передбачає вивчення теоретичного матеріалу [1 – с.108-110, 2 – с.92-100, 110-114].

У результаті підготовки необхідно знати:

- мету, зміст, порядок виконання роботи;
- визначення поняття комплексної провідності кола;
- умову фазового резонансу в паралельному контурі (резонанс струмів);
- вміти проводити еквівалентні перетворення опору;
- вміти будувати частотні, резонансні характеристики паралельного контуру, а також векторно-топографічні діаграми розгалуженого кола.

4.4. Загальні відомості

Як відомо, у складних електричних колах, що містять елементи R , L , і C , існує три види резонансів: фазовий, амплітудний і частотний. При фазовому резонансі кут зсуву фаз між струмом і напругою на вході кола дорівнює нулю. Умовою фазового резонансу є рівність нулю вхідної реактивної провідності (опору), амплітудного - мінімальне (максимальне) значення струму (напруги), частотного - збіг частоти власних (вільних) коливань кола з частотою джерела. При наявності в колі активних опорів резонансні частоти для кожного виду резонансу можуть відрізнятися.

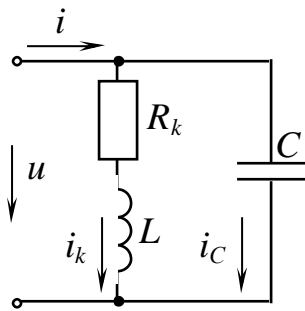
Резонанс у паралельному контурі називають ще *резонансом струмів*, тому що при цьому реактивні складові струмів у паралельних вітках рівні за мо-

дулем і протилежні за напрямком. Умовою резонансу для паралельного контуру (рис.4.1) є:

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\omega_0 \cdot L}{R_k^2 + (\omega_0 \cdot L)^2} - \omega_0 \cdot C = 0, \quad (4.1)$$

З рівняння (4.1) резонансну частоту визначають так:

$$\omega_D = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_k^2}{\rho^2}}, \quad (4.2)$$



де $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - хвильовий опір контуру.

При зміні частоти живильної напруги резонанс у колі можливий тільки за умови:

$$\frac{R_k}{\rho} < 1. \text{ Для резонансних кіл вводиться поняття}$$

добротності кола:

$$Q = \omega_0 \cdot \frac{W_{\max}}{P}, \quad (4.3)$$

де W_{\max} - максимальне значення енергії, що запасається при резонансі в індуктивних чи ємнісних елементах;

P - активна потужність кола при резонансі.

Для схеми рис.4.1 добротність паралельного контуру показує, у скільки разів струм в індуктивності, I_L , чи в ємності, I_C при резонансі може бути більшим ніж загальний струм:

$$Q = \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I}, \quad (4.4)$$

Розглянемо послідовність визначення струмів кола рис.4.1:

- комплексна провідність вітки за визначенням - $\underline{Y} = G - j \cdot (B_L - B_C)$; (4.5)

- комплексна провідність першої вітки $\underline{Y}_1 = G_1 - j \cdot B_L$; (4.6)

- активна провідність першої вітки - $G_1 = \frac{R_k}{R_k^2 + (\omega \cdot L_k)^2}$; (4.7)

- реактивна провідність першої вітки - $B_{L_1} = \frac{\omega \cdot L_k}{R_k^2 + (\omega \cdot L_k)^2}$; (4.8)

- комплексна провідність другої вітки $\underline{Y}_2 = j \cdot B_C$; (4.9)

- реактивна провідність другої вітки $B_C = \omega \cdot C$; (4.10)

- комплексна провідність кола -

$$\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = \frac{R_k}{R_k^2 + (\omega \cdot L_k)^2} - j \cdot \left(\frac{\omega \cdot L_k}{R_k^2 + (\omega \cdot L_k)^2} - \omega \cdot C \right); \quad (4.11)$$

• струм першої вітки $\underline{I}_k = \underline{U} \cdot \underline{Y}_1$; (4.12)

• струм другої вітки $\underline{I}_C = \underline{U} \cdot \underline{Y}_2$; (4.13)

• загальний струм $\underline{I} = \underline{U} \cdot \underline{Y} = \underline{U} \cdot \left[\frac{R_k}{R_k^2 + (\omega \cdot L_k)^2} - j \cdot \left(\frac{\omega \cdot L_k}{R_k^2 + (\omega \cdot L_k)^2} - \omega \cdot C \right) \right] \dots (4.14)$

При резонансі струм на вході \underline{I} досягає свого мінімального значення та визначається за формулою:

$$I_D = U \cdot G = U \cdot \frac{R_k}{R_k^2 + (\omega \cdot L_k)^2}. \quad (4.15)$$

При частоті $\omega = \omega_p$ загальний струм кола дорівнює $I_D(\omega_p) = \frac{U \cdot R_k \cdot C}{L} = \frac{U \cdot R_k}{\rho^2}$. Якщо $\omega_p = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$, то загальний струм при цьому - $I_D(\omega_0) = \frac{U \cdot R_k \cdot C}{L \cdot \left(1 + \frac{R_k^2}{\rho^2}\right)} = \frac{U \cdot R_k}{\rho^2 + R_k^2}$. З отриманих формул для $I_p(\omega_p)$ і $I_p(\omega_0)$

бачимо, що мінімальне значення струм I досягає при частоті $\omega_0 > \omega_p$. Але якщо $\frac{R_k}{\rho} < 0.1$, то можна вважати, що $\omega_p = \omega_0$ і $I_p(\omega_p) = I_p(\omega_0)$.

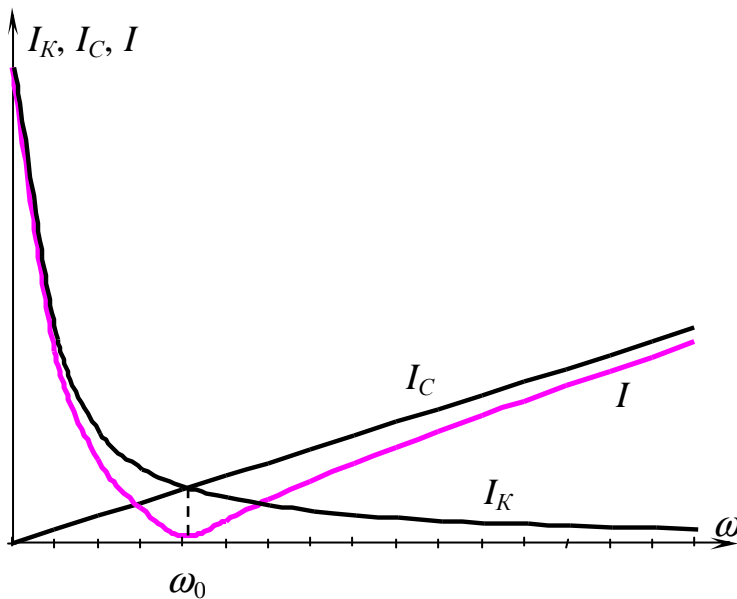


Рис.4.2 – Залежності струмів кола від частоти ω

Вид резонансних кривих струмів (залежності діючих значень від частоти ω) для паралельного контуру при постійній напрузі на вході наведений на рис.4.2.

Поряд з аналітичними методами в електротехніці використовують і графічні, тобто побудову годографів та векторно-топографічних діаграм.

Багато практичних задач потребують дослідження залежності кола від різних

факторів. Це пов'язано з побудовою годографів.

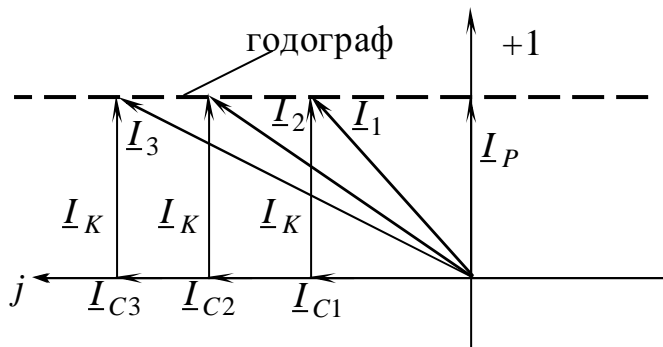


Рис.4.3 – Годограф для схеми рис.4.1
(змінний параметр – ємність)

Так, відповідно до виразу $\underline{I} = \underline{I}_K + \underline{I}_C$ (перший закон Кірхгофа для кола рис.4.1) можна побудувати геометричне місце кінців вектора \underline{I} , коли ємність C є змінним параметром. У даному випадку годограф - це пряма, паралельна уявній осі на комплексній площині (рис.4.3).

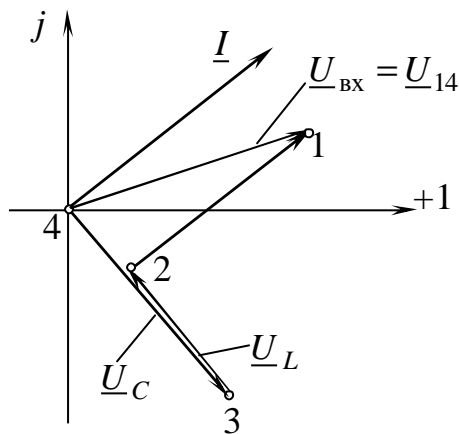


Рис.4.5 – Векторно-топографічна діаграма послідовного контура $R-L-C$

ми, то це - *векторно-топографічна* діаграма.

Розглянемо порядок побудови векторно-топографічної діаграми на прикладі схеми рис.3.1 (лабораторна робота №3):

- розраховуємо комплекс струму \underline{I} ;
- позначаємо точки на схемі (1-4), вибираємо напрямок обходу контуру;
- визначаємо модулі падіння напруг на ділянках кола:

$$U_{34} = U_C = I \cdot X_C; \quad U_{23} = U_L = I \cdot X_L; \quad U_{12} = U_R = I \cdot R \quad (R = R_1 + R_K);$$
- вибираємо масштаби за струмом і напругою: m_I, m_U ;
- ту точку, яка є першою при побудові (в нашому випадку – точка «4») розташовуємо на початку координат;
- обхід робимо назустріч струму від останньої точки до першої («4»-«3»-«2»-

Годограф – геометричне місце кінців векторів, які зображують різні величини (опори, провідності, струми, напруги). Годографи можуть мати форму дуги кола – тоді вони звуться *круговими* діаграмами, або форму лінії – тоді це *лінійні* діаграми.

Векторні діаграми – це діаграми, що зображують сукупність векторів синусоїдних величин, які розглядаються, на комплексній площині з дотриманням їх взаємної орієнтації.

Топографічна діаграма - сукупність точок на комплексній площині, які зображують комплексні потенціали однойменних точок електричної схеми. Якщо потенціали точок зображувати не точками, а векторами,

«1»); при цьому враховуємо, що напруга на активному опорі співпадає зі струмом за фазою, напруга на індуктивності випереджає струм за фазою на 90° , напруга на ємності відстає від струму за фазою на 90° .

Примітка. На рис.4.4 наведено приклад побудови діаграми у випадку активно-ємнісного характеру кола (струм I випереджає напругу на вході кола $\underline{U}_{вх} = \underline{U}_{14}$).

При вирішенні різних задач в електротехніці користуються еквівалентною заміною паралельного з'єднання елементів послідовним і навпаки. Ця замі-

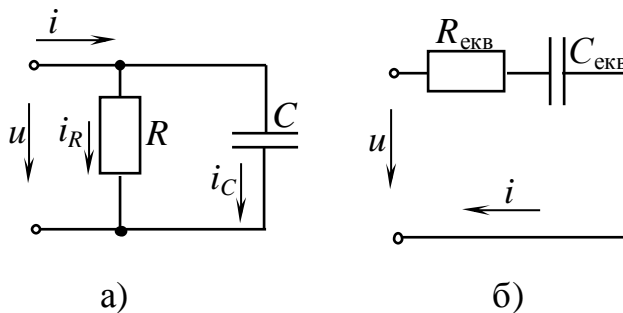


Рис. 4.5 – Еквівалентне перетворення паралельного з'єднання елементів послідовним

на заснована на рівності струму і напруги на вході схеми.

Розглянемо приклад еквівалентної заміни для схеми 4.5,а, яка представляє собою паралельне з'єднання опору R і ємності C . Перетворимо її в схему з послідовним з'єднанням елементів $R_{екв}$ та $C_{екв}$ (рис.4.5,б).

Еквівалентний вхідний опір

кола \underline{Z} :

$$\underline{Z} = R_{екв} + j \cdot X_{екв}, \quad (4.16)$$

$$\text{де } R_{екв} = \frac{G}{G^2 + B^2}, \quad X_{екв} = \frac{B}{G^2 + B^2}, \quad C_{\hat{a}\hat{a}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_{\hat{a}\hat{a}}} - \quad (4.17)$$

відповідно активний, реактивний еквівалентний опори і еквівалентна ємність для схеми на рис.4.6,б;

$$G = \frac{1}{R}; \quad B = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \quad (4.18)$$

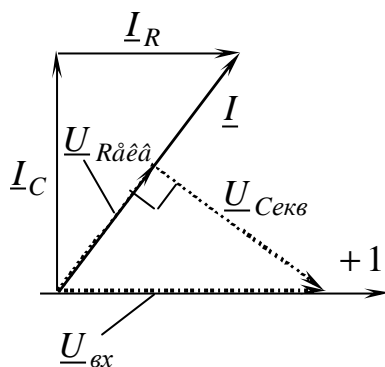


Рис. 4.6 - Векторні діаграми струмів для кола рис.4.5,а та напруг для кола рис.4.5,б

- активна і реактивна провідність для кола на рис.4.6,а.

На рис.4.6 показані векторна діаграма струмів відповідно до рівняння $\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_C$ (рис.4.6,а), а також розкладання вектора вхідної напруги $\underline{U}_{вх}$, на дві складові - $\underline{U}_{R_{екв}}$ та $\underline{U}_{C_{екв}}$ (рис.4.6,б). При чому вектор $\underline{U}_{вх}$ довільно спрямований уздовж осі дійсних чисел. Тому вектор $\underline{U}_{R_{екв}}$ розташований вздовж вектора за-

гального струму I , а вектор $\underline{U}_{C_{екв}}$ - відстає від вектора загального струму I на 90° .

4.5. Порядок виконання роботи

Роботу виконують за вихідними даними (табл.23, 25, 27, 29). Доцільно спочатку перед проведенням експерименту провести необхідні розрахунки, які потім перевіряються у процесі проведення експериментальної частини лабораторної роботи. Схеми треба складати так, щоб мати змогу провести виміри струмів і напруг, де це потрібно.

4.5.1. Дослідження резонансних явищ у паралельному контурі. Резонанс струмів

Зібрати електричне коло паралельного контуру (рис.4.1), використавши змінну індуктивність та змінну ємність з блоків змінних пасивних елементів стенда; встановити параметри паралельного контуру відповідно до табл.23.

Підтримуючи діюче значення напруги на вході $U = U_{ex}$, виміряти струми для чотирнадцяти значень частоти в діапазоні 1÷8 кГц; обов'язково зафіксувати режим, що відповідає мінімуму загального струму (мінімум струму встановлюється за допомогою плавного регулювання частоти). Результати занести до табл.24.

4.5.2. Дослідження роботи паралельного контуру за зміни ємності C

Для електричного кола рис.4.1 встановити параметри з табл.25.

Підтримуючи діюче значення напруги на вході $U = U_{ex}$ та фіксоване значення частоти (див. табл.25), виміряти струми для чотирнадцяти значень ємності в діапазоні 0,05÷0,7 мкФ; обов'язково зафіксувати режим, що відповідає мінімуму загального струму. Результати занести до табл.26.

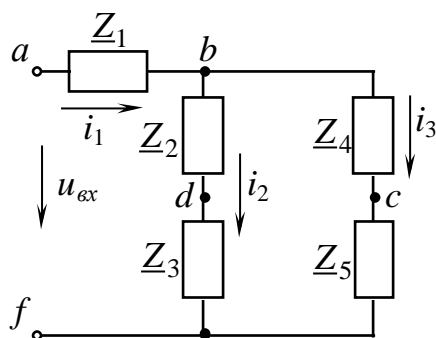


Рис. 4.7 - Розгалужене коло змінного струму

4.5.3. Дослідження розгалуженого кола змінного струму

Зібрати електричне коло (рис.4.7); номери пасивних елементів, а також частоту і діюче значення напруги на вході кола взяти з табл.27 вихідних даних. Заповнити рядок "Експеримент" табл.28, виміливши відповідні струми і напруги в колі.

4.5.4. Еквівалентна заміна паралельного з'єднання елементів послідовним

Зібрати електричне коло паралельного з'єднання ємності й активного опора (рис.4.5,а). Встановити параметри кола відповідно до табл.29, використавши в якості R, C змінний опір і змінну ємність з блоків змінних пасивних елементів.

Таблиця 23

Номер стенда	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$C, \text{мкФ}$	$L, \text{мГн}$	$R_{\text{к}}, \text{Ом}$	Номер з/п	$f, \text{кГц}$	$I, \text{мА}$	$I_{\text{к}}, \text{мА}$	$I_{\text{с}}, \text{мА}$
1	7	0,5	4	6	1	1,0			
2	8	0,4	7	10	2	2,0			
3	8	0,34	6	9	3	2,5			
4	6	0,53	3	5	4	3,0			
5	7	0,23	5	8	5	3,5			
6	8	0,2	5	8	6	4,0			
7	5	0,5	2	3	7	4,5			
8	10	0,24	7	10	8	5,0			
9	12	0,22	8	11	9	5,5			
10	6	0,35	8	11	10	6,0			
11	7	0,31	9	13	11	6,5			
12	6	0,42	4	6	12	7,0			
13	8	0,45	3	5	13	7,5			
14	10	0,44	2	3	14	8,0			

Таблиця 24

Таблиця 25

Номер стенда	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$f, \text{кГц}$	$L, \text{мГн}$	$R_{\text{к}}, \text{Ом}$	Номер з/п	$C, \text{мкФ}$	$I, \text{мА}$	$I_{\text{к}}, \text{мА}$	$I_{\text{с}}, \text{мА}$
1	8	3,5	4	6	1	0,05			
2	7	3,0	7	10	2	0,1			
3	8	3,5	6	9	3	0,15			
4	10	4,0	3	5	4	0,2			
5	9	4,5	5	8	5	0,25			
6	10	5,0	5	8	6	0,3			
7	12	5,0	2	3	7	0,35			
8	10	4,5	7	10	8	0,4			
9	8	4,0	8	11	9	0,45			
10	7	3,0	8	11	10	0,5			
11	6	3,0	9	13	11	0,55			
12	8	4,0	4	6	12	0,6			
13	7	4,5	3	5	13	0,65			
14	10	5,5	2	3	14	0,7			

Таблиця 26

Таблица 27

№ стенда	f , кГц	U , В	Z_1 , №	Z_2 , №	Z_3 , №	Z_4 , №	Z_5 , №
1	5	15	R_{01}	R_{02}	L_{20}	C_{15}	R_{03}
2	2	12	L_{20}	L_{21}	R_{02}	R_{01}	C_{15}
3	5	12	C_{15}	L_{20}	R_{02}	C_{13}	R_{03}
4	4	13	L_{21}	R_{01}	C_{12}	C_{15}	R_{02}
5	3	14	C_{19}	R_{01}	L_{22}	R_{02}	C_{15}
6	5	12	C_{15}	R_{02}	L_{20}	R_{03}	C_{13}
7	4	13	L_{21}	C_{12}	R_{01}	R_{02}	C_{15}
8	3	14	C_{19}	L_{22}	R_{01}	C_{15}	R_{02}
9	2	12	L_{20}	L_{21}	R_{02}	C_{15}	R_{01}
10	5	14	R_{01}	R_{02}	L_{20}	R_{03}	C_{15}
11	3	15	R_{03}	C_{15}	R_{01}	L_{20}	R_{02}
12	4	11	R_{01}	L_{21}	R_{02}	C_{15}	C_{12}
13	6	10	C_{13}	L_{20}	R_{03}	C_{13}	R_{02}
14	2	13	L_{21}	R_{01}	C_{15}	R_{02}	C_{12}

Таблица 28

	U_{ab} , В	U_{bd} , В	U_{df} , В	U_{bc} , В	U_{cf} , В	U_{dc} , В	I_1 , мА	I_2 , мА	I_3 , мА
Эксперимент									
Розрахунок									

Таблица 29

Номер стенда	U , В	f , кГц	R , Ом	C , мкФ
1	10	1	100	1,0
2	9	1,5	75	1,75
3	8	2	82	1,25
4	7	2,5	51	1,5
5	8	3,5	75	1,25
6	10	3,5	100	1
7	9	4	82	0,75
8	7	4,5	51	0,5
9	11	5	75	0,1
10	8	5,5	51	0,25
11	7	6	55	0,8
12	8	6,5	60	0,45
13	10	2	70	1,0
14	9	7	65	0,5

Виміряти струми у вітках I, I_R, I_C . Заповнити табл.30 (графи „Вихідні дані” й „Виміряні величини”).

Розрахувати параметри $R_{\text{екв}}$ і $C_{\text{екв}}$ за формулами (4.17), (4.18). Зібрати коло рис.4.5,б. Встановити задану частоту і напругу на вході кола (табл.29). Виміряти значення струму I , а також напруги на елементах $R_{\text{екв}}$ та $C_{\text{екв}}$. Занести результати експерименту та розрахунків до табл.31. Переконалися в еквівалентності заміни (значення струму I , що внесені до табл.30 і табл.31 повинні бути однаковими).

Таблиця 30

Вихідні дані			Виміряні величини			Розраховані величини			
R , Ом	C , мкФ	U , В	I , мА	I_R , мА	I_C , мА	P , Вт	Q , ВАр	S , ВА	$\cos \varphi$

Таблиця 31

Розраховані дані		Виміряні величини			
$R_{\text{екв}}$, Ом	$C_{\text{екв}}$, мкФ	I , мА	U , В	$U_{R_{\text{екв}}}$, В	$U_{C_{\text{екв}}}$, В

4.6. Обробка експериментальних даних

4.6.1. За даними табл.24 побудувати резонансні криві паралельного контуру $I(f)$, $I_R(f)$ і $I_C(f)$.

4.6.2. За даними табл.26 побудувати геометричне місце кінців вектора струму I (див.рис.4.3). Порівняти значення загального струму I_p в режимі резонансу струмів за експериментальними даними (з табл.26) і з годографу.

За вказівкою викладача за даними табл.26 побудувати резонансні криві паралельного контуру $I(C)$, $I_R(C)$ і $I_C(C)$.

4.6.3. За вихідними даними п.4.5.3 (табл.27) розрахувати комплекси всіх струмів і напруг на ділянках кола на рис.4.7, прийнявши початкову фазу вхідної напруги рівною нулю: $\underline{U}_{af} = \underline{U}_{ex} = U \cdot e^{j \cdot 0}$. Скласти баланс активних і реактивних потужностей для кола, що досліджується. Побудувати в масштабі векторну діаграму струмів і векторно-топографічну діаграму напруг (обхід робити наступним чином: f-d-b; f-c-b; b-a). З діаграми, а також розрахунком визначити напругу ($\underline{U}_{dc} = I_3 \cdot Z_4 - I_2 \cdot Z_2 = I_2 \cdot Z_3 - I_3 \cdot Z_5$). Порівняти розрахункові дані

з експериментальними. Занести результати розрахунків (модулі показової форми запису комплексів діючих значень величин) до табл.28.

4.6.4. За експериментальними даними таблиці 30 побудувати в масштабі векторну діаграму струмів паралельного контуру рис.4.5,а (рекомендується спрямувати вектор вхідної напруги $\underline{U}_{вх}$ вздовж вісі дійсних чисел – див. рис.4.6). На діаграмі показати трикутник струмів відповідно до рівняння $\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_C$ (для рис.4.5,а). Розкласти вхідну напругу $\underline{U}_{вх}$ на дві складові відповідно до рівняння $\underline{U}_{вх} = \underline{U}_{R_{екв}} + \underline{U}_{C_{екв}}$ (для рис.4.5,б). Порівняти значення $\underline{U}_{R_{екв}}$, $\underline{U}_{C_{екв}}$ з експериментальними.

Для кола рис.4.5,а розрахувати активну ($P = I_R^2 \cdot R$), реактивну ($Q = -I_C^2 \cdot X_C$) і повну ($S = I^2 \cdot Z = U \cdot I$) потужності, а також значення коефіцієнту потужності ($\cos \varphi = \frac{P}{S}$). Занести результати розрахунків до табл.30 (графи „Розраховані величини”).

4.7. Висновки

За даними роботи зробити висновки:

- про можливість визначення резонансної частоти паралельного контуру за мінімумом кривої $I(f)$;
- про характер резонансних кривих паралельного контуру;
- про причини можливих розходжень між результатами розрахунків і експериментів.

4.8. Контрольні запитання

1. В яких колах виникає резонанс струмів?
2. Як записують умову резонансу струмів, чому дорівнює резонансна частота для схеми на рис.4.1?
3. Що розуміють під добротністю контуру?
4. Як шляхом еквівалентної заміни перейти від реактивного та активного опору ділянки кола до реактивної та активної провідності цієї ж ділянки?
5. Що називають векторно-топографічною діаграмою кола. На прикладі кола рис.4.7 поясніть порядок їх побудови.
6. Що таке годограф? Поясніть на прикладі схеми на рис.4.1 побудову годографа загального струму I , якщо змінним параметром є ємність.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]: учебник / - Л.А. Бессонов; М.: Гардарики, 2002. – 640 с.
2. Зевеке, Г.В. Основы теории цепей: Учебник для вузов [Текст] / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, Нетушил, Страхов; М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
3. Паначевний, Б.І. Загальна електротехніка: теорія і практикум: Підручник [Текст] / Б.І. Паначевний, Ю.Ф. Свергун; К.: Каравела, 2004. - 440 с.
4. Текст лекцій з дисципліни "Теоретичні основи електротехніки", частина II (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – "Електротехніка та електротехнології", 6.050702 – "Електромеханіка") [Текст] / Я.Б. Форкун, В.П. Самошкін, Г.В. Капустін; ред. М.З. Аляб'єв; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2009. – 87 с.
5. Рибалко, М.П. Теоретичні основи електротехніки: Лінійні електричні кола: Підручник [Текст] / В.О. Есауленко, В.І. Костенко; Донецьк: Новий світ, 2003. – 513 с.
6. Демирчян, К.С. Теоретические основы электротехники. 4-е издание, дополненное для самостоятельного изучения курса [Текст] / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин – Спб: - «Питер», 2004 г. (1 – 462 с., 2 – 575 с., 3 – 376 с.).

Навчальне видання

ФОРКУН Яна Борисівна,
ГЛЄБОВА Марина Леонідівна
КАПУСТІН Геннадій Валентинович,

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за темами «Лінійні електричні кола постійного та синусоїдного струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 - «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 - «Електромеханіка»)

Відповідальний за випуск *Я. Б. Форкун*
Редактор *М.З. Аляб'єв*

План 2010, поз. 266М

Підп. до друку 23. 06. 2010
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60 x 84 1/16
Ум. друк. арк. 2,0
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювачі
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК №731 від 19.12.2001