

Лабораторна робота № 21
ПОСЛІДОВНЕ, ПАРАЛЕЛЬНЕ ТА МІШАНЕ СПОЛУЧЕННЯ
ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

Мета роботи

Навчитися вимірювати напруги, струми кути зсуву фаз, потужності тощо в електричних колах синусоїдного струму.

Навчитись визначати активні, реактивні та повні опори і провідності, кути зсуву фаз.

Підтвердити уявлення про активну, реактивну і повну потужності, зв'язок між ними, навчитись складати баланс потужностей.

Навчитись будувати суміщені векторні діаграми струмів та напруг електричних кіл синусоїдного струму.

Підготовка до роботи

1. При підготовці до роботи студенти мають скласти протокол звіту, ознайомитись з методичними вказівками, робочим завданням та відповісти на такі запитання:

2. Які величини використовують для характеристики синусоїдних струмів і напруг?

3. Від чого залежить кут зсуву фаз між струмом і напругою на пасивній ділянці електричного кола?

4. Як залежить від частоти опір реактивних елементів?

5. Які співвідношення мають місце між активними, реактивними і повними опорами, а також між активними, реактивними і повними провідностями?

6. Для яких цілей використовуються і яким чином будуються суміщені векторні діаграми струмів та напруг електричного кола?

7. В чому полягає сутність символічного методу розрахунку електричних кіл синусоїдного струму?

8. Яким фізичним процесам відповідають активна, реактивна і повна потужності електричного кола? Як складається баланс потужностей?

Робоче завдання

1. Скласти електричне коло (рис.21.1) з послідовним сполученням споживачів.

2. Підготувати до роботи прилад для виміру кута зсуву фаз між напругою та струмом (це може бути осцилограф, який слід відповідним чином відкалібрувати, або фазометр).

3. Виконати виміри струму, напруг і кутів зсуву фаз для кожного споживача окремо, а також на входних затискачах електричного кола. Результати вимірів занести в таблицю 21.1.

7. Скласти баланс активних потужностей для досліджуваного електричного кола.

8. Скласти спочатку електричне коло, за схемою рис.21.3, а потім – за схемою рис.21.4.

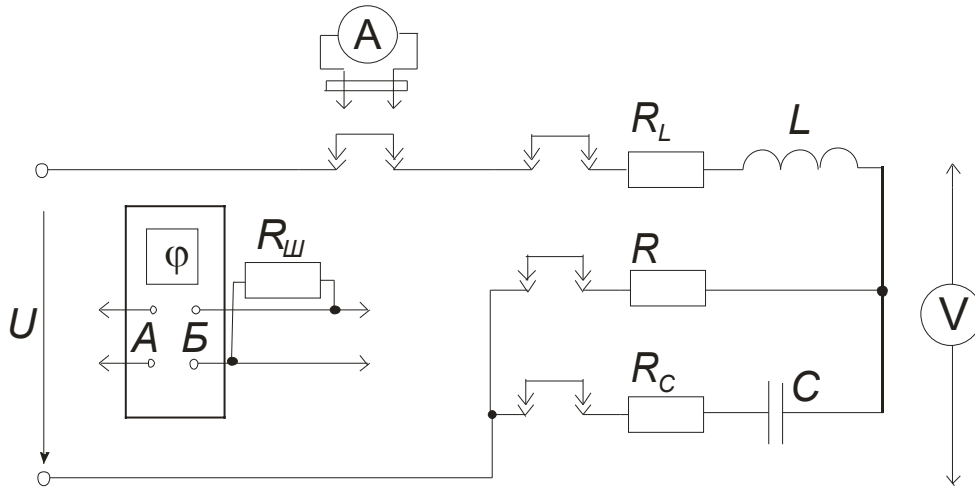


Рис.21.3

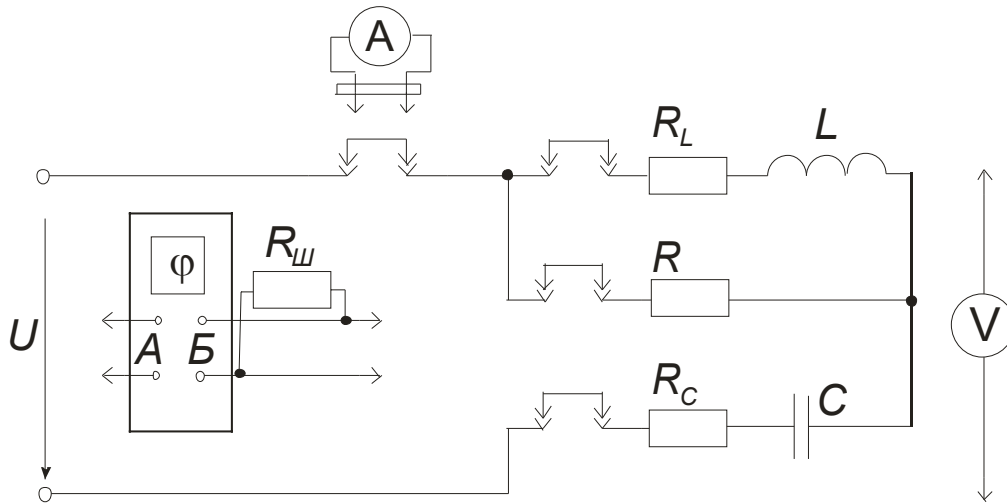


Рис.21.4

9. Виконати виміри струмів, напруг і кутів зсуву фаз для кожного споживача окремо, а також на входних затискачах електричного кола. Результати вимірів занести в таблицю 21.3.

Таблиця 21.3

№	U	U_R	U_L	U_C	I	I_R	I_L	I_C	φ	φ_R	φ_L	φ_C	P	P_R	P_L	P_C
21.3																
21.4																

10. Скласти баланс активних потужностей для обох досліджуваних кіл.

11. За даними вимірів п.3 визначити активні, реактивні та повні опори, а також комплексні опори окремих споживачів і всього кола. Результати розрахунків занести в таблицю 21.4.

Таблиця 21.4

Споживач	П а р а м е т р и				
	R	X	Z	φ	\underline{Z}
Резистор					
Індуктивна котушка					
Конденсатор					
Все коло					

12. Для електричного кола рис.21.1 побудувати суміщену векторну діаграму струму та напруг.

13. За даними вимірів п.6 визначити активні, реактивні та повні провідності, а також комплексні провідності окремих споживачів і всього кола. Результати розрахунків занести в таблицю 21.5.

Таблиця 21.5

Споживач	П а р а м е т р и				
	G	B	Y	φ	\underline{Y}
Резистор					
Індуктивна котушка					
Конденсатор					
Все коло					

14. Для електричного кола рис.21.2 побудувати суміщену векторну діаграму струмів та напруги.

15. За даними вимірів п.9 визначити активні, реактивні та повні опори, а також комплексні опори окремих споживачів і всього кола. Результати розрахунків занести в таблицю 21.6.

Таблиця 21.6

Схема	Споживач	П а р а м е т р и				
		R	X	Z	φ	\underline{Z}
Рис.21.3	Резистор					
Рис.21.4						
Рис.21.3	Індуктивна котушка					
Рис.21.4						
Рис.21.3	Конденсатор					
Рис.21.4						
Рис.21.3	Все коло					
Рис.21.4						

16. Для електричних кіл рис.21.3 та 21.4 побудувати суміщені векторні діаграми напруг та струмів.

17. За результатами дослідів п.п. 3, 6, 9, визначити середні величини опорів резистора, індуктивної котушки та конденсатора і записати в таблицю 21.7 комплексні опори цих споживачів.

Таблиця 21.7

Споживач	П а р а м е т р и		
	R	X	\underline{Z}
Резистор			
Індуктивна котушка			
Конденсатор			

18. Вважаючи відомими параметри споживачів (див. табл.21.7), розрахувати струми віток електричних кіл (рис. 21.1-21.4) та їхні активні потужності; порівняти результати розрахунків з результатами експериментальних вимірів.

19. Зробити і записати у протоколі звіту висновки по роботі.

Завдання на навчально-дослідну роботу студентів

1. Визначити, який за характером реактивний елемент необхідно підключити послідовно в електричне коло рис.21.1 та паралельно в коло рис.21.2, щоб коефіцієнт потужності цих електричних кіл дорівнював 1.0; 0.95; 0.9. Розрахувати опір цього елемента.

2. Вирахувати величину ємності конденсаторної батареї в електричному колі з послідовним сполученням споживачів (схема рис.21.1), при якій вихідна активна потужність джерела енергії буде максимальною.

3. Визначити ємність батареї конденсаторів в схемі рис.21.3 та індуктивність котушки в схемі рис.21.4, при яких вхідний кут зсуву фази буде дорівнювати +45 електричним градусам.

4. Скласти обґрунтований план побудови суміщеної векторної діаграми струмів та напруг електричного кола, використовуючи для цього лише результати вимірів за допомогою амперметрів та вольтметрів в електричних колах рис.21.3 та 21.4, вважаючи, що резистор є суто активним опором.

Методичні вказівки

Миттєве значення синусоїдного струму записують так:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

де I_m - амплітудне значення струму;

$\omega t + \psi_i$ - фаза коливання струму;

ψ_i - початкова фаза (значення фази в момент часу $t = 0$);

$\omega = 2\pi f$ - кутова частота;

$f = \frac{1}{T}$ - циклічна частота;

T – період коливання струму.

Від струму $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$, що тече в електричному колі з послідовним сполученням R , L і C , на окремих елементах та вхідних затискачах, створюються напруги:

$$u_R = Ri = RI_m \sin(\omega t + \psi_i);$$

$$u_L = L \frac{di}{dt} = \omega L \cdot I_m \cos(\omega t + \psi_i) = X_L \cdot I_m \sin(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2});$$

$$u_C = \frac{1}{C} \int idt = -\frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cos(\omega t + \psi_i) = X_C \cdot I_m \sin(\omega t + \psi_i - \frac{\pi}{2});$$

$$u = u_R + u_L + u_C = U_m \sin(\omega t + \psi_u) = ZI_m \sin(\omega t + \psi_u).$$

Напруга на активному опорі u_R має таку ж початкову фазу, що і струм. Напруга на індуктивності u_L випереджає струм за фазою на кут $\frac{\pi}{2}$, а напруга на ємності u_C відстає за фазою від струму на кут $\frac{\pi}{2}$.

Кут зсуву фаз визначають як різницю початкових фаз напруги та струму, тобто

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Кут зсуву фаз між напругою та струмом на вхідних затискачах електричного кола залежить від параметрів всіх елементів кола і його визначають за формулою:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}.$$

Якщо $\varphi > 0$, напруга випереджає струм, що свідчить про активно-індуктивний характер електричного кола. В разі $\varphi < 0$ струм випереджає напругу і таке електричне коло має активно-ємнісний характер.

Величину $X_L = \omega L$ називають індуктивним реактивним опором (індуктивним реактансом), а $X_C = \frac{1}{\omega C}$ - ємнісним реактивним опором (ємнісним реактансом). Перша із цих величин умовно вважається додатньою, а друга - від'ємною. Алгебраїчну суму індуктивного та ємнісного реактансів $X = X_L + X_C$ називають реактивним опором (реактансом) електричного кола.

Повний опір (імпеданс) електричного кола Z складається з його активного (резистансу) та реактивного (реактансу) опорів і визначається за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

При розрахунках електричних кіл досить часто користуються і такими співвідношеннями:

$$R = Z \cos \varphi \quad \text{та} \quad X = Z \sin \varphi.$$

Введення поняття про повний опір, яким зручно користуватись у разі послідовного сполучення елементів всього електричного кола, чи окремих його ділянок, дозволяє записати закон Ома для діючих значень:

$$U = IZ.$$

Якщо електричне коло складається з елементів R , L і C , сполучених паралельно, то для його розрахунку користуються поняттям провідності, що є величиною, оберненою відповідному опору. В такому разі розрізняють:

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{- активну провідність (кондуктанс);}$$

$B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{\omega L}$ - індуктивну реактивну провідність (індуктивний суццептанс);

$B_C = \frac{1}{X_C} = \omega C$ - ємнісну реактивну провідність (ємнісний суццептанс);

$B = B_L - B_C$ - реактивну провідність електричного кола (суццептанс кола), що є алгебраїчно сумою індуктивного та ємнісного суццептансів;

$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ - повну провідність (адмітанс) електричного кола, що є геометричною сумою активної та реактивної провідностей.

Кут зсуву фази між напругою та струмом на вхідних затискачах електричного кола також залежить від параметрів всіх елементів кола і його визначають за формулою:

$$\varphi = \arctg \frac{B_L - B_C}{G}$$

Зв'язок між активною, реактивною та повною провідностями записують ще й так:

$$G = Y \cos \varphi \text{ та } B = Y \sin \varphi$$

Для електричного кола з паралельним сполученням елементів R , L і C , закон Ома для діючих значень має вигляд:

$$I = UY.$$

Будь-який пасивний двополюсник (рис.21.5а) можна замінити двома еквівалентними схемами заміщення відповідно з послідовним сполученням опорів (рис.21.5б) та паралельним сполученням провідностей (рис.21.5в).

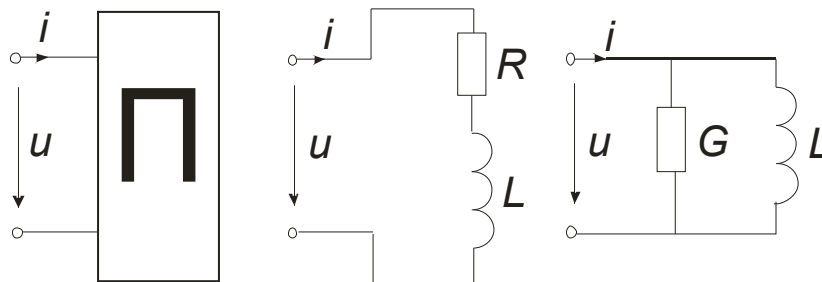


Рис. 21.5

Параметри еквівалентних схем пасивного двополюсника можна визначити дослідним шляхом. Для цього потрібно за допомогою приладів виміряти напругу, струм та активну потужність двополюсника, що дозволить розрахувати:

а) для схеми з послідовним з'єднанням елементів:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad R = \frac{P}{I^2}, \quad X = \sqrt{Z^2 - R^2}, \quad \cos \varphi = \frac{P}{UI};$$

б) для схеми з паралельним з'єднанням елементів:

$$Y = \frac{I}{U}, \quad G = \frac{P}{U^2}, \quad B = \sqrt{Y^2 - G^2}, \quad \cos \varphi = \frac{P}{UI};$$

Обидві схеми еквівалентні між собою за умови, що між опорами та провідностями мають місце такі співвідношення:

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2}; \quad B = \frac{X}{R^2 + X^2};$$

$$R = \frac{G}{G^2 + B^2}; \quad X = \frac{B}{G^2 + B^2};$$

Аналіз електричного кола синусоїдного струму (дослід або розрахунок), як правило, супроводжується побудовою суміщеної векторної діаграми струмів та напруг кола.

Для струмів будується променева діаграма: вектори всіх струмів відкладаються з будь-якої довільної вибраної точки (наприклад, із початку координат). Це дає можливість перевіряти виконання першого закону Кірхгофа для будь-якого вузла електричного кола.

Для напруг звичайно будується топографічна діаграма: початок наступного вектора напруги будується з кінця попереднього вектора у тій же послідовності, в якій відповідні елементи електричного кола розташовані в схемі; це дає змогу перевіряти виконання другого закону Кірхгофа для будь-якого контуру електричного кола.

Згідно з правилами векторної алгебри кінець вектора напруги завжди напрямлений у точку з більшим потенціалом, тому доцільно побудову діаграми напруг проводити таким чином, щоб завжди рухатись проти позитивного напрямку відповідного струму в схемі електричного кола. Вектор напруги, проведений з початку координат до будь-якої точки діаграми, визначає потенціал цієї точки в електричному колі.

На рис.21.6а зображена схема нерозгалуженого електричного кола і для неї побудована суміщена векторна діаграма струму та напруг (рис.21.6б). Напрямок векторів напруг на цій діаграмі відповідає довільно обраному напрямку вектора струму I . Якщо вважати, що струм спрямовується від точки з більшим потенціалом до точки з меншим потенціалом, то вектор напруги своєю стрілкою вказує на точку більшого потенціалу ділянки кола (не слід плутати з напрямком дії напруги, що вказаний на рис. 21.6а)).

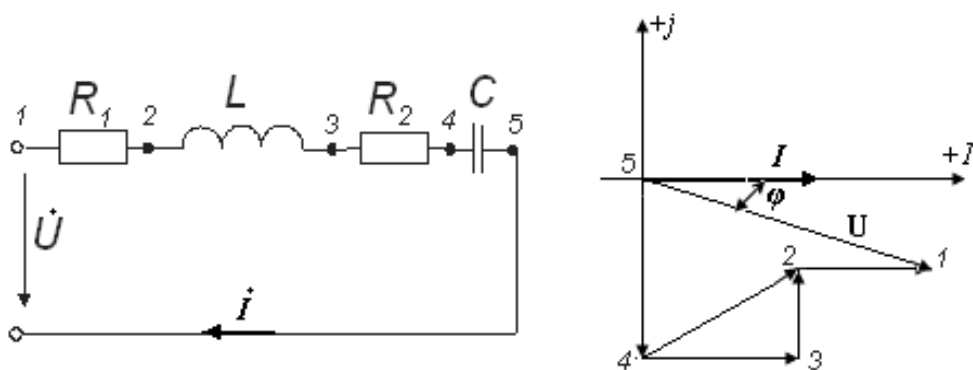


Рис.21.6

Напрямок руху при побудові діаграми був протилежним додатньому напрямку струму. Відповідно цьому послідовність розташування елементів в електричному колі така: $C \rightarrow R_2 \rightarrow L \rightarrow R_1$. Напруги на окремих елементах електричного кола визначались за формулами:

$$\dot{U}_{45} = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I}; \quad \dot{U}_{34} = R_2 \dot{I}; \quad \dot{U}_{23} = j\omega L \dot{I}; \quad \dot{U}_{12} = R_1 \dot{I}$$

При побудові якісної векторної діаграми електричного кола з послідовно-паралельним з'єднанням елементів (тобто без попереднього розрахунку струмів

та напруг електричного кола) починати необхідно з будь-якого струму або напруги на *паралельній* ділянці електричного кола.

Топографічна діаграма напруг дозволяє досить просто визначити напругу між будь-якими точками електричного кола: діюче значення й фаза напруги визначаються прямою, що з'єднує відповідні точки на цій діаграмі (наприклад напруга U_{24} на рис.21.6б).

Література

1. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін.; За заг.ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2004. – Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – С. 83-116.

2. Теоретичні основи електротехніки-Т1/ В.С.Бойко, В.В.Бойко, Ю.Ф.Видолоб, І.А.Курило, В.І.Шеховцов, Н.А.Шидловська;: Київ „Політехніка” , 2004. - С. 163-189; 191-202.

3. Теоретические основы электротех-ники./ Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Т.1 - Л.: Энергоатомиздат, 1981.- 536 с. – С. 106-142; 148-159.