

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

РОЗГАЛУЖЕНЕ ЛІНІЙНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ АКТИВНИХ І РЕАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ. РЕЗОНАНС СТРУМІВ.

Мета роботи – експериментально визначити параметри кола з паралельним з'єднанням активних та реактивних елементів; дослідити явище резонансу струмів; навчитися будувати векторні діаграми за даними досліду та за їх допомогою аналізувати електричні процеси в колі.

4.1. Основні відомості та рекомендації

Серед усього розмаїття електричних кіл змінного струму є такі, в яких споживачі з'єднані паралельно і знаходяться під дією однієї напруги. Струм в кожному з них залежить від значення опору відповідного споживача та значення напруги живлення. Споживачі в колах синусоїдного струму мають активно-реактивний характер і кожен з них може бути представлено послідовним з'єднанням опорів R , X_L та X_C .

Прикладом електричного кола синусоїдного струму з паралельним з'єднанням споживачів може служити коло, представлене на рис.4.1. Якщо розглядати окремі паралельні вітки цього кола, як незалежні електричні кола, то для кожної з них можна побудувати векторну діаграму, прийнявши, що $X_{L1} > X_{C1}$ та $X_{L2} < X_{C2}$ (рис.4.2). Якщо споживач має активно-індуктивний характер, то вектор струму \dot{I}_1 відстає від напруги \dot{U} на кут φ_1 , якщо активно-емнісний, то струм \dot{I}_2 випереджає напругу на кут φ_2 .

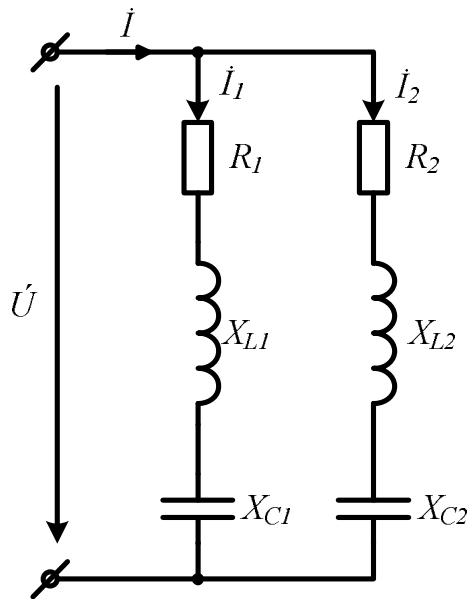


Рис.4.1

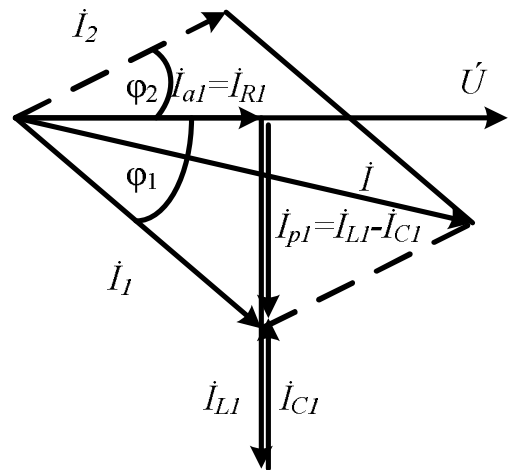


Рис.4.2

Для електричного кола з паралельним з'єднанням елементів, у відповідності з першим законом Кірхгофа, струм \dot{I} в нерозгалуженій частині кола дорівнює векторній сумі струмів паралельних віток

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2.$$

В найпростіших електричних колах змінного струму з одним джерелом живлення струми в паралельних вітках визначаються за законом Ома для відповідних ділянок кола:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1} = \dot{U} \cdot \underline{Y}_1, \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_2} = \dot{U} \cdot \underline{Y}_2,$$

де $\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1})$, $\underline{Z}_2 = R_2 + j(X_{L2} - X_{C2})$ - комплексні опори віток, модулі яких відповідно дорівнюють

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (X_{L1} - X_{C1})^2} \quad \text{та} \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (X_{L2} - X_{C2})^2};$$

$$\underline{Y}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_1}, \quad \underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_2} \quad - \quad \text{комплексні провідності, які зворотно}$$

пропорційні комплексним опорам.

З урахуванням вищенаведеного для кола на рис.4.1 вираз для струму I набуває вигляду

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1} + \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_2} = \dot{U} \cdot \underline{Y}_1 + \dot{U} \cdot \underline{Y}_2 = \dot{U} \cdot (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2) = \dot{U} \cdot \underline{Y},$$

де $\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2$ - комплексна провідність кола, яка у випадку паралельного з'єднання елементів дорівнює сумі відповідних комплексних провідностей паралельних віток.

Для першої вітки кола з активно-індуктивним характером коли $X_{L1} > X_{C1}$, комплексна провідність може бути представлена у вигляді:

$$\underline{Y}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_1} = \frac{1}{R_1 + j(X_{L1} - X_{C1})} = \frac{R_1 - j(X_{L1} - X_{C1})}{R_1^2 + (X_{L1} - X_{C1})^2} = \frac{R_1}{Z_1^2} - j \frac{X_{L1} - X_{C1}}{Z_1^2} = G_1 - jB_1$$

Аналогічно можна знайти комплексну провідність другої вітки, врахувавши її активно-ємнісний характер ($X_{L2} < X_{C2}$):

$$\underline{Y}_2 = \frac{R_2}{Z_2^2} - j \frac{X_{L2} - X_{C2}}{Z_2^2} = G_2 + jB_2.$$

Тоді комплексна провідність всього кола дорівнює

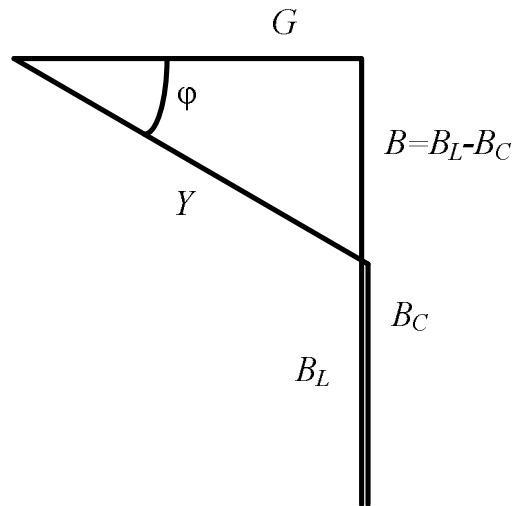
$$\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = (G_1 + G_2) - j(B_1 - B_2) = G - jB.$$

Модуль повної провідності визначається за формулою:

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}.$$

Якщо кожний вектор струму на векторній діаграмі рис.4.2 поділити на вектор напруги \dot{U} , отримаємо подібний трикутник провідностей для даного кола. Як приклад на рис.4.3. подано трикутник провідностей для першої вітки кола рис.4.1. З трикутника провідностей випливає, що

$$\cos \varphi_1 = \frac{G_1}{Y_1}, \quad \sin \varphi_1 = \frac{B_1}{Y_1} = \frac{B_{L1} - B_{C1}}{Y_1}.$$



З урахуванням вищенаведеного, повна, активна та реактивна потужності визначаються через відповідні провідності

$$P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = U^2 \cdot G_1,$$

$$Q_1 = U \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 = U^2 \cdot B_1,$$

$$S_1 = U \cdot I_1 = U^2 \cdot Y_1.$$

В електричних колах синусоїдного струму з паралельним з'єднанням реактивних елементів може виникати резонанс струмів. Це можливо у випадку, коли деякі вітки мають індуктивну складову опору, а деякі – ємнісну. Резонанс струмів – це особливий стан кола синусоїдного струму з паралельним з'єднанням елементів, що виникає коли реактивна індуктивна провідність кола дорівнює реактивній ємнісній провідності цього кола, тобто за умови, що $B_L = B_C$.

Найпростішим електричним колом, в якому виникає резонанс струмів є коло з паралельним з'єднанням котушки індуктивності та конденсатора (рис.4.4).

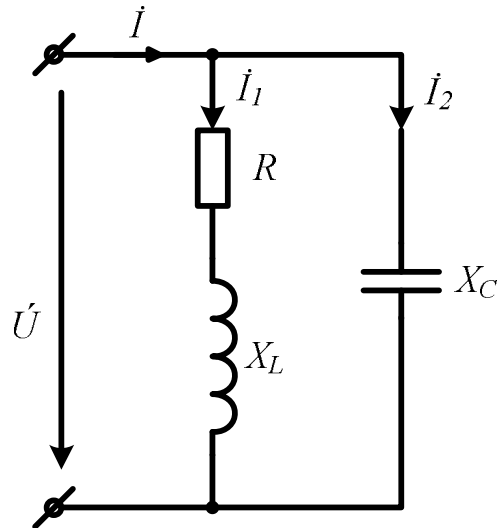


Рис.4.4

Повна провідність цього кола дорівнює

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} .$$

Умови резонансу струмів $B_L = B_C$ можна записати через відповідні параметри кола . Реактивна провідність котушки, що має активний опір R , визначається таким чином

$$B_L = \frac{X_L}{Z^2} = \frac{X_L}{R^2 + X_L^2} = \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} ,$$

а провідність конденсатора таким

$$B_C = \frac{X_C}{Z^2} = \frac{1}{X_C} = \omega C .$$

Тоді умову резонансу можна записати так

$$\frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} = \omega C .$$

З останнього виразу випливає, що резонанс струмів можна отримати, змінюючи один з параметрів R , L , C та ω , за умови, що інші є незмінними.

Найпростіші резонансні кола (рис.4.4) широко застосовуються в радіоелектроніці як коливальні контури, в яких резонанс досягається за певного значення частоти вхідного сигналу.

В лабораторних умовах резонанс струмів досягається шляхом зміни ємності C батареї конденсаторів. Зі зміною ємнісної провідності B_C змінюються повна провідність Y , струм в нерозгалуженій частині кола I та коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ кола. Вказані залежності називаються резонансними кривими (рис.4.5). Аналіз цих залежностей показує, що зі зростанням ємності повна провідність кола спочатку зменшується, сягає мінімуму коли $B_L = B_C$, потім зростає. Характер зміни струму такий самий, як і повної провідності, оскільки струм прямо пропорційний повній провідності $I = UY$. Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ із зростанням ємності зростає, приймає максимальне значення під час резонансу, а потім зменшується, наближуючись до нуля, оскільки $\cos\varphi = G/Y$. Аналіз резонансних кривих дозволяє зробити наступні висновки:

1. Повна провідність кола в стані резонансу мінімальна і дорівнює активній провідності

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = G.$$

2. Мінімальна провідність кола спричинює мінімальний струм

$$I = UY = UG.$$

3. Ємнісний струм I_2 та індуктивна складова I_L струму котушки I_1 однакові за величиною, а активна складова струму котушки I_R дорівнює струму I :

$$I_L = B_L U = B_C U = I_2; \quad I_R = GU = YU = I.$$

Реактивні складові струму I_L та I_2 (в залежності від значень реактивних провідностей) можуть приймати досить велики значення, які перевищують значення струму I .

4. Реактивна складова повної потужності, яку споживає коло, в стані резонансу, коли $B_L = B_C$, дорівнює нулю:

$$Q = B_L U^2 - B_C U^2 = Q_L - Q_C = 0.$$

5. Повна потужність кола в стані резонансу дорівнює її активній складовій

$$S = YU^2 = GU^2 = P.$$

6. Коефіцієнт потужності кола

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{GU^2}{YU^2} = 1.$$

Напруга та струм в колі під час резонансу збігаються за фазою. Векторну діаграму кола (рис.4.4), що перебуває в стані резонансу, подано на рис.4.5.

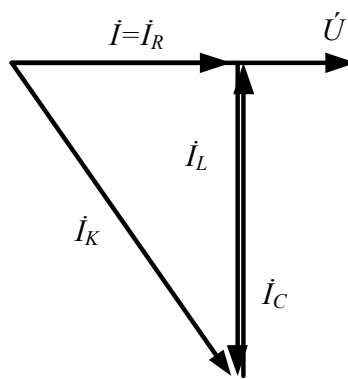


Рис.4.5

Резонанс струмів широко застосовується в силових електричних колах для збільшення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, оскільки він має велике техніко-економічне значення. Для збільшення коефіцієнта потужності конденсатори підключаються паралельно до споживачів, які внаслідок індуктивності мають низький $\cos \varphi$.

4.2. Порядок виконання роботи

1. Скласти коло з паралельним з'єднанням двох активних опорів R_1 і R_2 відповідно до рис. 4.6, де A_1 і A_2 – амперметри.

2. Встановити величину напруги на вході за вказівкою керівника занять і визначити величини наведені в табл.4.1

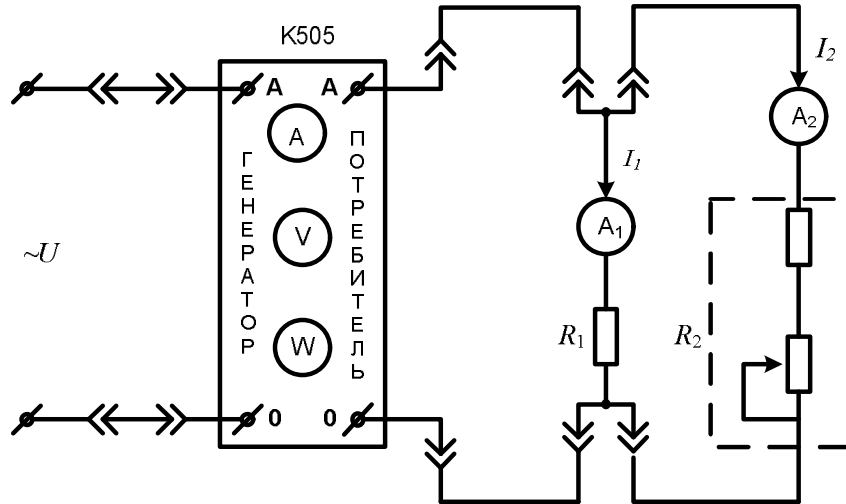


Рис.4.6

Таблиця 4.1

Дані вимірювань					Результати обчислень		
I	U	P	I_1	I_2	G_1	G_2	Y
А	В	Вт	А	А	См	См	См

3. Скласти коло з паралельним з'єднанням активного опору R_1 та котушки індуктивності відповідно до рис. 4.7. Для цього необхідно замінити активний опір R_2 на котушку з активним опором R_k та індуктивністю L_k розташовану на панелі №4. Провести вимірювання величин відповідно до табл. 4.2.

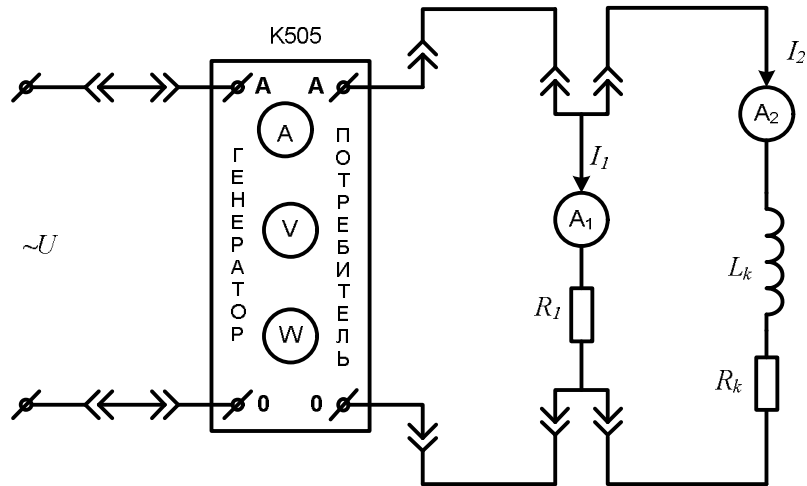


Рис.4.7

Таблиця 4.2

Дані вимірювань					Результати обчислень									
					котушка					усе коло				
I	U	P	I_1	I_2	Y_K	G_k	B_K	$\cos \varphi_K$	Y	G	B	$\cos \varphi$	I_a	I_p
А	В	Вт	А	А	См	См	См		См	См	См		А	А

4. Скласти коло з паралельним з'єднанням опору R_1 та батареї конденсаторів відповідно до рис.4.8. Для цього необхідно замінити котушку індуктивності блоком конденсаторів $C1...C15$ розташованого на панелі №4. Величину ємності встановити за вказівкою керівника. Виміряти величини, наведені в табл. 4.3.

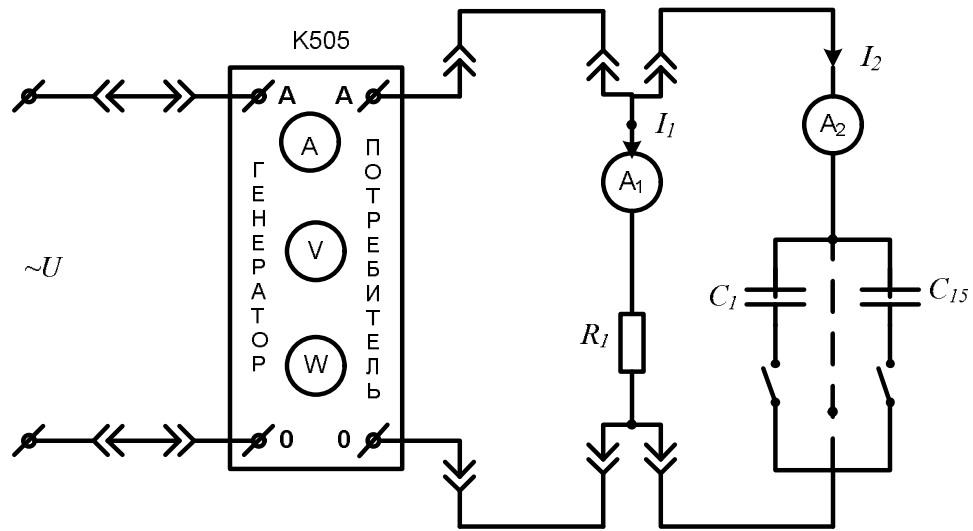


Рис.4.8

Таблиця 4.3

Дані вимірювань						Результати обчислень						
						Конденсатор	Усе коло					
I	U	P	I_1	I_2	C	B_C	Y	G	B	$\cos \varphi$	I_a	I_p
A	B	Вт	A	A	мкФ	См	См	См	См		A	A

5. Скласти коло відповідно до рис.4.9 з паралельним з'єднанням конденсатора та котушки. Для цього необхідно замінити активний опір R_1 на котушку з активним опором R_k та індуктивністю L_k розташовану на панелі №4.

Змінюючи величину ємності в межах від $C = 0$ до $C = C_m$, визначити величини, наведені в табл. 4.4. Окремо відмітити резонанс ($C = C_0$), який фіксується за найменшим струмом у нерозгалуженому колі. Величину C_m визначає керівник занять.

6								
7								
8								
9								

2. Визначити величини наведені в табл. 4.2.

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}; \quad I_a = I \cdot \cos \varphi; \quad I_p = \sqrt{I^2 - I_a^2}; \quad I_{ka} = I_a - I_1$$

$$\sin \varphi_k = \frac{I_{kp}}{I_2}; \quad \cos \varphi_k = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_k};$$

$$Y_k = \frac{I_2}{U}; \quad G_k = Y_k \cdot \cos \varphi_k; \quad B_k = \sqrt{Y_k^2 - G_k^2};$$

$$Y = \frac{I}{U}; \quad G = Y \cdot \cos \varphi; \quad B = Y \cdot \sin \varphi; \quad \varphi = \arctg \frac{B_k - B_C}{G}.$$

де Y_k , G_k , B_k , φ_k – повна провідність, активна складова і реактивна складова провідності та кут зсуву фаз на котушці.

Побудувати вектору діаграму методом засічок відносно струмів у колі.

Порівняти теоретичні й практичні результати розрахунку φ_k .

3. Визначити величини наведені у табл. 4.3, використовуючи формули:

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}; \quad I_a = I \cdot \cos \varphi; \quad I_p = \sqrt{I^2 - I_a^2};$$

$$Y = \frac{I}{U}; \quad G = Y \cdot \cos \varphi; \quad B_C = Y \cdot \sin \varphi.$$

Побудувати вектору діаграму відносно струмів у колі.

4. За даними табл.4.4 побудувати векторні діаграми для випадків $C < C_0$, $C = C_0$, $C > C_0$.

5. За даними табл. 4.4 побудувати в масштабі на одному рисунку графіки залежностей $I = f(C)$, $\cos \varphi = f(C)$, $I_1 = f(C)$, $I_2 = f(C)$, $\varphi = f(C)$.

6. Написати в комплексній формі за даними табл. 4.2; 4.3 вирази провідностей котушки, активного опору і конденсатора. Зробити короткі висновки про виконану роботу.

4.4. Запитання і завдання для самоперевірки

1. Використовуючи результати вимірювань, показати, як виконується перший закон Кірхгофа.

2. Показати, як на підставі вимірювань обчислено Y , G , B .

3. Пояснити, як використовуючи покази лише вольтметра та амперметра, будується векторна діаграма для $R-L$, $R-C$ та $R-L-C$ кола.

4. Пояснити і проаналізувати, використовуючи відповідні формули, графіки $\cos \varphi = f(C)$, $\varphi = f(C)$.

5. Навести якісні і кількісні умови, при яких виникає резонанс струмів. У який спосіб можна його досягти?

6. Які явища виникають при резонансі струмів?

7. Яке практичне використання резонансу струмів?

8. Для випадку резонансу струмів напишіть вирази для струмів віток кола. Порівняйте їх величини.