

Лабораторна робота № 306 Перевірка закону Ома для змінного струму

Завдання: визначити індуктивність L та ємність C у колі змінного струму, перевірити справедливості закону Ома для змінного струму.

Приладдя: міліамперметр змінного струму 300 мА, котушка індуктивності з осердям, конденсатор C , цифровий мультиметр.

Теоретичний матеріал: змінний струм та його характеристики (квазістаціонарні струми), опір R , ємність C та індуктивність L в колі змінного струму, метод векторних діаграм.

Ідея роботи та виведення робочої формули.

Розглянемо коло з послідовно з'єднаних опору R , ємності C та індуктивності L (рис.1). Після під'єднання кола до джерела змінної напруги $U = U_0 \cos \omega t$ в колі виникне змінний струм цієї ж частоти $I = I_0 \cos(\omega t + \varphi)$. Тут φ – зсув фаз між коливаннями струму і напруги.

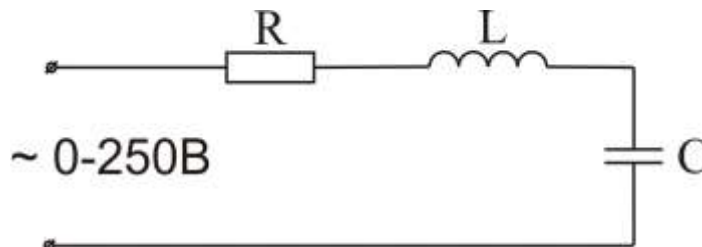


Рис.1. Експериментальна схема RLC-контурного кола.

Величина струму, що протікає через кожен з послідовно з'єднаних елементів (R , L і C), однакова. На опорі R спад напруги U_R та струм i змінюються з часом в однаковій фазі.

Взаємозв'язок між амплітудами цих величин можна записати:

$$U_{0R} = i_0 R$$

На діаграмі (рис.2) вектор амплітуди напруги, який зображає U_{0R} , відкладено вздовж осі струмів. Коливання напруги на ємності C (з амплітудою $U_{0C} = i_0 / \omega C$) запізнюються по фазі на $\pi/2$ від коливань струму, тому вектор U_{0C} повернемо відносно осі струмів на кут $-\pi/2$. Коливання напруги на індуктивності (з амплітудою $U_{0L} = i_0 \omega L$) випереджують коливання струму по фазі на $\pi/2$. Отже вектор, що його зображає U_{0L} , повернемо відносно осі струмів на кут $+\pi/2$. У результаті додавання векторів U_{0L} , U_{0C} та U_{0R} одержимо вектор, що зображає амплітуду прикладеної до кола напруги U_0 , і напрямлений під кутом φ до осі струмів.

Кут φ – це різниця фаз між коливаннями напруги U та струму i у колі, а тангенс цього кута, як впливає з рис.2, рівний:

$$\operatorname{tg} \varphi = (\omega L - 1 / \omega C) / R \quad (1)$$

Із прямокутного трикутника маємо:

$$U_0^2 = (i_0 R)^2 + [(\omega L - 1 / \omega C) i_0]^2$$

звідки

$$i_0 = U_0 / \sqrt{R^2 + (\omega L - 1 / \omega C)^2} \quad (2)$$

Це закон Ома для змінного струму. Величину

$$Z = R_{\text{заг}} = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (3)$$

називають повним опором кола або імпедансом. Вираз

$$X = \omega L - 1/\omega C \quad (4)$$

– реактивний опір.

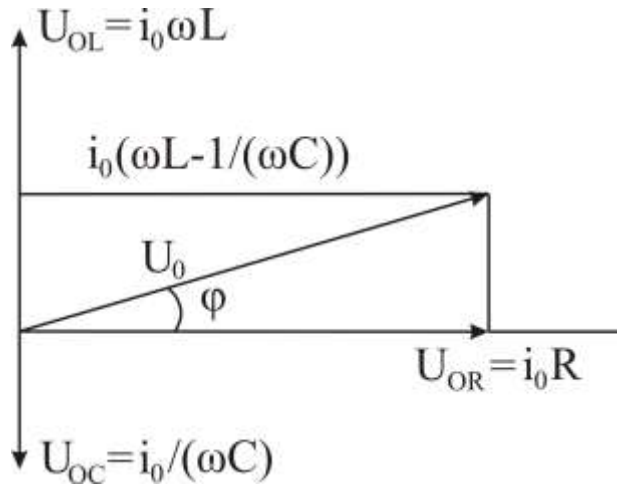


Рис. 2. Діаграма вектора амплітуди напруги у колі змінного струму.

1. Визначення індуктивності котушки.

Із формули (3) випливає, що повний опір реальної котушки рівний:

$$Z_L = \sqrt{r_L^2 + (\omega L)^2} \quad (5)$$

де r_L – активний опір котушки, L – її індуктивність.

Z_L можна визначити, якщо виміряти струм i у колі котушки і спад напруги U_L на котушці:

$$Z_L = U_{L\text{ef}} / i_{L\text{ef}} \quad (6)$$

Індуктивний опір котушки:

$$X_L = \omega L = \sqrt{(Z_L^2 - r_L^2)} \quad (7)$$

З виразу (7) одержимо:

$$L = X_L / \omega \quad (8)$$

Порядок виконання роботи

1. Складіть схему за рис. 3

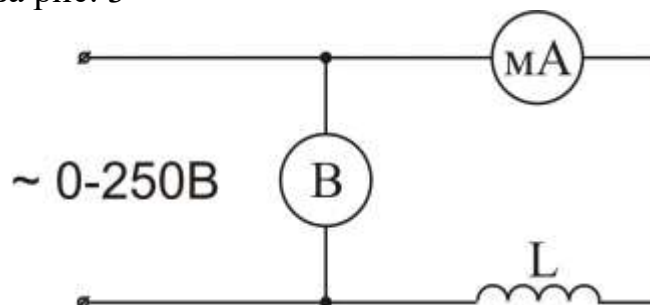


Рис.3 Експериментальна схема для визначення індуктивності L у колі змінного струму.

- Перевірте наявність ручки автотрансформатора у нульовому (виведеному проти годинникової стрілки) положенні.
- Поставте перемикач «ЛАТР» в положення «0-250 В» і, повертаючи ручку автотрансформатора, встановіть таку напругу живлення схеми $U_{\text{эф}}$, яка відповідає струму у колі $i_{\text{эф}} = 100$ мА, при відсутності у котушці осердя. Запишіть значення напруги живлення $U_{\text{эф}}$ у таблицю.
- Повторіть вимірювання для значень $i_{\text{эф}} = 120$ мА; 140 мА.
- Поставте осердя у котушку та повторіть вимірювання для відповідних значень струмів.
- Ручкою «ЛАТР» зменшіть струм до нуля і вимкніть схему.
- Цифровим мультиметром виміряйте активний опір котушки r_L .

Обробка результатів вимірювань

- Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю:

№ п/п	$U_{\text{эф}}$, В	$\Delta U_{\text{эф}}$, В	$i_{\text{эф}}$, мА	$\Delta i_{\text{эф}}$, мА	r_L , Ом	Δr_L , Ом	ω , Гц	Z_L , Ом	ΔZ_L , Ом	X_L , Ом	ΔX_L , Ом	L , Гн	ΔL , Гн
1			100										
2			120										
3			140										
с/з	\times		\times			\times			\times		\times		\times

- За формулами (6), (7) і (8) обчисліть Z_{Li} , X_{Li} , L_i у кожному випадку та визначіть їхні середні значення.
- За класом точності приладу знайдіть похибки вимірювання струму $I_{\text{эф}}$ та напруги $U_{\text{эф}}$ за формулами:

$$\Delta I = I_{\text{max}} \cdot k / 100\%,$$

$$\Delta U = U_{\text{max}} \cdot k / 100\%,$$

де k (%) – клас точності приладу, а $I_{i \text{ max}}$ та U_{max} – верхні межі вимірювання струму та напруги відповідними приладами.

- Обчисліть абсолютні та відносні похибки ΔZ_{Li} , ΔX_{Li} , ΔL_i за формулами:

$$\Delta Z_{Li} = Z_{Li} \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{\text{эф}}}{(U_{\text{эф}})_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_{\text{эф}}}{(I_{\text{эф}})_i}\right)^2} \quad \delta Z_L = \frac{\Delta Z_{L \text{ max}}}{\bar{Z}_{Li}} \cdot 100\%$$

$$\Delta X_{Li} = X_{Li} \sqrt{\left(\frac{\Delta Z_{Li} \cdot Z_{Li}}{(Z_{Li})^2 - (r_L)^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_L \cdot r_L}{(Z_{Li})^2 - (r_L)^2}\right)^2} \quad \delta X_L = \frac{\Delta X_{L \text{ max}}}{\bar{X}_L} \cdot 100\%$$

$$\Delta L_i = L_i \frac{\Delta X_{Li}}{X_{Li}} \quad \delta L = \frac{\Delta L_{\text{ max}}}{\bar{L}} \cdot 100\%$$

$\Delta Z_{L \text{ max}}$, $\Delta X_{L \text{ max}}$, $\Delta L_{\text{ max}}$ – максимальні значення похибок, отримані для Z_L , X_L , L .

- Кінцеві результати запишіть у вигляді:

$$Z_L = \bar{Z}_L \pm \Delta Z_{L \text{ max}} \quad \delta Z_L = \dots\%$$

$$X_L = \bar{X}_L \pm \Delta X_{L \text{ max}} \quad \delta X_L = \dots\%$$

$$L = \bar{L} \pm \Delta L_{\text{ max}} \quad \delta L = \dots\%$$

2. Визначення ємності конденсатора

При відсутності котушки і активного опору у колі із формули (2) одержуємо вираз:

$$i_{ef} = U_{ef} / (1 / \omega C) \quad (9)$$

де $1 / \omega C = X_c$ – опір конденсатора змінному струму, який визначається за формулою:

$$X_c = \frac{U_{ef}}{I_{ef}} \quad (10)$$

Ємність конденсатора рівна:

$$C = \frac{1}{\omega X_c} \quad (11)$$

Порядок виконання роботи

1. Складіть схему за рис. 4

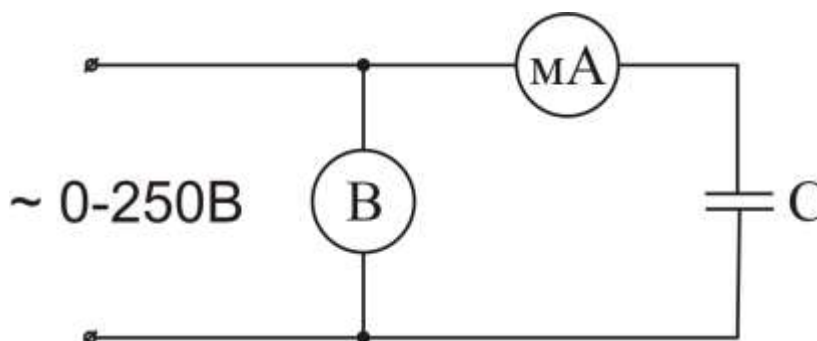


Рис.4. Експериментальна схема для визначення ємності конденсатора C у колі змінного струму.

2. Поставте перемикач «ЛАТР» у положення «0-250 В» і, повертаючи ручку автотрансформатора, встановіть таку напругу живлення схеми U_{ef} , яка відповідає струму у колі $i_{ef} = 100$ мА. Запишіть значення напруги живлення U_{ef} у таблицю.
3. Повторіть вимірювання для значень $i_{ef} = 120$ мА; 140 мА.
4. Ручкою «ЛАТР» зменшіть струм до нуля і вимкніть схему.

Обробка результатів вимірювань

1. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю:

№ п/п	U_{ef} , В	ΔU_{ef} , В	I_{ef} , мА	ΔI_{ef} , мА	X_c , Ом	ΔX_c , Ом	ω_c , рад/с	C , мкФ	ΔC , мкФ
1									
2									
3									
с/з	X		X			X			X

2. За формулами (10) і (11) обчисліть X_{Ci} та C_i , у кожному випадку та визначіть їхні середні значення.
3. Обчисліть абсолютні та відносні похибки ΔX_{Ci} , ΔC_i за формулами:

$$\Delta X_{C_i} = X_{C_i} \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{e\phi}}{U_{e\phi i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_{e\phi}}{I_{e\phi i}}\right)^2}$$

$$\Delta C_i = C_i \frac{\Delta X_{C_i}}{X_{C_i}}$$

$$\delta X_C = \frac{\Delta X_{C_{\max}}}{\bar{X}_C} \cdot 100\%$$

$$\delta L = \frac{\Delta C_{\max}}{\bar{C}} \cdot 100\%$$

ΔX_{C_i} , ΔC_i – максимальні значення похибок, отримані для X_{C_i} та C_i

4. Кінцеві результати запишіть у вигляді:

$$X_C = \bar{X}_C \pm \Delta X_{C_{\max}} \quad \delta X_C = \dots\%$$

$$C = \bar{C} \pm \Delta C_{\max} \quad \delta C = \dots\%$$

3. Перевірка закону Ома

Знаючи індуктивний X_L , ємнісний X_C та активний r_L опори, можна при заданій напрузі $U_{e\phi}$ за формулою (2) обчислити струм у колі:

$$I_{e\phi.обч.} = \frac{U_{e\phi}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U_{e\phi}}{\sqrt{(r_L)^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (12)$$

Струм у колі також можна виміряти міліамперметром $I_{e\phi.вим.}$. Виміряні та обчислені з допомогою виразу (12) величини струму повинні в межах похибок співпадати.

Порядок виконання роботи

1. Складіть схему за рис. 5

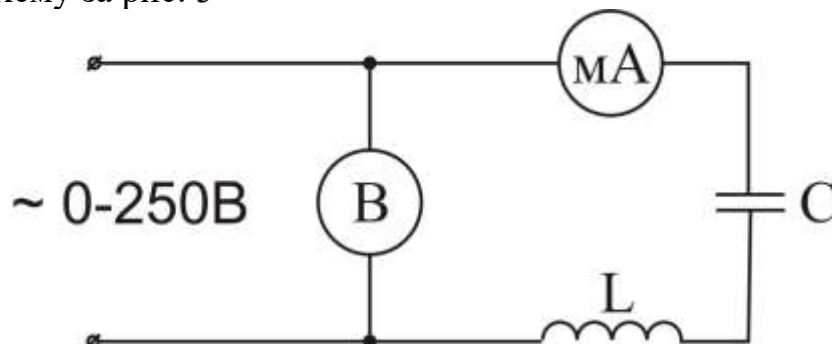


Рис.5. Експериментальна схема для перевірки закону Ома у колі змінного струму.

- Поставте перемикач «ЛАТР» в положення «0-250 В» і, повертаючи ручку автотрансформатора, встановіть таку напругу живлення схеми $U_{e\phi}$, яка відповідає струму у колі $i_{e\phi.вим.} = 100$ мА. Запишіть значення напруги живлення $U_{e\phi}$ у таблицю.
- Повторіть вимірювання для значень $i_{e\phi.вим.} = 120$ мА; 140 мА.
- Повторіть вимірювання при наявності осердя у котушці.

Обробка результатів вимірювання

- Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю:

№ п/п	$U_{\text{эф}},$ В	$\Delta U_{\text{эф}},$ В	$I_{\text{эф.вим}},$ мА	$\Delta I_{\text{эф.вим}},$ мА	$I_{\text{эф.обч}},$ мА	$\Delta I_{\text{эф.обч}},$ мА
1						
2						
3						

2. За формулою (12) обчисліть $I_{\text{вим.обч}}$.

3. Обчисліть абсолютні та відносні похибки за формулами:

$$\Delta I_{\text{эф.обч.і}} = I_{\text{эф.обч.і}} \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{\text{эф}}}{U_{\text{эф}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_L * r_L}{(r_L)^2 + (X_L - X_C)^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_L (X_L - X_C)}{(r_L)^2 + (X_L - X_C)^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_C (X_L - X_C)}{(r_L)^2 + (X_L - X_C)^2}\right)^2}$$

$$\delta I_{\text{эф.вим.і}} = \frac{\Delta I_{\text{эф.вим.і}}}{I_{\text{эф.вим.і}}} \cdot 100\%$$

$$\delta I_{\text{эф.обч.і}} = \frac{\Delta I_{\text{эф.обч.і}}}{I_{\text{эф.обч.і}}} \cdot 100\%$$

4. Кінцеві результати запишіть у вигляді:

$$I_{\text{эф.вим.і}} = I_{\text{эф.вим.і}} \pm \Delta I_{\text{эф.вим.і}}$$

$$\delta I_{\text{эф.вим.і}} = \dots \cdot 100\%$$

$$I_{\text{эф.обч.і}} = I_{\text{эф.обч.і}} \pm \Delta I_{\text{эф.обч.і}}$$

$$\delta I_{\text{эф.обч.і}} = \dots \cdot 100\%$$

5. Порівняйте $I_{\text{эф.вим}}$ та $I_{\text{эф.обч}}$.

6. Зробіть висновки про результати, отримані у роботі.

Контрольні запитання.

1. Що називають ефективним значенням змінного струму?
2. Закон Ома у колі змінного струму.
3. Повний, ємнісний та індуктивний опори у колі змінного струму.
4. Суть методу векторних діаграм.
5. За якої умови при наявності індуктивності у колі змінного струму не буде зсуву фаз між коливаннями струму і напруги.