

Лабораторія “Електрики та магнетизму”

Лабораторна робота №16

“ВИВЧЕННЯ ЗМІННОГО СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ В КОЛАХ З ІНДУКТИВНИМ ТА АКТИВНИМ ОПОРАМИ”

Мета роботи.

1. Вивчити характеристики змінного квазістаціонарного синусоїдального струму в колах, що містять активний та індуктивний опори.
2. Визначити залежність індуктивного опору від частоти електричного струму.
3. Визначити потужність, що виділяється в колі з активним та індуктивним опорами.

Вступ.

Розглянемо електричне коло, що складається з послідовно з'єднаних котушки індуктивності L та активного опору. Активний опір кола R складається з активного опору котушки R_a^L та активного опору R_a (рис.1).

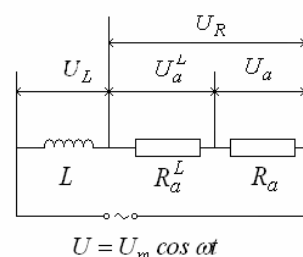


Рис.1.

Нехай струму у колі збуджується джерелом змінної напруги частотою ω

$$U = U_m \cos \omega t. \quad (1)$$

Знайдемо амплітуди та фази струмів та напруг на всіх ділянках кола.

Диференціальне рівняння, що описує коливання струму та напруги в даному колі має вигляд:

$$L \frac{dI}{dt} + RI = U, \quad (2)$$

де $R = R_a^L + R_a$ - повний активний опір кола, що включає активний опір котушки R_a^L та опір R_a , що обмежує струм у колі:

$$L \frac{dI}{dt} + I(R_a^L + R_a) = U. \quad (2a)$$

Для розв'язку рівняння (2a) можуть бути використані різні методи: алгебраїчний, метод векторних діаграм та ін.

Алгебраїчний метод полягає в тому, що ми шукаємо розв'язок рівняння (2) у вигляді:

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (3)$$

де φ - кут між струмом I в колі та прикладеною напругою U . Підставляючи (3) в рівняння (2) та прирівнюючи коефіцієнти при членах, що містять $\cos(\omega t)$ і $\sin(\omega t)$, отримаємо

$$I_m [R \cos \varphi + \omega L \sin \varphi] = U_m, \quad (4)$$

$$[R \sin \varphi + \omega L \cos \varphi] = 0, \quad (5)$$

звідки

$$\tan \varphi = \omega L / R, \text{ де } R = R_a^L + R_a - \text{повний активний опір кола.} \quad (6)$$

$$I_m = U_m / [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2}. \quad (7)$$

Відзначимо, що величина $X_L = \omega L$, пропорційна частоті ω та відіграє роль індуктивного опору.

Методу векторних діаграм наглядний. Напруга U , прикладена до кола, одночасно розподіляється на активному опорі R і на індуктивному опорі X_L

$$U_R = IR \text{ та } U_L = I\omega L. \quad (8)$$

Напруги U_R та U_L характеризуються величиною та фазою (або кутом). Максимальне значення напруги на активному опорі U_R та індуктивності U_L досягаються не одночасно: максимальне значення U_L досягається на чверть періоду раніше, ніж максимум U_R . Для побудови результуючої напруги U по складовим U_R и U_L , необхідно додати вектори U_R та U_L , скориставшись векторною діаграмою напруги.

Побудова векторної діаграми базується на тому, що величини U_R та U_L мають амплітуду і фазу, а отже можуть бути представлені у вигляді векторів. Для зручності побудуємо відповідні діаграми, використовуючи діюче значення напруг U_R та U_L , які в $\sqrt{2}$ раз менше амплітудних значень.

Діюче значення сили струму I однаково як в опорі R , так і в опорі X_L . Побудуємо вектор струму I на діаграмі (рис.2) в горизонтальному напрямку. Так як напруга U_R співпадає по фазі зі струмом I , то напрямок вектора U_R також співпадає з напрямком вектора струму I . Внаслідок закону електромагнітної індукції напруга на індуктивності $U_L = LdI/dt$ випереджає по фазі струм через індуктивність L на кут $\pi/2$. Це призводить до того, що вектор U_L направлений вздовж вертикальної осі вгору.

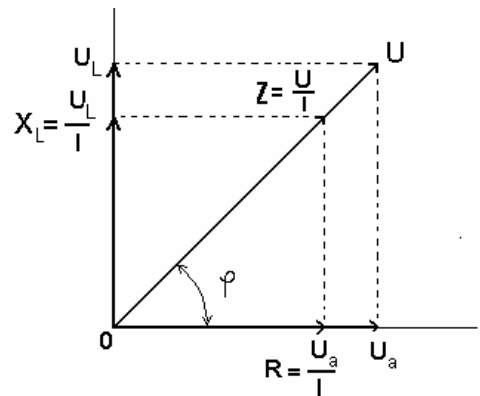


Рис.2.

Додавши вектора U_R та U_L , отримаємо вектор діючої напруги U , модуль якої дорівнює:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}. \quad (9)$$

Повний опір всього кола $Z = U/I$ з (9) дорівнює

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \text{ де } R = R_a + R_a - \text{повний активний опір кола.} \quad (10)$$

По відомих значеннях напруги U , що діє, і повному опорі Z можна знайти силу струму I :

$$I = U/Z = U/\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}. \quad (11)$$

З трикутника опорів (рис.2) можна визначити кут φ , який співпадає з виразом (6).

Миттєва потужність $P(t)$, що розсіюється в колі, дорівнює

$$P(t) = U_m I_m \cos(\omega t - \varphi) \cos \omega t, \quad (12)$$

і вже не є синусоїдальною величиною (рис.3). Середня за період активна потужність, що витрачається джерелом на активному опорі, дорівнює P_a

$$P_a = UI \cos \varphi, \quad (13)$$

де U - діюче значення напруги у вольтах, I - діюче значення струму в амперах, $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності, де кут φ визначається формулою (6), P_a - активна потужність у ватах.

Величина $P_j = UI$ називається повною потужністю. Повна потужність складається з активної потужності P_a і реактивної потужності P_r , яка визначається співвідношенням

$$P_r = UI \sin \varphi. \quad (14)$$

Між повною, активною, та реактивною потужністю існує співвідношення

$$P_j = \sqrt{P_a^2 + P_r^2} . \quad (15)$$

Додатна енергія, що поступає від джерела струму до котушки з активним опором, більша, ніж від'ємна енергія, що повертається джерелу струму. Різниця цих енергій дорівнює енергії, що поглинається активним опором кола. Площі, розташовані вище лінії часу, на рис.3 визначають величину додатної енергії, а розташовані нижче лінії часу - величину від'ємної енергії.

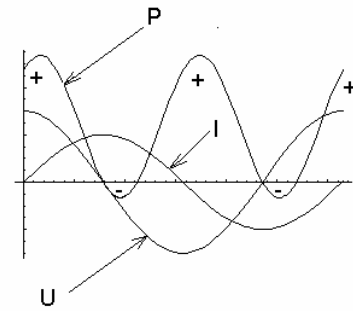


Рис.3.

Опис експериментальної установки.

Електрична схема установки для дослідження кола змінного синусоїдального струму з активним опором $R_a = 200 \text{ Ом}$ та індуктивностями $L_1 = 0,762 \text{ Гн}$, $L_2 = 4,57 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ показана на рис.4. Пластини X осцилографа підключені до ділянки кола з активним опором, а пластини Y - до ділянки кола з індуктивним опором.

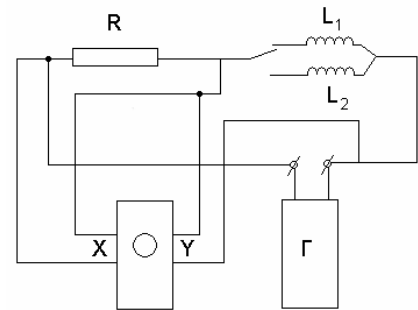


Рис.4.

Виконання роботи.

1. Визначити повний активний опір R_a^L котушок індуктивності $L_1 = 0,762 \text{ Гн}$ та $L_2 = 4,57 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.
2. Зібрати схему, зображену на рис.4.
3. Виставити частоту генератора 1 КГц .
4. Включити осцилограф і генератор. Виставити амплітуду генератора при якій фігура Ліссажу розміщується на екрані.
5. Виміряти падіння напруги U_R та U_L на активному опорі R та індуктивності L_1 . Виміряти падіння напруги на послідовно з'єднаних опорах R та індуктивності L_1 . Визначити силу струму зі співвідношення $I = U_R / R$.

6. По отриманим даним визначити індуктивний опір $X_L = \frac{\sqrt{U_L^2 - (U_a^L)^2}}{I}$, де $U_a^L = I R_a^L$.

7. Повторити пункти 1-5 для індуктивності $L_1 = 0,762 \text{ Гн}$, для частот 200 Гц , 400 Гц , 600 Гц , 800 Гц , 1000 Гц , 2000 Гц , 4000 Гц , 8000 Гц , 16000 Гц .

8. Повторити пункти 1-6 для індуктивності $L_2 = 4,57 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

9. Визначити коефіцієнт потужності, повну, активну та реактивну потужність кола.

10. Побудувати графік залежності індуктивного опору від частоти $X_L = X_L(\omega)$ для двох значень індуктивності та визначити індуктивності L_1 та L_2 . Порівняти отримані значення з значеннями індуктивностей котушок, наведених в опису роботи.

Контрольні питання.

1. Сформулювати закон електромагнітної індукції.
2. Що таке ЕДС самоіндукції котушки індуктивності?
3. У чому полягає правило Ленца?
4. Які методи дослідження ланцюгів з активними і реактивними опорами Ви знаєте?
5. Чому в індуктивності фаза напруги випереджає фазу струму?
6. Що таке реактивна та активна потужність?
7. Як визначити кут φ зсуву фази між струмом і напругою по фігурі Ліссажу?
8. Що таке коефіцієнт потужності?

Ленц Емілій Христіанович (Генріх Фрідріх Еміль) (12 лютого 1804 - 10 лютого 1865). Основні відкриття: закон електромагнітної індукції («Закон Ленца»), згідно якого напрям індукційного струму завжди таке, що він перешкоджає тій дії, якою він викликається (1883 р.); «Закон Джоуля и Ленца»: кількість теплоти, що виділяється струмом у провіднику, пропорційна квадрату сили струму і опору провідника (1844).



Джозеф Генрі (Joseph Henry) (1797–1878) Американський фізик, відомий роботами по електриці і магнетизму. У 1832 році відкрив незалежно від Майкла Фарадея самоіндукцію. Удосконалив електромагніт. Деякими істориками Генрі вважається винахідником телеграфу.