

Лабораторна робота №6

Тема: Вивчення властивостей нерозгалуженого кола з r , L , C .

Мета роботи: Дослідити властивості нерозгалуженого кола з r , L , C .

Наочність і обладнання: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Загальна електротехніка».

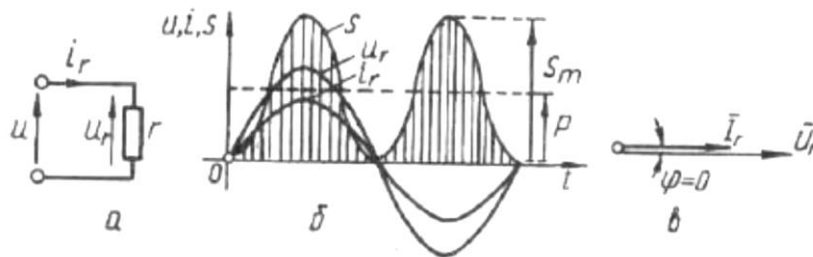
Теоретичні відомості

У загальному випадку електричне коло змінного струму може мати резистивні (r), індуктивні (L) та ємнісні (C) елементи.

У колах змінного струму безперервно змінюється струм, в результаті чого виникає напруга на котушці та струм в конденсаторі, які змінюються в часі. Розглянемо окремо ці елементи (опори) в колі змінного струму.

Резистивний опір r . Елемент r , в якому відбувається перетворення електромагнітної енергії в інші види енергії (теплову, променеву, механічну тощо) як необоротний процес, називають активним (резистивним) опором. До кола (мал. 1, а) прикладена синусоїдна напруга (для простоти викладення прийемо її початкову фазу ψ_u такою, що дорівнює нулеві):

$$u = U_m \sin \omega t = U \sqrt{2} \sin \omega t \quad (1)$$



Мал. 1. Резистивний опір в колі синусоїдного струму (а), часові залежності i_r , u_r , s (б) та векторна діаграма I_r , U_r (в)

Миттєве значення струму в колі згідно з законом Ома буде:

$$i = \frac{u}{r} = \frac{U_m}{r} \sin \omega t = I_m \sin \omega t = I \sqrt{2} \sin \omega t \quad (2)$$

де $I_m = \frac{U_m}{r}$.

Розділивши ліву і праву сторони останньої рівності на $\sqrt{2}$, одержимо закон Ома для кола з резистивним опором для діючих значень напруги і струму:

$$I = \frac{U}{r} \quad (3)$$

Із виразів (1) та (2) випливає, що струм і напруга на резистивному опорі збігаються за фазою; кут зсуву фаз між струмом та напругою $\varphi = \psi_u - \psi_i = 0 - 0 = 0$, а коефіцієнт потужності $\cos \varphi = \cos 0^\circ = 1$.

На мал. 1, б зображені часові залежності напруги, струму та миттєвої потужності $s(t)$, а на мал. 1, в наведена векторна діаграма напруги та струму в резистивному опорі.

Миттєве значення потужності визначається добутком миттєвого значення напруги на миттєве значення струму:

$$S(t) = u \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t = 2UI \cdot \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = UI(1 - \cos 2\omega t) \quad (4)$$

Як видно із (4) та з часової діаграми (мал. 1, б), потужність $s(t)$ в резистивному опорі змінюється від нуля до S_m і залишається завжди додатною. Це означає, що в колі з резистивним опором потужність (енергія) увесь час надходить із мережі до споживача r і незворотно перетворюється в інші види енергії. Визначимо середнє значення потужності за період $s(t)_{\text{сеп}}$. Цю потужність називають **активною потужністю P** .

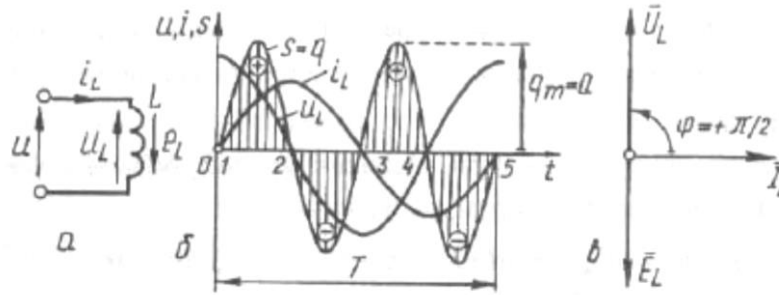
$$P = s(t)_{\text{сеп}} = \frac{1}{T} \int_0^T [UI(1 - \cos 2\omega t)] dt = UI$$

підставивши $U = rI$, одержимо

$$P = UI = rI^2 \quad (5)$$

Отже, активна потужність у резистивному опорі r перетворюється в тепло.

Котушка індуктивності L . Індуктивний опір x_L . Обвитки (котушки) електричних машин, трансформаторів, котушки різних електричних пристроїв володіють великою індуктивністю (фізична величина, що характеризує здатність провідника накопичувати енергію магнітного поля, коли в ньому протікає електричний струм). Параметрами котушок є резистивний опір r та індуктивність L . Розглянемо спочатку котушку, резистивний опір якої дуже малий і ним можна знехтувати – **ідеальну котушку** (мал. 2, а).



Мал. 2. Ідеальна котушка в колі синусоїдного струму (а), часові залежності i_L , u_L , s_L (б) та векторна діаграма i_L , U_L , E_L (в)

Під дією синусоїдної напруги струм в котушці теж буде синусоїдним:

$$i_L = I_m \sin \omega t = I \sqrt{2} \sin \omega t \quad (6)$$

Напруга на котушці така:

$$i_L = L \frac{di_L}{dt} = \omega L I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (7)$$

де $U_m = \sqrt{2}U = \omega L I_m = \omega L I \sqrt{2}$.

Розділивши ліву і праву частини останнього виразу на $\sqrt{2}$, одержимо закон Ома для кола змінного струму з індуктивністю:

$$I = \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{x_L}, x_L = \omega L = 2\pi f L \quad (8)$$

де x_L – індуктивний опір котушки, Ом.

Із виразів (6) і (7) випливає, що **напруга на котушці випереджує за фазою струм на 90°** (або струм відстає від напруги на 90°). Кут зсуву фаз між струмом і напругою котушки $\varphi = \psi_u - \psi_i = \frac{\pi}{2} - 0 = +\frac{\pi}{2}$, а коефіцієнт потужності $\cos \varphi = \cos \frac{\pi}{2} = 0$.

На мал. 2, б зображено часові залежності напруги, струму та миттєвої потужності $s(t)$, а на мал. 2, в наведена векторна діаграма напруги, струму та ЕРС самоіндукції котушки індуктивності.

Миттєве значення потужності $s(t)$ в колі з індуктивністю є:

$$s(t) = u \cdot i = U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \cdot I_m \sin \omega t = 2UI \cdot \frac{\sin 2\omega t}{2} = UI \sin 2\omega t \quad (9)$$

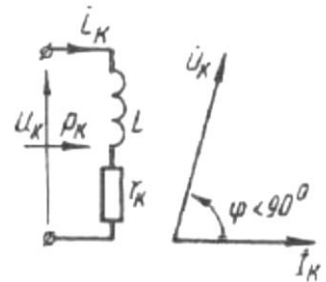
а середнє значення цієї потужності за період (активна потужність) дорівнює нулеві:

$$P = s(t)_{\text{сеп}} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI \sin 2\omega t dt = 0$$

Для з'ясування енергетичних процесів у колі з індуктивністю використаємо часові залежності миттєвих значень u , i , $s(t)$ (мал. 2, б). В інтервалі часу від $t = 0$ (точка 1) до $t = \frac{1}{4}T$ (точка 2), коли струм в колі зростає від 0 до I_m , електрична енергія з мережі надходить в індуктивність ($s(t) > 0$) і нагромаджується в ній у вигляді енергії магнітного поля. Найбільше значення цієї енергії є при максимальному струмі: $W_m = \frac{LI_m^2}{2}$. В інтервалі часу між точками 2 і 3 струм у колі зменшується і енергія магнітного поля котушки повертається в мережу ($s(t) < 0$). В момент часу, що відповідає точці 3, струм і енергія магнітного поля дорівнюють нулеві.

Отже, в колі з індуктивністю наявний неперервний періодичний процес обміну енергією між електричною мережею (джерелом електроенергії) і магнітним полем індуктивності. Цю енергію називають **реактивною потужністю**. Отже, миттєве значення потужності $s(t)$, що підходить до ідеальної котушки ($r_k = 0$), - це миттєве значення реактивної потужності $q(t)$, а максимальне її значення q_m називають **реактивною потужністю Q** .

Як правило, реальна котушка, крім індуктивності L , має ще резистивний опір r_k . Цей опір зумовлений присутністю самого опору провідника котушки ($r_{пр} = \frac{\rho l}{S}$) та опору, що імітує втрати електроенергії в сталі ($\Delta P_{ст}$) магнітопроводу котушки ($r_{ст} = \frac{E^2}{\Delta P_{ст}}$, де E - ЕРС самоіндукції котушки). Повний резистивний опір котушки $r_k = r_{пр} + r_{ст} = \frac{P_k}{I_k^2}$, де P_k - активна потужність, що йде на втрати в котушці, I_k - струм котушки. В цьому випадку кут зсуву фаз $\varphi_k < 90^\circ$; схема і векторна діаграма мають вигляд, показаний на мал. 3.

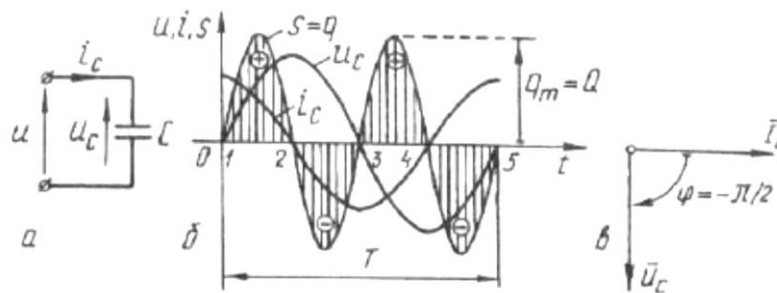


Мал. 3. Векторна діаграма струму та напруги реальної котушки

Конденсатор С. Ємнісний опір x_c . У будь-якій електричній установці ємності утворюються між проводами і землею (наприклад, в лініях електропостачання) та іншими елементами струмоведучих конструкцій. В силових установках конденсатори використовують для підвищення коефіцієнта потужності; в радіотехніці конденсатори використовують в коливних контурах, фільтрах тощо.

Нехай до конденсатора (мал. 4, а) прикладена синусоїдна напруга:

$$u = u_c = U_m \sin \omega t \quad (10)$$



Мал. 4. Ідеальний конденсатор в колі синусоїдного струму (а), часові залежності i_c , u_c , s (б) та векторна діаграма I_c , U_c (в)

Тоді струм в конденсаторі знайдемо із співвідношення

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} = C \frac{d}{dt} (U_m \sin \omega t) = \omega C U_m \cos \omega t \quad (11)$$

або

$$i_c = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (12)$$

$$\text{де } I_m = \omega C U_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}.$$

Поділимо ліву і праву сторону останнього виразу на $\sqrt{2}$. Отримаємо закон Ома для кола з конденсатором:

$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{x_c}, \quad x_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (13)$$

де x_c - ємнісний опір, Ом.

Хід роботи:

1. Ознайомитись і записати до звіту відомості про резистивний опір r .
2. Ознайомитись і записати до звіту відомості про індуктивний опір x_L .
3. Ознайомитись і записати до звіту відомості про ємнісний опір x_c .
4. Напишіть висновок за результатами виконаної роботи.

5. Дайте відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання:

1. Що називають активною потужністю P ?
2. Що називають ідеальною котушкою?
3. Що таке реактивна потужність?
4. Пояснити поняття – період та частота змінного струму.
5. Що називають середнім значенням синусоїдального струму за напівперіод?
6. Улаштування найпростішого генератора змінного струму.