

Лекція 3

Параметри електричних
ланцюгів змінного струму

ПЛАН

1. Коло змінного струму з активним опором.

2. Коло змінного струму з індуктивністю.

3. Коло змінного струму з ємністю.

Електричне коло змінного струму характеризують трьома параметрами

**активним опором,
індуктивністю
ємністю**

Таким чином, у колах змінного струму існують наступні види навантаження:

- Активне
- Індуктивне
- Ємнісне

Активний опір

Активний - це опір у колі змінного струму, в якому відбувається незворотне перетворення електричної енергії в інші види енергії, з виділення великої кількості теплоти. Позначається - R , Ом. Приклад - опір дроту реостату, дроти кола, нитка електричної лампи. Активний опір не залежить від частоти струму. Позначення активного опору в схемах та його залежність від частоти струму вказані на рис.1.

Активний опір

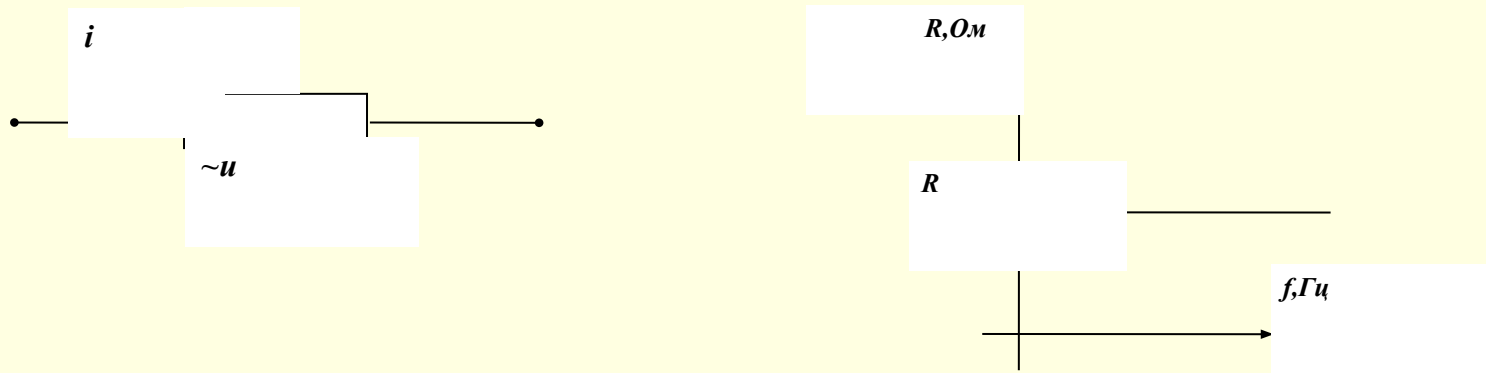


Рисунок 1 - Позначення активного опору в схемах (1) та його залежність від частоти струму (2)

АКТИВНИЙ ОПІР

- Розглянемо коло змінного струму з одним активним опором і уявимо, що вплив індуктивності та ємності на процеси незначний.

- У колі з резистивним елементом при синусоїдній напрузі

$$u = U_m \sin \omega t$$

- проходить синусоїдний струм, так як по закону Ома:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

- Тобто, у будь-який момент часу миттєве значення струму пропорційно миттєвому значенню напруги і графіки струму та напруги будуть співпадати за напрямом.
- У колах з активним опором струм й напруга збігаються за фазою (сінфазні):

$$\varphi = \Psi_u - \Psi_i = 0$$

Активний опір

Спад напруги на активному опорі теж збігається за фазою зі струмом.

Закон Ома для усіх значень струму та напруги в цьому колі буде:

$$U = I \times R,$$

$$U_m = I_m \times R,$$

$$u = i \times R$$

Активний опір

- Хвильова та векторна діаграми струму і напруги у колі з резистивним елементом приведенні на рис.3

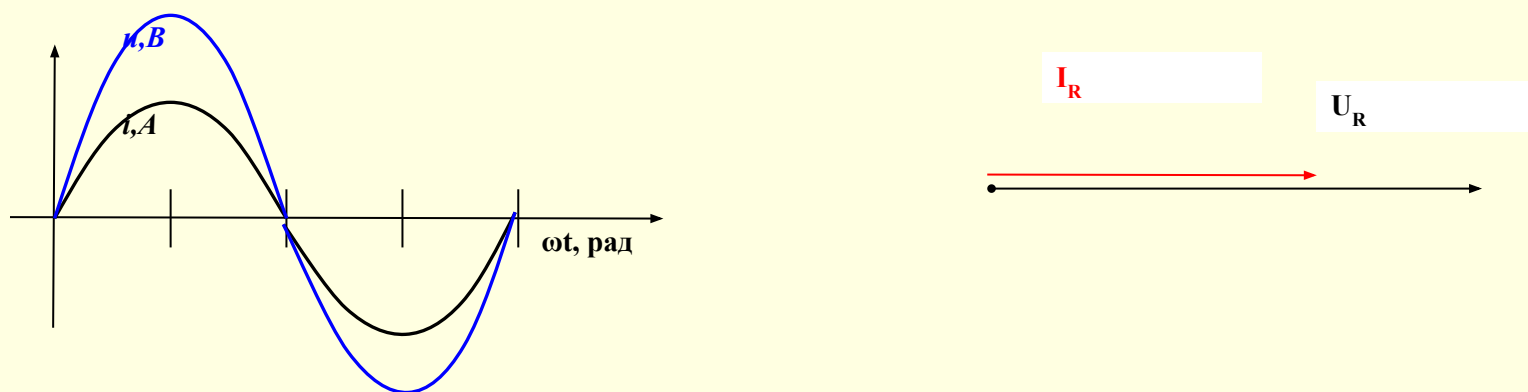


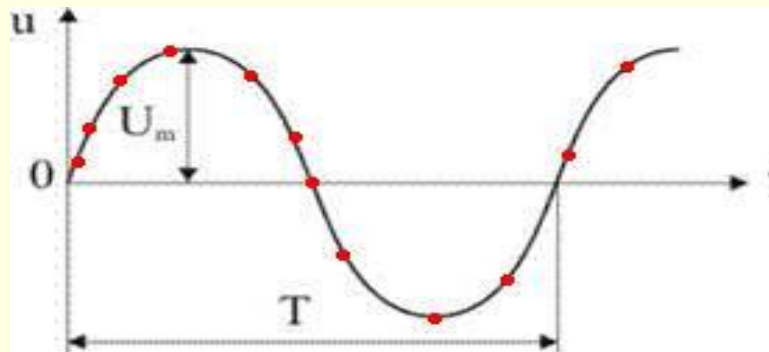
Рисунок 3 - Хвильова та векторна діаграми струму і напруги у колі з резистивним елементом

Змінні величини характеризують наступними значеннями

- **Миттєве значення** - значення струму, напруги та ЕРС у довільний момент часу. Миттєві величини позначаються малими латинськими літерами e , u , i , p .

$$i = i(t), \quad u = u(t), \quad e = e(t)$$

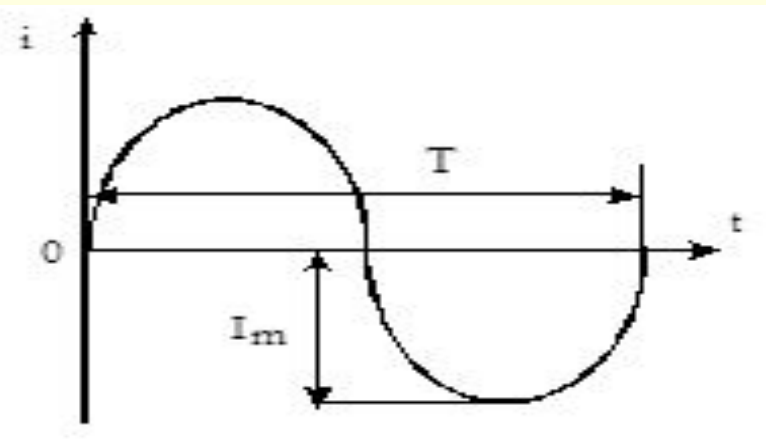
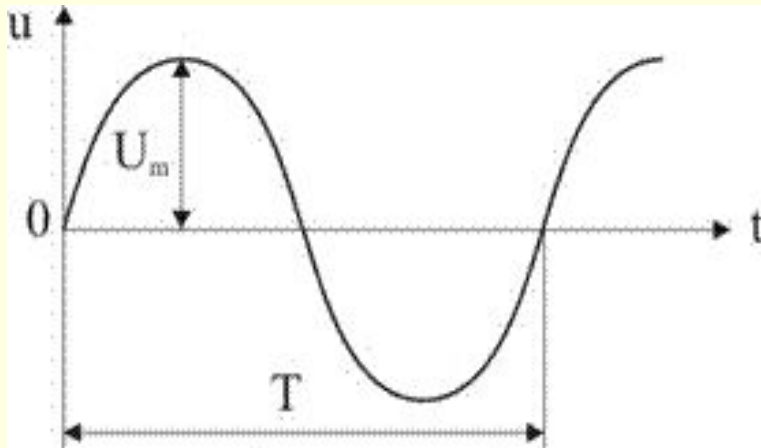
- Миттєвих значень за 1 період безкінечна кількість.



Змінні величини характеризують наступними значеннями

■ **Максимальне значення** (амплітудне) - найбільше миттєве значення за період. Максимальні величини позначаються Великими латинськими літерами з індексом m :

$$I_m, \quad U_m, \quad E_m$$



Діюче значення змінного струму

- Діюче значення змінного струму - це таке значення постійного струму, який протікаючи скрізь той же опір, що і змінний струм, та виділяє у ньому за період ту же кількість тепла.
- Діюче значення синусоїдного струму - це його середньоквадратичне значення за період і воно менше за амплітудне у $\sqrt{2}$ раз:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707I_m \qquad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \qquad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Кожна змінна величина характеризується

- Максимальним значенням I_m , U_m , E_m
- Змінюється за законом \sin .
- Обертається з кутовою швидкістю ωt .

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$e = E_m \sin \omega t$$

Перевірка

Миттєве значення струму математично описується $i = 5 \sin(\omega t + 30^\circ)$

Значення активного опору 10 Ом.

Знайти максимальне та діюче значення струму та напруги. Записати миттєве значення напруги.

Реактивний опір

В елементах кола з індуктивністю та ємністю енергія у вигляді тепла не виділяється, а періодично накопичується у магнітному та електричному полях, а потім повертається до джерела електроенергії.

Ці елементи називають реактивними і їх вплив враховують реактивним опором. У техніці зустрічаються кола, в яких може переважати той чи інший параметр, тоді коли інші параметри виявлені слабо і ними можна нехтувати.

Реактивний опір

- Реактивний індуктивний опір (індуктивність). Позначається - $X_L, \text{Ом}$.
Приклад - ненавантажений трансформатор, котушка.
- Реактивний ємнісний опір (ємність).
Позначається - $X_C, \text{Ом}$.
Приклад - кабельна лінія без навантаження, конденсатор.

Індуктивний опір

Електричні машини змінного струми, трансформатори, електромагніти, реле, контактори мають обмотки (катушки). Будь-яка катушка володіє індуктивністю, опором і ємністю. У деяких випадках параметри опору і ємності незначні і практично не впливають на фізичні процеси в електричному колі. Ці катушки близькі до ідеальної, в якій враховують лише індуктивність. Позначення індуктивного опору в схемах та його залежність від частоти струму вказані на рис4.

Індуктивність

Індуктивність характеризує здатність елемента електричного кола створювати магнітне поле при протіканні по ньому струму. Якщо струм постійний, а ідеальний індуктивний елемент не має активного опору, то він не гріється. Спад напруги на такому елементі дорівнює нулю. У колі змінного струму індуктивність створює навколо себе змінне магнітне поле, яке індукує у витках елемента ЕРС самоіндукції.

Індуктивний опір

Індуктивність у колах змінного струму враховують реактивним індуктивним опором, величина якого збільшується з ростом частоти:

$$x_L = \omega L = 2\pi fL,$$

де L - індуктивність котушки, Гн

ω - кутова частота, с⁻¹

f - частота струму, Гц

Індуктивний опір

З графіка залежності індуктивного опору від частоти видно, що при дуже високих частотах струм скрізь котушку з великою індуктивністю практично не проходить.

У колі постійного струму частота дорівнює нулю.



Рисунок 4 - Позначення індуктивного опору в схемах (1) та його залежність від частоти струму (2)

ІНДУКТИВНІСТЬ

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = LI_m \frac{d(\sin \omega t)}{dt} = \omega LI_m \cos \omega t = x_L I_m \cos \omega t = U_m \cos \omega t$$

Відомо, що синусоїда випереджує косинусоїду на 90° $\cos \varphi = \sin(\varphi + 90)$

$$u = U_m \overset{R=0}{\cos} \omega t = U_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad e_L = -u = -E_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ) = E_{Lm} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

А зсув за фазою між напругою та струмом буде:

$$\varphi = \Psi_u - \Psi_i = 90 - 0 = 90^\circ$$

Таким чином, напруга у колі з ідеальною котушкою $R=0$

випереджує струм на 90° (чи струм, витках котушці, відстає від прикладеної напруги на 90°).

Коло з індуктивністю

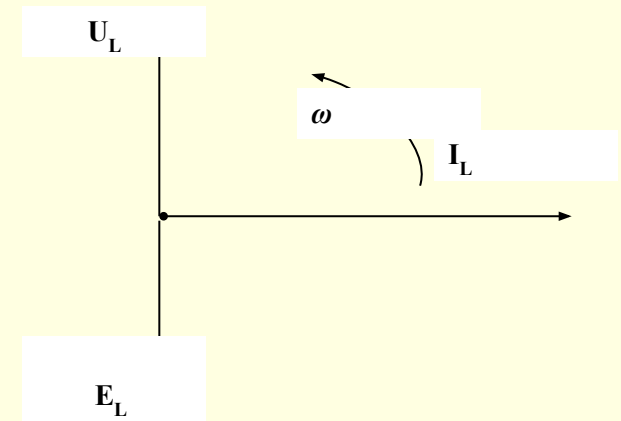
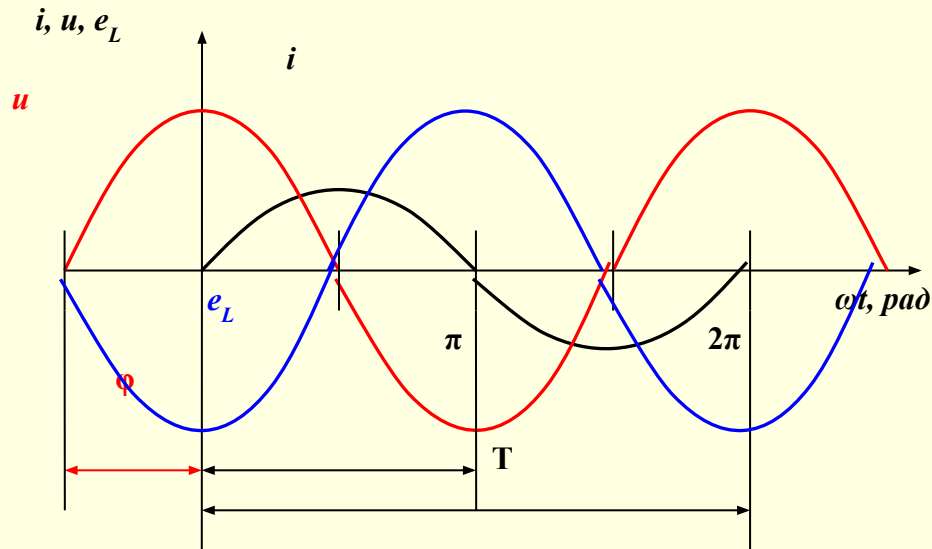


Рисунок 5 - Хвильова та векторна діаграми струму, напруги, ЕРС самоіндукції у колі з індуктивним елементом

Перевірка

Дайте відповідь на запитання:

Миттєве значення струму математично описується $i = 5 \sin(\omega t + 30^\circ)$

Значення індуктивного опору 10 Ом.

Знайти максимальне та діюче значення струму та напруги. Записати миттєве значення напруги.

Ємнісний опір

- Активний опір та індуктивність конденсаторів так малі, що ними можна знехтувати. Ідеальний ємнісний елемент (конденсатор) має ємність, яка характеризує його здатність накопичувати електричні заряди і створювати електричне поле. Позначення ємнісного опору в схемах та його залежність від частоти струму вказані на рис.6.

Коло з індуктивністю

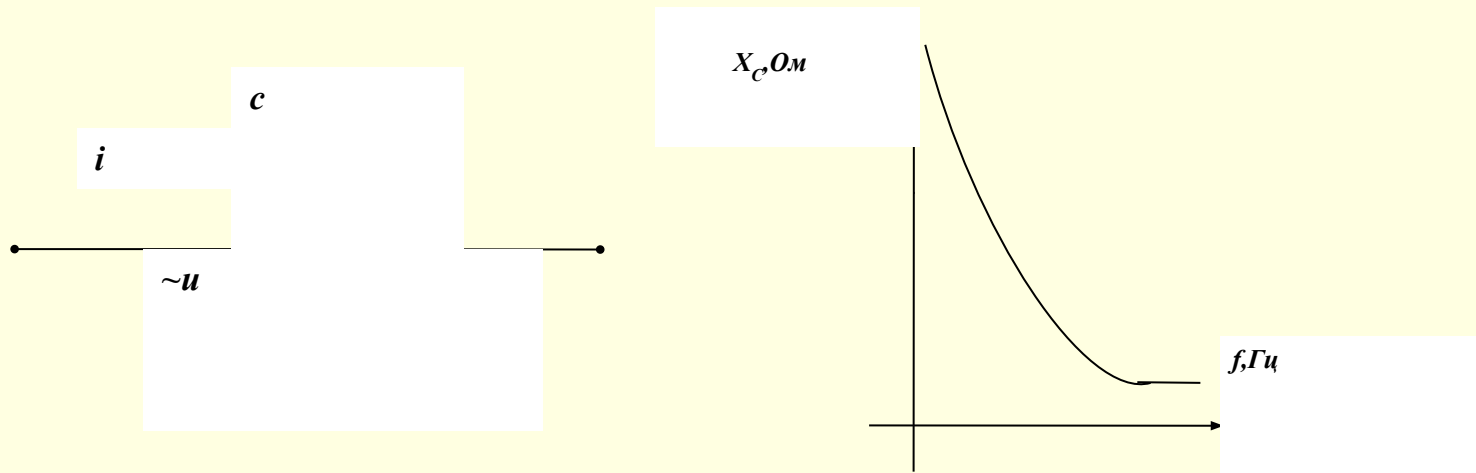


Рисунок 6 - Позначення ємнісного опору в схемах (1) та його залежність від частоти струму (2)

Коло з ємнісним опором

Конденсатор характеризується реактивним ємнісним опором:

$$x_C = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c},$$

де C - ємність конденсатора, Φ

ω - кутова частота, c^{-1}

f - частота струму, $\Gamma\zeta$

Коло з ємнісним опором

Якщо конденсатор приєднати до джерела з синусоїдною напругою $u = U_m \sin \omega t$, то під дією напруги на пластинах конденсатора з'явиться заряд $q = cu$. За першу і третю чверті періоду, коли напруга і заряд збільшуються, конденсатор заряджається і в колі виникає зарядний струм. За другу і четверту чверті періоду, коли напруга і заряд зменшуються, конденсатор розряджається і в колі виникає розрядний струм.

За другу і четверту чверті періоду, коли напруга і заряд зменшуються, конденсатор розряджається і в колі виникає розрядний струм. Таким чином, при змінній напрузі конденсатор періодично заряджається і розряджається й в колі протікає змінний струм провідності, який утворюється рухом вільних електронів цієї ділянки кола і дорівнює швидкості зміни заряду на пластинах конденсатора:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(cu)}{dt} = c \frac{du}{dt} = c \frac{d(U_m \sin \omega t)}{dt} = cU_m \frac{d(\sin \omega t)}{dt} = c\omega U_m \cos \omega t = \frac{U_m}{x_C} \cos \omega t = I_m \cos \omega t$$

Коло з ємнісним опором

- Відомо, що синусоїда випереджує косинусоїду на 90° : $i = I_m \sin(\omega t + 90)$
- Тоді зсув за фазою між напругою та струмом буде: $\varphi = \Psi_u - \Psi_i = -90^\circ$
- Таким чином, напруга у колі з ємністю відстає від струму на 90° (чи струм випереджує напругу 90°). Побудуємо діаграми струму і напруги для кола з чисто ємнісним елементом - рис.7.

Коло з ємнісним опором

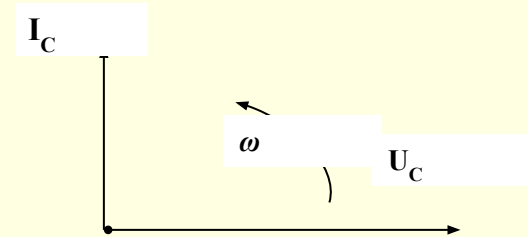
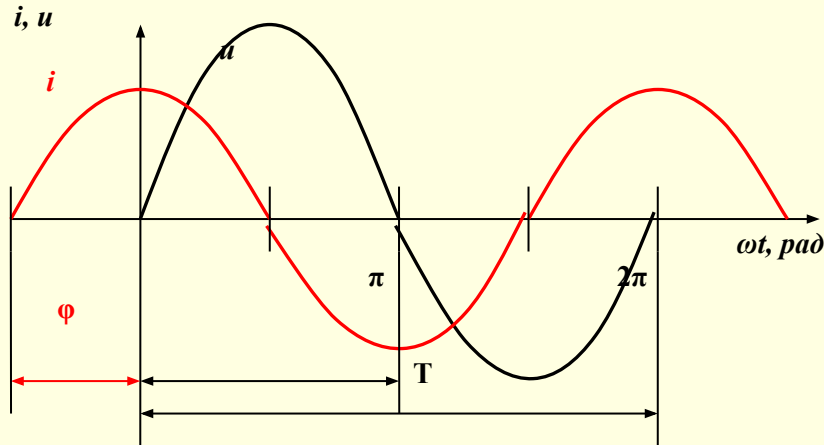


Рисунок 7 - Хвильова та векторна діаграми струму, напруги у колі з ємнісним елементом

Перевірка

Дайте відповідь на запитання:

Миттєве значення струму математично описується $i = 5 \sin(\omega t + 30^\circ)$

Значення ємнісного опору 10 Ом.

Знайти максимальне та діюче значення струму та напруги. Записати миттєве значення напруги.

Домашнє завдання

- 1) Законспектувати матеріал презентації.
- 2) Надати письмову відповідь з поясненнями на поставленні вище питання (слайд 13, 22, 30).
- 3) Вміти усно відповісти на запитання:
 - на що витрачається активна та реактивна енергія?
 - як направлені струм та напруга в колі з активними та реактивними елементами? Чому?

Підсумок



- Розглянуто основні параметри ланцюгів про змінний струм.
- Розглянуто ланцюг з активним та реактивним опором.
- Розглянуто векторні діаграми ланцюга змінного струму з активним опором, індуктивністю, ємністю.

