

1. Загальні відомості про однофазні лінійні електричні кола (ЛЕК) синусоїдного змінного струму (СЗС).

1.1. Основні визначення.

1.1.1. **Однофазне лінійне електричне коло (ЛЕК)** синусоїдного змінного струму (СЗС) являє собою однопровідне лінійне електричне коло, по якому протікає однофазний СЗС, яке містить наступні лінійні елементи: активний опір (резистор, R), реактивний опір індуктивного спрямування (котушка індуктивності, L) та реактивний опір ємнісного спрямування (конденсатор, C).

Ці елементи кола є лінійними тому, що вони мають відповідні лінійні вольт-амперну, веберамперну та кулонвольтну характеристики, тобто лінійні залежності спаду напруги на резисторі і магнітного потоку на котушці індуктивності від величини протікаючого по ним струму та заряду конденсатору від величини прикладеної до його обкладинок напруги. Основними параметрами електричного кола є активні, реактивні та повні опори, провідності та втрати потужності.

1.1.2. **Однофазний СЗС** це електричний струм, що протікає в однопровідному (однофазному) лінійному колі та має параметри, значення яких змінюється протягом часу за величиною і напрямком згідно синусоїдному закону таким чином, що повний цикл зміни відбувається за рівні проміжки часу, які називаються періодом, T , з циклічною частотою, f . Основними параметрами однофазного СЗС є величини струму, ЕРС та напруги, а також циклічна та кутова частоти їх зміни за синусоїдним законом і кути початкових фаз миттєвих значень цих параметрів.

1.1.3. **Циклічна частота** це кількість циклів (кількість одиничних синусоїд) зміни миттєвих значень параметрів СЗС протягом

1 секунди. В промислових мережах електропередач циклічна частота складає: $f = 50 \text{Гц} (c^{-1})$ (в США $f = 60 \text{Гц}$). Тоді період, як тривалість процесу повної синусоїдної зміни миттєвих значень параметрів струму, дорівнює оберненому значенню циклічної частоти, що складає $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02c$.

1.2.3. Закон електромагнітної індукції визначає залежність величини ЕРС, що індукується у провіднику від магнітної індукції магнітного потоку, B , довжини провідника, ℓ , та швидкості перетинання, \bar{V} , з урахуванням кута взаємного розташування векторів швидкості, \bar{V} , та магнітної індукції, \bar{B} .

Він формулюється наступним чином: “При переміщенні провідника довжиною ℓ зі швидкістю \bar{V} в магнітному полі, що має магнітну індукцію \bar{B} , в ньому індукується ЕРС e , величина якої прямо пропорційна довжині провідника, лінійній швидкості і магнітній індукції з урахуванням синуса кута α між векторами лінійній швидкості і магнітній індукції, та дорівнює добутку цих величин”. Отже, ЕРС e , що індукується в провіднику, дорівнює:

$$e(t) = B \cdot \ell \cdot V \cdot \sin \alpha = E_m \cdot \sin \omega t \left[\frac{B \cdot c}{\text{м}^2} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{м}}{c} = B \right] \quad (1)$$

де $B, \text{Тл} = \frac{B \cdot c}{\text{м}^2}$, - магнітна індукція;

$\ell, \text{м}$ - довжина провідника;

$V, \frac{\text{м}}{c}$ - лінійна швидкість руху провідника;

$\alpha = \omega t$ - кут, що створюють вектори \bar{V} і \bar{B} ;

$\omega_f = 2\pi \cdot f, \frac{\text{рад}}{c}$, - кутова частота;

t, c - час.

1.2.4. Іншим визначенням закону електромагнітної індукції є наступне формулювання: “ЕРС, e , що індукується в провіднику прямо пропорційна швидкості зміни магнітного потоку, що діє на провідник”. Вона дорівнює першій похідній від магнітного потоку за часом:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2)$$

де $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha = \Phi_m \cdot \cos \alpha$ - магнітний потік, Вб ;

$\alpha = \omega t$ - кут між нормаллю до витка обмотки генератора і вектором магнітного потоку.

Підставляючи в рівняння (2) величину $\Phi = \Phi_m \cdot \cos \omega t$, отримаємо:

$$e = - \frac{d\Phi_m \cdot \cos \omega t}{dt} = \omega \Phi_m \cdot \sin \omega t = E_m \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

де $\omega \cdot \Phi_m = E_m [c^{-1} \cdot B \cdot c = B]$ - амплітудне значення ЕРС.

Таким чином, величина ЕРС, e , що індукується в витках обмоток генератора, змінюється за синусоїдним законом від E_m при $\alpha = 90^\circ$ до $- E_m$ при $\alpha = 270^\circ$, приймаючи значення $e = 0$ при $\alpha = 0$ та 180° .

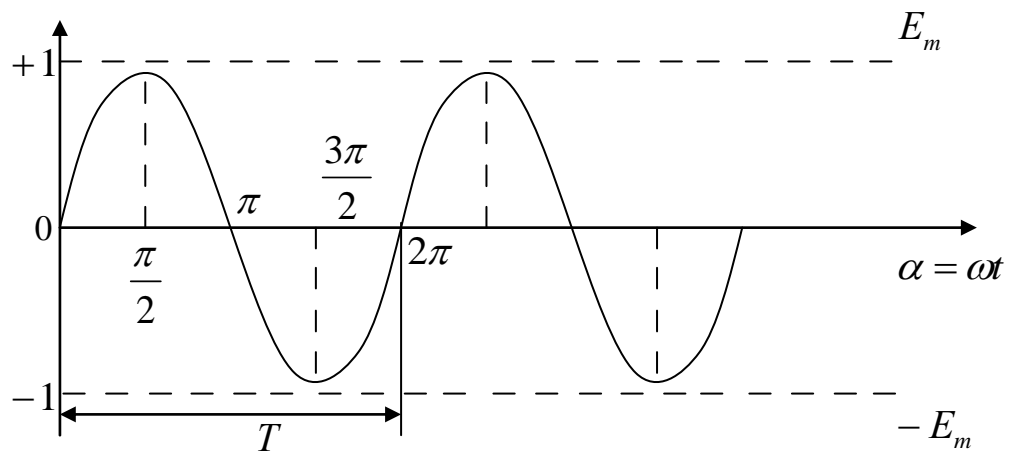


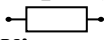
Рис.1. Залежність $\ell = E_m \cdot \sin \omega t$ при $\varphi_e = 0$.

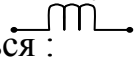
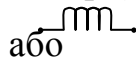
1.2.5. Напряг ЕРС визначається за правилом правої руки: “Якщо праву руку розташувати долонею на зустріч магнітним силовим лініями так, щоб великий палець співпадав з вектором швидкості, то 4 інші пальці вкажуть напрям ЕРС”.

2. Основні параметри лінійних електричних кіл однофазного СЗС та способи їх представлення.


2.1. Основні елементи і параметри Іф ЛЕК.

2.1.1. Основними елементами схем заміщення Іф ЛЕК є:

1) Активний опір (резистор, R), що має таке позначення, що й в колах постійного струму:  ;

2) Реактивний індуктивний опір (котушка індуктивності, L), що позначається:  або  ;

3) Реактивний ємнісний опір (конденсатор, C), що позначається:

; 

2.1.2. Величини опорів ЛЕК СЗС:

1) Активний опір ЛЕК СЗС так же, як і в колах постійного струму, для температури 20 °С дорівнює:

$$R_0 = \rho \frac{\ell}{S} = \frac{\ell}{\gamma \cdot S} [\text{Ом}], \quad (2.1)$$

де $\rho, \text{Ом} \cdot \text{м}$ - питомий опір, а $\gamma = \rho^{-1}, \frac{\text{См}}{\text{м}}$ - питома провідність.

2) Величина зворотна опору є активна провідність:

$$G = R^{-1}, \text{См} \quad (2.2)$$

Слід відзначити, що на відміну від постійного струму змінний струм розподіляється в провідниках нерівномірно по перерізу так, що густина струму складає найбільшу величину у поверхні, а на всі – найменшу. При цьому чим більшу провідність та магнітну проникність має провідник, тим більша нерівномірність розподілу густини струму по перерізу провідника. Це явище називається поверхневим ефектом. Завдяки цьому явищу величина активного опору СЗС декілька більша ніж постійному струму, але цю невелику різницю, як правило, в ЛЕК з зосередженими параметрами не враховують.

3) Реактивний опір, X_L , індуктивного спрямування дорівнює:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L [c^{-1} \cdot \text{Ом} \cdot c = \text{Ом}]$$

(2.4)

4) Величина зворотна індуктивному опору є індуктивною провідністю:

$$B_L = X_L^{-1} = -\frac{1}{\omega \cdot L} [\text{Ом}^{-1} = \text{См}] \quad (2.5)$$

5) Реактивний опір, X_C , ємнісного спрямування дорівнює:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \left[\frac{1}{c^{-1} \cdot Om^{-1} \cdot c} = Om \right] \quad (2.6)$$

6) Величина зворотна ємнісному опору є ємнісною провідністю:

$$B_C = X_C^{-1} = \omega \cdot C = 2\pi f \cdot C [Om^{-1} = Cm] \quad (2.7)$$

7) Повні значення реактивного опору, X , і реактивної провідності, B , дорівнюють:

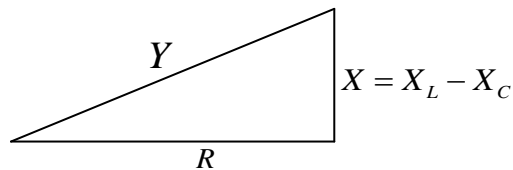
$$X = X_L - X_C = \omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2.8)$$

$$B = B_C - B_L = \omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L} \quad (2.9)$$

8) Повний опір та повна провідність послідовного з'єднання активного і реактивних опорів складає:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.10)$$

$$y = z^{-1}$$



Таким чином, основними параметрами кола СЗС є наступні параметри:

1) активні, реактивні і повні опри: R, X, Z , де

$$X = X_L - X_C = \omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}, \text{ а } Z = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

2) активні, реактивні і повні провідності: G, B, y , де $G = R^{-1}$;

$$B = B_C - B_L = \omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}, \text{ а } y = \sqrt{G^2 + B^2}.$$

2.2. Синусоїдні величини змінного струму та способи їх представлення.

2.2.1. Синусоїдні електричні величини змінного струму можуть бути представлені (зображені) наступними способами:

- 1) аналітичним способом, який передбачає аналітичні вирази миттєвих значень величин струмів, напруг та ЕРС разом з графічним зображенням їх залежностей від часу у вигляді часових діаграм;
- 2) графічним способом, що полягає в побудові векторних діаграм, де довжини радіусов-векторів являють собою амплітудні значення синусоїдних величин параметрів змінного струму, а кути нахилу радіусов-векторів до вісі абсцис надають їх початкові фази;
- 3) символічним (комплексним) способом, який є подальшим розвитком попереднього графічного способу і полягає в заміні миттєвих значень параметрів синусоїдного змінного струму (оригіналів) їх комплексними зображеннями (символами), а після розрахунків – в зворотному перетворенні комплексних зображень в миттєві значення.

2.2.2. Аналітичний спосіб представлення синусоїдних електричних величин параметрів змінного струму застосовується головним чином при теоретичних дослідженнях, постановці розрахункових завдань та викладанні

теоретичного матеріалу в науковій та навчальній літературі для зображення миттєвих значень змінного струму, напруги та ЕРС, а також опорів, провідностей і потужностей електричних кіл. Розглянемо основні зображення електричних величин цим способом.

Електричні величини (струми, напруги, ЕРС), які змінюються в часі за синусоїдним законом, називаються синусоїдними змінними величинами. Значення, яких ці величини набувають кожної миті часу, називаються **миттєвими значеннями**. Для позначення миттєвих значень струмів, напруг та ЕРС вживають малі літери: *i*, *u*, *e*. Величини, миттєві значення яких повторюються через рівні проміжки часу в однаковій послідовності, називають **періодичними**, а найменший проміжок часу, через який ці повторення відбуваються, називають **періодом T**. Таким чином, для періодичного струму:

$$i(t) = i(t + T) .$$

Величина, обернена періоду змінного струму, називається **частотою f** змінного струму: $f = 1/T$.

Частота вимірюється в герцах (Гц) : при частоті 1 Гц період $T = 1$ с, тобто $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$.

Постійний струм можна розглядати, як такий окремий випадок періодичного струму, для якого період **T** нескінченно великий, тобто частота дорівнює нулю.

Діапазон частот змінних струмів, що застосовуються в електротехніці, дуже широкий – від десятків до мільярдів герц. У енергетиці країн СНД та в державах Європи стандартною промисловою частотою є частота 50 Гц, у США – 60 Гц.

Найпростішими для математичного опису періодичними функціями є **синусоїдні функції**. Синусоїдні струми широко використовуються в електроенергетиці, для передачі інформації (зв'язок, радіомовлення, телемеханіка та ін.).

Миттєве значення синусоїдного струму описується, виразом:

$$i = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi\right)$$

де I_m – максимальне значення, або амплітуда струму, аргумент синуса $2\pi t/T + \psi$ – фаза синусоїдного струму

Кут ψ визначає фазу в момент часу при $t = 0$, і тому називається **початковою фазою**. Фаза синусоїдного струму з часом безперервно зростає, збільшуючись протягом періоду T на величину 2π . Величина $2\pi/T$ показує швидкість, з якою змінюється фаза, і позначається літерою ω .

$$\omega = \frac{2\pi t}{T} = 2\pi f$$

Цю величину називають **кутовою частотою**. Вимірюється вона числом радіанів, на яке фаза збільшується за секунду. Для частоти $f = 50$ Гц кутова частота $\omega \approx 314$ рад/с.

Миттєві значення синусоїдних струму, напруги та ЕРС запишемо тепер в найбільш поширеному вигляді:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$$

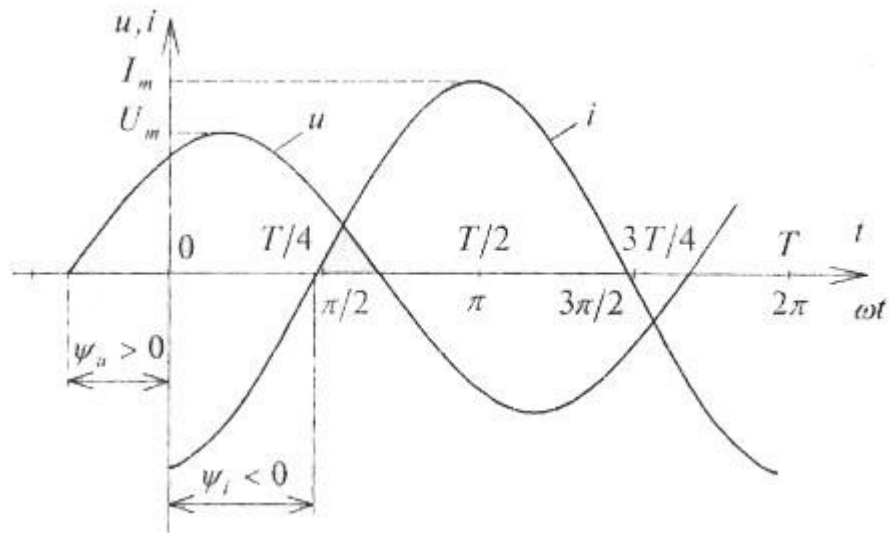


Рис 2.1

На рис. 2.1 побудовані залежності напруги u та струму i від t (або від пропорційної часу величини кутової частоти ωt). Це так звані часові діаграми. Початкова фаза функції відраховується від моменту початку синусоїди (при переході її через нульове значення від від'ємного до додатного) до початку координат. Для нашого прикладу маємо: $\psi_u > 0$, $\psi_i < 0$. Якщо початкові фази синусоїдних функцій однакової частоти не однакові, то кажуть, що ці функції зсунуті одна відносно одної по фазі. Різницю фаз при цьому називають **зсувом фаз** чи **кутом зсуву фаз**: $\varphi = \psi_u - \psi_i$.

2.2.3. Графічний спосіб зображення синусоїдних величин за допомогою векторних діаграм дає можливість графічного розрахунку цих величин, але його використання обмежується. Тому на його заміну було розроблено більш ефективний символічний (комплексний) спосіб (метод) представлення синусоїдних величин змінного струму, який розглядається в наступному навчальному питанні.