

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія природничих дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни «Фізика»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Аеронавігація**

**за темою - Змінний струм**

**Харків 2022**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від \_\_\_\_\_ 2022 № \_\_\_\_

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
ХНУВС  
Протокол від \_\_\_\_\_ 2022 № \_\_\_\_

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від \_\_\_\_\_ 2022 № \_\_\_\_

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол  
від 10.08.2022 № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст  
першої категорії, Москалик В.М.

**Рецензенти:**

1. Завідувач відділення фахової підготовки навчального відділу КЛК ХНУВС,  
к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.
2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного  
університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.

**План лекції:**

1. Змінний струм. Генератор змінного струму
2. Ємнісний та індуктивний опори змінного струму
3. Закон Ома для електричного кола змінного струму

**Література:****Основна:**

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К. : Техніка, 2008. – 608 с.
2. Трофімова Т.І. Курс фізики ; 11-е изд., стер. : навчальний посібник для вишів / Т.І. Трофімова. –К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 560 с.
3. Технічна термодинаміка ( Термодинаміка, теплопередача, теорія авіаційних двигунів) навчальний посібник: Л.В. Михненко. Міністерство цивільної авіації.

**1. Змінний струм. Генератор змінного струму**

У широкому розумінні електричний струм, який змінюється з часом, називають змінним. Розглянемо змінний електричний струм, який змінюється з часом за гармонічним законом. Це вимушені коливання струму в електричному полі, які відбуваються з частотою  $\omega$ , що збігаються з частотою змушуючої ЕРС.

Розглянемо замкнений контур площею  $S$  в однорідному магнітному полі з індукцією  $B$ . Контур рівномірно обертається навколо осі  $OO'$  з кутовою швидкістю  $\omega$  (рис. 1).

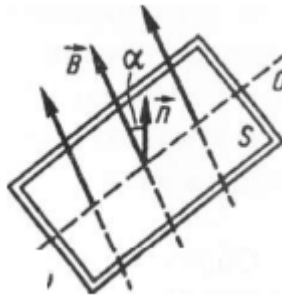


Рис. 1

Магнітний потік, який пронизує контур, визначається формулою  $\Phi = BS \cos \alpha$ , де  $\alpha$  - кут між вектором нормалі  $n$  до площини контуру і вектором  $B$ . У процесі рівномірного обертання контуру кут повороту  $\alpha$  змінюється з часом за законом  $\alpha = \omega t$ , а магнітний потік, який пронизує контур, - за законом

$$\Phi = BS \cos \omega t.$$

У замкнутому контурі виникає ЕРС індукції

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}.$$

Визначимо зміну потоку  $d\Phi$  за малий проміжок часу  $dt$ . Здиференціювавши  $\Phi = BS \cos \omega t$ , дістанемо

$$d\Phi = -\omega BS dt \sin \omega t.$$

Підставивши останній вираз у формулу  $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$ , дістанемо миттєве значення ЕРС:

$$\varepsilon = \omega BS \sin \omega t.$$

Як випливає з останньої формули, ЕРС індукції, яка виникає в замкненому контурі, в процесі його рівномірного обертання в однорідному магнітному полі змінюється з часом за законом синуса (рис. 2). ЕРС індукції максимальна при  $\sin \omega t = 1$ , тобто при  $\alpha = \omega t = \pi/2$ . Величина  $\varepsilon_0 = \omega BS$  називається амплітудним значенням ЕРС індукції.

Якщо такий контур замкнути на зовнішнє коло, то по колу проходитиме струм, сила і напрям якого змінюються.

Миттєве значення змінного струму, що проходить активним опором  $R$ , визначимо за законом Ома:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t,$$

де  $I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R}$  - амплітудне значення сили струму. Струм за фазою збігається з ЕРС (рис. 2).

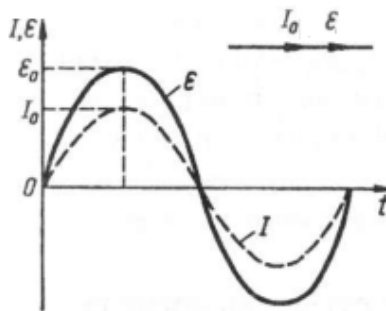


Рис. 2

Проміжок часу  $T$ , протягом якого змінна ЕРС здійснює одне повне коливання, називається періодом змінного струму. Кількість повних коливань, які здійснюються за 1 с, називають частотою змінного струму  $\nu$ . Наприклад, частота змінного струму 50 Гц, тобто 50 коливань за секунду. Це означає, що ЕРС і струм змінюють свій напрям 100 разів за секунду. Між коловою частотою змінного струму  $\omega$ , частотою і періодом існує такий зв'язок:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

## 2. Ємнісний та індуктивний опори змінного струму

Ємність у колі змінного струму

Нехай у коло змінного струму ввімкнено конденсатор ємністю  $C$ . Напруга і заряд на обкладках конденсатора змінюються за законом

$$U = U_0 \sin \omega t, Q = CU = CU_0 \sin \omega t.$$

Сила струму в колі  $I = dQ/dt$ . Використавши співвідношення для швидкості коливної точки, можна стверджувати, що струм – швидкість зміни заряду – випереджає коливання заряду за фазою на  $\pi/2$ :

$$I = C\omega U_0 \sin(\omega t + \pi/2) = I_0 \sin(\omega t + \pi/2)$$

Тут позначено  $I_0 = C\omega U_0$ . З порівняння останніх двох виразів випливає: змінний струм у колі з ємністю випереджає напругу за фазою на  $\pi/2$  (рис.

3).

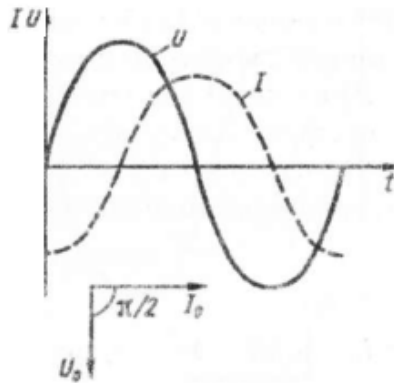


Рис. 3

Це відбувається тому, що при періодичному заряджанні конденсатора в колі проходить змінний струм, який досягає максимального значення в ті моменти часу, коли напруга дорівнює нулю. Для такого кола виконується закон Ома не для миттєвих, а для амплітудних значень. Якщо коло з увімкненим конденсатором має опір  $X_c$ , який називають ємнісним, то закон Ома має вигляд

$$I_0 = \frac{U_0}{X_c}.$$

З порівняння формул останніх двох формул випливає:

ємнісний опір обернено пропорційний ємності і коловій частоті змінного струму:

$$X_c = \frac{1}{\omega C}.$$

Індуктивність у колі змінного струму

Нехай по колу, яке містить тільки індуктивність  $L$ , проходить змінний струм вигляду  $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t$ . Цей струм збуджує в котушці ЕРС самоіндукції

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}.$$

За співвідношенням  $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t$  запишемо

$$\frac{dI}{dt} = I_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Підставимо цей вираз у  $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$ , позначивши

$$U_0 = \omega L I_0;$$

$$\varepsilon = -\omega L I_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = -U_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Напруга на індуктивності зрівноважується ЕРС самоіндукції, тобто

$$U = -U_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Отже, змінний струм у колі з індуктивністю відстає за фазою від напруги на  $\pi/2$  (рис. 4).

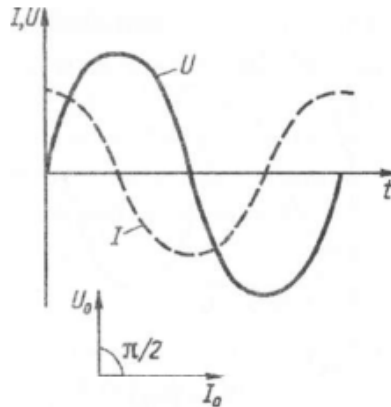


Рис. 4

Це відбувається тому, що при збільшенні сили струму ЕРС самоіндукції спричинює індукційний струм, який перешкоджає збільшенню основного струму, внаслідок цього сила струму досягає максимального значення пізніше, ніж напруга.

Записавши закон Ома для амплітудних значень у вигляді

$$I_0 = \frac{U_0}{X_L},$$

де  $X_L$  - індуктивний опір, і порівнявши останні дві формули, можна зробити висновок:

індуктивний опір пропорційний індуктивності і коловій частоті:

$$X_L = \omega L.$$

Індуктивний  $X_L$  і ємнісний  $X_C$  опори на відміну від активного опору  $R$  називають реактивними.

### 3. Закон Ома для електричного кола змінного струму

Послідовне з'єднання  $R$ ,  $C$ ,  $L$

Якщо електричне коло складається з послідовно з'єднаних активного опору  $R$ , ємності  $C$  та індуктивності  $L$ , то повну напругу в цьому колі можна визначити з векторної діаграми. Додаючи вектори амплітуд напруг, дістанемо амплітуду результуючого коливання. Розмістимо вісь струмів горизонтально (рис. 5). Оскільки струм і напруга на активному опорі  $R$  збігаються за фазою, то на діаграмі вектор  $U_R$  (амплітудне значення напруги на активному опорі) розміщений горизонтально. Напруга на ємності відстає від струму на  $\pi/2$ , тому вектор  $U_C$  повернутий відносно струму на кут  $\pi/2$  за рухом стрілки годинника. Напруга на індуктивності випереджає струм на  $\pi/2$ , тому вектор  $U_L$  повернутий відносно струму на кут  $\pi/2$  проти руху стрілки годинника. Як видно з рис. 5, вектори  $U_L$  і  $U_C$  напрямлені в протилежні боки, тому від їх

додавання дістаємо вектор, модуль якого дорівнює  $|U_L - U_C|$  і напрямлений у бік більшого вектора. Додавши послідовно вектори, знайдемо амплітудне значення вектора який результує напругу  $U_0$ . Як видно з діаграми, вектор  $U_0$  зсунутий відносно струму на кут  $\varphi$ .

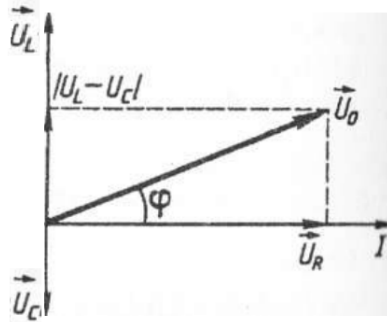


Рис. 5

Значення кута  $\varphi$  залежить від відношення  $U_L$  і  $U_C$ .

Якщо  $U_L = U_C$ , кут  $\varphi = 0$ , струм і напруга збігаються за фазою.

Значення  $U_0$  можна визначити за теоремою Піфагора:

$$U_0 = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

Аналогічно визначаємо повний опір  $Z$  кола змінного струму:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Закон Ома для амплітудних значень сили струму  $I_0$  і напруги  $U_C$  в колі змінного струму можна записати у вигляді

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Амплітуда сили змінного струму пропорційна амплітуді напруги і обернено пропорційна повному опору кола.

### Резонанс напруг

Якщо індуктивний опір кола дорівнює ємнісному, то в колі буде резонанс, при цьому реактивний опір кола дорівнює нулю, повний опір кола – активному опору. Тоді закон Ома набуває вигляду

$$I_0 = \frac{U_0}{R}.$$

Під час резонансу сила струму в колі буде найбільша і за фазою збігатиметься з напругою.

В електротехніці резонанс в колі послідовно з'єднаних опорів, ємності та індуктивності назвали резонансом напруг, бо напруга на котушці індуктивності і конденсаторі в резонансі може значно перевищувати напругу на вході кола.