

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

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та  
фундаментальних дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

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

**272Авіаційний транспорт  
Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

**за темою - Змінний струм**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 22.02.2024 №2

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 17.01.2024 №6

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з гуманітарних та соціально-  
економічних дисциплін  
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 №14

**Розробник:**

*Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, Пузир М.С.*

**Рецензенти:**

- 1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.*
- 2. Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.*

## План лекції

1. Змінний струм та його характеристики.
2. Генератор змінного струму.
3. Коло змінного струму з послідовним з'єднанням активного, індуктивного або ємнісного опору.
4. Індуктивний опір в колі змінного струму.
5. Коло змінного струму з послідовним з'єднанням активного, індуктивного або ємнісного опору.
6. Трансформатор. Коефіцієнт трансформації. ККД.

## Рекомендована література:

### Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика: навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

### Додаткова

2. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.

3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.

4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.

5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Серeda В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

## Текст лекції

### 1. Змінний струм та його характеристики.

Вільні електромагнітні коливання завжди затухають за той чи інший час і тому дуже рідко застосовуються на практиці. Незатухаючі коливання, які можуть тривати як завгодно довго, навпаки, дістали величезне практичне застосування. З одним способом збудження в колі незатухаючих електромагнітних коливань, так званих автоколивань, ви вже ознайомилися. Не менш важливе значення у

техніці мають коливання, що виникають під дією зовнішньої ЕРС, яка періодично змінюється.

Такі незатухаючі коливання називаються *вимушеними електромагнітними коливаннями*.

Прикладом вимушених електромагнітних коливань є звичайний змінний струм, який широко застосовується для освітлення, приведення в рух верстатів, механізмів і машин. Якщо електричне коло під'єднати до джерела змінної ЕРС, на електрони в провіднику діятиме змінна сила, під дією якої вони почнуть переміщатися. При цьому рух електронів точно повторює характер змін ЕРС. Змінний струм — це по суті вимушені коливання електричних зарядів у провіднику під дією прикладеної змінної ЕРС.

Змінний струм за характером змін сили струму може бути найрізноманітнішим. Найбільш важливими є струми, сила яких змінюється за гармонічним законом, тобто за законом синуса чи косинуса. Саме такі змінні струми виробляють генератори на електростанціях, з такими струмами в багатьох випадках доводиться мати справу в радіотехніці. Тому надалі вивчатимемо лише такі змінні струми.

Для одержання в колі змінного струму, сила якого змінюється синусоїдально, необхідно увімкнути в коло джерело ЕРС, яка періодично змінюється синусоїдально:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_m \sin \omega t$$

де  $\varepsilon_m$  — амплітудне значення ЕРС,  $\omega$  — циклічна частота змінної ЕРС.

Розглянемо звичайний спосіб одержання синусоїдальної ЕРС, який використовується в техніці для вироблення змінного електричного струму.

Плоский прямокутний контур (рамка) обертається навколо осі  $OO'$ .

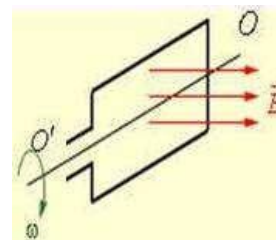
Отже, коли в однорідному магнітному полі рівномірно обертається провідний контур, в ньому збуджується електрорушійна сила, яка змінюється за законом синуса. Під час замикання цього контуру на зовнішнє коло, в колі йтиме синусоїдальний змінний струм.

Змінний струм є гармонічним коливанням, тому назви характеристик механічного коливального процесу зберігаються і за характеристиками змінного струму.

## 2 Генератор змінного струму.

Відомо, що *змінний струм — це вимушені коливання електричних зарядів у провіднику під дією прикладеної змінної ЕРС*. Особливо важливими є струми, ЕРС яких змінюється за гармонічним законом. Саме такі змінні струми виробляють генератори на електростанціях. Тому ознайомимось зі звичайним способом отримання синусоїдальної ЕРС, який використовується для одержання змінного електричного струму.

Плоский прямокутний контур (рамка) обертається навколо осі  $OO'$ , перпендикулярної до ліній індукції



магнітного поля (мал. 1). Нехай магнітне поле є однорідним: індукція  $\vec{B} = \text{const}$  і контур обертається рівномірно з кутовою швидкістю  $\omega = \text{const}$ . Тоді магнітний потік  $\Phi$ , який пронизує контур у будь-який момент часу  $t$ , дорівнюватиме:  

$$\Phi = BS \cos \varphi,$$

де  $S$  — площа, обмежена контуром, а  $\varphi = \omega t$  — кут повороту контуру, який відлічується від початкового положення контуру, за якого  $B \perp S$ .

Під час обертання контуру потік  $\Phi$  періодично змінюється. У зв'язку з цим у контурі виникає періодично змінна ЕРС індукції, яка, згідно з законом електромагнітної індукції дорівнює:

$$\varepsilon_i = -(BS \cos \omega t)' = BS \omega \sin \omega t$$

Оскільки  $(\cos \omega t)' = -\sin \omega t$

Максимальне значення цієї ЕРС, яке настає для  $\sin \omega t = 1$

дорівнює  $\varepsilon_m = BS \omega$  тому  $\varepsilon_i = \varepsilon_m \sin \omega t$

Отже, коли в однорідному магнітному полі рівномірно обертається провідний контур, в ньому збуджується електрорушійна сила, яка змінюється за законом синуса. Під час замикання цього контуру на зовнішнє коло, в колі йтиме синусоїдальний змінний струм

$$i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{\varepsilon_m}{R} \sin(\omega t + \varphi) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

де  $I_m = \frac{\varepsilon_m}{R}$  —

максимальне значення сили струму в колі,  $R$  — активний опір контуру і зовнішньої частини кола,  $\varphi$  — зсув фази між коливаннями сили струму і ЕРС.

Принцип отримання змінної ЕРС лежить в основі індукційних **генераторів змінного струму** — електричних машин, в яких механічна енергія перетворюється в електричну за допомогою явища електромагнітної індукції.

Найпростіший генератор складається з дрітної рамки (ротора), що приводиться в рух зовнішньою силою у полі магніту (статора). У процесі обертання рамки змінюється магнітний потік через рамку, внаслідок чого у ній індукується ЕРС, а за допомогою контактних щіток з кілець, припаяних до виводів рамки, знімається різниця потенціалів.

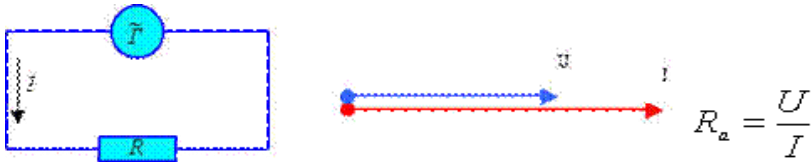
### 3. Коло змінного струму з послідовним з'єднанням активного, індуктивного або ємнісного опору.

#### 1. Активний опір в колі змінного струму.

Якщо опір постійному струмові кола дорівнює якомусь певному значенні, то під час протікання по цьому колу змінного струму опір зростає і дорівнюватиме деякій іншій величині. Дослід показує, що із збільшенням частоти змінного струму опір теж зростає.

**Опір провідника (резистора) змінному струмові називається активним опором.**

Активний опір  $R_a$  — це опір, в якому енергія, що надходить від генератора, перетворюється у внутрішню енергію провідника:



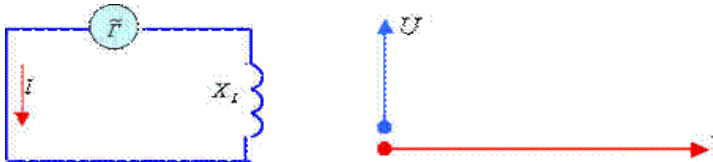
Із векторної діаграми видно, що *коливання сили струму та напруги при активному навантаженні збігаються по фазі*.

#### 4 Індуктивний опір в колі змінного струму.

Припустимо, що змінну напругу прикладено до затискачів котушки. Якщо замість змінної напруги прикласти до цієї котушки постійну напругу, то, зважаючи на зовсім незначний активний опір, сила струму в колі досягне дуже великого значення. У разі змінної напруги сила струму в котушці буде меншою. Це пояснюється тим, що в цьому випадку (при змінній напрузі) в котушці виникає змінна ЕРС самоіндукції, яка геометрично додається до прикладеної напруги і в результаті впливає на силу струму.

*Індуктивний опір  $X_L$  – умовна назва ефекту, який чинить котушка в колі змінного струму:*

$$X_L = \omega L$$



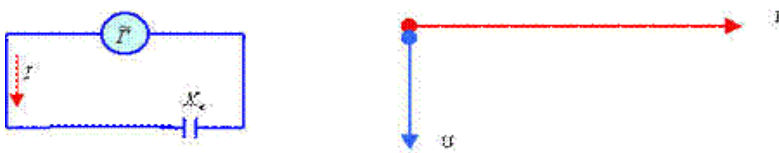
Векторна діаграма показує, що *в колі з котушкою індуктивності без активного навантаження напруга, прикладена до цього кола, випереджає силу струму за фазою на кут  $90^\circ$ , причому сила струму також випереджає ЕРС самоіндукції за фазою на кут  $90^\circ$* .

#### 5. Ємнісний опір в колі змінного струму.

*Ємнісний опір  $X_C$  – умовна назва ефекту, який чинить конденсатор в колі змінного струму:*

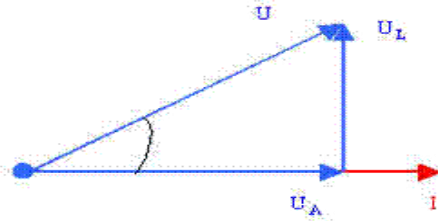
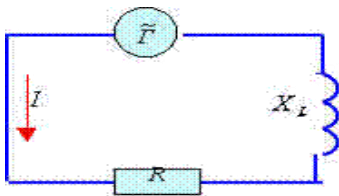
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

*На ємнісному опорі коливання напруги відстають від коливань сили струму на  $90^\circ$ .*



**Коло змінного струму з послідовним з'єднанням активного, індуктивного або ємнісного опору.**

Електричне коло з самим лише індуктивним опором в дійсності неможливе, бо будь-яка обмотка, крім індуктивного опору, має й активний опір. Розглянемо *електричне коло з індуктивним та активним опорами*.



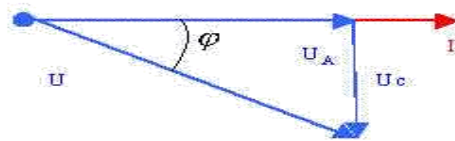
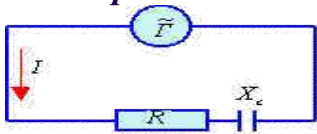
Повний опір кола визначається за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

З векторної діаграми можна визначити кут зсуву фаз між силою струму та напругою за формулою:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

**Електричне коло з ємнісним та активним опорами.**



Повний опір кола:

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

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

Зсув фаз:

## 6. Трансформатор. Коефіцієнт трансформації. ККД

### 1. Призначення трансформаторів.

Однією з важливих переваг електричної енергії є зручне і просте передавання її від генератора до споживача. Проте воно пов'язане із значними втратами в проводах внаслідок їх нагрівання. Потужність струму, яка йде на нагрівання проводів, дорівнює  $P = I^2 R$ , де  $I$  — сила струму в лінії,  $R$  — опір проводів лінії. Ця формула вказує на два можливі шляхи зменшення теплових втрат у проводах лінії передач:

- 1) зменшення опору проводів;
- 2) використання струму меншої сили.

Перетворення змінного струму, за якого напруга збільшується або зменшується в кілька разів практично без втрати потужності, здійснюється за допомогою трансформаторів.

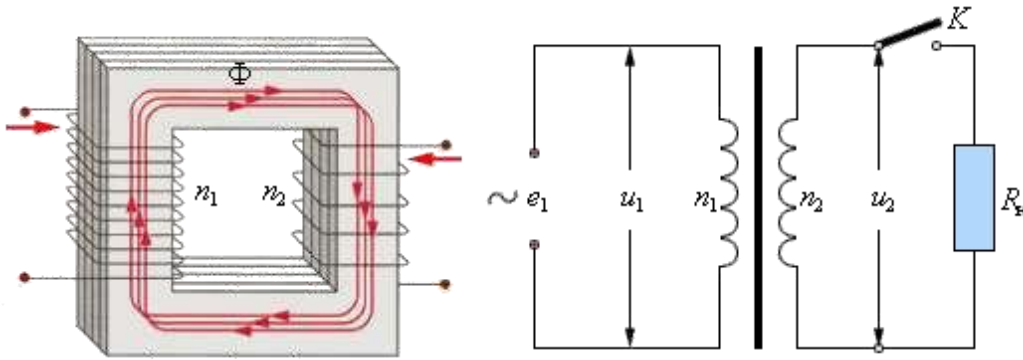
**Трансформатор – пристрій для зміни величини сили струму і напруги змінного струму при незмінній частоті.**

Винайшов трансформатор російський вчений П.М.Яблочков.

### 2. Будова трансформатора.

У найпростішому випадку трансформатор складається з двох котушок (обмоток), надітих на замкнуте осердя. Одна з обмоток – первинна – з'єднана з джерелом

змінної напруги. Друга обмотка – вторинна – до якої приєднують навантаження, тобто прилади й пристрої, які споживають електроенергію (мал.1).



мал.1

Осердя набирається з тонких ізольованих листів трансформаторної сталі для боротьби із струмами Фуко.

### 3. Трансформатор на холостому ходу.

*Режим роботи трансформатора, при якому вторинна обмотка розімкнута, називається режимом холостого ходу.*

Дія трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Під час проходження змінного струму по первинній обмотці в осердді виникає змінний магнітний потік. Магнітний потік, пронизуючи витки вторинної обмотки трансформатора, індукує в ній ЕРС. Під дією ЕРС по вторинній обмотці і через приймач енергії протікатиме струм. Отже, електрична енергія, трансформуючись, передається з первинного кола у вторинне, але з іншою напругою, на яку розрахований приймач енергії, ввімкнений у вторинне коло. Осердя з трансформаторної сталі концентрує магнітне поле, і магнітний потік існує практично тільки в самому осердді; він однаковий в усіх його перерізах.

Миттєве значення ЕРС індукції у будь-якому витку первинної чи вторинної обмотки є однаковим. У первинній обмотці, що має  $n_1$  витків, повна ЕРС індукції  $\mathcal{E}_1$  дорівнює  $n_1 \cdot \mathcal{E}$ . У вторинній обмотці повна ЕРС  $\mathcal{E}_2$  дорівнює  $n_2 \cdot \mathcal{E}$ . Звідси випливає, що

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Звичайно активний опір обмоток трансформатора малий, і ним можна знехтувати. У такому випадку модуль напруги на затискачах котушки приблизно дорівнює модулю ЕРС індукції:

$$|u_1| \approx |\mathcal{E}_1|$$

Якщо коло вторинної обмотки розімкнуте, то струму в ній немає і

$$|u_2| \approx |\mathcal{E}_2|$$

Таким чином, для діючих значень напруг можна записати

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

**Коефіцієнт трансформації** – величина, що дорівнює відношенню напруг у первинній і вторинній обмотках трансформатора під час холостого ходу (без навантаження):

$$k = \frac{U_1}{U_2}.$$

Якщо  $k < 0$ , трансформатор називається підвищувальним. Підвищувальний трансформатор збільшує напругу. У ньому кількість витків  $n_2$  у вторинній обмотці має бути більшою за кількість витків у первинній обмотці, тобто  $n_1 < n_2$ . Якщо  $k > 0$ , трансформатор називається понижувальним. Понижувальний трансформатор зменшує напругу.

У ньому  $n_1 > n_2$ .

**Будь-який трансформатор можна використати як підвищувальний, так і понижувальний.**

#### **4.Робота трансформатора під навантаженням.**

Якщо до вторинної обмотки трансформатора приєднати споживач електроенергії, то сила струму у вторинній обмотці вже не буде дорівнювати нулю. Струм, що з'явився, створює в осерді свій змінний магнітний потік, який за правилом Ленца має зменшити зміни магнітного потоку в осерді. Це приводить до автоматичного збільшення сили струму у вторинній обмотці.

Збільшення сили струму в колі первинної обмотки відбувається згідно із законом збереження енергії. Потужність у первинному колі за навантаження трансформатора, близького до номінального, приблизно дорівнює потужності у

вторинному колі  $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ . Звідси

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}.$$

Це означає, що, підвищуючи за допомогою трансформатора напругу в кілька разів, ми в стільки ж разів зменшуємо силу струму ( та навпаки ).

Отже, трансформатор перетворює змінний електричний струм таким чином, що добуток сили струму на напругу приблизно однаковий і первинній і вторинній обмотках.

#### **5.ККД трансформатора.**

ККД трансформатора визначається за такою формулою:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1}$$

У сучасних потужних трансформаторах сумарні втрати енергії не перевищують 2 – 3%, їх ККД досягає 97 – 98%.