

**Змістовий модуль 4. Однофазні електричні кола змінного струму.
Тема № 4.1. Змінний струм. Коло змінного струму з активним опором**

План лекції

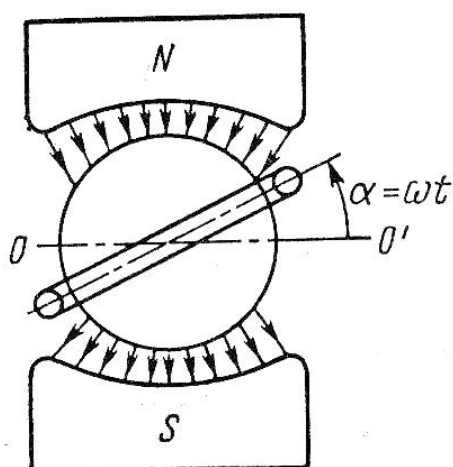
1. Змінний струм.
2. Діючі значення струму й напруги.
3. Зображення змінного струму методом векторних діаграм.
4. Ланцюг змінного струму з активним опором.

1. Змінний струм

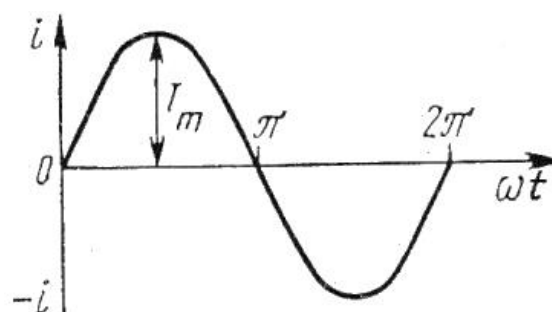
Змінним називають струм, зміна якого за значенням і напрямком повторюється періодично через рівні проміжки часу.

Широке застосування змінного струму в різних областях техніки пояснюється легкістю його одержання й перетворення, а також простотою устрою генераторів і двигунів змінного струму, надійністю їх роботи й зручністю експлуатації.

Розглянемо принцип дії найпростішого генератора змінного струму.



Мал. 1. Модель генератора змінного струму



Мал. 2. Графік синусоїдального струму

Між полюсами електромагніту або постійного магніту (мал. 1) в одноріднім магнітнім полі рівномірно обертається з **кутовою швидкістю** ω рамка площею S .

Магнітний потік через рамку

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (1)$$

де α - кут між нормаллю до рамки й вектором магнітної індукції \vec{B} .

Оскільки при рівномірнім обертанні рамки кутова швидкість $\omega = \frac{\alpha}{t}$, то кут α буде змінюватися за законом $\alpha = \omega t$, і формула (1) прийме вигляд

$$\Phi = BS \cos \omega t \quad (2)$$

Величину ω також називають **круговою частотою**.

Через те що при обертанні рамки магнітний потік, що її перетинає, увесь час міняється, то за законом електромагнітної індукції в ній буде ЕРС індукції

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin \omega t = E_m \sin \omega t, \quad (3)$$

де $E_m = BS\omega$ - **амплітуда** (максимальне значення) синусоїдальної ЕДС, що виникає в рамці.

Якщо до затискачів генератора підключити навантаження, то через неї піде струм, який також буде змінюватися за синусоїдальним законом. Графік синусоїдального струму $i = I_m \sin \omega t$ представлений на мал. 2. По осі ординат відкладають струм i , по осі абсцис - кут $\alpha = \omega t$ або час t .

Значення $e = E(t)$ змінної ЕДС (а також струму й напруги) у поточний момент часу називається **миттєвим значенням**.

Величину $\omega t = \frac{2\pi}{T}t = 2\pi ft$, що стоїть під знаком синуса або косинуса,

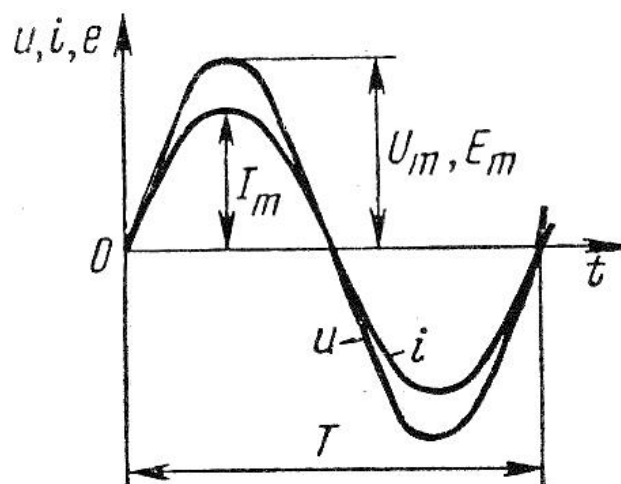
називають **фазою** коливань, описуваних цими функціями. Фаза визначає значення ЕРС у будь-який момент часу t й вимірюється в градусах або радіанах. Величина f називається **частотою** коливань і пов'язана із круговою частотою співвідношенням $\omega = 2\pi f$.

Час T однієї повної зміни ЕРС (час одного оберту рамки) називають **періодом** ЕРС. Зміна напруги, струму й ЕРС з часом може бути зображена на часовій діаграмі (мал. 3).

Частота коливань пов'язана з періодом співвідношенням $f = \frac{1}{T}$. Якщо період вимірюється в секундах, то частота - у герцах (Гц). У більшості країн, включаючи Україну, промислова частота змінного струму становить 50 Гц (у США і Японії - 60 Гц).

Величина промислової частоти змінного струму обумовлена техніко-економічними міркуваннями. Якщо вона занадто низка, то збільшуються габарити електричних машин і, отже, витрата матеріалів на їхнє виготовлення; помітним стає миготіння світла в електричних лампочках. При занадто високих

частотах збільшуються втрати енергії, пов'язані з перемагнічуванням сердечників електричних машин і трансформаторів. Тому найбільш оптимальними виявилися частоти 50-60 Гц. Однак у деяких випадках використовуються змінні струми як з більш високої, так і з більш низькою частотою. Наприклад, у літаках застосовується частота 400 Гц. На цій частоті можна значно зменшити габарити й вагу трансформаторів і електромоторів, що для авіації більш суттєво, ніж збільшення втрат у сердечниках. На залізницях використовують змінний струм із частотою 25 Гц і навіть 16,66 Гц.



Мал. 3. Параметри змінного струму

2. Діючі значення струму й напруги

Для опису роботи змінного струму миттєві значення незастосовні, а середні значення за період дорівнюють нулю. Тому вводять поняття діючих значень струму й напруги, які засновані на тепловій дії струму, що не залежить від його напрямку.

Діючими значеннями струму й напруги називають відповідні параметри такого постійного струму, при якому у даному провіднику за даний проміжок часу виділяється стільки ж теплоти, що й при змінному.

Таким чином, діюче значення змінного струму рівно такому постійному струму, який за час, рівний одному періоду, виділяє на даному резисторі однакову кількість теплоти зі змінним струмом.

$$I^2 RT = \int_0^T i^2 R dt \quad (4)$$

Скоротивши на загальний множник R і врахувавши, що $i = I_m \sin \omega t$, знайдемо вираз для діючого значення струму:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt}$$

або після інтегрування

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m. \quad (5)$$

Таке ж співвідношення слушне для ЕРС і напруги: $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$, $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

Діючі значення позначаються прописними латинськими буквами без індексів.

Електровимірювальні прилади змінного струму проградуєвані в діючих значеннях вимірюваних величин. Іноді діючі значення називають *ефективними*.

3. Зображення змінного струму методом векторних діаграм.

Метод *векторних діаграм*, тобто зображення величин, що характеризують змінний струм векторами, а не тригонометричними функціями, надзвичайно зручний. Тому коротко викладемо його основи.

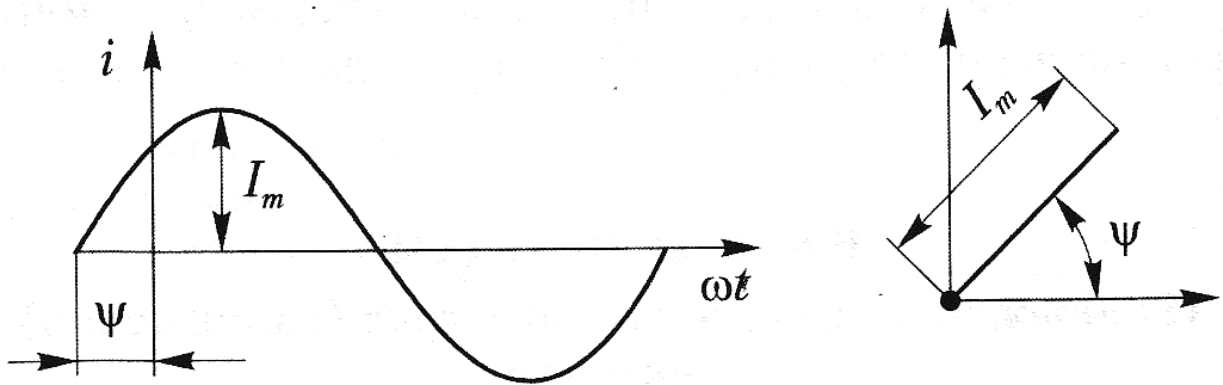
Змінний струм на відміну від постійного характеризується двома скалярними величинами - амплітудою й фазою. Тому для математичного опису змінного струму необхідний математичний об'єкт, що також характеризується двома скалярними величинами. Існують два такі математичні об'єкти (з відомих нам) - вектор на площині й комплексне число. У теорії електричних кіл і ті й інші використовуються для опису змінних струмів.

При описі електричного ланцюга змінного струму за допомогою векторних діаграм кожному струму й напрузі зіставляється вектор на площині в полярних координатах, *довжина* якого дорівнює *амплітуді* струму або напруги, а полярний *кут* - відповідний до *фази*.

Нехай заданий синусоїдальний струм

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi).$$

Графік цього струму має вигляд синусоїди, зображеної на мал. 4. Поруч зображений вектор, що відповідає побудованій синусоїді. Цей вектор із модулем, що дорівнює амплітуді, нахилений до горизонтальної осі під кутом ψ .



Мал. 4. Графік синусоїдального струму і його векторна діаграма

Оскільки фаза змінного струму залежить від часу, вважається, що всі вектори обертаються проти годинникової стрілки із частотою змінного струму. Векторна діаграма будується для фіксованого моменту часу.

Більш докладна побудова й використання векторних діаграм буде викладена нижче на прикладах конкретних ланцюгів.

4. Коло змінного струму з активним опором

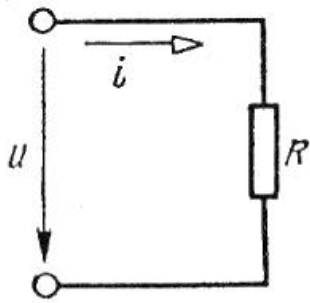
Розглянемо ланцюг (мал. 5), у якому до активного опору (резистору) прикладена синусоїдальна напруга:

$$u(t) = U_m \sin \omega t \quad (6)$$

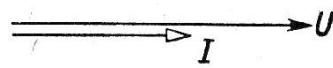
Тоді за законом Ома струм у ланцюзі буде рівний:

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (7)$$

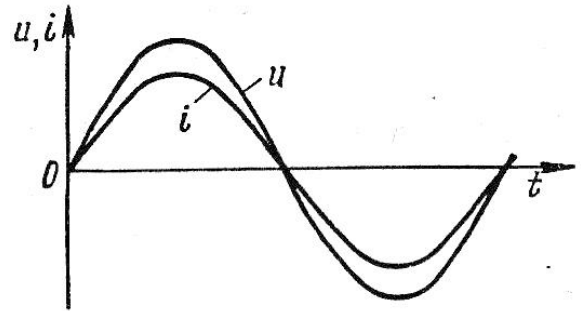
Ми бачимо, що струм і напруга збігаються по фазі. Векторна діаграма для цього ланцюга наведена на мал. 6, а залежності струму й напруги від часу (часова діаграма) - на мал. 7.



Мал. 5. Ланцюг змінного струму з активним опором



Мал. 6. Векторна діаграма ланцюга змінного струму з активним опором



Мал. 7. Залежність струму й напруги від часу в ланцюзі з активним опором

З'ясуємо, як змінюється згодом потужність у ланцюзі змінного струму з резистором.

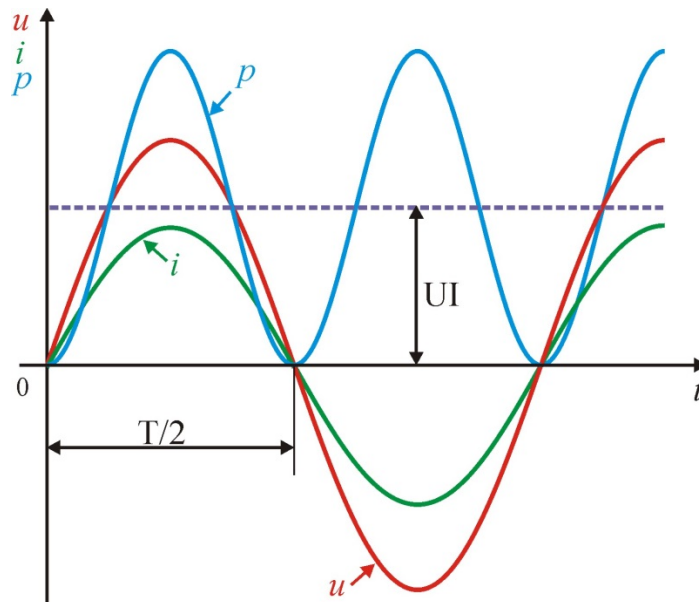
Миттєве значення потужності дорівнює добутку миттєвих значень струму й напруги:

$$p = ui = U_m I_m \sin^2 \omega t .$$

Враховуючи, що $\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$ й $\frac{U_m I_m}{2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} = UI$, остаточно одержимо

$$p = UI(1 - \cos 2\omega t) \quad (8)$$

Аналіз формули (8) і мал. 8, відповідного до цієї формули, показує, що миттєва потужність, залишаючись увесь час позитивною, коливається близько рівня UI з подвоєною частотою. Це означає, що електрична енергія необоротно перетворюється в теплоту незалежно від напрямку струму в ланцюзі.



Мал. 8. Часові діаграми напруги, струму й миттєвої потужності для ланцюга з активним опором

Ті елементи ланцюга, на яких відбувається необоротне перетворення електричної енергії в інші види енергії (не тільки в теплоту), називаються *активними опорами*. Тому резистор являє собою активний опір.

Питання для самоконтролю

1. Який струм називається змінним?
2. Чим пояснюється застосування змінного струму?
3. Що таке миттєве значення ЕРС, струму й напруги?
4. Що таке фаза?
5. Що таке амплітуда?
6. Що таке частота?
7. Який зв'язок між періодом і частотою?
8. З яких міркувань обирають частоту змінного струму в промисловості і на транспорті?
9. Дайте визначення діючого значення струму й напруги.
10. Як змінний струм та змінну напругу представити з допомогою вектора?
11. Який опір називається активним?

Список літератури

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 2005. – §§ 4.1 – 4.4, 5.1 – 5.2 (с. 116 – 126, 131 - 134).

2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие. – 15-е изд., стереотипное – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – §§4.1 - 4.4 (с. 93 - 100).

3. Славинский А.К., Туревский И.С. Электротехника с основами электроники: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – §§ 4.1 – 4.4 (с. 82 – 90).