

Розділ II. Кола однофазного та трифазного синусоїдального струму
Тема 2.1 «Кола однофазного та трифазного змінного струму»

Лекція 5

Основні поняття про змінний струм. Синусоїдальні змінні величини струму, напруги, ЕРС

Мета: оволодіти знаннями про змінний струм.

Методи: словесний, практичний, наочний.

План:

1. Основні поняття про змінний струм.
2. Синусоїдальні змінні величини струму, напруги, ЕРС.

1. Основні поняття про змінний струм.

Змінним називають такий струм, який упродовж певного часу змінюється за величиною і напрямком. Змінний струм тривалий час не мав практичного застосування. Очевидно, це пояснюється тим, що першими генераторами електричної енергії були генератори постійного струму, які повністю задовольняли протягом тривалого часу потреби споживачів. Впровадженню змінного струму значною мірою сприяв розвиток електроосвітлення.

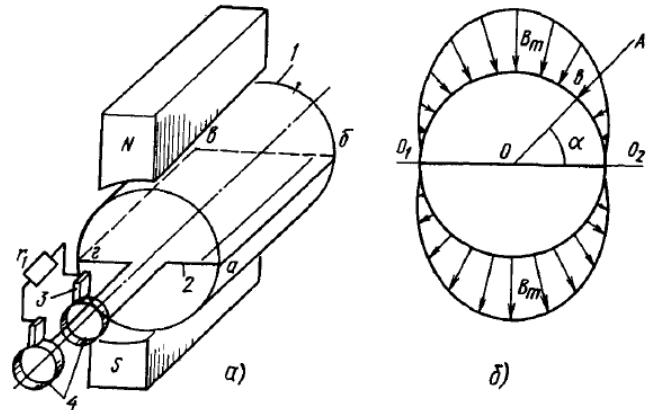
При передачі та розподіленні електричної енергії виникає необхідність у використанні різних напруг: високої – для передачі енергії на великі відстані, та низької – для живлення приймачів енергії. Таке перетворення напруг легко здійснюється лише за змінного струму. Для цього використовують електромагнітні апарати – трансформатори, які мають просте улаштування та високий ККД.

Використання електроенергії змінного струму замість постійного струму обумовлене багатьма техніко-економічними причинами, а саме: джерела енергії змінного струму - синхронні генератори - дешевші, надійніші та можуть бути виготовлені на значно більші потужності і напруги, ніж генератори постійного струму; електроенергія змінного струму легко та зручно перетворюється за допомогою трансформаторів з однієї напруги в іншу, що є дуже важливим при передачі електроенергії на відстань; основні споживачі електроенергії - двигуни змінного струму – дешевші та надійніші, ніж двигуни постійного струму.

Електрична енергія змінного струму широко використовується в різних галузях промисловості, сільського господарства, транспорту, зв'язку та побуту. В ряді галузей техніки використовується енергія постійного струму, для цього використовуються випрямлячі змінного струму, спеціальні генератори постійного струму, а за невеликої потужності – первинні елементи та акумулятори.

Улаштування найпростішого генератора змінного струму.

Принцип улаштування генератора синусоїдального струму пояснює мал. 1, а. На поверхні циліндричного якоря 1 закріплений виток ізолюваного проводу 2. Кінці витка через щітки 3 і контактні кільця 4 з'єднані з приймачем енергії r_1 . Магнітна індукція поля, створеного нерухомою частиною машини, розподіляється по окружності якоря генератора по синусоїдальному закону. Це досягається особливою формою полюсних наконечників. Біля середини полюсів завдяки мінімальному повітряному зазору магнітна індукція має максимальне значення B_m (мал. 1, б). Від середини полюса до його країв повітряний зазор поступово збільшується, а магнітна індукція зменшується. При цьому вектори магнітної



Мал. 1

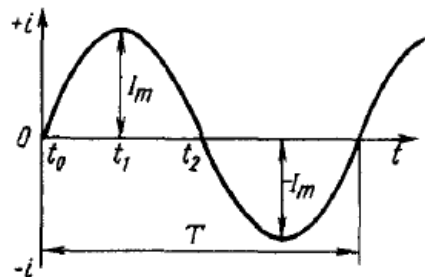
індукції в будь-якій точці перпендикулярні поверхні якоря. В деяких точках на поверхні якоря магнітна індукція дорівнює нулю. Площина O_1O_2 (мал. 1, б) називається **нейтральною**. Позначимо α кут між нейтральною площиною O_1O_2 та рухомих радіусом OA . Тоді магнітна індукція в повітряному зазорі

$$B = B_m \sin \alpha$$

2. Синусоїдальні змінні величини струму, напруги, ЕРС.

Найбільш розповсюджений синусоїдальний струм $i = I_m \sin \omega t$, графік якого на мал. 2. По осі абсцис відкладений час t , а по осі ординат – струм i . Значення струму, напруги, ЕРС в будь-який даний момент часу називають **миттєвими значеннями** та позначають рядковими літерами i, u, e , а найбільші миттєві значення періодично змінних величин – **амплітудними значеннями** та позначають прописними літерами з індексом m : I_m, U_m, E_m .

Синусоїдальний струм змінюється за значенням та напрямком. Один його напрям умовно вважають додатнім, інший – від'ємним. Струми додатного напрямку відкладають вище осі абсцис, а від'ємного – нижче. В початковий момент часу t_0 струм $i = 0$ (мал. 2). Потім він збільшується, досягає максимального значення I_m при t_1 , зменшується і за t_2 знову стає рівним нулю. Після цього струм змінює напрям, досягає від'ємного максимуму, а потім знову збільшується до нуля. На цьому закінчується повний цикл зміни синусоїдального змінного струму тривалістю T .



Мал. 2

Час T , протягом якого змінний струм здійснює повний цикл своїх змін, називається **періодом** змінного струму, а число періодів в секунду – його **частотою**:

$$f = \frac{1}{T}$$

Одиницею частоти в СІ слугує герц (Гц). Частота дорівнює 1 Гц, якщо повний цикл зміни струму здійснюється за 1 с. Більш великі одиниці частоти – кілогерц (кГц) та мегагерц (МГц): $1 \text{ кГц} = 10^3 \text{ Гц}$, $1 \text{ МГц} = 10^6 \text{ Гц}$. В Європі промисловою частотою є 50 Гц, в США, Канаді та Японії – 60 Гц. Вибір промислової частоти зумовлений техніко-економічними міркуваннями. За менших частот помітно мигтіння світла освітлювальних приладів, а за великих – ускладняється передача енергії на великі відстані. В різних галузях техніки окрім змінних струмів промислової частоти використовують змінні струми інших частот. Діапазон частот цих струмів починається від часток герц, досягає декількох мільярдів герц. В радіотехніці, телебаченні змінні струми високої частоти використовують для передавання електричних сигналів без проводів за допомогою електромагнітних хвиль.

Рівняння ЕРС, струму і напруги.

При обертанні ротора (мал. 1, а) з постійною швидкістю v в провідниках витка ab та vg довжиною l наводяться рівні ЕРС $e_1 = Blv$. Так як провідники з'єднані послідовно і їх ЕРС в контурі направлені однаково, то загальна ЕРС витка $e = 2e_1 = 2Blv$. Магнітна індукція B в повітряному зазорі змінюється синусоїдально. Тому $e = 2B_m l v \sin \alpha$. В отриманій формулі значення $2B_m l v$ виражає максимальне значення ЕРС E_m в обмотці ротора при $\alpha = 90^\circ$. Тому

$$e = E_m \sin \alpha$$

Таким чином, ЕРС генератора, як і його магнітна індукція, змінюється по синусоїдальному закону. Струм в замкнутому колі $i = \frac{e}{r} = \frac{E_m}{r} \cdot \sin \alpha$, де r – еквівалентний опір кола. Відношення $\frac{E_m}{r}$ виражає максимальний струм I_m . Тому миттєве значення синусоїдального струму

$$i = I_m \sin \alpha$$

Знаючи миттєве значення струму i та опір приймача енергії r_1 , можна визначити миттєве значення напруги на затискачах генератора: $u = ir_1 = I_m r_1 \sin \alpha$. Так як $I_m r_1 = U_m$ – максимальне значення напруги, то

$$u = U_m \sin \alpha.$$

Кутова швидкість обертання ротора.

Перетворимо формулу електрорушійної сили генератора змінного струму. За один оберт ротора при зміні кута α на 2π радіан проходить повний цикл змін ЕРС тривалістю T (мал. 3). Тому кутова швидкість обертання ротора $\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$, а ЕРС двополюсного генератора

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

Аналогічно записують рівняння синусоїдального струму та напруги:

$$i = I_m \sin \alpha = I_m \sin \omega t = I_m \sin 2\pi f t;$$

$$u = U_m \sin \alpha = U_m \sin \omega t = U_m \sin 2\pi f t$$

Кутова частота.

У генератора з однією парою полюсів ($p = 1$) одному оберту ротора відповідає один період T електрорушійної сили. Якщо генератор має дві пари полюсів 2), то одному оберту ротора відповідають два періоди ЕРС (мал. 4). Таким чином, кількість періодів синусоїдальної ЕРС, яка виникає в витку за один оберт ротора, дорівнює кількості пар полюсів генератора (p). Добуток $p\alpha$ називається **електричним кутом**, а відношення електричного кута до часу – **електричною кутовою швидкістю** або **кутовою частотою**

$$\omega = \frac{p\alpha}{t} = \frac{p2\pi}{pT} = 2\pi f$$

Кутова частота виражається в радіанах в секунду (рад/с). При частоті $f = 50$ Гц $\omega = 314$ рад/с. Частота ЕРС (або струму) у двополюсного генератора ($p = 1$) дорівнює числу обертів ротора в секунду: $f = \frac{n}{60}$, де n – число обертів ротора за хвилину. У багатополюсного генератора, який має p пар полюсів, частота

$$f = \frac{pn}{60}$$

Для отримання промислової частоти $f = 50$ Гц ротор двополюсного генератора повинен мати частоту обертання 3000 об/хв, ротор чотириполюсного генератора – 1500 об/хв, шестиполюсного – 1000 об/хв. Змінні струми частотою до 50 Гц отримують за допомогою генераторів, а з більш високою частотою – за допомогою спеціальних генераторів на електронних лампах або напівпровідникових приладах.

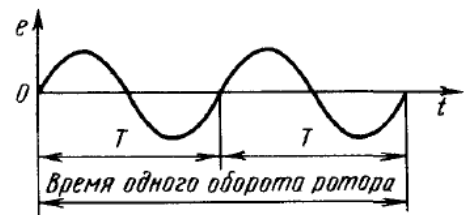
Діюче значення змінного струму.

При розрахунках та електричних вимірах широко використовується діюче значення змінного струму I . Для його визначення можна виходити з теплової дії змінного струму в електричному колі. Діюче значення змінного струму дорівнює значенню такого еквівалентного постійного струму, яке, проходячи через той самий опір, що і змінний струм, виділяє в ньому за період ту ж кількість тепла. На мал. 5 наведені графіки синусоїдального струму $i = I_m \sin \omega t$ і постійного струму I (пунктирна пряма), які виділяють однакову кількість тепла в деякому опорі r за період T . Кількість тепла, що виділяється синусоїдальним струмом i за елементарний час dt , $dQ = i^2 r dt$, а за час, рівний періоду T

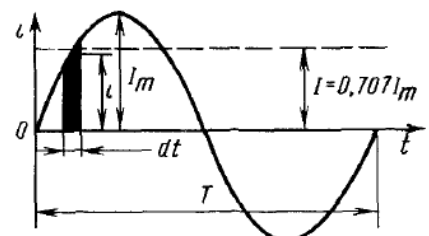
$$Q = \int_0^T dQ = \int_0^T i^2 r dt = r \int_0^T i^2 dt$$



Мал. 3



Мал. 4



Мал. 5

Таку ж кількість тепла в опорі r за час T виділимо постійний струм I , рівний значенню даного змінного струму:

$$Q = I^2 r T$$

Прирівнявши праві частини двох останніх формул та вирішивши рівність відносно струму I , отримаємо

$$I = I_m \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \frac{T}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

Таким чином, діюче значення змінного синусоїдального струму менше його амплітудного значення у $\sqrt{2}$ раз. Таке ж співвідношення справедливе для діючих значень синусоїдальної напруги та ЕРС: $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$ і $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m$. Діючі значення позначаються літерами без індексів та вказуються на шкалах електровимірювальних приладів (амперметрів і вольтметрів електромагнітної, електродинамічної систем). Отже, якщо амперметр змінного струму показує 10 А, а вольтметр – 220 В, то максимальне значення струму в колі $I_m = \sqrt{2} \cdot 10 = 14,1$ А, а максимальне значення напруги $U_m = \sqrt{2} \cdot 220 = 310$ В.

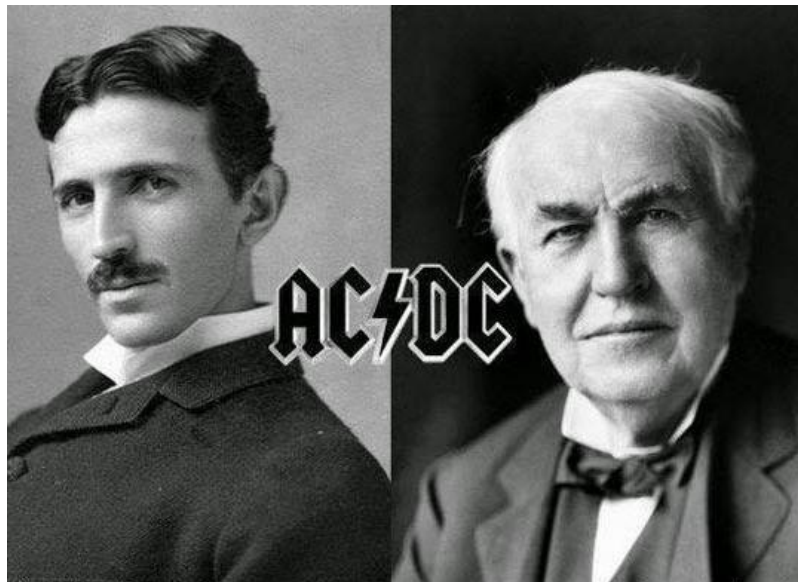
Середнє значення змінного струму.

При аналізі роботи різних випрямлячів, електричних машин та ін. користуються середніми значеннями змінних величин: струму $I_{\text{ср}}$, напруги $U_{\text{ср}}$, ЕРС $E_{\text{ср}}$. Середнє арифметичне значення із всіх миттєвих значень додатної напівхвилі називається **середнім значенням синусоїдального струму за напівперіод**. Воно дорівнює відношенню кількості електрики, яка пересувається через поперечний переріз провідника за додатній напівперіод, до тривалості цього напівперіоду. Тобто

$$I_{\text{ср}} = \frac{2I_m}{\pi} \approx 0,637 I_m$$

Знання, корисні для практики!

Змінний струм використовують радіо, телебачення, в телефонії та багатьох інших системах зважаючи на те, що його напругу і силу можливо перетворювати, майже не втрачаючи енергію. Широко застосовують його і в промисловості, а також з метою освітлення.



У далекі 1880-ті була «війна струмів» між Нікола Тесла (який відкрив змінний струм) і Томасом Едісоном (який вигадав постійний струм). Обидва хотіли, щоб їх системи широко використовувалися. Передачу змінного струму за допомогою високовольтних ЛЕП намагалися заборонити навіть законом. Але переміг змінний струм за простоту отримання більший ККД і меншу небезпеку.

«AC/DC» — абревіатура від «змінний струм/постійний струм» (англ. «*alternating current/direct current*»). Таку назву мала австралійська рок-група, сформована в Сіднеї у

листопаді 1973 року вихідцями з Шотландії, братами Малкольмом та Ангусом Янгами. Старша сестра Малкольма та Ангуса Янгів, Маргарет, запропонувала назву для групи після того, як побачила надпис «AC/DC» на задній стороні швейної машинки (саме Маргарет запропонувала Ангусу виступати на сцені в шкільній формі).