

**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 - Робота і потужність змінного струму

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. Робота і потужність змінного струму.
2. Генератори струму.
3. Трансформатори.
4. Поняття про трифазний струм.

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. Московський інститут інженерії цивільної авіації. Москва, 1988 рік.

1. Робота і потужність змінного струму

Робота і потужність змитого струму

Раніше було показано, що потужність постійного електричного струму

$$P = IU = I^2R,$$

де U – напруга між кінцями ділянки кола; I – сила струму на цій ділянці; R – активний опір.

Сила змінного струму залежить не тільки від активного опору кола, а й від індуктивного та ємнісного опорів.

Якщо в колі є конденсатор, то процес проходження через нього струму – це багаторазове перезаряджання конденсатора. У цьому разі, якщо знехтувати дуже малими втратами на нагрівання діелектрика в конденсаторі, проходження струму через нього не пов'язане з виділенням у ньому енергії. Протягом тієї чверті періоду, коли конденсатор заряджається, енергія запасється в ньому; коли конденсатор розряджається, він віддає в коло запасену енергію.

Якщо в колі є котушка індуктивності, то аналогічно, коли сила струму наростає, в котушці створюється магнітне поле, яке має запас енергії. Якщо сила струму зменшується, то магнітне поле зникає і запасена в ньому енергія повертається до джерела струму. Отже, якщо в колі є індуктивний і ємнісний опори, то конденсатор або котушка індуктивності обмінюються енергією з джерелом струму, в колі витрачається потужність $P = IU/k$, де $k = \cos \varphi$ – коефіцієнт потужності коли, а φ – зсув фази між силою струму в колі і напругою між кінцями розглядуваної ділянки.

Отже,

$$P = IU \cos \varphi.$$

Ця формула відрізняється від формули попередньої наявністю додаткового множника $\cos \varphi$. Вона показує, що

потужність, яка виділяється в колі змінного струму, залежить не тільки від сили струму і напруги, ш й від зсуву фаз між напругою і силою струму.

Якщо $\varphi = 90^\circ$, то $\cos \varphi = 0$ і потужність дорівнює нулю, якими б великими не були напруга і сила струму. У цьому разі енергія, яка передається за чверть періоду від джерела до кола, дорівнює енергії, яка передається від кола до джерела протягом наступної чверті періоду, тобто вся енергія коливається між джерелом і колом.

Середня потужність змінного струму

Протягом малого проміжку часу змінний струм можна розглядати як постійний, тому в колі з активним опором миттєва потужність змінного струму

$$p_t = IU = I_0 U_0 \sin^2 \omega t.$$

Врахувавши, що

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2(1 - \cos 2\omega t)},$$

маємо

$$p_t = I_0 U_0 (1 - \cos 2\omega t),$$

де I і U – миттєві, а $I_0 U_0$ – амплітудні значення сили струму і напруги.

Робота $dA = p_t dt$ за малий проміжок часу, а за час повного періоду T коливань

$$A = I_0 U_0 \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt.$$

Врахувавши, що $\omega = 2\pi/T$, маємо

$$A = I_0 U_0 \int_0^T \left(1 - \cos \frac{4\pi}{T} t\right) dt = \frac{I_0 U_0 T}{2}, \quad A_T = \frac{1}{2} I_0 U_0 T.$$

Середня потужність змінного струму

$$P_{cp} = \frac{A_T}{T} = \frac{I_0 U_0}{2}.$$

2. Генератори струму

Генератори електричного струму – це пристрої перетворення різних видів енергії - механічної, хімічної, теплової, світлової тощо – в електричну.

Робота сучасних генераторів ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. На рис. 1, а зображено найпростішу схему генератора змінного струму. У рамці, яка обертається в магнітному полі, виникає змінна ЕРС індукції. Якщо коло замкнути, то в колі проходитиме змінний струм. Із зовнішнім колом рамка з'єднується кільцями, закріпленими на одній осі з рамкою. За допомогою нерухомих ковзних контактів-щіток кільця з'єднуються із зовнішнім колом. За один оберт рамки полярність щіток змінюється двічі. Щоб збільшити напругу, яку знімають з клем генератора, на рамки намотують не один, а багато витків. У всіх промислових генераторах змінного струму витки, в яких індукується змінний струм, установлюють нерухомо, а обертається магнітна система.

Нерухому частину генератора називають статором, а рухому – ротором. Якщо ротор обертати за допомогою зовнішньої сили, то разом з ротором обертатиметься і магнітне поле, яке він створює, при цьому в провідниках статора індукуються ЕРС.

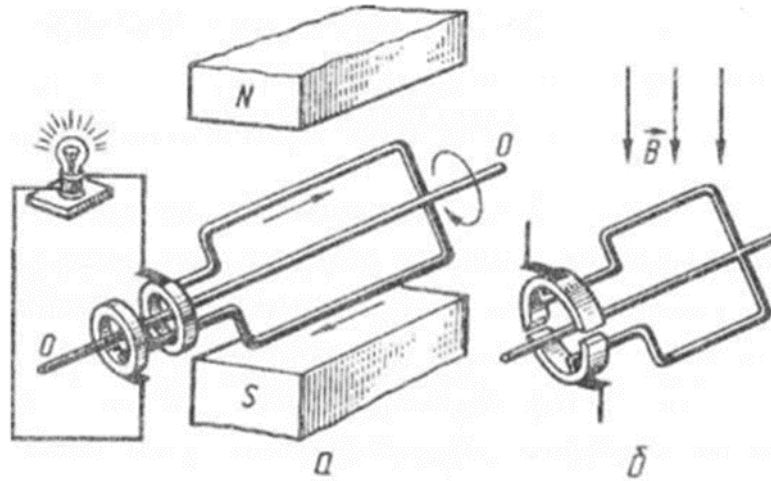


Рис. 1

Електрогенератори, які працюють з гідротурбінами, називають гідрогенераторами, а ті, що працюють з паровими турбінами, – турбогенераторами.

Тепер статори генераторів виготовляють з тонких листів електротехнічної сталі, що мають вузьку петлю гістерезису, набраних у пакет і скріплених болтами. Ротор складають з товстих сталених листів і насаджують на спільний вал з турбіною.

У генераторі змінного струму ЕРС двічі за один оберт змінює напрям. Щоб добути постійний за напрямом струм, застосовують спеціальний пристрій, який називається колектором. Найпростіший колектор – це два ізолювані один від одного півкільця, до яких приєднують кінці витка (рис. 1, б). У ті моменти, коли струм у витку змінює напрям, півкільця змінюють щітки. У зовнішньому колі проходить струм однакового напрямку. На рис. 2 показано, як змінюється напруга, що знімається з цього колектора. Такий генератор дає пульсуючий струм; його напрям постійний, але сила змінюється. Якщо замість одного витка одночасно обертати велику кількість витків, то можна добути струм, який не змінюється не тільки за напрямом, а й за значенням. Такий колектор складений з великої кількості ізолюваних одна від одної пластин.

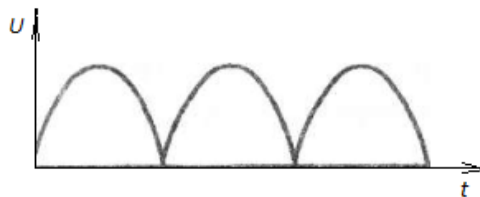


Рис. 2

3. Трансформатори

Трансформатор

Трансформатор – це прилад, призначений для перетворення параметрів змінного струму, що складається з виготовленого з м'якого феромагнетика осердя замкненої форми, на якому встановлено дві обмотки – первинну і вторинну (на рис. 3, а вони мають різну кількість витків). Кінці первинної обмотки, які називають входом трансформатора, приєднують до мережі живильного змінного струму; кінці вторинної обмотки, які називають виходом трансформатора – до споживача. На рис. 3, б зображено умовне позначення трансформаторів на радіосхемах.

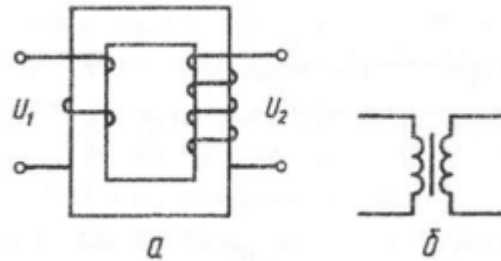


Рис. 3

В основі роботи трансформатора – явище електромагнітної індукції. Розглянемо принцип дії трансформатора. Нехай на вхід трансформатора подається змінна напруга U_1 . В осерді трансформатора виникає змінний магнітний потік, який пронизує як первинну, так і вторинну обмотки трансформатора. У первинній і вторинній обмотках відповідно виникають ЕРС самоіндукції:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad \varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

де N_1 і N_2 – кількість витків первинної і вторинної обмотки.

Використавши друге правило Кірхгофа, знайдемо напруги на вході і виході трансформатора:

$$U_1 = I_1 R_1 - \varepsilon_1 = I_1 R_1 + N_1 \frac{d\Phi}{dt},$$

$$U_2 = I_2 R_2 - \varepsilon_2 = I_2 R_2 + N_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

де R_1 і R_2 – відповідно опори первинної і вторинної обмоток трансформатора; I_1 і I_2 – сили струмів, які проходять по первинній і вторинній обмотках.

Розглянемо випадок, коли вторинна обмотка розімкнена, тобто $I_2 = 0$ (холостий хід). Технічні трансформатори конструюють так, щоб виконувалась умова $I_1 R_1 \ll \varepsilon_1$, тобто обмотки трансформатора мають невеликий активний опір, але велику індуктивність.

Поділивши почленно рівняння, дістанемо

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Напруга на кінцях вторинної обмотки трансформатора так відноситься до напруги на кінцях його первинної обмотки, як кількість витків вторинної обмотки відноситься до кількості витків первинної обмотки.

Коефіцієнт трансформації

Відношення $k = \frac{N_1}{N_2}$ називають коефіцієнтом трансформації. Якщо на вторинній обмотці витків більше, то трансформатор називають підвищувальним ($N_2 > N_1$), якщо менше – знижувальним ($N_2 < N_1$).

Якщо трансформатор навантажений, то спадом напруги у вторинній обмотці порівняно з ЕРС індукції нехтувати не можна, тому вираз $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ має складніший характер.

Типи трансформаторів

Є також конструкції трансформаторів, в яких частина первинної обмотки є вторинною або навпаки. Такі трансформатори називають автотрансформаторами. Якщо один з контактів автотрансформатора зробити рухомим, то можна плавно змінювати вихідну напругу. Один з типів трансформаторів, які використовують у лабораторних дослідженнях, називають ЛАТР.

Для добування в лабораторних умовах змінного струму високої напруги завдяки енергії постійного струму застосовують трансформатор особливої конструкції, який називають індукційною котушкою Румкорфа. Ця котушка дає можливість добути між кінцями вторинної обмотки напругу близько 10 кВ.

У процесі роботи трансформатори нагріваються, тому їх треба охолоджувати. Малопотужні трансформатори охолоджують повітрям, потужні – мінеральним трансформаторним маслом. Для цього осердя з обмотками занурюють у масло, а зовні корпусу встановлюють масляні радіатори, через які пропускають або холодне повітря, або воду.

Потужність сучасних трансформаторів досягає 1000 МВт, напруга підвищувальних обмоток 750 кВ. При таких параметрах розміри сталюого осердя і обмоток великі, і такі трансформатори є величезними спорудами масою в сотні тонн.

Трансформатор – найсучасніший перетворювач енергії, коефіцієнт корисної дії потужних трансформаторів досягає 94-99 %.

4. Поняття про трифазний струм

Трифазною системою електричних кіл називають систему, що складається з трьох електричних кіл змінного струму однакової частоти, ЕРС яких зсунуті за фазою на $1/3$ періоду. Якщо амплітуди ЕРС однакові між собою, то систему називають симетричною. Кожне окреме коло трифазної системи скорочено називають фазою.

До 90-х років XIX ст. використовували однофазний струм, від генератора до споживача йшла лінія з двох проводів. Проте спроби створити потужні електродвигуни однофазного струму були невдалі, тому довго змінний струм застосовували переважно для освітлення. В кінці 80-х років XIX ст. італійський

учений Г. Ферраріс і сербський електротехнік Н. Тесла незалежно один від одного розробили теорію використання багатофазного струму.

У 1889-1891 рр. російський електротехнік М. О. Доліво-Добровольський запропонував систему трифазного струму, яка швидко завоювала всесвітнє визнання. Система трифазного струму поширилась в усьому світі як система, що забезпечує вигідне передавання енергії і дає можливість створити надійний в роботі і прості за будовою електродвигуни, генератори і трансформатори. Після виходу в світ праць Доліво-Добровольського практично вся електротехніка стала електротехнікою трифазного струму.

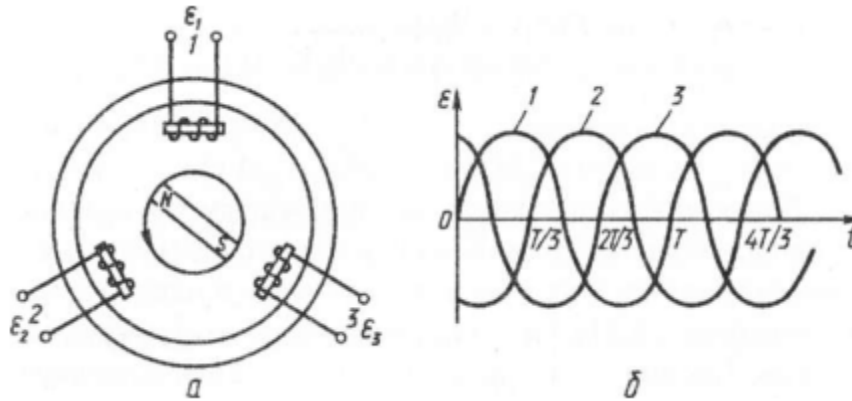


Рис. 4

На рис. 4 схематично зображено будову найпростішого генератора трифазного струму. Генератор має три обмотки, зміщені одна відносно одної на $2/3\pi$. При обертанні ротора із сталою швидкістю в котушках індукуються змінні ЕРС тієї самої частоти, які мають однакові амплітуди, але відрізняються за фазами на $1/3$ періоду. Якщо коливання ЕРС в обмотці 1 визначається формулою $\varepsilon_1 = \varepsilon_0 \sin \omega t$, то для ЕРС обмоток 2 і 3 маємо

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_0 \sin \left(\omega t - \frac{2}{3\pi} \right), \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_0 \sin \left(\omega t - \frac{3}{4\pi} \right).$$

Зміну в часі ЕРС у трьох обмотках графічно зображено на рис. 4, б. Кожна з обмоток трифазного генератора є самостійним джерелом електричної енергії. Отже, генератор трифазного струму є сукупністю трьох генераторів однофазного змінного струму. Якщо ці однофазні генератори розглядати як незв'язні, то для передавання енергії до споживача потрібно буде шість проводів (рис. 5). Така система не має ніякого практичного значення. Кількість проводів, які з'єднують генератор із споживачем, можна зменшити, якщо обмотки генератора з'єднати зіркою (рис. 6) або трикутником (рис. 7).

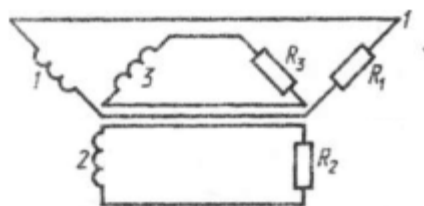


Рис. 5

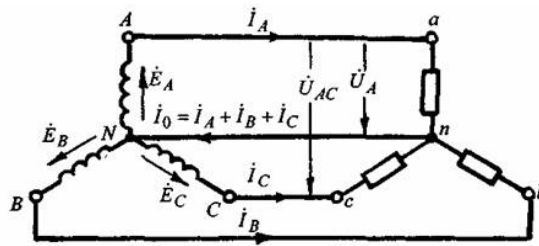


Рис. 6

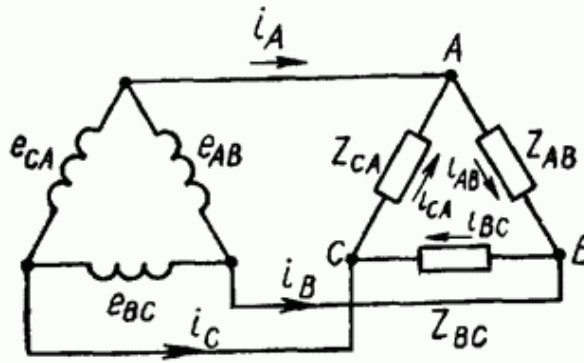


Рис. 7

З'єднання зіркою

Для електричних явищ важливі тільки різниці потенціалів, тому один провід кожного кола можна зробити спільним. Для цього при з'єднанні зіркою початки всіх обмоток з'єднують в одну точку, яку називають нульовою (рис. 6). Провід, приєднаний до нульової точки, називають нульовим. Проводи, приєднані до кінців обмоток, називають лінійними. Як видно з рис. 6, струм генератора, обмотки якого з'єднано зіркою, підведено до приймачів енергії чотирма проводами.

Напругу між початками і кінцями фаз або між кожним з лінійних проводів і нульовим проводом називають фазною напругою.

Напругу між кінцями обмоток або між лінійними проводами називають лінійною напругою. Якщо між нульовим і кожним з лінійних проводів увімкнено однакові навантажувальні опори, наприклад двигуни, електролампи і т. д., то струм у нейтральному проводі, який дорівнює геометричній сумі фазних струмів (рис. 8), дорівнює нулю. У розглядуваному випадку по нульовому проводу йтимуть три струми I_1 , I_2 , I_3 , які зсунуті за фазою на $2/3\pi$ і тому дають сумарну силу струму $I = 0$. Отже, у цьому разі нульовий провід не потрібний, і чотиріпровідну лінію можна замінити трипровідною.

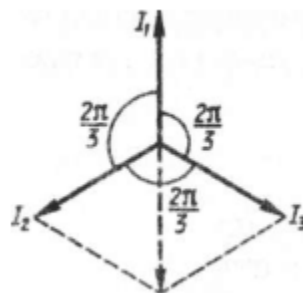


Рис. 8

З'єднання трикутником

Якщо обмотки генератора з'єднані трикутником (див. рис. 7), то фазні напруги дорівнюють лінійним і три фази генератора утворюють замкнений контур. Таке з'єднання можливе тільки тоді, коли сума ЕРС, які діють у цьому контурі, дорівнює нулю. У цьому разі, якщо генератор навіть не навантажений, не тільки не виникає короткого замикання; але й струму в обмотках немає. Якщо обмотки генератора з'єднані трикутником, то лінія електропередачі трипровідна.

Потужність трифазного струму

Потужність у колі трифазного струму, якщо всі фази навантажені однаково, дорівнює

$$P = \sqrt{3}U_{0л}I_{0л} \cos \varphi,$$

де $U_{0л}$, $I_{0л}$ – амплітуди лінійних напруг і сили струму; φ – зсув фаз між фазним струмом і фазною напругою, тобто силою струму і напругою в одній з обмоток генератора.

При з'єднанні зіркою $U_{0л} = \sqrt{3}U_{0ф}$ (при $U_{0ф} = 127$ В, $U_{0л} = 220$ В, $I_{0л} = I_{0ф}$).

При з'єднанні трикутником $U_{0л} = U_{0ф}$, а $I_{0л} = \sqrt{3}I_{0ф}$.