

№ урока	Дата	Тема	Домашнє завдання
7	16.10.20	Лабораторна робота №2 Дослідження кіл з послідовним, паралельним та змішаним з'єднанням.	В.М.Бондар “Практична електротехніка” стор.10.11,12 <i>Перевір себе:</i> 1.Як визначають резистори , конденсатори, катушки індуктивності, джерела енергії? 2.Яке їхнє призначення? 3.Дайте порівняльну характеристику послідовного і паралельного з'єднання споживачів електричної енергії
8	23.10.20	Електромагнетизм. Постійні магнітні поля.Основні характеристики магнітного поля.Парамагнітні,діамагнітні та феромагнітні матеріали намагнічування тіл.	Магнітне поле — складова електромагнітного поля , яка створюється змінним у часі електричним полем , рухомими електричними зарядами або спінами заряджених частинок. Магнітне поле спричиняє силову дію на рухомі електричні заряди. Нерухомі електричні заряди з магнітним полем не взаємодіють, але елементарні частинки з не нульовим спіном , які мають власний магнітний момент , є джерелом магнітного поля і магнітне поле спричиняє на них силову дію, навіть якщо вони перебувають у стані спокою. Магнітне поле утворюється, наприклад, у просторі довкола провідника , по якому тече струм або довкола постійного магніту . В.М.Бондар “Практична електротехніка для робітничих професій.” Розділ 2.Електромагнетизм. стор.17 - 23, <i>повторити матеріал з конспекту.</i>
9	28.10.20.	Електромагніти,їх застосування. Провідник зі струмом в магнітному колі.	Магнітне поле оточує рухомі елементарні частинки, які мають електричний заряд, і пов'язане з ними. У провіднику із струмом і просторі навколо нього магнітне поле створюється цим струмом, а усередині і зовні намагніченого тіла (постійного магніту) — внутрішньоатомним і внутрішньомолекулярним рухом елементарних заряджених частинок (наприклад, обертанням електронів навколо власної осі та ядра атома).Магнітне поле характеризується дією на рухому електрично заряджену частинку з силою, пропорційною зарядові частинки та її швидкості. ЗАКОН АМПЕРА. МАГНІТНА ІНДУКЦІЯ Магнітне поле виявляють завдяки магнітним явищам: притягуванню та відштовхуванню провідів із струмами або намагнічених тіл, дії провідника із струмом на магнітну стрілку, електромагнітній індукції.В основі цих явищ лежить характерна властивість магнітного поля — силова дія на рухомі заряджені частинки. Сили взаємодії магнітного поля з рухомими зарядженими частинками (струмами) називаються електромагнітними.Вивчення магнітних явищ і розрахунки, пов'язані з використанням їх,

неможливі без кількісної оцінки магнітного поля. Вибираючи необхідну для цього величину, можна виходити із силової взаємодії двох проводів із струмами.

Закон Ампера

Досвід показує, що на кожний з двох проводів діють сили, які притягують один до одного, якщо струми в них течуть в одному напрямку, і відштовхують, якщо струми течуть в протилежних напрямках (рис. 8.1).

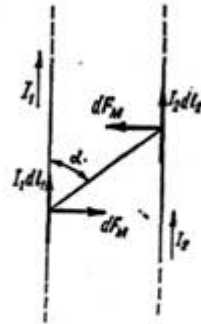


Рис. 8.1. До закону Ампера

Магнітні поля, зумовлені кожним із струмів, розподілені в тій самій ділянці простору. Тому, згідно з принципом накладання, можна вважати, що обидва проводи оточено загальним магнітним полем, яке утворюється внаслідок накладання двох полів. Кожне поле пов'язане із своїм струмом, коли відповідний провід відокремлено. У такому випадку притягування або відштовхування проводів треба розглядати як результат силової дії загального магнітного поля на заряджені частинки, які утворюють струм у кожному з проводів. Кількісні співвідношення для цього випадку визначено законом Ампера, згідно з яким силова дія магнітного поля на рухомі заряджені частинки розглядається як взаємодія двох елементів лінійного струму. Сила взаємодії між двома елементами лінійних струмів у вакуумі пропорційна добутку елементів лінійних струмів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

$$dF_m = \frac{\mu_0 I_1 dl_1 I_2 dl_2 \sin \alpha}{4\pi r^2}, \quad (8.1)$$

Елементом лінійного струму називається добуток $I dl$, де dl — довжина ділянки проводу із струмом I , дуже мала (так само, як і діаметр проводу) порівняно з відстанню від нього до точок, в яких розглядається магнітне поле струму I .

Якщо елементи лінійних струмів розташовані паралельно, то сила взаємодії між ними де $I_1 I_2 / r^2$ — елементи лінійних струмів; r — відстань між елементами; α — кут між напрямом одного з елементів лінійного струму і

		відрізком прямої g, проведеним від цього елемента до іншого; $(V(4''))$ — коефіцієнт пропорційності, який визначають залежно від системи одиниць. Чисельник цього коефіцієнта }10 називається магнітною сталою. У Міжнародній системі одиниць (СИ) магнітна стала $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{генрі}}{\text{метр}} \text{ (Гн/м)},$ причому генрі-вольт-секунда /ампер — одиниця індуктивності (див. § 8.5). Зауважимо, що формула (8.1) і наступні формули, які стосуються магнітного поля у вакуумі, справедливі й для магнітного поля у повітрі. Питання про застосування їх для інших середовищ докладно розглянуто в § 8.7. Магнітна індукція Припустимо, що елемент лінійного струму $Id/2$ настільки малий, що його поле практично не змінює поле струму I/x. Тоді цей елемент лінійного струму можна розглядати як пробний, що служить лише для реєстрації електромагнітної сили, яка при цьому є результатом дії магнітного поля першого струму на пробний елемент лінійного струму. Сила струму I/g визначає інтенсивність магнітного поля: чим більший струм, тим «сильніше» його магнітне поле. Для оцінки інтенсивності магнітного поля введено поняття магнітної індукції B. Магнітна індукція — векторна величина, яка характеризує магнітне поле i визначає силу, що діє на рухому заряджену частинку від магнітного поля. У числовому вираженні магнітна індукція дорівнює відношенню сили, яка діє на заряджену частинку, до добутку заряду Q і швидкості частинки v, спрямованої так, що ця сила максимальна: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{генрі}}{\text{метр}} \text{ (Гн/м)},$
--	--	--

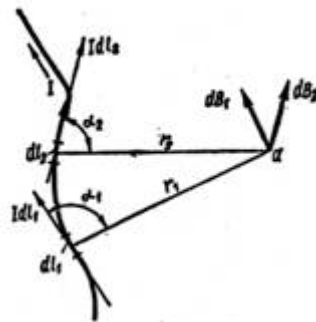


Рис. 8.2. До закону Біо — Савара

Напрямок вектора магнітної індукції перпендикулярний до векторів сили і швидкості й збігається з поступальним переміщенням правого гвинта (свердлика), якщо обернути його у напрямі від вектора сили до вектора швидкості частинки з позитивним зарядом.

За деякий час dt , згідно з (2.2), заряд $Q = Idt$, а швидкість $v = dl/dt$, тому $Qv = Idl$ — елемент лінійного струму.

$$dB = \frac{dF_m}{I_2 dl_2} = \frac{\mu_0 I_1 dl_1}{4\pi r^3} \sin \alpha. \quad (8.3)$$

Із формули (8.1) випливає

Магнітне поле у просторі, що оточує провідник, створюється не тільки вибраним елементом лінійного струму, а й іншими елементами, на які можна поділити реальний провідник (рис. 8.2).

Магнітна індукція B у заданій точці є векторною сумою елементарних векторів dB .

Формула (8.3), за якою визначають елементарну магнітну індукцію, є математичним вираженням закону Біо — Савара. " • Із неї випливає одиниця магнітної індукції:

$$[dB] = \left[\frac{dF_m}{I_2 dl_2} \right] = \frac{\text{ньютон}}{\text{ампер} \cdot \text{метр}} = \frac{\text{вебер}}{\text{метр}^2} = \text{тесла (Тл)}.$$

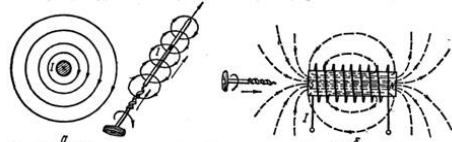
У розрахунках застосовується також одиниця магнітної індукції -гаус (Ге) ($1 \text{ Ге} = 10^{-4} \text{ Тл}$).

Лінії магнітної індукції

Графічно магнітне поле можна зобразити за допомогою ліній магнітної індукції.

Лінію магнітної індукції проводять так, щоб у кожній точці цієї лінії дотична до неї збігалася з вектором магнітної індукції.

Користуючись цим правилом, можна

			зобразити магнітне поле для різних випадків. Магнітне поле струму прямолінійного проводу має лінії магнітної Індукції у вигляді кіл, розташованих у площинах, перпендикулярних до напрямку струму, з центром на осі проводу (рис. 8.3, а).  Рис. 8.3. Магнітні поля прямого струму (а) та струму в циліндричній котушці (б) Напрямок магнітної індукції при цьому визначають за допомогою правила свердлика: якщо напрям поступального руху свердлика сумістити з напрямом струму в проводі, то обертання рукоятки вкаже напрям ліній магнітної індукції. Великий практичний інтерес становить картина магнітного поля струму котушок, оскільки в багатьох електротехнічних пристроях (трансформатори, електричні машини, електромагнітні реле та ін.) магнітне поле створюється струмами в котушках різної форми. Магнітне поле струму циліндричної котушки зображено на рис. 8.3, б. Якщо довжина котушки значно більша від її діаметра, то лінії магнітної індукції мають всередині котушки однаковий напрям (уздовж осі котушки) і магнітна індукція в усіх точках однакова, за винятком точок, розташованих біля країв. Магнітне поле, яке має в усіх точках однакову за значенням і напрямом магнітну індукцію, називається однорідним (рівномірним). За формою магнітного поля циліндрична котушка подібна до постійного магніту колового перерізу (рис. 8.4). На кінці котушки, де лінії магнітної індукції виходять з неї, утворюється північний полюс, а на протилежному кінці — південний. Кільцева котушка з обмоткою на колоїдальному осерді (рис. 8.5) вводить магнітне поле тільки усередині витків. Напрямок ліній індукції магнітного поля струму котушки або контура теж визначають за правилом свердлика, але в іншому формулюванні: якщо рукоятку свердлика обернути у напрямку струму у витках, то поступальне переміщення свердлика збігається з напрямом ліній магнітної індукції всередині котушки. За допомогою ліній магнітної індукції можна показати не тільки напрям магнітного поля, а й магнітну індукцію, подібно до того, як це роблять при дослідженні електричного поля
--	--	--	--

(див. § 1.1).

Нерівномірне магнітне поле зображують замкненими лініями, проведеними з не однакою густиною в різних ділянках.

На відміну від ліній напруженості електростатичного поля, які починаються на позитивних, а закінчуються на негативних заряджених тілах або прямують у нескінченність, лінії індукції магнітного поля завжди замкнені на себе, тобто не мають ні початку ні кінця.

Провідник із струмом у магнітному полі

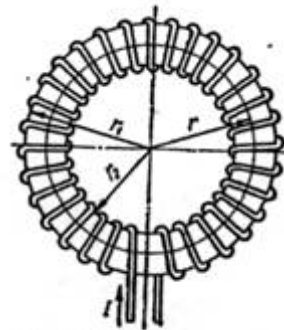


Рис. 8.5. Кільцева котушка

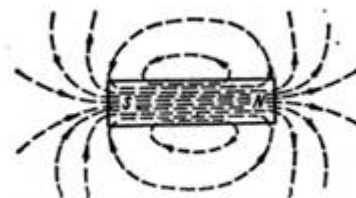


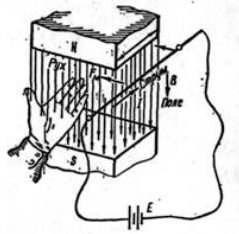
Рис. 8.4. Магнітне поле прямого постійного магніту

Великий практичний інтерес становить вираження сили, яка діє на провідник із струмом у рівномірному магнітному полі. На рис. 8.6 показано прямолінійний провід у просторі між полюсами постійного магніту або електромагніту (котушки із стальним осердям), розташований так, що між напрямками вектора магнітної індукції B і струму в провіднику / кут $\alpha = 90^\circ$.

У рівномірному магнітному полі на елемент довжини приводу в будь-якому місці діє однакова електромагнітна сила, тому на основі формул (8.2) і (8.3) можна записати вираз сили, яка діє на частину проводу, розташовану в межах магнітного поля:

$$F_m = BIl, \quad (8.4)$$

де B — магнітна індукція, Тл; / — струм у

		проводі, A; l — довжина частини проводу, розташованої в магнітному полі, m; F, — електромагнітна сила, N. Якщо провід розташовано так, що між напрямками вектора магнітної індукції поля і струму в проводі кут $\alpha \neq 90^\circ$, то електромагнітну силу визначають за тією самою формулою (8.4), але замість повної довжини проводу беруть її проекцію на напрям, перпендикулярний до напрямку поля: $F_{\perp} = BIl \sin \alpha. \quad (8.5)$ На провід із струмом, розташований уздовж ліній магнітної індукції, магнітне поле не діє.  Рис. 8.6. Прямий провід із струмом у магнітному полі Сила F_m напрямлена завжди перпендикулярно до площини, в якій лежить провід і знаходяться лінії магнітної індукції. Напрямок електромагнітної сили найзручніше визначати за правилом лівої руки: якщо розташувати ліву руку так, щоб витягнути чотири пальці (крім великого) показували напрям струму в проводі, а лінії магнітної індукції заходили* в долоню, то великий палець, відігнутий перпендикулярно до інших чотирьох, покаже напрям електромагнітної сили. В.М.Бондар “ Практична електротехніка”, стор.23 дати відповіді на контрольні запитання. 1.Електромагнітна індукція—це... 2.Явище електромагнітної індукції відкрив... 3.Закон електромагнітної індукції встановлює... 4.Правило Ленца відбиває 5.Е. р. с. самоіндукції - написати формулу	
10	30.10.20	Явище електромагнітної індукції, її практичне використання. Самоіндукція. Індуктивність Взаємодія.	ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ Електромагнітна індукція—це одне

		Вихрові струми та їх використання.	з явищ, на яких ґрунтуються електро- та радіотехніка. Для оцінки важливості цього явища досить назвати взаємне перетворення механічної і електричної енергії, передавання і розподіл електричної енергії, передавання і приймання інформації. Знання явища й закону електромагнітної індукції необхідне при вивченні електричних кіл змінного струму. ЗАКОН ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ Явище електромагнітної індукції відкрив у 1831 р. англійський фізикам. Фарадей і на основі цього відкриття сформулював один з найважливіших фізичних законів — закон електромагнітної індукції. Явище електромагнітної індукції Явище електромагнітної індукції можна продемонструвати такими дослідями. Всередину циліндричної котушки, кінці якої з'єднано з гальванометром, з певною швидкістю вводиться постійний магніт. Стрілка гальванометра відхиляється, показуючи електричний струм у котушці (рис. 10.1, а). "При віддаленні магніту від котушки стрілка гальванометра відхиляється в зворотний бік. Гальванометр показує струм у котушці, якщо переміщувати її відносно іншої котушки із струмом, яку назвемо первинною (рис. 10.1, б). На рис. 10.1, в показано дві котушки, розташовані на одному осерді. Одну з них приєднано до джерела електричної енергії через ключ, Другу замкнено через гальванометр. Електричні котушки між собою не зв'язані, але при замиканні ключа спостерігається відхилення стрілки гальванометра в один бік, а при розмиканні — в інший. Незважаючи на зовнішню відмінність дослідів, їх однаковий результат дає підставу вважати, що безпосередня причина виникнення електричного струму в колі вторинної котушки в цих дослідях однакова. Дійсно, в усіх розглянутих дослідях змінюється потік силових ліній магнітного поля через контур вторинної котушки; в перших двох випадках — завдяки зміні положення її в магнітному полі, в третьому випадку — в зв'язку із збільшенням струму в первинній котушці після замикання ключа і зменшення його після розмикання. Збудження е. р. с. в контурі при зміні потіку силових ліній цього контуру називається електромагнітною індукцією. Під дією індукованої е. р. с. в замкнутому контурі виникає індукційний електричний струм. Виникнення струму означає, що у вторинний контур передається енергія, яка при наявності опору в, колі перетворюється на тепло. В перших двох дослідів електрична
--	--	---	--

		енергія виникла за рахунок механічної роботи при переміщенні постійного магніту (рис. 10.1, а) або котушки (рис. 10.1, б). В третьому досліді обидві котушки нерухомі, тобто "механічна робота не здійснюється. Електрична енергія у вторинній котушці виникає за рахунок енергії джерела, увімкненого в коло первинної котушки. В цьому випадку електрична енергія передається з одного кола в інше за допомогою магнітного поля. Перетворення енергії з одного виду на інший за допомогою магнітного поля або зміна енергії поля кількісно визначаються через абсолютну зміну потокозчеплення. Явище електромагнітної індукції, яке супроводить ці процеси, пов'язане із швидкістю зміни потокозчеплення. Закон електромагнітної індукції Закон електромагнітної індукції встановлює кількісне вираження індукованої е. р. с. Е. р. с., індукована в замкнутому контурі при зміні зчепленого з ним магнітного потоку, дорівнює швидкості зміни потокозчеплення, взятій з від'ємним знаком: $e = - \frac{d\Phi}{dt}.$ У $e = - \frac{Nd\Phi}{dt}.$ загальному випадку витки котушки можуть бути зчеплені з різними потоками, тоді її загальна е. р. с. визначається алгебраїчною-сумою, е. р. с. окремих витків: $e = e_1 + e_2 + \dots + e_n = - \frac{d\Phi_1 + d\Phi_2 + \dots}{dt}.$ У котушці, яка має кілька витків, загальна е. р. с. залежить від кількості витків N. Якщо всі витки котушки зчеплені з однаковим магнітним потоком, то е. р. с. буде в N разів більшою: У чисельнику останнього виразу записано алгебраїчну суму змін потокозчеплення окремих витків.: котушок, тобто зміну загального потокозчеплення. Отже, е; р. с. котушки визначається швидкістю зміни її загального; потокозчеплення і загальна формула закону електромагнітної індукції має вигляд $e = e_1 + e_2 + \dots + e_n = - \frac{d\Phi_1 + d\Phi_2 + \dots}{dt}.$ Правило Ленца В 1833 р. проф. Петербурзького університету Е. Х. Ленц встановив загальне правило для визначення напрямку індукованого струму; й електромагнітних сил,
--	--	--

які виникають внаслідок взаємодії магнітного Поля з індукованим струмом. Якщо магнітний потік, зчеплений із струмопровідним замкненим контуром, змінюється, в контурі виникають явища електричного і механічного характеру, які перешкоджають зміні магнітного потоку.

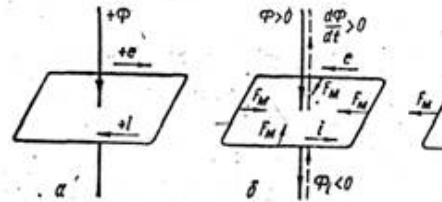


Рис. 10.2. Схеми, які пояснюють правило Ленца

Правило Ленца відбиває виявлення електромагнітної інерції в системах контурів із струмами. Цьому правилу відповідає знак мінус у формулах, які виражають закон електромагнітної індукції [див. (10.1), ..., (10.3)], якщо вважати додатними напрямки магнітного потоку та індукованої в контурі е. р. с., які задовольняють правило правого свердлика (рис. 10.2, а). Припустимо, що додатний магнітний потік, зчеплений з контуром, збільшується. Приріст потоку Φ і швидкість його зміни додатні. Індукована в контурі е. р. с., згідно з правилом Ленца, напрямлена проти вибраного додатного напрямку, тобто від'ємна ($\epsilon < 0$) (рис. 10.2, б). Індукований у контурі струм i (напрямок його збігається з напрямком е. р. с.) створює вторинний магнітний потік Φ , який, згідно з правилом свердлика, діє проти основного потоку Φ , тобто перешкоджає його збільшенню. Одночасно в контурі виникають електромагнітні сили, які стягують контур (напрямок сили визначається правилом лівої руки). Тенденція до зменшення поверхні, обмеженої контуром, спрямована в цьому випадку на зменшення основного потоку

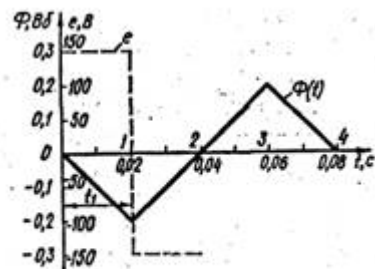


Рис. 10.3. До задачі 10.1

При зменшенні основного - магнітного потоку індукована е. р. с. додатна ($\epsilon > 0$), тобто збігається з вибраним додатним напрямком (рис. 10.2, в). Індукований у контурі струм i створює вторинний магнітний потік, який збігається за напрямком з основним потоком. Вторинний магнітний потік, виникнення якого можна розглядати як реакцію системи

контурів із струмами на зміну її ,магнітного стану, при цьому перешкоджає зменшенню основного магнітного потоку. Електромагнітні сили, що виникають, намагаються розширити контур із струмом, тобто збільшити магнітний потік, зчеплений з ним.Фактори, що протидіють зміні "магнітного потоку, тим сильніші, чим швидше змінюється потік.Електромагнітна інерція в системах контурів* із струмами подібна до механічної інерції в системах ..рухомих тіл: при усякій зміні швидкості виникають сили інерції; які перешкоджають цій зміні.

НАВЕДЕННЯ Е. Р. С. У ПРОВІДНИКУ, що рухається в магнітному полі

У провіднику, який рухається в магнітному полі так, що він перетинає лінії магнітної індукції, індукується е. р. е. Це явище— різновид електромагнітної індукції.Вираз е. р. с. в провіднику, що рухається в магнітному полі

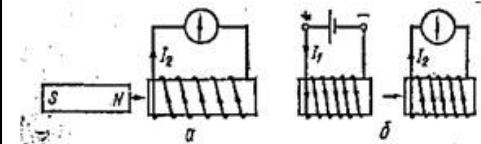


Рис. 10.1. Досліди для спостереження електромагнітної

Розглянемо відрізок, АБ прямолінійного провідника, що рухається, перетинаючи під прямим кутом лінії магнітної індукції рівномірного поля з магнітною індукцією В.

На рис. 10.6, а показано провідник АБ, який котиться в напрямі механічної сили FMX по металевих шинах, з'єднаних між собою через резистор R

Провідник АБ, відрізки шин і резистор утворюють замкнений струмопровідний контур. При переміщенні провідника на відстань b із сталою швидкістю v магнітний потік, зчеплений з цим контуром, збільшується завдяки збільшенню площі поверхні, обмеженої контуром.

Приріст магнітного потоку

$$\Delta\Phi = B\Delta S = Bbl,$$

де l — довжина частини провідника АБ, яка перебуває в магнітному полі.

Абсолютне значення е. р. с. в

$$E = \frac{\Delta\Phi}{dt} = \frac{Bbl}{\Delta t},$$

контурі

де — час, протягом якого провідник АБ перемістився на відстань b ; — швидкість руху провідника; тому

$$E = Bvl.$$

Якщо провідник переміщуватиметься під кутом $\alpha < 90^\circ$ до напрямку магнітної індукції поля (рис. 10.6, б), то приріст магнітного потоку за час Δt при тій самій швидкості v буде

$$\Delta\Phi = Blb \sin \alpha,$$

$$E = Bvl \sin \alpha.$$

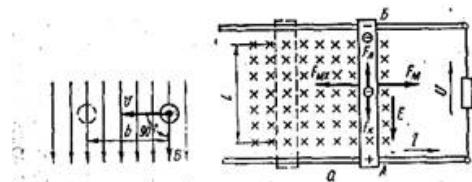


Рис. 10.6. Рух прямого провідника в магнітному полі

а е. р. с. в контурі

На практиці для визначення напрямку індукованої е. р. с. застосовують правило правої руки (рис. 10.8): якщо розташувати праву руку так, щоб великий палець, відігнутий перпендикулярно до інших чотирьох, показував напрям руху провідника, а лінії магнітної індукції входили в долоню, то витягнуті чотири пальці показують напрям е. р. с. електромагнітної індукції.

Все викладене про виникнення індукованої е. р. с. в провіднику справедливе і тоді, коли провідник залишається нерухомим, а рухається система магнітних полюсів, так що, лінії магнітної індукції перетинають провідник. У цьому випадку, визначаючи напрям е. р. с. за правилом правої руки, вважають, що провідник рухається в напрямі, протилежному напрямові руху магнітних полюсів.

ВЗАЄМНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Електромеханічна дія магнітного поля й електромагнітна індукція використовуються для перетворення механічної енергії на електричну і навпаки.

Пристрої, за допомогою яких ці перетворення здійснюються, називаються електричними машинами., для перетворення механічної енергії на електричну називається генератором, а для зворотного перетворення — двигуном.

		Конструкції, принципи і режими роботи різних електричних машин вивчаються в спеціальному курсі. Тут у загальному вигляді розглянемо принципи взаємного перетворення механічної і електричної енергії. Принцип перетворення механічної енергії на електричну Провідник АБ (див. рис. 10.6) рухається із сталою швидкістю за рахунок механічної енергії будь-якого первинного двигуна — джерела механічної енергії. Механічна потужність руху провідника $P_{\text{мх}} = F_{\text{мх}}v,$ де F — сила, яка діє на провідник від первинного двигуна. Завдяки електромагнітній індукції в провіднику виникають е. р. с. і струм $I = E/(r + R),$ де r — опір провідника АБ (внутрішній опір джерела електричної енергії); R — опір зовнішньої частини кола, включаючи опір приймача, й частини шин, яка входить до контура. У розглядуваному випадку провідник АБ є джерелом е. р. с. Величину P часто називають електромагнітною потужністю. З появою струму в провіднику А Б виникає електромагнітна сила F_M яка діє в напрямі, перпендикулярному до напрямку струму. Застосувавши правило лівої руки; можна переконатися в тому, що електромагнітна сила F_a напрямлена проти сили Отже, зовнішня сила F у цьому випадку рушійна, а $P_{\text{г}}$ — гальмова. При сталій швидкості v (усталений рух) рушійна і гальмова сили однакові: $F_{\text{мх}} = F_{\text{г}} = BIl.$ Підставивши вирази сили у формулу (10.6), д $P_{\text{мх}} = F_{\text{мх}}v = BIlv.$ Оскільки $Bvl = E,$ то $P_{\text{мх}} = EI = P.$ Отже, механічна потужність первинного двигуна дорівнює електричній
--	--	--

		потужності джерела. Вираз (10.7) показує, що при русі провідника в магнітному полі в напрямі механічної сили відбувається повне перетворення механічної енергії на електричну. Напруга на кінцях провідника u_{AB} є одночасно напругою на зовнішній частині кола, яка менша ніж $\mathcal{E}$. р. с. на внутрішній спад напруги: $U_{AB} = \mathcal{E} - Ir = IR.$ Перетворення електричної енергії на механічну Зворотнє перетворення електричної енергії на механічну можна показати на тому ж провіднику ЛБ, змінивши трохи електричне коло, в яке він входить (рис. 10.9). Замість приймача електричної енергії в коло введено джерело електричної енергії з $\mathcal{E}$. р.с. $\mathcal{E}_0$. Якщо на кінцях провідника АБ забезпечити і підтримувати напругу u_{AB} більшу, ніж його $\mathcal{E}$. р. с. $\mathcal{E}$, струм в ньому змінить напрям на зворотний [згідно з формулою (10.8), струм змінює знак]. Такий стан у колі досягається завдяки наявності $\mathcal{E}$. р. с. $\mathcal{E}_0$ джерела електричної енергії. Вважаючи напрям струму на рис. 10.9 додатним, його значення знаходимо згідно з другим правилом Кірхгофа: При цьому $\mathcal{E}$. р. с. індукції в провіднику напрямлена проти струму і є проти-$\mathcal{E}$. р. с. Зустрічний напрям $\mathcal{E}$. р. с. і струму є ознакою споживання електричної енергії в розглядуваному пристрої і перетворення її на інший вид енергії (див. § 3.3). Дійсно, із зміною напрямку струму змінюється на протилежний і напрям електромагнітної сили. Він збігається тепер з напрямом швидкості, руху провідника. Сила $R^{\wedge}$ стає рушійною. Тепер протидію виявляє механічна сила F_m (наприклад, сила тертя), Складаємо баланс потужностей для розглядуваного електричного кола. Провідник АБ є приймачем електричної енергії. Його електрична потужність $P = p_{AB}$. Перший доданок у цій сумі визначає механічну потужність рухомого провідника, а другий — потужність теплових втрат в
--	--	---

провіднику АБ згідно із законом Ленца — Джоуля.

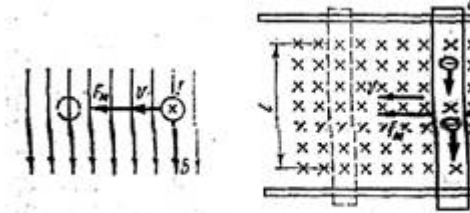


Рис. 10.9. До питання про перетворення електричної на механічну

У зв'язку з тим, що механічна енергія виникає як результат дії сил магнітного поля, може скластись враження, що рух провідника відбувається за рахунок енергії магнітного поля. Насправді ж на механічну перетворюється електрична енергія джерела, що й підтверджує рівняння (10.9). Магнітне поле тут є лише посередником при перетворенні енергії. Останнє зауваження стосується і зворотного перетворення енергії — механічної на електричну.

Е. Р. С. САМОІНДУКЦІЇ І ВЗАЄМОІНДУКЦІЇ

При зміні власного потокозчеплення в контурі або в котушці наводиться е. р. о. самоіндукції, а при зміні взаємного потокозчеплення, — е. р. с. взаємоіндукції,

Е. р. с. самоіндукції

Зміна власного потокозчеплення звичайно є наслідком зміни струму

$$e_L = - \frac{d\Psi_L}{dt} = - \frac{d(LI)}{dt},$$

або

$$e_L = - L \frac{dI}{dt}$$

Е. р. с. самоіндукції пропорційна швидкості зміни струму. Вона протидіє зміні струму, тобто при збільшенні струму перешкоджає його зростанню, а при зменшенні затримує його спад (правило Ленца). Чим швидше змінюється струм, тим більша протидія його зростанню або спаду. Проте ця протидія залежить не тільки від швидкості зміни струму, а й від конструкції електромагнітного пристрою, що у формулі (10.10) виражається множителем L , тобто індуктивністю цього пристрою. Якщо зміна струму в котушці є наслідком зміни прикладеної до неї напруги, то е. р. с. самоіндукції напрямлена проти прикладеної напруги, коли струм зростає, і збігається за

		напрямом з напругою, • коли струм зменшується. Подібно до маси, яка характеризує інертність в механічній системі, індуктивність характеризує інертність в електромагнітній системі. $e_{21} = - \frac{d\Psi_{1,2}}{dt}; \quad e_{12} = - \frac{d\Psi_{2,1}}{dt}.$ Е. р. с. взаємодуцції Для системи магнітно-зв'язаних котушок (див. рис. 8.18) е. р. с. взаємодуцції.Зміна - взаємного поттокзчеплення може бути наслідком зміни струму в одній з котушок або зміни коефіцієнта зв'язку. •Припустімо, що змінюється струм i_1 в першій котушці. Е. р. с. взаємодуцції еум у другій котушці пропорційна швидкості зміни цього струму: Аналогічно, при зміні струму i_2 е. р. с. взаємодуцції І в тому, чи в іншому випадку коефіцієнтом пропорційності є взаємодуцтивність системи М.Правило Ленца в застосуванні до такої системи свідчить про те, що зміна струму в одній котушці спричинює протидію іншої котушки.З виразу (10.11) видно, що е. р. с. взаємодуцції е_г, а отже, індукований струм i_2 мають знак, протилежний швидкості зміни струму i_1. Це означає, що при збільшенні струму i_1 його магнітного потоку $\Phi_{1,2}$ індукований струм i_2 створює магнітний потік $\Phi_{2,1}$, напрямлений зустрічне потокові $\Phi_{1,2}$; при зменшенні i_1 потік $\Phi_{2,1}$ напрямлений узгоджено із зменшуваним потоком $\Phi_{1,2}$.Аналогічне міркування можна провести на підставі виразу (10.12). Напряма магнітних потоків в обох випадках, як звичайно, визначають за правилом свердлика.Взаємодуцтивність, так само як й індуктивність, характеризує /електромагнітну інерцію, але в системі котушок (контурів), які мають магнітний зв'язок. Принцип дії трансформатора , , Наочним прикладом практичного /використання, взаємодуцції є робота трансформатора. Трансформатор— статичний електромагнітний апарат для зміни напруги або струму.Принципальна схема трансформатора (рис. 10.11) має магнітопровід 5 з ^електротехнічної сталі *та дві обмотки на магнітопроводі:первинну; з кількістю витків N_1 і вторинну 2 з кількістю витків N_2. Обмотки виконують з мідного проводу.Первинною обмоткою трансформатор вмикається в мережу змінної
--	--	---

напруги $\mathcal{E}_1$ і в ній виникає струм i_1 . До вторинної обмотки від'єднують приймач електричної енергії. Розглянемо трансформатор з розімкненим колом вторинної обмотки, тобто в режимі холостого ходу. При змінному струмі в первинній обмотці створюється змінний магнітний потік Φ , який замикається вдовж стального осердя й утворює потокозчеплення з обома обмотками. Отже, в трансформаторі обмотки електрично між собою незв'язані, а зв'язані змінним магнітним потоком.

В обох обмотках наводяться е. р. с.:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Відношення е. р. с.

$$e_1/e_2 = N_1/N_2 = n.$$

Відношення кількості витків обмоток трансформатора називається коефіцієнтом трансформації.

Відношення е. р. с. при холостому ході можна замінити відношенням напруг на зажимах обмоток, врахувавши, що наспад напруги в обмотці, який при холостому ході малий).

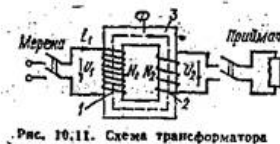


Рис. 10.11. Схема трансформатора

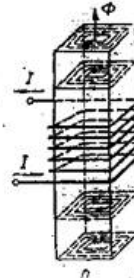


Рис. 10.12. До питання про вихрові струми

У радіотехніці при високих частотах застосовуються повітряні трансформатори без сталюого осердя.

Отже,

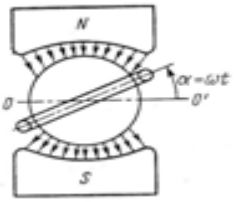
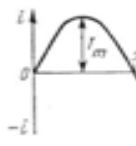
$$u_2 = u_1 \frac{N_2}{N_1}.$$

Звідси видно, що трансформатор підвищує, а знижує напругу. Якщо до вторинної обмотки під'єднати приймач енергії, то в її колі виникає струм I_2 і в приймач надходитиме електрична енергія з мережі через трансформатор. При цьому передача енергії з первинної обмотки у вторинну здійснюється через магнітне поле.

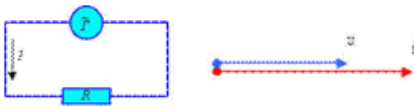
Вихрові струми

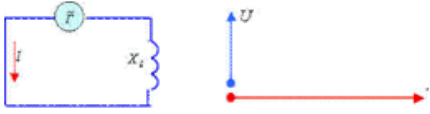
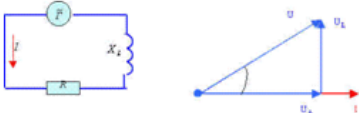
Розглянемо металеве осердя

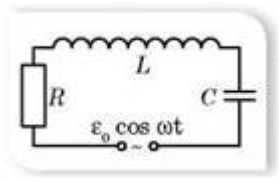
		всередині котушки із змінним струмом (рис. 10.12, а). При зазначеному напрямі струму магнітний потік в осерді напрямлений вздовж осі осердя вгору. Металеve осердя якщо поділити на ряд замкнених на себе шарів, вісь яких збігається з віссю осердя. Кожний такий шар являє собою замкнутий виток, в якому змінним потоком індукуються е. р. с. і струм, напрямлені в площинах, перпендикулярних до осі магнітного потоку. Розглянувши сукупність таких замкнутих контурів, можна уявити собі в осерді вихрові струми, які замикаються навколо осі магнітного потоку. Напрямок вихрових струмів визначають за правилом Ленца. При збільшенні магнітного потоку вихрові струми напрямлені за годинниковою стрілкою, якщо дивитись на осердя згори. Вихрові струми, згідно з законом Ленца — Джоуля, супроводжуються виділенням тепла в осерді. Це явище використовується на практиці для нагрівання металів (плавлення сталі, нагрівання під-гартування та інших цілей). В осерді електричних машин, трансформаторів і електричних апаратів теж виникають вихрові струми. Проте тут вони небажані, тому що збільшують загальні втрати енергії в пристроях і викликають додаткове нагрівання їх. Для зменшення втрат енергії осердя пристроїв змінного струму виконують з листової електротехнічної сталі (товщина 0,35 мм), листи якої ізолюють один від одного спеціальним лаком. Зменшення вихрових струмів таким способом досягають завдяки тому, що контури, по яких у суцільному осерді замикаються вихрові струми, виявляються розрізаними на частини, ізольовані одна від одної (рис. 10.12, б). Крім того, послаблення вихрових струмів досягають збільшенням питомого електричного опору матеріалу осердь. Для цього в електротехнічну сталь вводять присадку кремнію до 4%. Перевір себе: 1. Електромагнітна індукція — це ... 2. Явище електромагнітної індукції відкрив ... 3. Закон електромагнітної індукції встановлює ... 4. Правило Ленца відбиває 5. Е. р. с. самоіндукції - написати формулу 6. Зменшення вихрових струмів досягають ... 7. Охарактеризуйте Явище самоіндукції, індуктивності, взаємодії та вихрових струмів. В.М.Бондар “ Практична електротехніка”
--	--	---

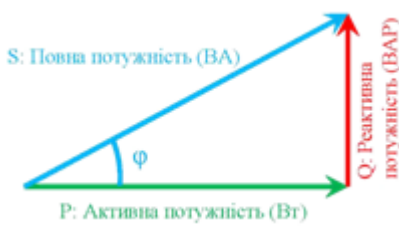
			стор.20 - 23. 1
11	03.11.20	Змінний струм та кола змінного струму.	Змінний струм — електричний струм, сила та напрямок якого періодично змінюються з часом, на відміну від постійного струму, який тече лише в одному напрямку. Змінний струм є формою, в якій електроенергія постачається підприємствам і в житлові будинки, отже це вид електричної енергії, яку споживачі зазвичай використовують, коли вмикають кухонні прилади, телевізори, вентилятори, електричні лампи, тощо у розетки. Поширеним джерелом живлення постійного струму, є акумуляторна батарея в ліхтарику. Розглянемо принцип дії найпростішого генератора змінного струму.   Мал. 1. Модель генератора Мал. 2. Графік синусоїдального змінного струму Між полюсами електромагніту або постійного магніту (мал. 1) в однорідному магнітному полі рівномірно обертається з кутовою швидкістю ω рамка площею S. Магнітний потік через рамку $\Phi = BS \cos \alpha$ (1) де α - кут між нормаллю до рамки й вектором магнітної індукції. Оскільки при рівномірному обертанні рамки кутова швидкість $\alpha = \omega t$, то кут α буде змінюватися за законом $\alpha = \omega t$, і формула (1) прийме вигляд $\Phi = BS \cos \omega t$. Через те що при обертанні рамки магнітний потік, що її перетинає, весь час змінюється, то за законом електромагнітної індукції в ній буде ЕРС індукції де $E_m = BS\omega$ - амплітуда (максимальне значення) синусоїдальної ЕРС, 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 <u>струм</u> i , по осі абсцис - кут $\alpha = \omega t$ або час t .Значення $e = E(t)$ змінної ЕДС (а також <u>струму</u> й напруги) у поточний момент часу називається миттєвим значенням. Величину , 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 і 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) <i>називають періодом ЕРС</i>. Зміна напруги, <u>струму</u> й ЕРС з часом може бути зображена на часовій діаграмі (мал. 3). Частота коливань пов'язана з періодом співвідношенням $f = 1/T$. Якщо період вимірюється в секундах, то частота - у герцах (Гц). У більшості країн,включаючи Україну, промислова частота змінного <u>струму</u> становить 50 Гц (уСША і Японії - 60 Гц). Величина промислової частоти змінного <u>струму</u> обумовлена техніко економічними міркуваннями. Якщо вона занадто низька, то збільшуються габарити електричних машин і, отже, витрата матеріалів на їхнє виготовлення; помітним стає миготіння світла в електричних лампочках. При надто високих частотах збільшуються втрати енергії, пов'язані з підмагнічуванням сердечників електричних машин і трансформаторів. Тому найбільш оптимальними виявилися частоти 50-60 Гц. Однак у деяких випадках використовуються змінні <u>струми</u> 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 <u>струм</u> із частотою 25 Гц і навіть 16,66 Гц. В.М.Бондар “ Практична електротехніка” стор.24 - 25 Перевір себе:
--	--	--

			1.Змінний струм — електричний струм.... 2.Частота коливань пов'язана з періодом співвідношенням це формула..... 3.Величина f називається... 4.Що таке період,частота,фазний кут змінного струму?
12	04.11.20	Активний опір провідників. Коло змінного струму з активним опором; графіки і векторна діаграма струму і напруги. Закон Ома.	Активний опір в колі змінного струму.Якщо опір постійному струмові кола дорівнює якомусь певному значенні, то під час протікання по цьому колі змінного струму опір зростає і дорівнюватиме деякій іншій величині. Дослід показує, що із збільшенням частоти змінного струму опір теж зростає. <u>Опір провідника (резистора) змінному струмові називається активним опором.</u> Активний опір R_a – це опір, в якому енергія, що надходить від генератора, перетворюється у внутрішню енергію провідника:м $R_a = \frac{U}{I}$  Із векторної діаграми видно, що коливання сили струму та напруги при активному навантаженні збігаються по фазі. Активний опір має поверхневий ефект (скін - ефект) , який полягає у тому,що змінне магнітне поле перетинає провід та індуктує у ньому е.р.с.індукції,що витісняє струм у провіднику від середини до поверхні.Отже опір у провіднику зростає від середини до поверхні тим більше, чим більше частота струму. При частоті 50 Гц на дію поверхневого ефекту зважають тільки тоді, коли діаметр мідного проводу досягає 1 см та більше. В інших випадках скін - ефект не беруть до уваги. Закріплення вивченого матеріалу. 1.Що називається активним опором? 2.Активний опір має поверхневий ефект.... 3.Що таке скін - ефект? В.Бондар “Практична електротехніка для робітничих професій” стор.26

13	06.11.20	Кола змінного струму з індуктивністю; індуктивний опір, графіки і векторна діаграма струму і напруги. Ємність у колі змінного струму, ємнісний опір графіки і векторна діаграма струму і напруги.	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°, причому сила струму також випереджає ЕРС самоіндукції за фазою на кут 90°. Ємнісний опір в колі змінного струму. $X_C = \frac{1}{\omega C}$ На ємнісному опорі коливання напруги відстають від коливань сили струму на 90°  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: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ 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: $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$ Зсув фаз: $\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$ Закріплення вивченого матеріалу. 1.Що називається індуктивним опором? 2.Що називається ємнісним опором? 3.Яка формула індуктивного опору? 4.Яка формула ємнісного опору? В.Бондар “Практична електротехніка для робітничих професій” стор.24 - 27
14	13.11.20	З'єднання однотипних елементів кіл змінного струму.Послідовне і паралельне з'єднання активного.індуктивного та ємнісного опорів.	Послідовне коло змінного струму з активним, ємнісним та індуктивним опорами. Будь-яке реальне електричне коло змінного струму містить активний опір (опір провідників, нагрівальних приладів і т. ін.), ємнісний опір (ємність провідників, конденсаторів) та індуктивний опір (обмотки електродвигунів, котушки електромагнітних приладів). Розглянемо електричне коло з активним, ємнісним та індуктивним навантаженнями, які з'єднані послідовно (мал. 124) (таке коло ще називають послідовним колом змінного струму).  В.Бондар “Практична електротехніка для робітничих професій” стор.26 - 27
15	20.11.20	Трикутники опорів і векторні діаграми. Активна,реактивна та повна потужності в колі змінного струму.Трикутник потужності,коефіцієнт потужності.Трифазна система змінного струму.З'єднання обмоток генератора і споживача зіркою і трикутником.	Поняття електричної потужності може бути витлумачено як «здатність електрообладнання виконувати механічну роботу» або як «кількість роботи, виконану за одиницю часу».Потужність вимірюється у

			ватах (Вт), найбільш часто використовувані кратні одиниці - це кіловати (кВт) і мегават (МВт), а частинні одиниці - кіловати (мВт). В обладнанні змінного струму, дію якого оснований на електромагнітних процесах (трансформатори, електродвигуни та інші пристрої, що генерують свої власні магнітні поля), спільно існують три види потужності: • Активна потужність (P) • Реактивна потужність (Q) • Удавана (повна) потужність (S) Зв'язок цих трьох різних видів потужності один з одним можна описати через так званий трикутник потужностей. Кут φ, утворений активною і повною потужністю, визначає фазовий зсув між напругою (U) і струмом (I), а значення косинуса цього кута дорівнює коефіцієнту потужності (PF) за умови відсутності гармонічних спотворень.  $P = S \cdot \cos(\varphi)$ $Q = S \cdot \sin(\varphi) \quad S = U \cdot I \quad \text{де } S :$ • для 3-х фазної мережі $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$ • для однофазної мережі $S = U \cdot I$ КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ (PF) Коефіцієнт потужності (PF) - це відношення активної потужності (P) до повної (S). Його значення залежить від характеру навантаження системи. При цьому активне навантаження має коефіцієнт потужності, близький до одиниці. При підключенні індуктивних або ємнісних навантажень коефіцієнт потужності може змінюватися в залежності від відставання або випередження струму по відношенню до напруги. Цей зсув по фазі і визначає значення коефіцієнта потужності.
--	--	--	--

			<table><tr><td colspan="2">Значення коефіцієнта потужності для найбільш розповсюджених промислових пристроїв:</td></tr><tr><td>Асинхронні двигуни при навантаженні 50%</td><td>0,73</td></tr><tr><td>Асинхронні двигуни при навантаженні 100%</td><td>0,85</td></tr><tr><td>Установки для електродугового зварювання</td><td>0,5</td></tr><tr><td>Обладнання для зварювання тертям</td><td>0,7-0,8</td></tr><tr><td>Зварювальні випрямлячі</td><td>0,7-0,8</td></tr></table>	Значення коефіцієнта потужності для найбільш розповсюджених промислових пристроїв:		Асинхронні двигуни при навантаженні 50%	0,73	Асинхронні двигуни при навантаженні 100%	0,85	Установки для електродугового зварювання	0,5	Обладнання для зварювання тертям	0,7-0,8	Зварювальні випрямлячі	0,7-0,8
Значення коефіцієнта потужності для найбільш розповсюджених промислових пристроїв:															
Асинхронні двигуни при навантаженні 50%	0,73														
Асинхронні двигуни при навантаженні 100%	0,85														
Установки для електродугового зварювання	0,5														
Обладнання для зварювання тертям	0,7-0,8														
Зварювальні випрямлячі	0,7-0,8														
			<table><tr><td colspan="2">Значення коефіцієнта потужності для невеликих електроустановок:</td></tr><tr><td>Люмінесцентні лампи</td><td>0,5</td></tr><tr><td>Газорозрядні лампи</td><td>0,4-0,6</td></tr><tr><td>Печі з діелектричним нагрівом</td><td>0,85</td></tr><tr><td>Дугові печі</td><td>0,8</td></tr><tr><td>Індуктивні печі</td><td>0,85</td></tr></table>	Значення коефіцієнта потужності для невеликих електроустановок:		Люмінесцентні лампи	0,5	Газорозрядні лампи	0,4-0,6	Печі з діелектричним нагрівом	0,85	Дугові печі	0,8	Індуктивні печі	0,85
Значення коефіцієнта потужності для невеликих електроустановок:															
Люмінесцентні лампи	0,5														
Газорозрядні лампи	0,4-0,6														
Печі з діелектричним нагрівом	0,85														
Дугові печі	0,8														
Індуктивні печі	0,85														
			АКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ (P) Активна потужність являє собою корисну потужність, що вимірюється у ватах (Вт). Вона визначається кількістю енергії, реально використовуваної при роботі електроустаткування, тобто енергії, що знімається з вала двигуна для обертання механізму, енергії, що виділяється на опорі електронагрівача або витрачається на випромінювання світла лампи і т.д. Активна потужність надходить до житлових будинків, промислових підприємств, офісів та іншим споживачам із системи електропостачання. Загальна кількість енергії, спожитої всім електрообладнанням, зазвичай враховується лічильниками або іншими приладами обліку, які встановлюються постачальниками електроенергії для вимірювання її сумарного споживання за певний проміжок часу, що вказується в договорах на електропостачання. РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ (Q) Реактивна потужність - це												

		потужність, споживана електродвигунами, трансформаторами та іншим електрообладнанням, що має котушки індуктивності або обмотки, що створюють електромагнітні поля. Ці індуктивності є частиною електричного кола і для системи електропостачання вони є навантаженням, яке споживає як активну, так і реактивну потужність. Ефективність їх роботи залежить від коефіцієнта потужності, чим нижче його значення тим більше значення спожитої реактивної потужності. Реактивна потужність не робить ніякої корисної роботи, але робить негативний вплив на систему передачі і розподілу електроенергії, тому за її споживання електропостачальні компанії накладають штрафи або беруть оплату за вищими тарифами. Реактивна потужність вимірюється в вольт-ампер-реактивних (ВАр), а найбільш поширеною є кратна одиниця виміру кіловольтампер (кВАр). ПОВНА (УДАВАНА) ПОТУЖНІСТЬ (S) Удавана, або повна потужність, відповідно до теореми Піфагора, є векторною сумою активної і реактивної потужностей. Ці дві складові являють собою загальну вхідну потужність, а також сумарну потужність, що віддається в мережу електрогенераторами. Ця потужність передається по розподільних проводах, кабелях і лініях, надходячи до споживачів: населенню, промисловим підприємствам і т. д. Повна потужність вимірюється в вольт-амперах (ВА). Фази генераторів і споживачів можна з'єднати зіркою чи трикутником незалежно одна від іншої: наприклад, генератор може бути з'єднаний зіркою, а приймач – трикутником чи зіркою. У цих схемах за позитивний напрямок ЕРС і струму в кожній фазі генератора умовно приймають напрямок від кінця фази до її початку, а в приймачі, навпаки, від початку до кінця. З'єднання зіркою. Під з'єднанням зіркою розуміють таке з'єднання фаз генератора чи споживача, при якому кінці усіх фаз з'єднуються в загальну вузлову точку, а їхній початок – із дротами, що з'єднують генератор із споживачем. Вузлова точка називається <i>нейтральною</i> чи <i>нульовою</i>, а дріт, що з'єднує нульові точки генератора й
--	--	--

споживача – нульовим чи зрівняльним. Дроти, що з'єднують початки фаз генератора й споживача, називаються *лінійними*. Схема зірки з нульовим дротом називається *чотирипровідною*, а без нульового проводу – *трипровідною*. На рис. 8.2 зображена чотирипровідна схема трифазної системи. Напруги на зажимах фаз чи генератора споживача називаються *фазними* (U_{ϕ}), а напруги між лінійними проводами – *лінійними* (U_L). Фазні напруги позначають U_A, U_B, U_C , а лінійні напруги – U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} . Струми розділяють також на фазні й лінійні. *Фазними* називають струми, що протікають по фазах, а *лінійні* – по лінійних дротах. Фазні сили струмів позначають I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} чи I_A, I_B, I_C , а лінійні – I_A, I_B, I_C . Застосовують також загальні позначення $U_{\phi}, I_{\phi}, U_L, I_L$, а у ряді випадків і деякі інші. Установимо

співвідношення між фазними й лінійними величинами при з'єднанні зіркою. Зі схеми, зображеної на рис. 8.2, видно, що при обраних додаткових напрямках струмів і напруг лінійні струми рівні відповідним фазним струмам, а лінійні напруги відповідно до другого закону Кірхгофа дорівнюють різниці відповідних фазних напруг. Використовуючи символічний метод запису, одержимо:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$$

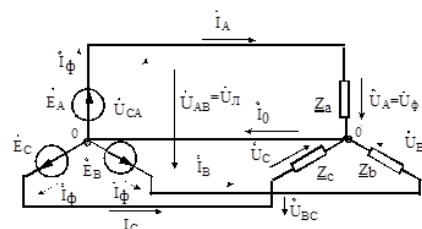
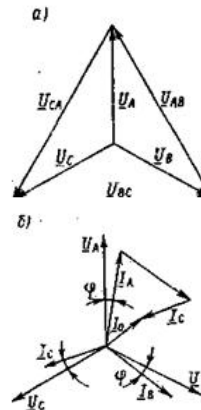


Рис. 8.2. Схема трифазної системи, з'єднаної зіркою

В окремому випадку симетричної системи маємо:

		$\dot{U}_A = U_\phi; \dot{U}_B = U_\phi \cdot e^{-j2\pi/3}; \dot{U}_C = U_\phi \cdot e^{j2\pi/3}$ За цих умов, вирішуючи рівняння (7.2) щодо комплексу напруги, $\dot{U}_{AB}$ знайдемо: $\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B = U_\phi - U_\phi \cdot e^{-j120^\circ} = \\ &= U_\phi - U_\phi \cdot \cos(-120^\circ) - j \cdot U_\phi \cdot \sin(-120^\circ) = \\ &= U_\phi + 0,5 \cdot U_\phi + j \cdot U_\phi \cdot \sqrt{3}/2 = 1,5 \cdot U_\phi + j \cdot U_\phi \cdot \sqrt{3}/2 = \sqrt{3} \cdot U_\phi \end{aligned}$ Аналогічно одержуємо: $\begin{aligned} \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C = \sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot e^{-j90^\circ}; \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A = \sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot e^{j150^\circ}. \end{aligned}$ Таким чином, при з'єднанні зіркою з рівномірним навантаженням лінійні напруги у $\sqrt{3}$ разів більше фазних і випереджають відповідні фазні напруги на кут 30°, а лінійні й фазні сили струмів рівні. На підставі співвідношень (8.2) на рис. 8.3, а побудована векторна діаграма напруг. Системи фазних і лінійних напруг джерел звичайно симетричні. Приймачі ж можуть навантажувати усі фази рівномірно чи нерівномірно. При рівномірному навантаженні фаз струму у нульовому проводі немає і необхідність у такому проводі відпадає. При нерівномірному навантаженні струм у нульовому проводі є і комплекс його сили дорівнює сумі (рис. 8.3,б). У цьому випадку нульовий провід необхідний, інакше зміни навантаження в одній фазі будуть приводити до змін сили струмів і напруг в інших фазах, що на практиці є небажаним. Відносна перевага з'єднання генераторних обмоток зіркою складається в можливості мати в споживача деяку систему напруг. Так, при з'єднанні фазних обмоток генераторів зіркою із
--	--	---

заземленою нейтральною точкою, при фазній напрузі генератора 220 В у споживача одержимо систему напруг 220 – 380 В.



З'єднання

трикутником.З'єднання

трикутником – це таке з'єднання фаз чи генератора споживача, при якому кінець першої фази з'єднується з початком другої, кінець другої – з початком третьої і кінець третьої – із початком першої, а вузлові точки з'єднуються з лінійними дротами. На рис. 8.4 представлена схема такого з'єднання.

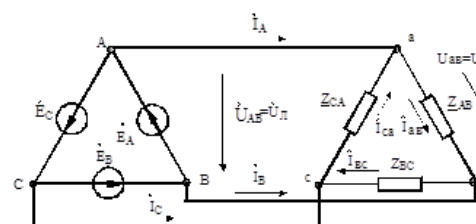


Рис. 8.4 Схема трифазної системи, з'єднання трикутником. Установимо співвідношення між фазними й лінійними величинами при з'єднанні трикутником. Зі схеми видно, що лінійні напруги дорівнюють відповідним фазним напругам, а лінійні сили струмів, відповідно до першого закону Кірхгофа, дорівнюють різниці відповідних фазних сил струмів. Оперуючи комплексами, одержимо:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

Якщо система струмів симетрична, то:

$$\dot{I}_A = I_\phi; \dot{I}_B = I_\phi \cdot e^{-j2\pi/3}; \dot{I}_C = I_\phi \cdot e^{j2\pi/3}$$

У цьому випадку, вирішуючи рівняння (8.3) щодо комплексу сили струму I_a , знайдемо:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AB} = \dot{I}_A - \dot{I}_B &= I_\phi - I_\phi \cdot e^{-j120^\circ} = I_\phi - I_\phi \cdot \cos(-120^\circ) - j \cdot I_\phi \cdot \sin(-120^\circ) \\ &= I_\phi + 0,5 \cdot I_\phi + j \cdot I_\phi \cdot \sqrt{3}/2 = 1,5 \cdot I_\phi + j \cdot I_\phi \cdot \sqrt{3}/2 = \sqrt{3} \cdot I_\phi \cdot e^{j30^\circ} \end{aligned}$$

Аналогічно одержимо:

$$\dot{I}_{BC} = \dot{I}_B - \dot{I}_C = \sqrt{3} \cdot I_\phi \cdot e^{-j90^\circ};$$

$$\dot{I}_{CA} = \dot{I}_C - \dot{I}_A = \sqrt{3} \cdot I_\phi \cdot e^{j150^\circ}.$$

Таким чином, при з'єднанні трикутником із рівномірним навантаженням лінійні сили струмів у разів більше фазних, а лінійні й фазні напруги рівні.

На підставі співвідношень (8.3) побудовані векторні діаграми напруг і сил струмів (рис. 8.5) для симетричної системи ланцюгів, з'єднаних трикутником.

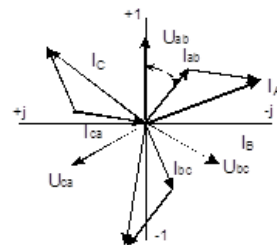


Рис.

8.5. Векторна діаграма при з'єднанні трикутником

З'єднання фазних обмоток

			генератора в замкнутий трикутник можливе тільки коли сума всіх ЕРС у ньому дорівнює нулю. При неправильному з'єднанні обмоток, коли дві сусідні фази з'єднані чи кінцями чи початками, сума ЕРС у контурі дорівнює подвоєному значенню ЕРС фази. При невеликому опорі контуру це рівноцінно короткому замиканню. Відносна перевага схеми трикутника полягає в тому, що зміна навантаження однієї фази споживача, з'єданого трикутником, не позначається на роботі двох інших фаз, як це відбувається при з'єднанні зіркою. Зокрема, при вимиканні однієї з фаз приймача нормальний режим роботи в інших фазах зберігається. Опануй підручник: В.Бондар "Практична електротехніка для робітничих професій".стор.28 - 29 Перевір себе: 1.Потужність вимірюється в.....? 2. У колі змінного струму, де споживачі мають активний та реактивний опір є....(перерахуйте потужності) 3.Запиши формулу активної потужності. 4.Запиши формулу реактивної потужності. 5.формула повної потужності. 6.Як отримують трифазний струм? 7.Чому обмотка на змінному струмі має більший опір,ніж на постійному струмі?
16	27.11.20	Кількісне співвідношення між фазним і лінійним струмом й напругами.Рівномірне і нерівномірне,симетричне й несиметричне навантаження. Активна,реактивна і повна потужності у	Співвідношення лінійних і фазних струмів та напруг.

		трифазній мережі.	Векторні діаграми. Потужності трифазних систем. Трикутником називається таке з'єднання, коли кінець кожної фази з'єднаний з початком наступної. Тобто три фази з'єднати послідовно і до початку кожної фази приєднані лінійні проводи. Наприклад, початок фази <i>A</i> з'єднується з кінцем фази <i>C</i>, початок фази <i>C</i> — з кінцем фази <i>B</i>, початок фази <i>B</i> - з кінцем фази <i>A</i>. Точки з'єднання початків і кінців фаз служать для відводу (або підведення) трифазного струму. При сполученні обмоток трикутником лінійний провід відходить від загальних точок початку однієї фази і кінця іншої, тому при з'єднанні трикутником лінійна напруга дорівнює фазній: $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$ При сполученні зіркою фазна напруга менше у $\sqrt{3}$ раз, ніж при сполученні трикутником, тому, щоб отримати то ж значення потужності при зірці сила струму повинна бути більшою у $\sqrt{3}$ раз. Таким чином, при сполученні зіркою переріз провoda повинен бути у $\sqrt{3}$ раз більшим, щоб пропустити більшу у $\sqrt{3}$ раз силу струму, а довжина провoda - менша у $\sqrt{3}$ раз. Тобто, загальна вага провoda при обох сполученнях буде однаковою, але для зірки потрібен більш товстий та коротший провід, що дешевше і механічно міцніше. Крім того, ізоляція при сполученні зіркою повинна бути розрахована на нижчу напругу. Отже, економічній сполучення зіркою, але при з'єднанні трикутником кожна фаза приймача знаходиться під лінійною напругою, тому всяка зміна
--	--	--------------------------	---

навантаження в одній фазі не впливає на величину напруг в інших його фазах, якщо знехтувати спадом напруги у проводах. Це і є основна перевага сполучення трикутником.

Співвідношення між лінійними і фазними струмами можна визначити, якщо застосувати перший закон Кірхгофа для вузлів A , B та C :

$$I_A + I_{CA} = I_{AB}$$

$$I_B + I_{AB} = I_{BC}$$

$$I_C + I_{BC} = I_{CA}$$

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$$

де I_A , I_B , I_C - фазні струми, А

Відкіля лінійні струми дорівнюють геометричним різницям відповідних фазних струмів:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

Побудуємо векторні діаграми струмів і напруг - рис.4.1.

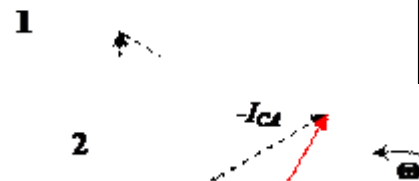


			Рисунок 4.1 - Векторні діаграми ЕРС(1) і струмів (2) для симетричної трифазної мережі при з'єднанні трикутником При сполученні трикутником обмоток генератора утворюється замкнений контур з малими опорами, тобто сума ЕРС за другим законом Кірхгофа повинна дорівнювати нулю: $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$ але у симетричній трифазній системі ЕРС зрушені одна відносно одної на кут 120°. Тому при відімкненні зовнішнього кола струму у цьому контурі не має. При невірному з'єднанні схеми трикутник (наприклад, переплутати початок обмотки з її кінцем) в замкненому контурі з незначним опором обмоток генератора з'явиться струм дуже великого значення, що еквівалентно короткому замиканню. При симетричній системі напруг і симетричності навантажень фаз, як видно з векторної діаграми, лінійні струми відстають від відповідних фазних струмів на 30°, таким чином лінійний струм більше фазного у $\sqrt{3}$ разів: $I_A = 2I_\phi \cos 30^\circ = 2I_\phi \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} I_\phi$ Побудуємо топографічні діаграми трифазного кола при сполученні трикутником - малюнок 4.2 а). Щоб показати на діаграмі зсуви фаз між напругами і струмами, вектори струмів проводять не з початку координат, а з точок А, В та С - - малюнок 4.2 б). При сполученні трикутником трифазного приймача повні, активні та реактивні потужності визначаються аналогічно
--	--	--	---

потужностям при сполученні зіркою.

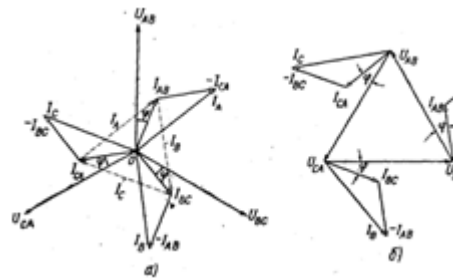


Рисунок 4.2 - Топографічні діаграми трифазного кола при сполученні трикутником

Схеми сполучення споживачів не залежать від схеми сполучення обмоток генератора. Основною умовою, яка визначає схему сполучення приймачів, є співвідношення між напругою мережі і номінальною напругою приймача. Приймач вмикають так, щоб на виводах однофазного приймача або на виводах кожної фази трифазного приймача була напруга, яка дорівнює їх номінальній фазній напрузі.

Наприклад, лампи з номінальною напругою 220 В вмикаються в мережу з

напругою 380 В ($\sqrt{3} \cdot 220$) за схемою зірка з нульовим проводом і за схемою трикутник - в мережу з лінійною напругою 220 В.

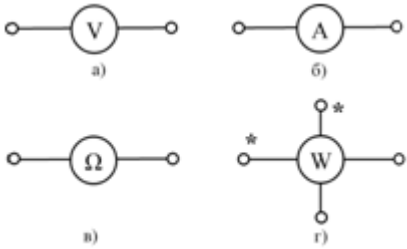
Обмотки трифазних двигунів виготовляють на номінальні фазні напруги 127, 220, 380 В. Кожний трифазний двигун можна ввімкнути або зіркою у трифазну мережу з лінійною напругою, яка більша за його фазну у раз, або трикутником, якщо лінійна напруга мережі дорівнює номінальній фазній напрузі його обмотки. Наприклад, двигуни з напругою 220/380 В підмикаються до мережі з напругою 220

			<i>B</i> за схемою трикутник або зіркою - до мережі з напругою <i>380 В</i>. Отже, один і той же приймач можна приєднати до мережі за схемою зірки або трикутника. Сполучення фаз приймача за схемою трикутник часто перемикають на зірку за допомогою триполюсного перемикача для зменшення пускових струмів трифазних двигунів, зміні потужності тощо. При перемиканні приймача зі схеми з'єднань зіркою на трикутник лінійний струм збільшується у три рази, а фазний - у $\sqrt{3}$ раз: $I_{\Delta} = \sqrt{3} I_{Y} \quad I_{\Delta} = 3 I_Y$, Активна потужність трифазного приймача незалежно від схем сполучення фаз: Внаслідок перемикання схеми лінійні струми збільшуються у три рази і споживана приймачем потужність $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$ зростає у три рази: При перемиканні з трикутника на зірку лінійний струм зменшується у три рази, а фазний - у $\sqrt{3}$ раз. При цьому потужність зменшується у три рази. Наприклад, у трифазного АД пусковий струм більше за номінальний приблизно у 6 раз. Якщо нормально двигун працює при з'єднанні обмоток трикутником, то на час пуску його перемикають на зірку і пусковий струм зменшується у три рази. Опануй конспект. Дай відповіді на питання:
--	--	--	--

			1.Співвідношення між лінійними і фазними струмами можна визначити, якщо застосувати перший закон Кірхгофа... 2.При перемиканні приймача зі схеми з'єднань зіркою на трикутник лінійний струм збільшується у три рази, а фазний - у ... Опануй підручник: В.Бондар "Практична електротехніка для робітничих професій". стор.30 - 33
17	04.12.20	Значення і роль електричних вимірювань. Чутливість приладів.	Загальні відомості про електровимірювальні прилади Електровимірювальні прилади призначені для перетворення різних електричних величин (сили струму, напруги, активних і реактивних потужностей та енергій, коефіцієнта потужності, опору, індуктивності, ємності та інших) у візуальну форму, зручну для сприйняття. Електровимірювальний прилад складається з вимірювального механізму, який поміщений у корпус, та допоміжних частин (затиски для підключення, перемикачі меж вимірювань, блок живлення, коректор та інші). Вимірювальний механізм складається з рухомої і нерухомої частин, та має шкалу з певною кількістю поділок. Принцип дії вимірювального механізму може бути заснований на явищі електромагнетизму, електромагнітної сили або теплової дії струму. В результаті цих явищ виникає обертаючий момент, який повертає рухому частину вимірювального механізму разом з покажчиком (стрілкою). Стрілка відхиляється на кут, прямо пропорційний значенню вимірюваної фізичної величини. В протидію обертаючому моменту (електромагнітним або механічним шляхом) створюється рівний та протидіючий момент, тому що інакше стрілка буде відхилятися до кінця шкали при будь-якому значенні вимірюваної величини (відмінної від нуля). Електровимірювальні прилади характеризуються наступними величинами: <i>Межа вимірювання</i> - найбільше значення фізичної величини, яке можна вимірити приладом. <i>Ціна поділки</i> - кількість одиниць вимірюваної фізичної величини в одній поділці шкали приладу: $C_p = \frac{A_{max}}{n}$ (9.1) де C_p - ціна поділки приладу; A_{max} - межа вимірювання приладу; n - кількість поділок на шкалі приладу. <i>Чутливість</i> - кількість поділок шкали, на яку відхиляється стрілка приладу при зміні вимірюваної фізичної величини на одну одиницю: $S = \frac{1}{C_p}$ (9.2) <i>Показання приладу</i> - значення фізичної величини, яке вимірює прилад (визначається як добуток ціни поділки приладу на кількість

			поділок, на яке відхилилася стрілка приладу при вимірюванні): $A = \text{Сп } n$, (9.3) де A - показання приладу; n - кількість поділок, на яке відхилилася стрілка приладу при вимірюванні. Абсолютна похибка - різниця між показанням приладу та дійсним значенням вимірюваної фізичної величини: $= A - A_d$, (9.4) де - абсолютна похибка; A - показання приладу; A_d - дійсне значення вимірюваної фізичної величини. Відносна похибка - відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної фізичної величини (виражене у відсотках): . (9.5) Приведена похибка - відношення абсолютної похибки до межі вимірювання приладу (виражене у відсотках): . (9.6) Клас точності - відношення максимальної абсолютної похибки (встановлюваної при проектуванні приладу) до межі вимірювання приладу (виражене у відсотках): . (9.7) Для зменшення похибки вимірювання необхідно вибрати межу вимірювання приладу так, щоб його показання знаходилося на останній третині шкали приладу: . (9.8) При роботі електровимірювальний прилад повинний споживати мінімально можливу потужність, щоб не змінювати режим роботи контрольованого об'єкта. Запитання для самоконтролю Для чого призначені електровимірювальні прилади? Опишіть побудову і принцип дії стрілочного електровимірювального приладу. Перелічіть основні величини, якими характеризується електровимірювальний прилад. Що розуміється під межею вимірювання приладу? Як визначити ціну поділки приладу? Як визначити чутливість приладу? Що розуміється під показанням приладу? Як визначити абсолютну похибку приладу? Як визначити відносну похибку приладу?
18	11.12.20	Класифікація приладів електровимірювальних	Класифікація електровимірювальних приладів Для вимірювання електричних величин найбільш частіше застосовуються наступні прилади: сили струму - <i>амперметр</i>; напруги - <i>вольтметр</i>; потужності - <i>ватметр</i>; електроенергії - <i>електричний лічильник</i>; коефіцієнта потужності - <i>фазометр</i>; опору - <i>омметр</i>, <i>вимірювальний міст</i>; частоти - <i>частотомір</i>. Електровимірювальні прилади розрізняються за наступними ознаками: вимірювана фізична величина; рід струму; клас точності; принцип дії; спосіб відліку та характер шкали; характер застосування й установки, та іншим. За родом струму прилади поділяються так: прилади, призначені для вимірювання на

			постійному струмі; прилади, призначені для вимірювання на змінному струмі; прилади, призначені для вимірювання на постійному і змінному струмі. Існують вісім <i>класів точності</i> приладів: 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 4,0 . <i>За принципом дії</i> прилади підрозділяються так: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, термоелектричні, випрямні та інші. <i>За способом відліку</i> прилади можуть бути такими, що показують (з безпосереднім відліком по шкалі) та такими, що реєструють (самописи, осцилографи). Шкала приладів, що показують, може бути рівномірною (всі поділки однакові) та нерівномірною (не всі поділки однакові); більш точне вимірювання здійснюється за допомогою рівномірної шкали. <i>За характером застосування</i> прилади підрозділяються так: стаціонарні (встановлювані на одному місці), переносні, транспортні (для мобільних установок). Встановлювати прилади можна вертикально (як правило, щитові прилади), горизонтально та під кутом до горизонталі. Вибір електровимірювального приладу здійснюється в такий спосіб: визначається вимірювана фізична величина та прилад для вимірювань (сила струму - амперметр, напруга - вольтметр, потужність - ватметр і так далі); визначається рід струму в колі (постійний, змінний); визначається необхідний клас точності приладу; визначається характер застосування й установки; визначається система приладу (магнітоелектрична, електромагнітна і так далі); визначається межа вимірювання приладу; визначається ціна поділки приладу. Запитання для самоконтролю: Перелічіть основні прилади, які найбільш частіше застосовуються для електричних вимірювань. 1. Як класифікуються електровимірювальні прилади? 2. Як здійснюється вибір електровимірювального приладу? 3. Електровимірювальні прилади розрізняються за наступними ознакам... стор.53 - 54
19	18.12.20	Вимірювання струму і напруги. Схеми включення амперметра і вольтметра.	Вимірювання напруги. Напруга вимірюється <i>вольтметром</i>. Умовне позначення вольтметра на електричних схемах приведено на рис. 6.1.а. Вольтметр вмикається паралельно ділянці кола, напруга на якій вимірюється (рис. 1.3).

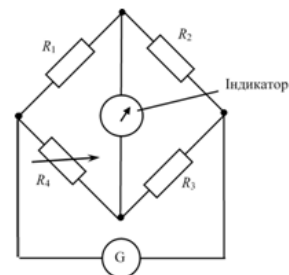
			 Рис. 6.1 – Умовні позначення на електричних схемах: а – вольтметр, б – амперметр, в – омметр, г – ватметр <i>Вимірювання сили струму.</i> Сила струму вимірюється <i>амперметром</i>. Умовне позначення амперметра на електричних схемах приведено на рис. 6.1,б. Амперметр вмикається послідовно ділянці кола, сила струму в якій вимірюється (рис. 1.3). $R = \frac{U}{I}$ <i>Перевір себе:</i> 1. Напруга вимірюється... 2. Вольтметр вмикаєтьсяділянці кола 3. Сила струму вимірюється..... 4. Амперметр вмикається..... ділянці кола
20	21.12.20	Вимірювання опорів. вимірювальні мостові схеми та омметри.	<i>Вимірювання опору.</i> Найбільш просто виміряти опір за допомогою амперметра та вольтметра (рис. 1.3). Амперметром вимірюється сила струму I в опорі. Вольтметром вимірюється напруга U на затискачах опору. За законом Ома розраховується величина опору: . Другим способом вимірювання опору є застосування спеціального приладу –

омметра. Умовне позначення омметра на електричних схемах приведено на рис. 6.1,в. Залежно від конструкції омметр вмикається послідовно або паралельно ділянці кола, опір якої вимірюється.

Третім способом вимірювання опору є застосування мостових схем.

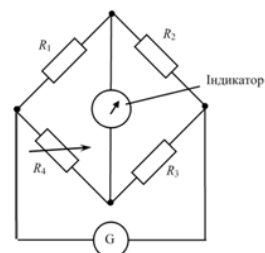
Одинарний вимірювальний міст – прилад для вимірювання електричного опору постійному або змінному струму методом порівняння зі зразковим опором у схемі замкнутого чотирикутника (рис. 6.2).

Рис. 6.2 – Одинарний міст для вимірювання опору



Плечі з резисторами з опорамі R_1 і R_2 називають *плечима відношення*. Ці резистори виконуються постійними або ступенево-змінними. Плече з резистором з опором R_3 називають *плечем виміру*. Плече з резистором з опором R_4 називають *плечем порівняння*. Резистор з опором R_4 виконують змінним.

При співвідношеннях між опорамі плечей моста



$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad (6.3)$$

напруга на його плечі виміру дорівнює нулю і струм в індикаторі напруги відсутній – міст знаходиться в рівновазі. З умови рівноваги моста, знаючи опір трьох його плечей, можна визначити невідомий опір за формулою:

$$R_3 = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_4$$

(6.4)

За допомогою одинарного вимірювального мосту можна вимірювати опори величиною від одного Ом до десятків МОм. Менші значення опорів (наприклад, перехідні опори електричних контактів) вимірюються за допомогою *подвійного вимірювального мосту* (рис. 6.3).

На рис. 6.3 позначено: R_3 – вимірюваний опір, R_4 – зразковий опір.

Умова рівноваги подвійного мосту:

$$R_3 = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_4$$

$$R_2 = \frac{R_2'}{R_1'} \cdot R_1$$

(6.5)

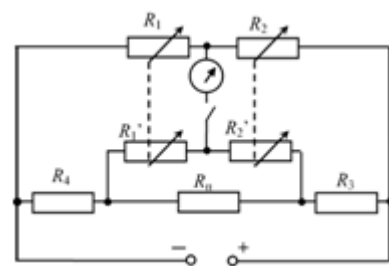


Рис. 6.3 – Подвійний міст для вимірювання малих опорів

Опір R_n до умови рівноваги не входить.

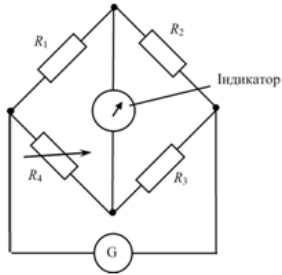
Перевір себе:

1. Найбільш просто виміряти опір за допомогою:

а).

б).

в).

			2. Одинарний міст для вимірювання опору -  3. За допомогою одинарного вимірювального мосту можна вимірювати опори величиною від...
21	13.01.21	Вимірювання потужності.	<i>Вимірювання потужності.</i> Активну потужність електричного кола постійного струму або однофазного змінного струму можна виміряти за допомогою амперметра та вольтметра (рис. 1.3). Амперметром вимірюється сила струму I в опорі. Вольтметром вимірюється напруга U на затискачах опору. Активна потужність розраховується за формулою: $P = U \cdot I$. Для безпосереднього вимірювання активної потужності однофазного кола змінного струму застосовують спеціальний прилад – <i>ватметр</i>. Умовне позначення ватметра на електричних схемах приведено на рис. 6.1,г. Ватметр відноситься до приладів електродинамічної системи, має дві обмотки (струмову обмотку та обмотку напруги) та, відповідно, чотири затискачі (виводи) для підключення в електричне коло. Два затискачі називаються генераторними (позначаються зіркою), інші два затискачі служать для підключення навантаження. При помилковому вмиканні затискачів стрілка ватметра буде відхилятися у зворотному напрямку.

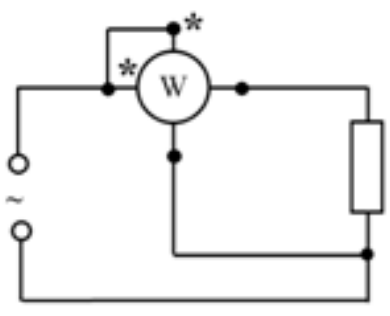
			 Рис. 6.4 – Схема вмикання однофазного ватметра для вимірювання активної потужності однофазного електричного кола Схема вмикання однофазного ватметра для вимірювання активної потужності однофазного електричного кола приведена на рис. 6.4. Перевір себе: 1.Активну потужність електричного кола постійного струму або однофазного змінного струму можна виміряти за допомогою 2. Який вид має схема вмикання однофазного ватметра для вимірювання активної потужності однофазного електричного кола? 3.Активна потужність розраховується за формулою: 4.Для безпосереднього вимірювання активної потужності однофазного кола змінного струму застосовують спеціальний прилад ... 5.Умовне позначення ватметра на електричних схемах....
22	20.01.21	Лабораторно - практична робота №3 Вимірювання величини сили струму,напруги та опору.	Вимірювання напруги, сили струму, опору Мета: <i>Навчитися вимірювати величини сили струму, напруги та опору.</i>

		Рис. 6.1 – Умовні позначення на електричних схемах: а – вольтметр, б – амперметр, в – омметр, г – ватметр <i>Вимірювання сили струму.</i> Для вимірювання сили струму в провіднику послідовно з ним вмикають амперметр. Слід мати на увазі, що амперметр має деякий опір R_a. Тому опір ділянки кола з увімкненим амперметром збільшується, й за незмінної напруги сила струму зменшується. Щоб амперметр чинив якомога менший вплив на силу струму, що вимірюється, його внутрішній опір роблять дуже малим. Якщо підключити амперметр до мережі, станеться коротке замикання. Для розширення меж вимірювання в амперметрах використовують <i>шунти</i>, котрі приспінюються паралельно до амперметра. Нехай амперметр, розрахований на номінальний струм I_0, має опір R_a. Визначимо опір шунта, щоб прилад міг виміряти більшу силу струму I.
--	--	--

			$n = \frac{I}{I_0}$ Позначимо через n відношення струмів: . Оскільки шунт підключений паралельно до амперметра, то їх загальний опір: $R_{\text{заг}} = \frac{R_x R_{\text{ш}}}{R_x + R_{\text{ш}}}$ $\frac{I}{I_0} = \frac{R_x}{\frac{R_x R_{\text{ш}}}{R_x + R_{\text{ш}}}}$ $n = \frac{R_x + R_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}}$ Звідки опір шунта $R_{\text{ш}} = \frac{R_x}{n - 1}$ Вимірювання напруги. Для того, щоб виміряти напругу в ділянці кола з опором R, до неї паралельно підключають вольтметр. R_v Якщо опір вольтметра R_v, то після ввімкнення його в коло опір ділянки буде вже не R, а $R' = \frac{R R_v}{R + R_v}$ Напруга, що вимірюється, зменшується. Для того щоб вольтметр не вносив помітних помилок у вимірювану напругу, його опір має бути більшим у порівнянні з опором ділянки кола, в якій проводиться вимірювання.
--	--	--	--



Для розширення меж вимірювання у вольтметрах використовують *додаткові опори*, які вмикаються послідовно з вольтметром. Нехай вольтметр, розрахований на напругу U_0 , має опір R_v . Знайдемо значення додаткового опору, щоб прилад міг вимірювати більшу напругу U .

Очевидно, що відношення напруг:

$$n = \frac{U}{U_0} = \frac{R_v + R_{\text{доп}}}{R_v}$$

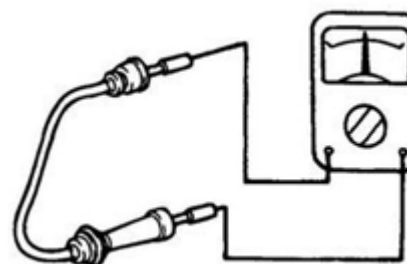
звідки

$$n = 1 + \frac{R_{\text{доп}}}{R_v} \quad \text{або}$$

$$R_{\text{доп}} = R_v (n - 1)$$

Вимірювання опору.

Для вимірювання електричного опору застосовують спеціальні прилади, які називаються омметрами і мегомметрами. Таким чином вимірюють опір ділянок кола, опір провідників, наявність розривів провода або шнура (якщо опір малий, то провід цілий).



Електричний опір можна також вимірювати за допомогою амперметра і вольтметра. При цьому способі в коло вимірюваного опору вмикають ці прилади. Для підрахунку значення опору застосовують формулу: $R=U/I$ де U - значення напруги, виміряної вольтметром (В), I - значення сили струму, виміряної амперметром (А), R - значення опору. Одиницею вимірювання опору є ом. Опір, у тисячу разів більший, називається кілоомом ($1000 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм}$), а в мільйон разів - мегаомом ($10^6 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$).

Перевірка омметром справності електричної лампи розжарення. При опорі, що прямує до нескінченності лампа несправна. При незначних значеннях опору відмічаємо, що лампа всередині не має розриву електричного кола.



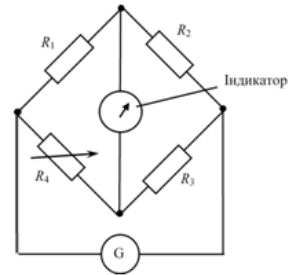
Найбільш просто виміряти опір за допомогою амперметра та вольтметра (рис. 1.3). Амперметром вимірюється сила струму I в опорі. Вольтметром вимірюється напруга U на затискачах опору. За законом Ома розраховується величина опору: .

Другим способом вимірювання опору є застосування спеціального приладу – *омметра*. Умовне позначення омметра на електричних схемах приведено на рис. 6.1,в. Залежно від конструкції омметр вмикається послідовно або паралельно ділянці кола, опір якої вимірюється.

Третім способом вимірювання опору є застосування мостових схем.

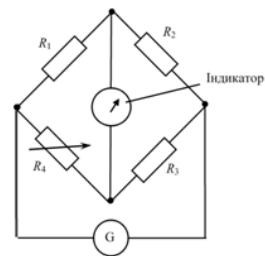
Одинарний вимірювальний міст – прилад для вимірювання електричного опору постійному або змінному струму методом порівняння зі зразковим опором у схемі замкнутого чотирикутника (рис. 6.2).

Рис. 6.2 – Одинарний міст для вимірювання опору



Плечі з резисторами з опорами R_1 і R_2 називають *плечима відношення*. Ці резистори виконуються постійними або ступенево-змінними. Плече з резистором з опором R_3 називають *плечем виміру*. Плече з резистором з опором R_4 називають *плечем порівняння*. Резистор з опором R_4 виконують змінним.

При співвідношеннях між опором плечей моста



$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad (6.3)$$

напруга на його плечі виміру дорівнює нулю і струм в індикаторі напруги відсутній – міст знаходиться в рівновазі. З умови рівноваги моста, знаючи опір трьох його плечей, можна визначити невідомий опір за формулою:

$$R_3 = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_4$$

(6.4)

За допомогою одинарного вимірювального мосту можна вимірювати опори величиною від одного Ом до десятків МОм. Менші значення опорів (наприклад, перехідні опори електричних контактів) вимірюються за допомогою *подвійного вимірювального мосту* (рис. 6.3).

На рис. 6.3 позначено: R_3 – вимірюваний опір, R_4 – зразковий опір.

Умова рівноваги подвійного мосту:

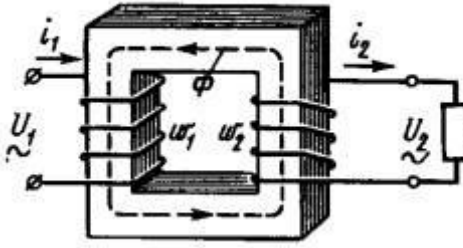
$$R_3 = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_4$$
$$R_2 = \frac{R_1'}{R_1} \cdot R_1$$

(6.5)

Опір R_n до умови рівноваги не входить.

Дати відповіді на питання:

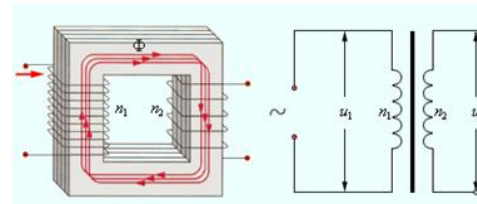
1. Яким приладом вимірюють силу струму?
2. Як присднують амперметр в коло постійного струму?
3. Як можна розширити межі вимірювання амперметра?
4. Яким приладом вимірюють напругу?
5. Як присднують вольтметр в коло постійного струму?
6. Як розширити межі вимірювання вольтметра?
7. Що відбудеться, якщо амперметр увімкнути безпосередньо в мережу?
8. Чи можна вмикати вольтметр безпосередньо в мережу?
9. Для вимірювання електричного опору застосовують спеціальні

			прилади 10. За допомогою одинарного вимірювального мосту можна вимірювати опори величиною від.... 11. Три способи вимірювання опору... 12. Одиницею вимірювання опору є..
23	27.01.01	Трансформатори. Будова та принцип дії трансформаторів. Використання. Режими роботи трансформаторів. ККД.	Трансформатор - це електромагнітний статичний перетворювач з двома або більше нерухомими обмотками, які перетворюють параметри змінного струму: напругу, струм, частоту, кількість фаз. Можливе також використання трансформаторів для перетворення синусоїдального змінного струму в не синусоїдальний. Переважне використання в електричних пристроях отримали <i>силові трансформатори</i>, що перетворюють напругу змінного струму при незмінній частоті. Трансформатори для перетворення не тільки напруги змінного струму, але й для частоти, кількості фаз і т.д. називають <i>трансформаторними пристроями спеціального призначення</i>. Силкові трансформатори широко використовуються в енергосистемах при передачі електроенергії від електростанції до споживачів, а також в різноманітних електропристроях для отримання напруги необхідної величини. В цій главі розглядаються силкові трансформатори (для скорочення ми їх будемо називати трансформаторами) невеликої потужності (не більше декількох кіловольт-ампер), що отримали найбільше використання в блоках електроживлення пристроїв автоматики, обчислювальної техніки, в вимірювальних приладах, зв'язку. Трансформатори поділяються, в залежності від: — кількості фаз перетворювальної напруги, на <i>однофазні</i> та <i>багатофазні</i> (як правило трифазні); — кількості обмоток, що належать одній фазі трансформуючої напруги, на <i>двохобмоточні</i> та <i>багатообмоточні</i>; — методу охолодження, на <i>сухі</i> (з повітряним охолодженням) та <i>масляні</i> (занурені в металічний об'єм, заповнений трансформаторним маслом).  Режими роботи трансформаторів Режим холостого ходу Режим роботи трансформатора, коли вторинна обмотка розімкнена, називається

режимом холостого ходу.

Електрична схема режиму холостого ходу:

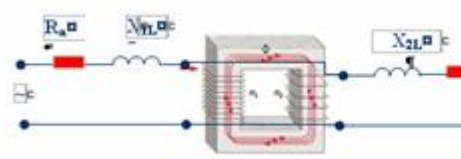
Рис.1



Якщо до первинної обмотки підвести напругу U_1 , нею буде йти струм, який позначимо I_0 . Цей струм створить магнітний потік Φ . Магнітний потік Φ , збуджуваний первинною обмоткою, індукуює у вторинній обмотці ЕРС, величина якої дорівнює E_2 . Той самий магнітний потік індукуює в первинній обмотці ЕРС E_1 . Невеликий струм, що споживається первинною обмоткою, називається струмом холостого ходу. Величина цього струму зазвичай становить 3 – 10 % від струму за умови номінального навантаження трансформатора. В режимі холостого ходу струм у вторинній обмотці відсутній, і тому напруга на загискачах вторинної обмотки дорівнює ЕРС, індукованій в цій обмотці:

$$U_2 = E_2$$

Для побудови векторних діаграм кіл з трансформаторами використовують **заступні схеми**. Заступна схема – це схема, що враховує активний опір обмоток трансформатора та індуктивні опори первинної і вторинної котушок. Трансформатор складається з двох кіл (первинної і вторинної обмотки), котрі не мають прямого електричного зв'язку. Але між ними існує електромагнітний зв'язок. У заступній схемі замінимо електромагнітний зв'язок між первинною і вторинною обмотками зв'язком електричним за умови, що потужності в обмотках трансформатора залишаються незмінними.



$$X_{1L} > X_{2L}$$

рис. 2

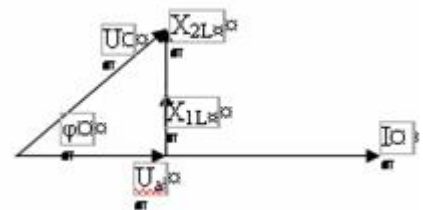


рис. 3

Режим короткого замыкания.

Режим работы трансформатора, коли замкнуті виводи вторинної обмотки, називається режимом короткого замикання.

При цьому активний опір дорівнює нулю.

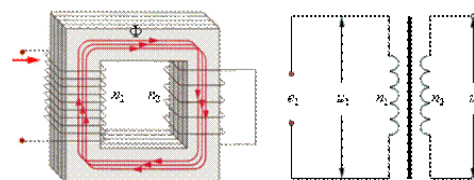


рис. 4

Схема заміщення короткого замикання

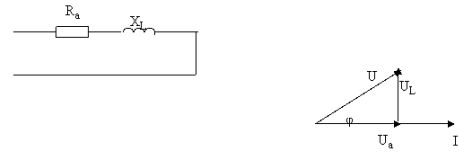


рис. 5

Режим роботи трансформатора під навантаженням Режим роботи трансформатора, коли вторинна обмотка замкнута на опір, називається режимом роботи трансформатора під навантаженням.

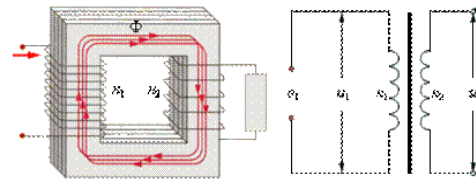


рис. 6

При такому режимі роботи у вторинній обмотці буде протікати струм I_2 , який створить свій магнітний потік Φ_2 , котрий за правилом Ленца має зменшити зміни магнітного потоку в осерді. Це призводить до автоматичного збільшення сили струму в колі первинної обмотки. Збільшення сили струму в колі первинної обмотки відбувається згідно із законом збереження енергії:

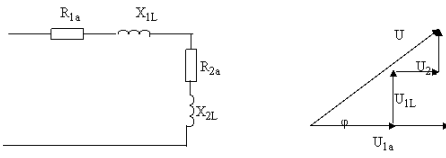
$$P_1 \approx P_2$$

$$I_1 U_1 \approx I_2 U_2$$

$$U_1 / U_2 \approx I_2 / I_1$$

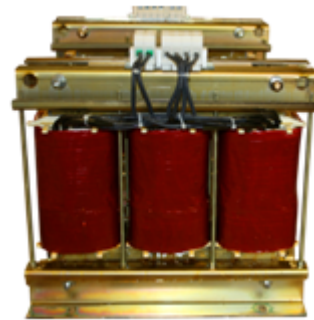
Це означає, що, підвищуючи за допомогою трансформатора напругу в кілька разів, ми в стільки ж разів зменшуємо силу струму (та навпаки).

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

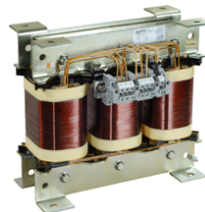
			Схема заміщення режиму навантаження рис. 7  Отже, режими холостого ходу і короткого замикання використовують під час визначення робочих властивостей трансформатора. При цьому необхідна порівняно незначна енергія, відпадає потреба в громіздкому обладнанні. Значно підвищується точність вимірювань порівняно з безпосереднім вимірюванням. За даними дослідів холостого ходу і короткого замикання можна визначити напругу на затискачах вторинної обмотки і ККД трансформатора для будь-якого навантаження. Контрольні запитання: 1.Що називається трансформатором? 2.За якими ознаками класифікують трансформатори. 3. Які є режими роботи трансформаторів? 4.Який режим роботи трансформатора називають режимом холостого ходу, короткого замикання? Опануй підручник: В.Бондар “Практична електротехніка для робітничих професій” стор.63 - 68
24	03.02.21	Тема: Трифазні трансформатори. Групи з'єднання обмоток. Спеціальні трансформатори. Автотрансформатори, будова, принцип дії, основні характеристики та області застосування. Зварювальні та вимірювальні трансформатори. Тематичне оцінювання.	Перетворення трифазної системи напруги можна реалізувати за допомогою трьох однофазних трансформаторів. Але при цьому буде використаний апарат значної ваги і значних розмірів. Трифазний трансформатор позбавлений цих недоліків, так як його обмотки розташовуються на стрижнях загального муздрамтеатру. Тому в мережах потужністю до 60 тис. КВА його застосування є оптимальним варіантом.



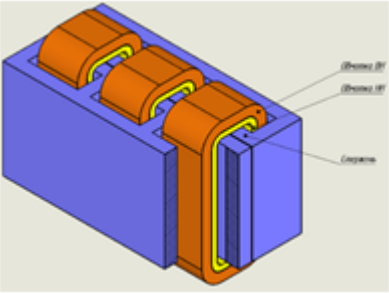
Головною функцією трансформаторів є передача електроенергії на великі дистанції. Електрична енергія змінного струму виробляється на електростанціях. При передачі електроенергії з'являються втрати на нагрівання проводів. Їх можна зменшити, знизивши силу струму. Для цього необхідно збільшити напругу таким чином, щоб його значення знаходиться в діапазоні від 6 до 500 кВ. Кратність збільшення залежить від значення переданої потужності і відстані до кінцевого пункту. Потужність, яка при цьому передається, залежить від двох параметрів: напруги та сили струму. Головною характеристикою, що впливає на зміну втрат проводів, пов'язаних з нагріванням, є значення сили струму. Відповідно для того, щоб знизити втрати на нагрівання, необхідно зменшити силу струму. Зменшуючи струм, величину напруги відповідно потрібно збільшувати. Тоді значення потужності, яка передається, залишиться незмінним.

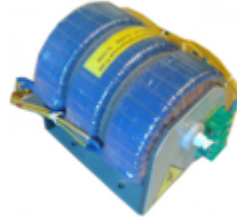


Після того як напруга буде доставлено споживачам, його слід знизити до необхідної величини. Відповідно, основним завданням трифазних трансформаторів є підвищення напруги перед передачею електроенергії і зниження після неї. Трифазний трансформатор – це статичний апарат з трьома парами обмоток. Прилад призначений для перетворення напруги при передачі потужності на значні відстані.



Класифікація за кількістю фаз: Однофазні трансформатори мають невелику потужність. Основними сферами його застосування є побут і

		проведення робіт спеціального призначення (зварювання, вимірювання, випробування). Діапазон потужності трифазних трансформаторів варіюється в великих межах. Тому і область їх застосування досить різноманітна: · для підтанія струмоприймачів спеціального призначення; · для приєднання вимірювальних приладів; · для зміни значення напруги при випробуваннях; · для збільшення або зменшення напруги при підключенні освітлення або силового навантаження. Принцип дії Основою трифазного трансформатора є магнітопровід і обмотки. У кожній фазі присутня своя підвищує і знижує обмотка. Так як фаз три, відповідно обмоток шість. Між собою вони не з'єднані.  Принцип роботи трифазного трансформатора, як і однофазного, базується на законі електромагнітної індукції. При підключенні до мережі первинної обмотки, в ній починає протікати змінний струм. Через нього в осерді магнітопроводу зі сталі з'являється основний магнітний потік, який охоплює обмотки в кожній фазі. В кожному витку з'являється однакова за значенням і величиною електрорушійна сила. Якщо кількість витків вторинної обмотки менше, ніж число витків первинної, то на виході виявиться напруга меншого значення, ніж на вході і навпаки. Той факт, що значення електрорушійної сили залежить лише від кількості витків певної обмотки, підтверджують формули: $E_1 = 4,44 f_1 \Phi W$
--	--	--



1

$E_2 = 4,44 f_1 \Phi W_2$, E_2 – значення електрорушійної сили в первинній та вторинній обмотках відповідно, V ; f_1 – частота струму в мережі, Гц; Φ – максимальне значення основного магнітного потоку, Вб; W_1 , W_2 – кількість витків в первинній та вторинній обмотках відповідно.

Трансформатори спеціального призначення

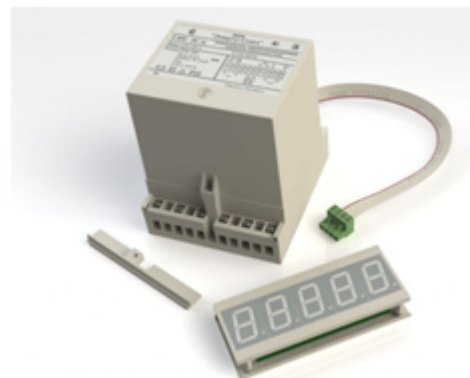
Перетворювачі напруги, які не призначені для харчування освітлювальної та силового навантаження, відносяться до спеціальних трансформаторів. Вони бувають декількох видів: вимірювальні, зварювальні, автотрансформатори.

Вимірювальні перетворювачі напруги

Вимірювальні трансформатори застосовуються для включення приладів вимірювання в ланцюзі високої напруги. Їх використання дозволяє:

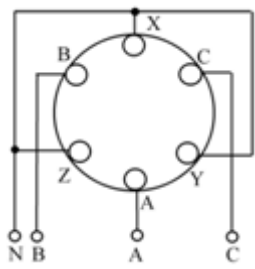
- розширити межі вимірювання установок змінного струму;
- збільшити захист осіб, які обслуговують апарати;
- застосовувати для вимірювання прилади невеликого розміру і ваги.

Поділяються на трансформатори струму і трансформатори напруги.

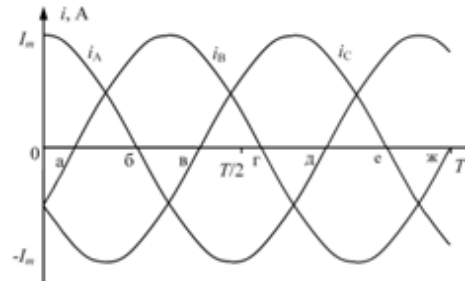


Первинна обмотка вимірювальних трансформаторів підключається до мережі, а

		до вторинної приєднуються прилади вимірювання. Зварювальне обладнання Зварювальні трансформатори знижують напругу мережі (220 В або 380 В) до необхідного 60-70 В. Невисока напруга при зварюванні забезпечує безпеку осіб, що проводять зварювання. Зниження значення напруги менше 60 В неприпустимо з огляду на те, що дуга може просто не запалитися. Зварювальні трансформатори не бояться коротких замикань, так як при цьому режимі роботи сила струму тривалий час утримується в межах допустимих значень. У машинних залах для запуску двигунів великої потужності, а також в лабораторіях при проведенні різного роду випробувань використовуються автотрансформатори.  Основна відмінна риса автотрансформаторів – наявність електричного з'єднання між первинною і вторинною обмотками. У понижуючих автотрансформаторах цей факт є недоліком, так як при недостатньому дотриманні техніки безпеки, при аварійному режимі, поломки приладу, життя і здоров'я обслуговуючого персоналу може виявитися під загрозою. Підготуватись до тематичної атестації та дати відповіді на питання: 1. Для чого призначені трансформатори? 2. Яка будова трансформатора? 3. Яку роль виконує магнітне поле у трансформаторі. 4. Що таке коефіцієнт трансформації? 5. Від яких параметрів залежить е.р.с., що наводиться в обмотках трансформатора. 6. Чому магнітопровід трансформатора виготовляють не суцільний, а збирають з тонких пластин електротехнічної сталі? 7. Які перетворення енергії відбуваються в трансформаторі? 8. Трансформатори спеціального призначення бувають: 1.
--	--	---

			2. 3. 9. Який режим роботи трансформатора називають режимом холостого ходу, короткого замикання? 10. Основним завданням трифазних трансформаторів є... 11. Принцип роботи трифазного трансформатора, як і однофазного, базується на... 12. Від чого залежить коефіцієнт корисної дії трансформатора? В.Бондар "Практична електротехніка для робітничих професій", стор.63 - 71 Контрольну роботу виконати на окремому аркуші і підписати: Тематичне оцінювання з електротехніки учня гр.46/20
25	10.02.21	Електричні машини змінного струму.	Асинхронні двигуни збуджуються змінним струмом. Асинхронні двигуни поділяють на <i>безколекторні</i> (основний тип) та <i>колекторні</i>. Асинхронні безколекторні двигуни випускаються у двох основних виконаннях: двигун із <i>короткозамкненим ротором</i>, двигун із <i>фазним ротором</i> (з контактними кільцями). Незалежно від типу, будь-який двигун змінного струму складається з двох частин: нерухомої частини (називається <i>статор</i>) і рухомої (обертової) частини (називається <i>ротор</i>). За числом фаз двигуни змінного струму бувають: трифазні, двофазні та однофазні. Позитивні якості асинхронних двигунів: простота і дешевина, надійність у роботі, достатньо високий ККД. Недоліки асинхронних двигунів: споживання індуктивного струму, який, намагнічуючи статор, призводить до зниження $\cos\phi$ мережі; неможливість плавного регулювання частоти обертання вала в широких межах (існують електронні засоби регулювання частоти обертання вала двигуна шляхом зміни частоти змінного струму, але вони достатньо складні і коштують дорого); погані пускові характеристики у двигунів із короткозамкненим ротором. Створення магнітного поля, що обертається. Однією із переваг трифазного струму є його здатність створювати магнітне поле, що обертається. Нехай три однакові нерухомі котушки AX, BY, CZ розташовані на внутрішній поверхні сталевго циліндра (статора) і з'єднані зіркою (рис. 5.27).  Рис. 5.27 – З'єднання обмоток статора "зіркою" По котушках проходять струми трифазної системи, графіки яких приведені на рис. 5.28. Приймаємо за позитивний

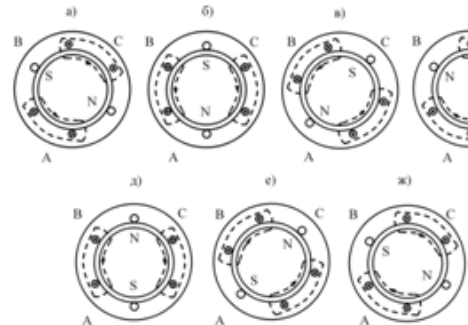
напрямок струму струм від початку до кінця котушки і знайдемо дійсні напрямки струмів у кожній котушці для декількох моментів часу а, б, в, г, д, е, ж. Наприклад, у момент (а) струм у другій котушці відсутній; струм у першій котушці має позитивний напрямок і тому на початку котушки (А) спрямований від спостерігача; струм у третій котушці має негативний напрямок і на початку котушки (С) спрямований до спостерігача (рис. 5.29).



Побудувавши лінії магнітної індукції, що охоплюють однаково спрямовані струми, для всіх обраних моментів часу, можна побачити, що напрямок сумарного магнітного потоку змінюється. Сумарний магнітний потік обертається за напрямком руху годинникової стрілки і робить протягом періоду одне обертання.

Якщо змінити порядок приєднання двох будь-яких котушок трифазної мережі, то напрямок обертання магнітного поля змінюється на протилежний.

Рис. 5.29 – Створення магнітного поля, що обертається, у різні моменти часу



Таким чином, трифазний струм, проходячи по трьох котушках статора, зсунутих у просторі на кут 120° , створює постійне за величиною, але обертове магнітне поле.

За час, який дорівнює одному періоду, магнітний потік робить одне обертання, а за f_1 періодів магнітний потік зробить n_1 обертів у секунду (або $f_1 \cdot 60$ періодів у хвилину):

$$(5.61)$$

де n_1 – синхронна швидкість (швидкість обертання магнітного поля статора), [об/хв]; f_1 – частота струму в обмотці статора, [Гц]; p – число пар полюсів статора.

Швидкість обертання магнітного поля статора обернено пропорційна числу пар полюсів. Наприклад, при $f_1 = 50$ Гц, $p = 1$; при $f_1 = 50$ Гц, $p = 2$: $n_1 = 1500$ об/хв

Конструкція та принцип дії

трифазного асинхронного електродвигуна. Трифазний асинхронний електродвигун має дві основні частини (рис. 5.30): ротор (частина, що обертається) і статор (нерухома частина). Зазор між статором і ротором виконується мінімально можливим (0,3÷0,5 мм у двигунів малої потужності, 1÷1,5 мм у двигунів великої потужності). Це пояснюється тим, що статор і ротор пов'язані між собою тільки електромагнітно, тому чим менше зазор, тим краще цей зв'язок і тим вище ККД двигуна.

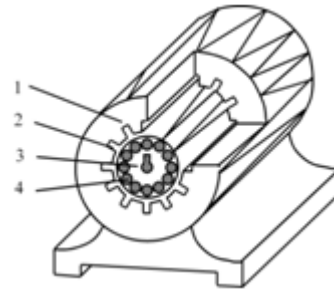


Рис. 5.30 – Конструкція трифазного асинхронного електродвигуна

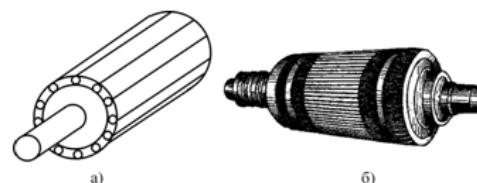
1 – корпус статора; 2 – пази осердя статора; 3 – осердя ротора; 4 – обмотка ротора

Статор складається з корпусу 1, в який запресоване осердя з пазами 2. В пазах осердя розміщена трифазна обмотка. Кінці обмотки виведені у клемну коробку. Для приєднання до мережі живлення обмотки статора можуть з'єднуватися "зіркою" або "трикутником". Найбільший обертальний момент на валу двигуна утворюється при з'єднанні обмоток "трикутником".

Ротор складається з осердя 3, насадженого на вал, і обмоток 4. Обмотки укладаються в пази осердя. Залежно від конструкції обмотки ротори поділяються на короткозамкнені та з фазною обмоткою.

Частіше застосовуються короткозамкнені ротори, в яких у пазах осердя розміщені мідні або алюмінієві стрижні, що замикаються накоротко мідними або алюмінієвими кільцями на торцях. Обмотка створює клітку, так зване "біляче колесо" (рис. 5.31,а).

Фазний (рис. 5.31,б) ротор має три фазні обмотки, кінці яких з'єднані разом, а початки прикріплені до ізольованих мідних кілець, укріплених на валу (три кільця). До кілець притиснуті щітки. Це дозволяє розмикати коло ротора, замикати його накоротко та вмикати в нього пусковий реостат. Для зменшення зносу і втрат на тертя деякі двигуни з пусковим реостатом мають пристрої для підйому щіток і замикання обмоток ротора накоротко після пуску двигуна.



Принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна базується на явищі обертового магнітного поля (рис. 5.32).

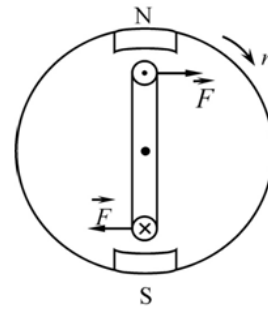


Рис.

5.32 – Принцип дії трифазного асинхронного двигуна

Обертове магнітне поле статора перетинає провідники обмотки ротора і наводить у них ЕРС, а оскільки провідники замкнуті, то в них виникає струм. Струм у провідниках обмотки ротора утворює власне магнітне поле, яке вступає у взаємодію з обертовим магнітним полем статора, внаслідок чого ротор починає обертатися слідом за обертовим полем статора. Зі зростанням швидкості обертання ротора зменшується швидкість, з якою провідники ротора перетинаються магнітними лініями. Якби ротор досяг тієї самої швидкості обертання, що й магнітний потік статора, то перетинання провідників взагалі не відбувалося б, і струм у роторі став би дорівнювати нулю. Але за відсутності струму в роторі обертальний момент також дорівнював би нулю. Отже, за наявності гальмуючого моменту магнітний потік і ротор не можуть обертатися з тією самою швидкістю, що і потік статора (синхронно). Швидкість обертання ротора завжди є дещо меншою. Тому двигуни такого типу і називаються "асинхронними" (тобто несинхронними).

Основні параметри трифазного асинхронного електродвигуна. При аналізі роботи трифазного асинхронного двигуна визначають наступні параметри: ковзання, частота ЕРС (струму) в обмотці ротора, ЕРС статора, ЕРС ротора, опір обмотки ротора, сила струму обмотки ротора, електромагнітний момент, обертальний момент, потужність, ККД, частота обертання вала ротора.

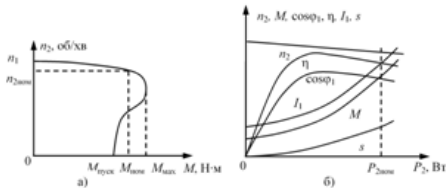
Домовимося, що надалі усі величини, що відносяться до статора, позначатимуться індексом 1, до ротора – індексом 2 відповідно.

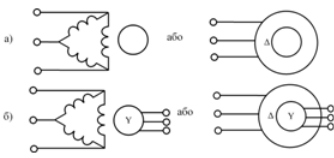
Раніше було введено швидкість обертання магнітного поля статора (синхронна швидкість) n_1 (формула (5.61)). Позначимо швидкість обертання вала ротора (асинхронна швидкість) n_2 .

Опанувати конспект та дати відповіді на запитання:

1. Асинхронні двигуни поділяють....
2. Основні параметри трифазного асинхронного електродвигуна
3. Конструкція та принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна.

26	17.02.21	Тема: Синхронна швидкість обертання магнітного поля. Ковзання.	Основні параметри трифазного асинхронного електродвигуна. При аналізі роботи трифазного асинхронного двигуна визначають наступні параметри: ковзання, частота ЕРС (струму) в обмотці ротора, ЕРС статора, ЕРС ротора, опір обмотки ротора, сила струму обмотки ротора, електромагнітний момент, обертальний момент, потужність, ККД, частота обертання вала ротора. Домовимося, що надалі усі величини, що відносяться до статора, визначатимуться індексом 1, до ротора – індексом 2 відповідно. Раніше було введено швидкість обертання магнітного поля статора (синхронна швидкість) n_1 (формула (5.61)). Позначимо швидкість обертання вала ротора (асинхронна швидкість) n_2. Ковзання (позначається латинською літерою s; безрозмірна величина) – відношення швидкості обертання магнітного поля відносно ротора до синхронної швидкості n_1: $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (5.62)$ Очевидно, що при $s = 1$ вал двигуна не обертається, а при $s \rightarrow 0$ швидкість обертання вала ротора n_2 наближається до синхронної швидкості n_1. Чим вище навантаження на валу, тим більше величина s. За номінального навантаження звичайно $s = 0,02 \div 0,06$. Магнітне поле статора обертається зі швидкістю n_1, що визначається формулою (5.61). Швидкість обертання вала ротора залежить від режиму роботи двигуна. Припустимо, що ротор нерухомий ($n_2 = 0$), тоді поле статора обертається відносно нерухомого ротора зі швидкістю: $n = n_1 - n_2 = n_1 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} = n_1 \cdot s \quad (5.63)$ Відповідно до цієї швидкості в обмотці ротора наводиться ЕРС (виникає струм). З формул (5.61) та (5.63) впливає вираз для визначення частоти ЕРС (струму) в обмотці ротора: $f_2 = f_1 - f_2 = f_1 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 \cdot s \quad (5.64)$ де позначено – частота струму в обмотці ротора. $f_2 = f_1 \cdot s \quad (5.65)$ Наприклад, за частоти струму в
----	----------	---	---

		обмотці статора $f_1 = 50$ Гц та ковзанні $s = 0,02$ частота струму в обмотці ротора дорівнює $f_2 = f_1 \cdot s = 50 \cdot 0,02 = 1$ Гц. Магнітний потік статора, обертаючись у просторі з постійною синхронною швидкістю, індукує у кожній з фаз статорної і роторної обмоток ЕРС E_1 та E_2 відповідно. ЕРС однієї фази обмотки статора визначається подібно ЕРС первинної обмотки трансформатора (формула (5.4)): $E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot f_1 \cdot \Phi_m \cdot k_1, [B],$ (5.66) де w_1 – число послідовно з'єднаних витків обмотки статора; f_1 – частота струму в обмотці статора, [Гц]; Φ_m – магнітний потік статора (амплітудне значення), [Вб]; k_1 – обмотувальний коефіцієнт статора. ЕРС нерухомої ($n_2 = 0$) обмотки ротору визначається аналогічно: $E_{2к} = 4,44 \cdot w_2 \cdot f_1 \cdot \Phi_m \cdot k_2, [B].$ (5.67) де w_2 – число послідовно з'єднаних витків обмотки ротора; k_2 – обмотувальний коефіцієнт ротора. ЕРС рухомої ($n_2 \neq 0$) обмотки ротору визначається за формулою: $E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot f_2 \cdot \Phi_m \cdot k_2, [B].$ (5.68) де $f_2 = f_1 \cdot s$ – частота струму в обмотці ротора. Тому можна записати наступне співвідношення між ЕРС рухомої та ЕРС нерухомої обмоток ротору: $E_2 = E_{2к} \cdot s$ (5.69) ЕРС, яка наводиться в роторі, що обертається, дорівнює ЕРС, що наводиться у нерухомому роторі, помноженій на ковзання. Опануй конспект: 1.Ковзання (позначається латинською літерою s; безрозмірна величина) –.... 2.Чим вище навантаження на валу, тим більше величина.....	
27	24..02.21	Тема:ККД.Механічна характеристика асинхронного двигуна.Способи реверсування.Область застосування асинхронних електричних машин.	Основними характеристиками трифазного асинхронного двигуна є:  а) $n_2, \text{об/хв}$ vs $M, \text{Н}\cdot\text{м}$ б) $\eta, \cos \varphi, I_1, s$ vs $P_2, \text{Вт}$

			1 <i>механічна характеристика</i> – залежність швидкості обертання вала ротора n_2 від моменту M навантаження на валу: $n_2 = f(M)$. Зразковий вид механічної характеристики подано на рис. 5.34,а;2. <i>робочі характеристики</i> (визначаються за сталих напруги на статорі $U_1 = \text{const}$ та частоти $f_1 = \text{const}$):– залежність швидкості обертання вала ротора n_2 від корисної потужності на валу P_2: $n_2 = f(P_2)$;– залежність обертового моменту M від корисної потужності на валу P_2: $M = f(P_2)$;– залежність коефіцієнта потужності $\cos\Phi_1$ від корисної потужності на валу P_2: $\cos\Phi_1 = f(P_2)$;– залежність ККД η від корисної потужності на валу P_2: $\eta = f(P_2)$; залежність сили струму I_1, що споживається двигуном, від корисної потужності на валу P_2: $I_1 = f(P_2)$;– залежність ковзання s від корисної потужності на валу P_2: $s = f(P_2)$. Зразковий вид робочих характеристик подано на рис. 5.34,б. Умовні позначення трифазних асинхронних двигунів на електричних схемах подано на рис. 5.35.  Рис. 5.35 – Умовні позначення на електричних схемах трифазних асинхронних двигунів: а – з короткозамкненим ротором, б – з фазним ротором Регулювання швидкості обертання вала ротора. Трифазні асинхронні двигуни, як правило, застосовуються у приводах, де регулювання швидкості обертання вала двигуна не передбачене. Аналіз співвідношення (5.61) дозволяє зробити висновок, що швидкість обертання вала ротора трифазного асинхронного двигуна можна регулювати шляхом або зміною кількості пар полюсів p, або зміною частоти f_1 струму живлення. Регулювання швидкості обертання вала ротора трифазного асинхронного двигуна <i>зміною кількості пар полюсів p</i> є ступеневим. Регулювання швидкості обертання вала ротору трифазного асинхронного двигуна <i>зміною частоти f_1</i> струму живлення вимагає наявності спеціального достатньо дорогого приладу, який дозволяє плавно змінювати частоту. Регулювання швидкості обертання вала ротора трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором здійснюється шляхом <i>зміни величини додаткового активного опору</i> реостата, що включений у фазні обмотки ротора аналогічно вмиканню пускового реостата (рис. 5.38). <i>Реверсування</i> трифазного асинхронного двигуна здійснюється шляхом зміни напрямку обертання магнітного поля статора. Для цього необхідно поміняти місцями будь-які два лінійні проводи. Перед реверсуванням двигун необхідно повністю зупинити для запобігання виникненню
--	--	--	--

			пожежонебезпечного режиму роботи. Застосування . Асинхронні машини одержали найбільш широке застосування в сучасних електричних установках і є найпоширенішим видом безколекторних електричних машин змінного струму. Як і будь-яка електрична машина, асинхронна машина оборотна й може працювати як у генераторному, так і в двигунному режимах. Однак переважне застосування мають асинхронні двигуни, що становлять основу сучасного електропривода. Області застосування асинхронних двигунів досить широкі — від привода пристроїв автоматики й побутових електроприладів до великого гірського устаткування (екскаваторів, дробарок, млинів і т.п.). Відповідно до цього потужність асинхронних двигунів, що випускаються електро машинобудівною промисловістю, становить діапазон від часток ват до тисяч кіловат при напрузі мережі живлення від десятків вольт до 10 кВ. Найбільше застосування мають трифазні асинхронні двигуни, розраховані на роботу від мережі промислової частоти (50 Гц). Асинхронні двигуни спеціального призначення виготовляються на підвищенні частоти змінного струму (200, 400 Гц і більше). Перевір себе: В.М.Бондар” Практична електротехніка”,стор.91-97 1.Механічна характеристика - це 2.Реверсування трифазного асинхронного двигуна здійснюється шляхом 3.Асинхронні машини одержали найбільш широке застосування в с....
28	24.03.21	Принцип дії та будова синхронних електричних машин змінного струму.ККД. Оборотноість синхронних електричних машин.	Синхронні машини Синхронна машина має властивість зворотності, тобто може працювати як у режимі генератора, так і у режимі двигуна, а це значить, що конструкції синхронного генератора і синхронного двигуна є однаковими. Конструкція синхронної машини. Синхронна машина є машиною змінного струму. Тому вона має дві основні частини: ротор (частина, що обертається) і статор (нерухома частина). Конструкція статора синхронної машини принципово не відрізняється від конструкції статора асинхронного двигуна. Конструкція ротора синхронної машини суттєво відрізняється від конструкції ротора асинхронного двигуна. Ротор синхронної машини являє собою електромагніт, який живиться постійним струмом. Для цього два кінці обмотки ротора виводяться на контактні кільця, розташовані на валу ротора. Постійний струм до контактних кілець ротора підводиться за допомогою щіток. Існує дві конструкції ротора синхронної машини: <i>явнополюсний ротор</i> та <i>неявнополюсний ротор</i>. На рис. 5.41,а подано конструкцію явнополюсного (чотириполюсного) ротора, на рис. 5.41,б – неявнополюсного (двополюсного) ротора.

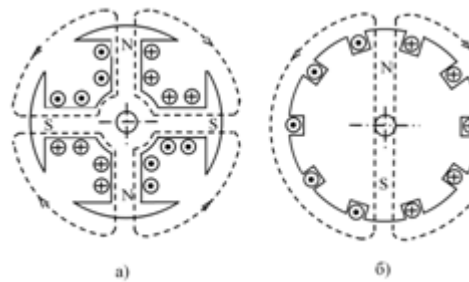


Рис. 5.41 – Поперечний переріз роторів синхронних машин

: а – явнополюсного, б – неявнополюсного

Явнополюсний ротор застосовується у тихохідних синхронних машинах (зі швидкістю обертання вала до 1000÷1500 об/хв). У швидкохідних синхронних машинах застосування явнополюсного ротора ускладнене внаслідок наявності великих відцентрових сил. У таких машинах застосовують неявнополюсний ротор, який конструктивно не має полюсів, що виступають.

Обмотка ротора збуджує постійний магнітний потік, тому називається *обмоткою збудження*.

Постійний струм для збудження обмоток ротора подається або від окремого генератора постійного струму, вал якого обертається разом із валом ротора синхронної машини (такий генератор називається *збудником*), або від окремого випрямляча.

Однофазні синхронні машини не знайшли широкого застосування, тоді як трифазні синхронні машини застосовуються достатньо широко. Так, на електричних станціях для вироблення електричної енергії застосовуються виключно синхронні генератори, які виробляють трифазний струм частотою 50 Гц.

Обертальний момент синхронної машини.

Визначимо на прикладі синхронного генератора. Електрична потужність, що віддається трифазним синхронним генератором при симетричному навантаженні розраховується за формулою:

$$P_1 = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1, \quad [Вт], \quad (5.91)$$

де m_1 – кількість фаз обмотки статора (для трифазного генератора $m_1 = 3$); U_1 – напруга на затискачах статора, [В]; I_1 – сила струму в обмотках статора, [А]; φ_1 – кут зсуву фаз між напругою та струмом статора (раніше

		домовилися, що величини, які відносяться до статора, визначатимуться індексом 1, до ротора – індексом 2 відповідно). На основі формули (5.78) запишемо вираз для механічної потужності $P_{\text{мех}}$, що передається генератору первинним двигуном: $P_{\text{мех}} = M \cdot \omega_2, \quad [\text{Вт}], \quad (5.92)$ де M – обертальний момент, [Н·м]; ω_2 – кутова швидкість обертання ротора, [рад/с]. Нехтуючи втратами, можна записати: $P_1 = P_{\text{мех}}. \quad (5.93)$ З урахуванням формул (5.91) та (5.92) з формули (5.93) отримуємо вираз для моменту, що долається первинним двигуном: $M = \frac{m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{\omega_2}, \quad [\text{Н·м}]. \quad (5.94)$ У випадку, що аналізується (синхронна машина працює генератором), момент протидіє обертанню ротора. Враховуючи, що синхронна машина має властивість зворотності, у випадку, коли машина працює двигуном, момент M стає обертальним. Магнітне поле статора обертається синхронно з ротором. Але між ЕРС статора E_1 та напругою U_1 на затискачах статора є кут, який називається <i>кутом неузгодженості</i> та позначається θ. Урахування кута θ у формулі (5.94) приводить до наступного співвідношення для моменту: $M = M_{\text{max}} \cdot \sin \theta, \quad [\text{Н·м}], \quad (5.95)$ $M_{\text{max}} = \frac{m_1 \cdot U_1 \cdot I_{\text{кз}}}{\omega_2}$ де позначено – амплітудне значення моменту, [Н·м]; $I_{\text{кз}}$ – сила струму короткого замикання, який виникає в генераторі при замикання накоротко обмоток статора, [А]. На рис. 5.42 приведено <i>кутову характеристику</i> синхронної машини (залежність $M = f(\theta)$).
--	--	---

З кутової характеристики випливає, що при $0 < \theta < \pi$ маємо $M > 0$, що відповідає режиму двигуна. При $-\pi < \theta < 0$ маємо $M < 0$, що відповідає режиму генератора.

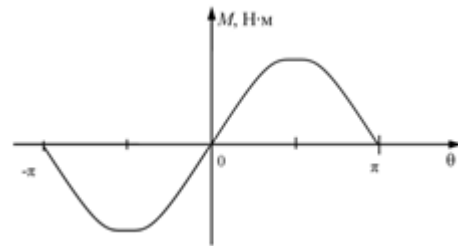


Рис. 5.42 – Кутова характеристика синхронної машини

Реакція якоря синхронної машини. Інколи статор синхронної машини називають *якорем синхронної машини* (за раніше введеним визначенням, якір – частина електричної машини, що індукуює ЕРС), а ротор – *індуктором синхронної машини*.

Реакція якоря синхронної машини – це взаємодія магнітних полів статора (якоря) та ротора (індуктора) синхронної машини.

Розглянемо реакцію якоря на прикладі синхронної машини, яка працює генератором. Якщо синхронний генератор працює під навантаженням, то в обмотках статора (якоря) існує змінний струм, який створює власне магнітне поле, яке взаємодіє з магнітним полем ротора (індуктора).

Тільки за активного навантаження генератора ЕРС та сила струму статора (якоря) збігаються за фазою. Тому магнітний потік статора (якоря) відстає від магнітного

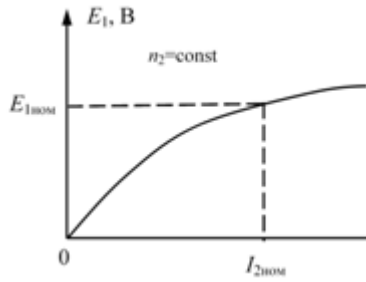
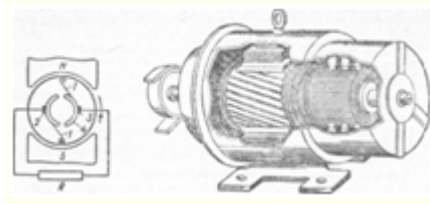
потоку ротора (індуктора) на кут $\frac{\pi}{2}$.

Тільки за індуктивного навантаження генератора ЕРС статора (якоря) випереджає силу струму статора (якоря) на кут $\frac{\pi}{2}$. Тому магнітний потік статора (якоря) "відстає" від магнітного потоку ротора

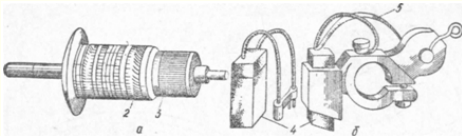
(індуктора) на кут $\frac{\pi}{2}$ (знаходиться у проти-фазі) та послаблює магнітний потік ротора (індуктора).

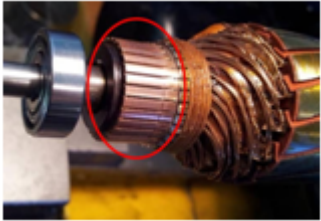
Тільки за ємнісного навантаження генератора ЕРС статора (якоря) відстає від

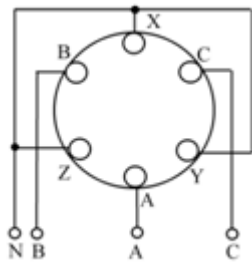
			$\frac{\pi}{2}$ сили струму статора (якоря) на кут $\frac{\pi}{2}$. Тому магнітний потік статора (якоря) співпадає за фазою з магнітним потоком ротора (індуктора) та посилює магнітний потік ротора (індуктора). За змішаного характеру навантаження синхронного генератора реакція якоря (статора) буде проміжною. ККД синхронної машини. Причини втрат у синхронній машині наступні: втрати на збудження, електричні втрати в обмотці статора, магнітні втрати у статорі, електричні втрати в обмотці ротора, магнітні втрати в роторі, механічні втрати в підшипниках, втрати за рахунок пульсації магнітного потоку при переході через пази статора. Позначимо сумарну потужність усіх втрат $P_{\text{втрат}}$. Тоді коефіцієнт корисної дії можна визначити з урахуванням формули (1.9). $\eta = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + P_{\text{втрат}}} \cdot 100, [\%],$ $\eta = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 - P_{\text{втрат}}}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1} \cdot 100$ Відповідно до формули (5.66) ЕРС однієї фази обмотки статора визначається за формулою $E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot f_1 \cdot \Phi_m \cdot k_1$ де w_1 – число послідовно з'єднаних витків обмотки статора; f_1 – частота струму в обмотці статора, [Гц]; Φ_m – магнітний потік статора, [Вб]; k_1 – обмотувальний коефіцієнт статора. Відповідно до формули (5.64) частота ЕРС в обмотці статора визначається за формулою: $f_1 = \frac{p \cdot n_1}{60} \text{ Гц.}$ $\frac{об}{хв}$ Де n_1 – синхронна швидкість Властивості синхронного генератора описуються його характеристиками, що знімаються за постійної швидкості обертання вала ротора $n_2 = \text{const}$: 1. <i>Характеристика холостого ходу</i> – залежність ЕРС статора E_1 від сили струму збудження I_2: $E_1 = f(I_2)$. Зразковий вид характеристики холостого ходу приведено на рис.
--	--	--	--

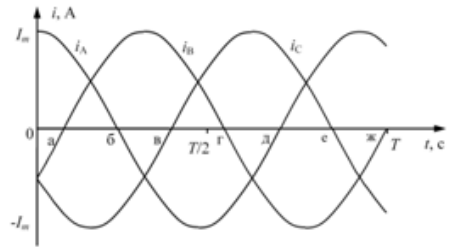
			5.43.  Перевір себе: 1. Синхронна машина має властивість зворотності, тобто може працювати.... 2. Синхронна машина є машиною змінного струму. Тому вона має дві основні частини:.... 3. Реакція якоря синхронної машини:.... 4. ЕРС однієї фази обмотки статора визначається за формулою:.... 5. Частота ЕРС в обмотці статора визначається за формулою:....
29	31.03.21	Електричні машини постійного струму. Принцип дії і будова генератора постійного струму.	Найпростішим генератором є виток, що обертається в магнітному полі полюсів N і S. У такому витку індукується змінна у часі ЕРС. Тому при з'єднанні кінців витка з контактними кільцями, що обертаються разом з витком, у навантаженні через нерухомі щітки протікає змінний струм, тобто така машина буде генератором змінного струму. Для перетворення змінного струму в постійний застосовують колектор, принцип дії якого полягає ось у чому. Кінці витка 1 приєднуються до двох мідних напівкільць (сегментів), що називаються колекторними пластинами 4. Пластини жорстко закріплені на валу машини й ізольовані одна від одної та від вала. На пластинах розміщені нерухомі щітки 2 і 3, електрично з'єднані з приймачем енергії.  Генератор постійного струму: а - схема

			будови: б - загальний вигляд Під час обертання витка колекторні пластини також обертаються разом з валом машини і кожна з нерухомих щіток 2 і 3 стикається то з однією, то з іншою пластиною. Щітки на колекторі встановлені так, що вони переходять з однієї пластини на другу в той момент, коли ЕРС, що індукується у витку, дорівнює нулеві. У цьому разі під час обертання якоря у витку індукується змінна ЕРС, яка змінюється синусоїдно за рівномірного розподілу магнітного поля, але кожна щітка стикається з тією колекторною пластиною і відповідно з тим провідником, який у даний момент перебуває під полюсом певної полярності. Отже, ЕРС на щітках 2 і 3 знаку не змінює, і струм по зовнішній ділянці замкнутого електричного кола протікає в одному напрямку - від щітки 2 через опір до щітки 3. Проте, незважаючи на незмінність напрямку ЕРС у зовнішньому колі, її значення змінюється з часом, тобто одержано не сталу, а пульсуючу ЕРС. Струм у зовнішньому колі буде також пульсуючим. Якщо розмістити на якорі два витки під кутом 90° один до одного і кінці цих витків з'єднати з чотирма колекторними пластинами, то пульсація ЕРС і сили струму у зовнішньому колі значно зменшуються. Зі збільшенням кількості колекторних пластин пульсація швидко зменшується і при великій кількості колекторних пластин ЕРС і сила струму практично сталі. На попередньому малюнку, б показано загальний вигляд машини постійного струму, її нерухома частина - індукуюча, тобто вона утворює магнітне поле, а обертова частина - індукована (якір).  Будова статора машини постійного струму: а - схема статора; б - схема головного полюса Нерухома частина машини складається з головних полюсів 1, додаткових полюсів 2 і станини 3. Головний полюс являє собою електромагніт, який утворює магнітний потік. Він складається з осердя 4, обмотки збудження 6 та полюсного наконечника 7. Полюс закріплюється на станині 3 болтом 5. Осердя полюса з поперечним перерізом овальної форми відливають зі сталі. На осерді полюса розміщується обмотка
--	--	--	--

		збудження з ізолюваного мідного проводу. Котушки всіх полюсів з'єднуються послідовно, утворюючи обмотку збудження. Струм, що протікає по обмотці збудження, утворює магнітний потік. Полюсний наконечник утримує обмотку збудження на полюсі і забезпечує рівномірний розподіл магнітного поля під полюсом. Полюсному наконечнику надають такої форми, за якої повітряний зазор між полюсами та якорем однаковий по всій довжині полюсної дуги. У додаткових полюсів також є осердя та обмотки. Додаткові полюси розміщені між головними полюсами і кількість їх може або дорівнювати кількості головних полюсів, або бути вдвічі меншою. Додаткові полюси встановлюють у машинах великих потужностей; вони служать для усунення іскріння під щітками. У машинах малих потужностей додаткових полюсів немає. Станину, яка є основою машини, виливають зі сталі. На ній закріплюють головні й додаткові полюси, а на торцевих боках її - бічні щити з підшипниками, які утримують вал машини. За допомогою станини машину закріплюють на фундаменті. <i>Якір машини постійного струму: а — загальний вигляд; б — щітка і щіткотримач</i>  Обертова частина машини - якір складається з осердя 1, обмотки 2 і колектора 3. Осердя являє собою циліндр, складений із листів електротехнічної сталі. Листи ізолюють один від одного лаком або папером для зменшення втрат на вихрові струми. Сталеві листи штампують на верстатах по шаблону; у них є пази, в які укладають провідники якірної обмотки. У тілі якоря передбачають повітряні канали для охолодження обмотки й осердя. Обмотку старанно ізолюють від осердя й закріплюють у пазах немагнітними клинами. Лобові з'єднання закріплюють сталевими бандажами. Усі секції обмотки, розміщені на якорі, з'єднують послідовно, утворюючи замкнене коло, і приєднують до колекторних пластин. Для з'єднання якірної обмотки з зовнішнім колом на колекторі розміщують нерухомі щітки, які можуть бути графітними, вугільно-графітними або бронзо-графітними. У машинах високої напруги застосовують графітні щітки з великим перехідним опором між щіткою й колектором, у машинах низької напруги - бронзо-графітні щітки. Щітки розміщують у особливих щіткотримачах. Щітка 4, розміщена в обоймі щіткотримача, притискується пружиною 5 до колектора. На кожному щіткотримачі може знаходитися кілька щіток, приєднаних паралельно. Щіткотримачі закріплюють на
--	--	--

			щіткових болтах-пальцях, які в свою чергу закріплені на траверсі. Для закріплення на щітковому пальці у щіткотримача є отвір. Щіткові пальці ізолюють від траверси ізоляційними шайбами та втулками. Кількість щіткотримачів дорівнює кількості полюсів. Траверсу встановлюють на підшипниковому щиті в машинах малої й середньої потужності або прикріплюють до станини — у машинах великої потужності. Траверсу можна повертати і цим міняти положення щіток відносно полюсів. Траверсу встановлюють у такому положенні, за якого розміщення щіток у просторі збігається з розміщенням осей головних полюсів. В машинах постійного струму виведені назовні кінці обмоток маркують буквами: Я - обмотка якоря, К - компенсаційна обмотка, Д - обмотка додаткових полюсів, С - послідовна обмотка збудження, Ш - паралельна обмотка збудження, Н - незалежна обмотка збудження, П - пускова обмотка, В - зрівняльний провід і зрівняльна обмотка. До літерних позначень додаються цифри: 1 - початок обмотки, 2 - кінець обмотки; наприклад, Я1 - початок обмотки якоря, Я2 - її кінець.  Колектор собою циліндр, що складається з о пластин. Колекторні пластини виготовл твердотягнутої міді й ізолюють між со від корпуса прокладками з міканіт закріплення на втулці колекторним пла надають форми «ластівчиного хвоста» затискається між виступом на вт шайбою, які ма ють форму, що відповідає формі пл Шайбу прикріплюють до втулки болтам Перевір себе: 1. Машина постійного струму - електрична машина, призначена... 2. Нерухома частина машини, яка називається статором (індуктором), складається... 3. Колектор – це... 4. Додаткові полюси призначені... 5. В машинах постійного струму виведені назовні кінці обмоток маркують буквами:...
Дистанційне навчання			
6	12.10.21	Електровимірювальні прилади.	В.М.Бондар “Практична електротехніка” стор.53 - 58

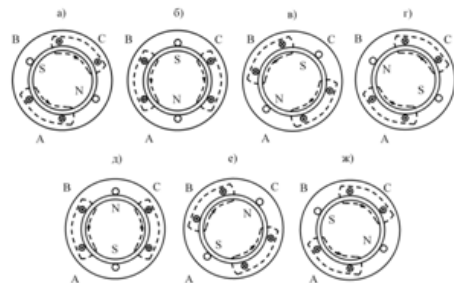
7	19.10.21	Електричні машини змінного струму.	Асинхронні двигуни збуджуються змінним струмом. Асинхронні двигуни поділяють на <i>безколекторні</i> (основний тип) та <i>колекторні</i>. Асинхронні безколекторні двигуни випускаються у двох основних виконаннях: двигун із <i>короткозамкненим ротором</i>, двигун із <i>фазним ротором</i> (з контактними кільцями). Незалежно від типу, будь-який двигун змінного струму складається з двох частин: нерухомої частини (називається <i>статор</i>) і рухомої (обертової) частини (називається <i>ротор</i>). За числом фаз двигуни змінного струму бувають: трифазні, двофазні та однофазні. Позитивні якості асинхронних двигунів: простота і дешевина, надійність у роботі, достатньо високий ККД. Недоліки асинхронних двигунів: споживання індуктивного струму, який, намагнічуючи статор, призводить до зниження $\cos\phi$ мережі; неможливість плавного регулювання частоти обертання вала в широких межах (існують електронні засоби регулювання частоти обертання вала двигуна шляхом зміни частоти змінного струму, але вони достатньо складні і коштують дорого); погані пускові характеристики у двигунів із короткозамкненим ротором. Створення магнітного поля, що обертається. Однією із переваг трифазного струму є його здатність створювати магнітне поле, що обертається. Нехай три однакові нерухомі котушки AX, BY, CZ розташовані на внутрішній поверхні сталевго циліндра (статора) і з'єднані зіркою (рис. 5.27).  Рис. 5.27 – З'єднання обмоток статора "зіркою" По котушках проходять струми трифазної системи, графіки яких приведені на рис. 5.28. Приймаємо за позитивний напрямок струму струм від початку до кінця котушки і знайдемо дійсні напрямки струмів у кожній котушці для декількох моментів часу а, б, в, г, д, е, ж. Наприклад, у момент (а) струм у другій котушці відсутній; струм у першій котушці має позитивний напрямок і тому на початку котушки (А) спрямований від спостерігача; струм у третій котушці має негативний напрямок і на початку котушки (С) спрямований до спостерігача (рис. 5.29).
---	----------	------------------------------------	--



Побудувавши лінії магнітної індукції, що охоплюють однаково спрямовані струми, для всіх обраних моментів часу, можна побачити, що напрямок сумарного магнітного потоку змінюється. Сумарний магнітний потік обертається за напрямком руху годинникової стрілки і робить протягом періоду одне обертання.

Якщо змінити порядок приєднання двох будь-яких котушок трифазної мережі, то напрямок обертання магнітного поля змінюється на протилежний.

Рис. 5.29 – Створення магнітного поля, що обертається, у різні моменти часу



Таким чином, трифазний струм, проходячи по трьох котушках статора, зсунутих у просторі на кут 120° , створює постійне за величиною, але обертове магнітне поле.

За час, який дорівнює одному періоду, магнітний потік робить одне обертання, а за f_1 періодів магнітний потік зробить n_1 обертів у секунду (або $f_1 \cdot 60$ періодів у хвилину):

$$(5.61)$$

де n_1 – *синхронна швидкість* (швидкість обертання магнітного поля статора), [об/хв]; f_1 – частота струму в обмотці статора, [Гц]; p – число пар полюсів статора.

Швидкість обертання магнітного поля статора обернено пропорційна числу пар полюсів. Наприклад, при $f_1 = 50$ Гц, $p = 1$:
; при $f_1 = 50$ Гц, $p = 2$: $n_1 = 1500$ об/хв

Конструкція та принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна.

Трифазний асинхронний електродвигун має дві основні частини (рис. 5.30): ротор (частина, що обертається) і статор (нерухома частина). Зазор між статором і ротором виконується мінімально можливим (0,3÷0,5 мм у двигунів малої потужності, 1÷1,5 мм у двигунів великої потужності). Це пояснюється тим, що статор і ротор пов'язані між собою тільки електромагнітно, тому чим менше зазор, тим краще цей зв'язок і тим вище ККД двигуна.

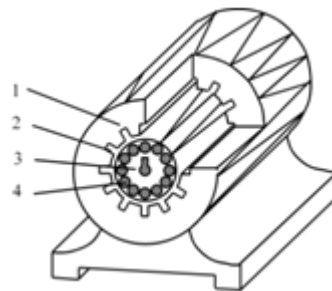


Рис. 5.30 – Конструкція трифазного асинхронного електродвигуна

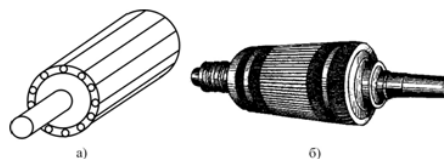
1 – корпус статора; 2 – пази осердя статора; 3 – осердя ротора; 4 – обмотка ротора

Статор складається з корпусу 1, в який запресоване осердя з пазами 2. В пазах осердя розміщена трифазна обмотка. Кінці обмотки виведені у клемну коробку. Для приєднання до мережі живлення обмотки статора можуть з'єднуватися "зіркою" або "трикутником". Найбільший обертальний момент на валу двигуна утворюється при з'єднанні обмоток "трикутником".

Ротор складається з осердя 3, насадженого на вал, і обмоток 4. Обмотки укладаються в пази осердя. Залежно від конструкції обмотки ротори поділяються на короткозамкнені та з фазною обмоткою.

Частіше застосовуються короткозамкнені ротори, в яких у пазах осердя розміщені мідні або алюмінієві стрижні, що замикаються накоротко мідними або алюмінієвими кільцями на торцях. Обмотка створює клітку, так зване "біляче колесо" (рис. 5.31,а).

Фазний (рис. 5.31,б) ротор має три фазні обмотки, кінці яких з'єднані разом, а початки прикріплені до ізольованих мідних кілець, укріплених на валу (три кільця). До кілець притиснуті щітки. Це дозволяє розмикати коло ротора, замикати його накоротко та вмикати в нього пусковий реостат. Для зменшення зносу і втрат на тертя деякі двигуни з пусковим реостатом мають пристрої для підйому щіток і замикання обмоток ротора накоротко після пуску двигуна.



Принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна базується на явищі обертового магнітного поля (рис. 5.32).

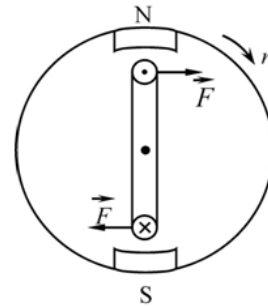


Рис.

5.32 – Принцип дії трифазного асинхронного двигуна

Обертове магнітне поле статора перетинає провідники обмотки ротора і наводить у них ЕРС, а оскільки провідники замкнуті, то в них виникає струм. Струм у провідниках обмотки ротора утворює власне магнітне поле, яке вступає у взаємодію з обертовим магнітним полем статора, внаслідок чого ротор починає обертатися слідом за обертовим полем статора. Зі зростанням швидкості обертання ротора зменшується швидкість, з якою провідники ротора перетинаються магнітними лініями. Якби ротор досяг тієї самої швидкості обертання, що й магнітний потік статора, то перетинання провідників взагалі не відбувалося б, і струм у роторі став би дорівнювати нулю. Але за відсутності струму в роторі обертальний момент також дорівнював би нулю. Отже, за наявності гальмуючого моменту магнітний потік і ротор не можуть обертатися з тією самою швидкістю, що і потік статора (синхронно). Швидкість обертання ротора завжди є дещо меншою. Тому двигуни такого типу і називаються "асинхронними" (тобто несинхронними).

Основні параметри трифазного асинхронного електродвигуна. При аналізі роботи трифазного асинхронного двигуна визначають наступні параметри: ковзання, частота ЕРС (струму) в обмотці ротора, ЕРС статора, ЕРС ротора, опір обмотки ротора, сила струму обмотки ротора, електромагнітний момент, обертальний момент, потужність, ККД, частота обертання вала ротора.

Домовимося, що надалі усі величини, що відносяться до статора, позначатимуться індексом 1, до ротора – індексом 2 відповідно.

Раніше було введено швидкість обертання магнітного поля статора (синхронна швидкість) n_1 (формула (5.61)). Позначимо швидкість обертання вала ротора (асинхронна швидкість) n_2 .

Опанувати конспект та дати відповіді на запитання:

1. Асинхронні двигуни поділяють....
2. Основні параметри трифазного асинхронного електродвигуна
3. Конструкція та принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна.

В.М. Бондар Стор.87 - 91

8

26.10.21

Тема: Синхронна швидкість обертання

Основні параметри трифазного асинхронного електродвигуна. При аналізі

		магнітного поля. Ковзання. Механічна характеристика асинхронного двигуна. роботи трифазного асинхронного двигуна визначають наступні параметри: ковзання, частота ЕРС (струму) в обмотці ротора, ЕРС статора, ЕРС ротора, опір обмотки ротора, сила струму обмотки ротора, електромагнітний момент, обертальний момент, потужність, ККД, частота обертання вала ротора. Домовимося, що надалі усі величини, що відносяться до статора, визначатимуться індексом 1, до ротора – індексом 2 відповідно. Раніше було введено швидкість обертання магнітного поля статора (синхронна швидкість) n_1 (формула (5.61)). Позначимо швидкість обертання вала ротора (асинхронна швидкість) n_2. <i>Ковзання</i> (позначається латинською літерою s; безрозмірна величина) – відношення швидкості обертання магнітного поля відносно ротора до синхронної швидкості n_1: $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (5.62)$ Очевидно, що при $s = 1$ вал двигуна не обертається, а при $s \rightarrow 0$ швидкість обертання вала ротора n_2 наближається до синхронної швидкості n_1. Чим вище навантаження на валу, тим більше величина s. За номінального навантаження звичайно $s = 0,02 \div 0,06$. Магнітне поле статора обертається зі швидкістю n_1, що визначається формулою (5.61). Швидкість обертання вала ротора залежить від режиму роботи двигуна. Припустимо, що ротор нерухомий ($n_2 = 0$), тоді поле статора обертається відносно нерухомого ротора зі швидкістю: $n = n_1 - n_2 = n_1 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} = n_1 \cdot s \quad (5.63)$ Відповідно до цієї швидкості в обмотці ротора наводиться ЕРС (виникає струм). З формул (5.61) та (5.63) впливає вираз для визначення частоти ЕРС (струму) в обмотці ротора: $f_2 = n_1 - n_2 = n_1 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} = n_1 \cdot s \quad (5.64)$ де позначено – частота струму в обмотці ротора. $f_2 = f_1 \cdot s \quad (5.65)$ Наприклад, за частоти струму в обмотці статора $f_1 = 50$ Гц та ковзанні $s = 0,02$ частота струму в обмотці ротора дорівнює $f_2 =$
--	--	--

$$f_1 \cdot s = 50 \cdot 0,02 = 1 \text{ Гц.}$$

Магнітний потік статора, обертаючись у просторі з постійною синхронною швидкістю, індукує у кожній з фаз статорної і роторної обмоток ЕРС E_1 та E_2 відповідно.

ЕРС однієї фази обмотки статора визначається подібно ЕРС первинної обмотки трансформатора (формула (5.4)):

$$E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot f_1 \cdot \Phi_m \cdot k_1, [\text{В}], \quad (5.66)$$

де w_1 – число послідовно з'єднаних витків обмотки статора; f_1 – частота струму в обмотці статора, [Гц]; Φ_m – магнітний потік статора (амплітудне значення), [Вб]; k_1 – обмотувальний коефіцієнт статора.

ЕРС нерухомої ($n_2 = 0$) обмотки ротору визначається аналогічно:

$$E_{2к} = 4,44 \cdot w_2 \cdot f_1 \cdot \Phi_m \cdot k_2, [\text{В}]. \quad (5.67)$$

де w_2 – число послідовно з'єднаних витків обмотки ротора; k_2 – обмотувальний коефіцієнт ротора.

ЕРС рухомої ($n_2 \neq 0$) обмотки ротору визначається за формулою:

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot f_2 \cdot \Phi_m \cdot k_2, [\text{В}]. \quad (5.68)$$

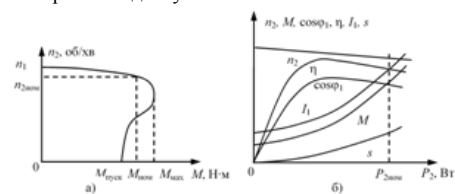
де $f_2 = f_1 \cdot s$ – частота струму в обмотці ротора.

Тому можна записати наступне співвідношення між ЕРС рухомої та ЕРС нерухомої обмоток ротору:

$$E_2 = E_{2к} \cdot s \quad (5.69)$$

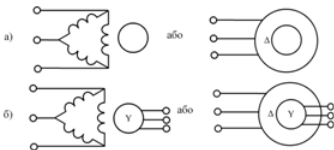
ЕРС, яка наводиться в роторі, що обертається, дорівнює ЕРС, що наводиться у нерухомому роторі, помноженій на ковзання.

Основними характеристиками трифазного асинхронного двигуна є:



1 механічна характеристика – залежність швидкості обертання вала ротора n_2 від моменту M навантаження на валу: $n_2 = f(M)$. Зразковий вид механічної характеристики подано на рис. 5.34,а;2.

робочі характеристики (визначаються за сталих напруги на статорі $U_1 = \text{const}$ та частоти $f_1 = \text{const}$):– залежність швидкості обертання вала ротора n_2 від корисної потужності на валу P_2 : $n_2 = f(P_2)$;– залежність обертового

		моменту M від корисної потужності на валу P_2: $M = f(P_2)$;– залежність коефіцієнта потужності $\cos\Phi_1$ від корисної потужності на валу P_2: $\cos\Phi_1 = f(P_2)$;– залежність ККД η від корисної потужності на валу P_2: $\eta = f(P_2)$; залежність сили струму I_1, що споживається двигуном, від корисної потужності на валу P_2: $I_1 = f(P_2)$;– залежність ковзання s від корисної потужності на валу P_2: $s = f(P_2)$. Зразковий вид робочих характеристик подано на рис. 5.34,б. Умовні позначення трифазних асинхронних двигунів на електричних схемах подано на рис. 5.35.  Рис. 5.35 – Умовні позначення на електричних схемах трифазних асинхронних двигунів: а – з короткозамкненим ротором, б – з фазним ротором Регулювання швидкості обертання вала ротора. Трифазні асинхронні двигуни, як правило, застосовуються у приводах, де регулювання швидкості обертання вала двигуна не передбачене. Аналіз співвідношення (5.61) дозволяє зробити висновок, що швидкість обертання вала ротора трифазного асинхронного двигуна можна регулювати шляхом або зміною кількості пар полюсів p, або зміною частоти f_1 струму живлення. Регулювання швидкості обертання вала ротора трифазного асинхронного двигуна <i>змінюю кількості пар полюсів p</i> є ступеневим. Регулювання швидкості обертання вала ротору трифазного асинхронного двигуна <i>змінюю частоти f_1</i> струму живлення вимагає наявності спеціального достатньо дорогого приладу, який дозволяє плавно змінювати частоту. Регулювання швидкості обертання вала ротора трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором здійснюється шляхом <i>зміни величини додаткового активного опору</i> реостата, що включений у фазні обмотки ротора аналогічно вмиканню пускового реостата (рис. 5.38). <i>Реверсування</i> трифазного асинхронного двигуна здійснюється шляхом зміни напрямку обертання магнітного поля статора. Для цього необхідно поміняти місцями будь-які два лінійні проводи. Перед реверсуванням двигун необхідно повністю зупинити для запобігання виникненню пожежонебезпечного режиму роботи. Застосування . Асинхронні машини одержали найбільш широке застосування в сучасних електричних установках і є найпоширенішим видом безколекторних електричних машин змінного струму. Як і будь-яка електрична машина, асинхронна машина оборотна й може працювати як у генераторному, так і в двигунному режимах. Однак переважне застосування мають асинхронні двигуни, що становлять основу сучасного електропривода. Області застосування асинхронних двигунів
--	--	---

			досить широкі — від привода пристроїв автоматики й побутових електроприладів до великого гірського устаткування (екскаваторів, дробарок, млинів і т.п.). Відповідно до цього потужність асинхронних двигунів, що випускаються електро машинобудівною промисловістю, становить діапазон від часток ват до тисяч кіловат при напрузі мережі живлення від десятків вольт до 10 кВ. Найбільше застосування мають трифазні асинхронні двигуни, розраховані на роботу від мережі промислової частоти (50 Гц). Асинхронні двигуни спеціального призначення виготовляються на підвищенні частоти змінного струму (200, 400 Гц і більше). Перевір себе: В.М.Бондар” Практична електротехніка”, стор.91- 97. Опануй конспект та дай відповіді на питання: 1.Ковзання (позначається латинською літерою s; безрозмірна величина) —.... 2.Чим вище навантаження на валу, тим більше величина..... 3.Механічна характеристика - це 4.Реверсування трифазного асинхронного двигуна здійснюється шляхом... 5.Асинхронні машини одержали найбільш широке застосування в с.....
9	02.11.21	Електричні апарати . Загальні відомості про електричні апарати. Апаратура керування і захисту.	В.М.Бондар” Практична електротехніка”, Розділ 8 стор.106- 109 Дати відповідь на питання в кінці теми..
10	09.11.21	Тематичне оцінювання. Урок підсумок.	Підготуйся до тематичного оцінювання всього курсу. Повторення матеріалу по всім темам Запитання 1.Що називається електричною системою. Що таке електричний струм, напруга, е.р.с., електричний опір? 2.Сформулюйте закон Ома та Кірхгофа. Дайте порівняльну характеристику послідовного і паралельного з'єднання споживачів електричної енергії. 3. Як визначають напрям магнітних силових ліній? охарактеризуйте магнітні величини(магнітний потік, магнітну індукцію, намагнічувальну силу, напруженість магнітного поля, магнітний опір) 4.Що таке період, частота, фазний кут змінного струму? 5.Потужність вимірюється в.....? 6.Запишіть формулу активної, реактивної та повної потужності. 7.Як отримують трифазний струм? 8. Що називається трансформатором,? Яка будова і принцип дії однофазного трансформатора? 9.Як з'єднуються обмотки трифазних трансформаторів? 10.Що таке оборотність електричних машин? 11. Будова машини постійного струму? 12.За якими ознаками класифікують електричні апарати?