

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Виробництво електроенергії здійснюється за допомогою індукційних генераторів. Широке використання електроенергії у виробництві та побуті пов'язане з простотою її передачі та розподілу, зручністю трансформації її характеристик (сили струму, напруги) та перетворюваності в інші види енергії.

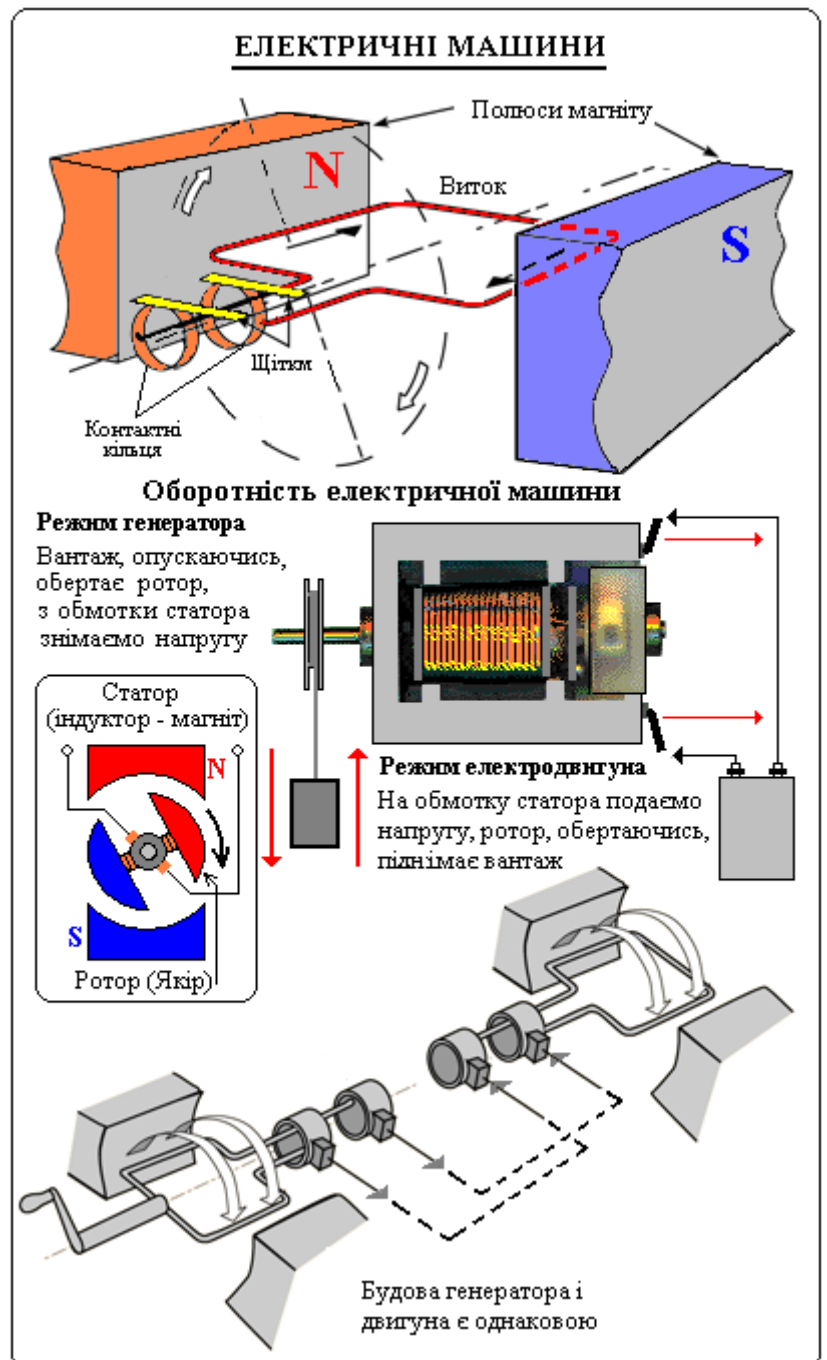
Електричні машини

Електричні машини (мотори) це пристрої для перетворення механічної енергії в електричну (генератори) і навпаки (електродвигуни).

Крім названих, розрізняють ще електромагнітні перетворювачі, які призначені для зміни характеристик і типу електричного струму.

Як правило, в електричних машинах розрізняють нерухому частину – *статор* і рухому (обертovu) – *ротор*, які мають циліндричну форму і містять обмотки, що являються взаємодіючими електромагнітами.

Якщо первинним ефектом обмотки статора, або ротора, є створення магнітного поля, то остання називаються *індуктором*, якщо збудження



(індукування) ЕРС, то – *якорем*. Таким чином якірна обмотка може розташовуватись в заглибленнях (пазах) як статора так і ротора.

Основною властивістю електричної машини є її *оборотність*. Якщо, виконуючи роботу, приводити в обертання ротор машини, вона буде працювати в режимі генератора і живити струмом споживача, а якщо живити струмом обмотки цієї ж машини, то вона буде працювати в режимі електродвигуна, сама виконуючи роботу.

Серед електричних машин розрізняють також *синхронні машини*, у яких частота обертання ротора співпадає з частотою обертання магнітного поля статора, та *асинхронні*, в яких такого немає.

1 Принцип роботи генераторів змінного і постійного струмів

Як відомо, принцип роботи генераторів (в деякій літературі – динамо-машин) ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. За функціональним призначенням частин, генератори можна поділити на два типи: 1) статор – індуктор, а ротор – якір та 2) ротор – індуктор, а статор – якір

У випадку першого типу, в обмотці, яка обертається в магнітному полі, і кінці якої сполучені з контактними кільцями, виникає змінна ЕРС індукції, яка знімається з кілець за допомогою ковзних контактів-щіток.

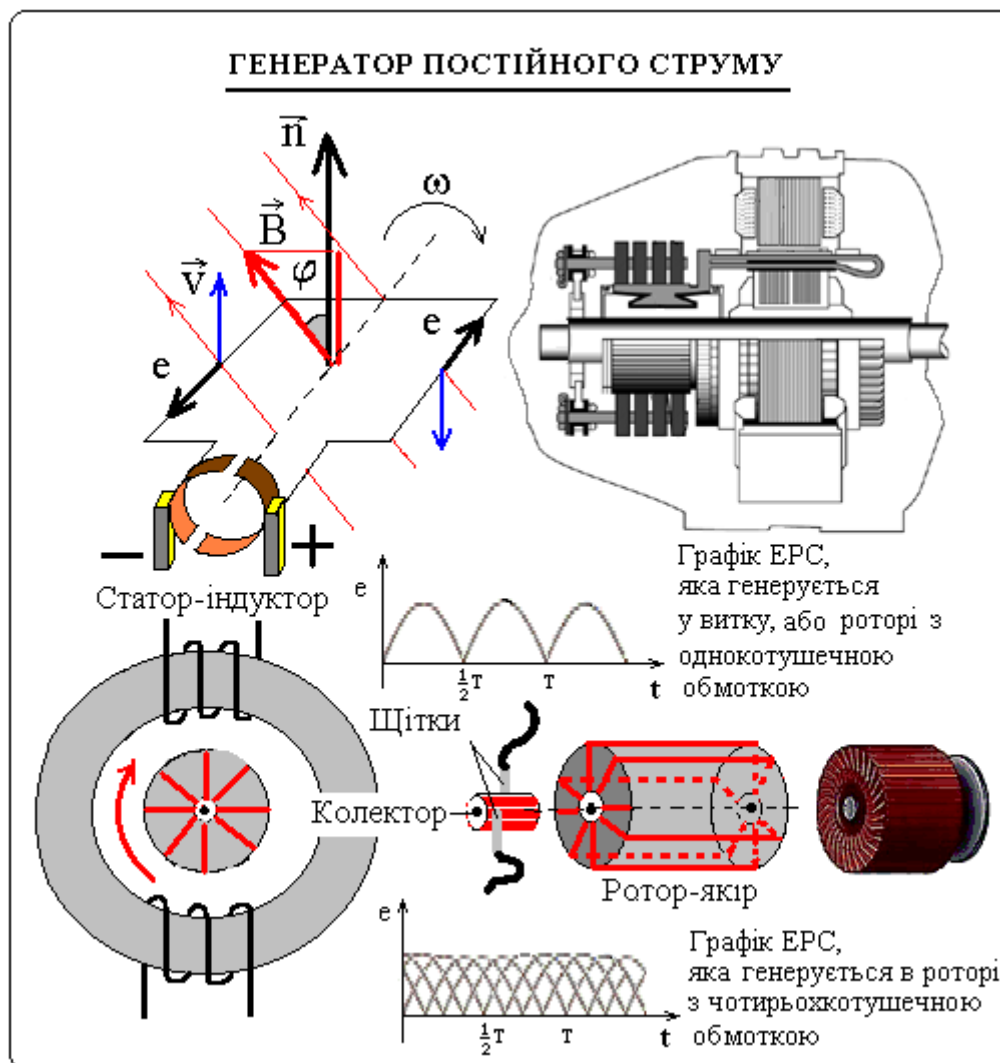
В *генераторах змінного струму* напрямом ЕРС в обмотці змінюється, і щітка, ковзаючи по своєму колекторному кільцю, знімає на протязі першої половини періоду обертання позитивний, а другої половини – негативний потенціал, в результаті чого між щітками створюється змінна напруга, яка подається споживачеві.

Наявність ковзного колекторно-щіточного контакту у випадку роботи з високою напругою стає суттєвим недоліком в зв'язку з виникненням в ньому іскріння та обгорання. Тому високовольтні генератори відносяться до другого типу. В них якірна обмотка розташовується в пазах статора, що також створює можливість більш надійної їх ізоляції.

Проте, якщо колектор виготовити у вигляді кільця поділеного на частини (у найпростішому випадку – на дві), то таким чином можна утворити *генератор постійного струму*.

У генераторах постійного струму з однокотушковою якірною обмоткою випрямлення за допомогою колекторно-щіточного перемикачів можливе завдяки тому, що щітка контактує з півкільцем, провідник якого проходить одну й ту ж ділянку траєкторії. Отримується пульсуюча ЕРС незмінного напрямку. Якщо обмотка складається з декількох катушок, то кінці кожної з них сполучаються з протилежними сегментами (пластинами) колектора. В цьому випадку кількість пульсацій за період обертання ротора збільшується, і таким чином відбувається їх згладжування.

Звичайний постійний магніт в ролі індуктора є неефективним, тому в промислових генераторах цю роль виконує електромагніт, обмотка якого живиться відводом струму самого генератора (*струмом збудження*). Для



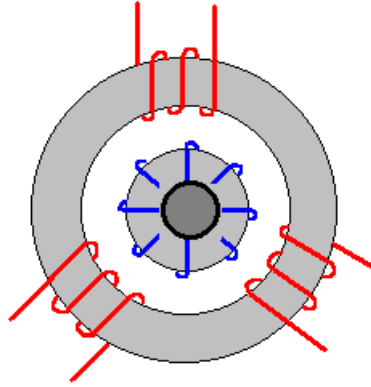
генератора такого типу характерним є пусковий режим (самозбудження), при якому початковий струм генератора збуджується залишковим магнетизмом осердя індукторної обмотки, Початковий струм підживлює цю обмотку, що приводить до посилення її магнітного поля, це в свою чергу приводить до підсилення індукovanого струму і т. д. до встановлення певного режиму роботи.

2. Трифазний струм. Генератори трифазного струму. Лінійні і фазні напруги та струми

Трифазний струм утворюється трьома змінними ЕРС зсунутими за фазою одна відносно одної на $2/3 \pi$. Широке застосування трифазного струму пов'язане із зручністю його використання в електродвигунах для створення обертового магнітного поля.

Генератор трифазного струму має три якірні обмотки розміщені в пазах статора і зміщені одна відносно одної на третину кола. При обертанні ротора в обмотках виникають е.р.с. з потрібним взаємним зсувом фаз.

Електрорушійні сили, що виникають в обмотках (фазні ЕРС) у симетричному випадку, при однакових їх значеннях запишуться :



Мал.29.

$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega \cdot t, \\ e_B &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right), \\ e_C &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right). \end{aligned}$$

Кінці фазних обмоток сполучають двома способами : зіркою і трикутником.

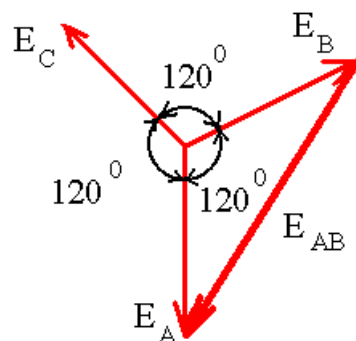
При з'єднанні зіркою по одному з кінців всіх фазних обмоток сполучаються в одну точку, яка називається нульовою, або нейтральною, другі кінці залишаються вільними. Таким чином утворюється чотирьохпровідна система з нульовим і трьома фазними проводами.

Споживач вмикається до нульового та фазного проводу, напруга між цими проводами називається фазною. Напруга між фазними проводами називається лінійною. Знайдемо зв'язок миттєвих значень фазової та



лінійної напруг.

$$\begin{aligned} u_A &= \varphi - \varphi_0 \\ u_B &= \varphi_B - \varphi_0 \end{aligned}$$



$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = u_A - u_B.$$

Також

$$e_A = e_A - e_B.$$

Побудуємо векторну діаграму ЕРС.

Діаграма відображає зв'язок діючих значень ЕРС та напруг.

Таким чином:

$$E_L = E_{AB} = E_A \sqrt{3} = E_B \sqrt{3} = E_\phi \sqrt{3},$$

та також

$$U_L = U_\phi \sqrt{3}.$$

При з'єднанні трикутником обмотки сполучаються послідовно, і від точок сполучення відводяться три лінійні проводи.

При цьому сполученні лінійні та фазні е.р.с. та напруги співпадають.

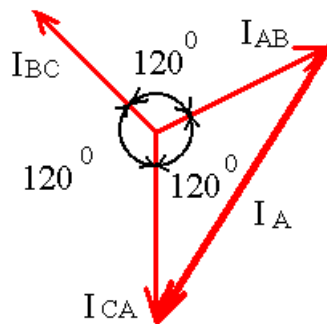
$$U_L = U_\phi$$

Для миттєвих значень фазних (i_{AB}, i_{BC}, i_{CA}) та лінійних струмів (i_A, i_B, i_C), як це впливає з картини розподілу струмів (мал.32), справедливе співвідношення

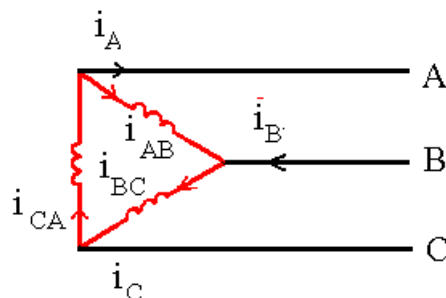
$$I_L = I_\phi \sqrt{3}$$

Дійсно, наприклад,

$$i_A = i_{CA} - i_{AB}$$



Побудуємо векторну діаграму струмів, на якій модулі зображуючих векторів рівні діючим значенням струмів.



З векторної діаграми і випливає співвідношення між фазним і лінійним струмом.

Описаний генератор належить до синхронних електричних машин.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3. Електродвигун. Утворення обертового магнітного поля в трифазній мережі. Асинхронний двигун трифазного струму

Принцип оборотності електричних машин стверджує, що будь – який генератор може працювати як електродвигун, достатньо до контактів, з яких до цього знімалась напруга, прикласти напругу іншого джерела. Взаємодія магнітних полів ротора і статора створить обертовий механічний момент, і ротор прийде в обертання. Колекторні двигуни можуть працювати як на постійному так і змінному струмові. Коли ці двигуни живляться змінним струмом напрям магнітного поля безперервно і одночасно змінюється як в обмотці збудження так і в якорі таким чином, що сусідні полюси обмотки збудження і якоря мають однакову полярність і завжди відштовхуються. Найбільш поширеними є асинхронні двигуни змінного струму з якірною обмоткою в статорі, які зокрема знаходять застосування в холодильниках, пральних машинах, вентиляторах та ін.

ТРАНСФОРМАТОР

Трансформатор – це електротехнічний пристрій, який служить для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги такої ж частоти.

Основними елементами трансформатора є дві індуктивно зв'язані обмотки (катушки) посаджені на спільне феромагнітне *осердя*, що виконує роль *магнітопроводу*, зосереджуючи в собі магнітний потік створюваний струмом.

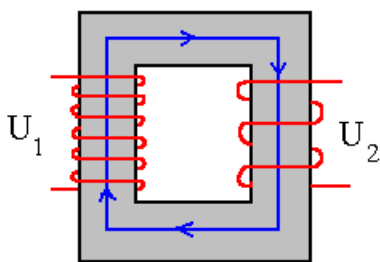
Обмотка, що вмикається до джерела перетворюваного струму називається *первинною*, обмотка, що вмикається до споживача – *вторинною*.

Частина осердя, на якій розташовується обмотка, називається *стрижнем*, а та частина, що замикає стрижні – *ярмом*.

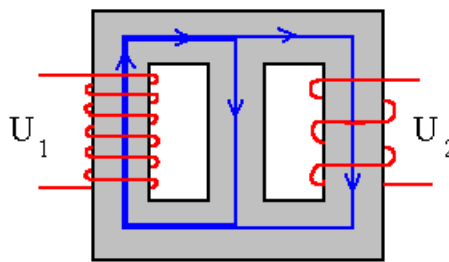
О – подібні осердя називають *стрижньовими*, Ш – подібні – *броньовими*.

Дія трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції.

Магнітне поле, створюване первинною обмоткою, зосереджується в магнітопроводі. У випадку стрижньового трансформатора магнітна індукція буде практично однаковою в перерізі вторинної і первинної обмотки, а у випадку броньового (як на мал.35) - в перерізі вторинної обмотки вдвічі



Стрижньовий трансформатор



Броньовий трансформатор

меншою ніж первинної, в зв'язку з розгалуженням магнітного потоку.

Якщо магнітна індукція в перерізі обох обмоток однакова. то магнітний потік, швидкість зміни його i , як наслідок, е.р.с. індукована в кожному витку (e_0), буде для них однаковою.

Множенням цієї е.р.с. на число витків можна знайти е.р.с. в обмотках.

Для миттєвих значень матимемо:

$$e_1 = N_1 e_0 ; e_2 = N_2 e_0.$$

Така ж залежність від числа витків справедлива і для амплітудних та миттєвих значень .

Таким чином виконується **основне трансформаторне співвідношення**, яке стверджує, що відношення е.р.с. в обмотках трансформатора рівне відношенню чисел витків в них, яке називається **коефіцієнтом трансформації**.

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = k.$$

З розглянутих причин, обмотка з більшим числом витків називається *обмоткою вищої напруги*, з меншим – *нижчої*.

Трансформатори, у яких коефіцієнт трансформації $k < 1$ ($N_1 < 1$) називають *підвищувальними*, інші – *знижувальними*, проте все залежить від того, яку обмотку вмикають як первинну.

Розрізняють два режими роботи трансформатора : холостого ходу та навантаження.

Холостий хід – це робота трансформатора при розімкненій вторинній обмотці.

Миттєві значення струму та напруги для первинної обмотки пов'язуються законом Ома для неоднорідної ділянки:

$$|u_1| - |e_1| = |i_1| r_1.$$

Враховуючи те, що активним опором обмоток, як правило, можна нехтувати, і що струм при холостому ході в первинній обмотці дуже малий, добутком струму на активний опір обмотки теж можна знехтувати. Тому, з великою точністю

$$|u_1| \approx |e_1|.$$

Для розімкнутої вторинної обмотки (струм відсутній) подібне рівняння дає:

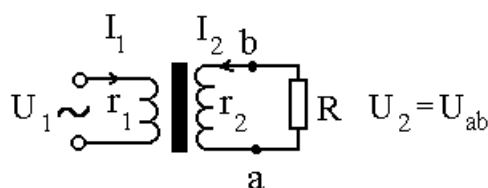
$$|u_2| = |e_2|.$$

Розглянуті співвідношення виконуються і для дійсних значень .

Основне трансформаторне співвідношення запишеться

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

Режим навантаження – це робота трансформатора при замкненій на навантаження вторинній обмотці.



Для первинної обмотки, як і в попередніх міркуваннях

$$|u_1| \approx |e_1|,$$

$$\varepsilon_2 = U_1.$$

Для замкненого кола вторинної обмотки

$$|e_1| = |i_2|r_2 + |i_2|R = |i_2|r_2 + |u_2|.$$

З останнього

$$E_2 = U_2 + I_2 R.$$

Коефіцієнт корисної дії трансформатора (η) визначається як відношення активних потужностей струму у вторинній та первинній обмотках.

$$\eta = \frac{P_1}{P_2}.$$

В зв'язку з втратами при роботі трансформатора енергія первинної обмотки не повністю передається у вторинну. Серед втрат розрізняють так звані «втрати в міді», пов'язані з втратами енергії на нагріванням мідних провідників обмоток, «втрати в залізі», пов'язані з втратами на нагрівання осердя з трансформаторної сталі індукційними струмами Фуко, та на його перемагнічування (втрати в «петлі гістерезису»). Іншого типу втрати пов'язані з розсіюванням магнітного потоку, неповною його передачею від первинної обмотки до вторинної, випромінюванням, тощо. Щоб уникнути втрат, трансформатори охолоджують, осердя набирають з пластин розташованих перпендикулярно площині витків для усунення струмів Фуко, забезпечують щільне прилягання обмоток і осердя. Таким чином к.к.д. трансформатора доводиться до 99%.

Отже, при однаковому коефіцієнті потужності струму в обмотках

$$I_2 U_2 \approx I_1 U_1,$$

тому

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