

## ТЕМА 10. Будова, монтаж, технічне обслуговування і ремонт електричних машин змінного та постійного струмів. (12 год)

### Урок №64. Електричні машини змінного струму. Синхронні машини.

Загальні відомості про електричні машини змінного струму (синхронні машини). Типи, конструкції і класифікація електричних машин змінного струму, їх будова та режими роботи. Залежність конструктивного виконання електричних машин від умов навколишнього середовища. Правила включення і відключення електродвигуна. Обмотки електричних машин. Види і схеми обмоток. Струмознімні і вивідні пристрої, маркування виводів електричних машин. Особливості пуску машин.

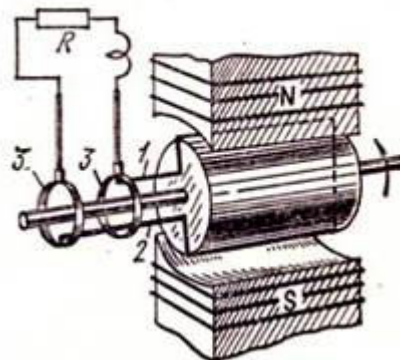
#### Принцип дії та будова синхронного генератора

У синхронних машин частота обертання ротора дорівнює частоті обертання магнітного поля статора, отже, залежить від частоти струму в мережі та кількості пар полюсів:  $n = 60f/p$ ;  $f = pn/60$ .

Як і будь-яка електрична машина, синхронна машина оборотна, тобто може працювати і генератором, і двигуном.

*Електрична енергія виробляється синхронним генератором, первинним двигуном якого є або гідравлічна, або парова турбіна, або двигун внутрішнього згоряння.*

*Звичайно обмотки збудження отримують енергію від збудника, яким є генератор постійного струму. Збудник може знаходитися на одному валу з робочою машиною або з'єднаним через ремінь та шківи; його потужність становить приблизно 1...5 % потужності синхронної машини, яка збуджується ним. У разі невеликої потужності часто використовуються схеми живлення обмоток збудження синхронних машин від мережі змінного струму через напівпровідникові випрямлячі.*



Мал. 64.1. Схема будови найпростішого генератора змінного струму

Найпростішим генератором може бути виток із провідників 1 і 2, який обертається в магнітному полі (див. мал. 64.1). Магнітне поле збуджується струмом обмотки збудження, розміщеної на полюсах статора N - S. Під час обертання витка провідники 1 і 2 перетинають магнітне поле полюсів N - S, внаслідок чого у витку індукуються ЕРС. Кінці витка з'єднані з кільцями 3, що обертаються разом з витком. Якщо на кільцях розмістити нерухомі щітки і з'єднати їх з приймачем електричної енергії, то по замкненому колу, що складається з витка,

кілець, щіток та приймача енергії, потече електричний струм під дією ЕРС. Одержана у такому генераторі ЕРС безперервно змінюватиметься залежно від положення витка в магнітному полі. Коли провідники 1 і 2 перебувають під осями полюсів, то під час обертання витка вони перетинають за одиницю часу найбільшу кількість ліній магнітного поля. Отже, в даний момент індукована у витку ЕРС матиме найбільше значення. У подальшому з повертанням витка зміниться кількість ліній магнітного поля, що перетинаються за одиницю часу провідниками 1 і 2. З повертанням витка на  $90^0$  у просторі провідники переміщуватимуться у вертикальному напрямку, який збігається з напрямком магнітних ліній поля. Отже, провідники 1 і 2 не перетинають магнітних ліній, і ЕРС у витку дорівнює нулеві. З повертанням витка на кут, більший за  $90^0$ , зміниться напрямок переміщення цих провідників у магнітному полі, а також напрямок ЕРС, що індукується у витку.

Якщо магнітне поле розподілятиметься між полюсами N - S рівномірно, то ЕРС змінюватиметься в часі синусоїдно. За один оберт витка у просторі ЕРС, що індукується в ньому, змінюється на один період.

Якщо виток обертається за допомогою будь-якого первинного двигуна зі сталою частотою обертання  $n$  за хвилину, то в цьому витку індукується змінна ЕРС з частотою  $f = n/60$ .

***Виникнення ЕРС у провідниках можливе в разі переміщення цих провідників у нерухомому магнітному полі, а також у разі переміщення магнітного поля відносно нерухомих провідників. У першому випадку полюси, тобто частина машини, що індукує ЕРС і збуджує магнітне поле, розміщуються на нерухомій частині машини (на статорі), а індукована частина (якір), тобто провідники, в яких утворюється ЕРС, - на обертовій частині машини (на роторі). У другому випадку полюси розміщуються на роторі, а якір - на статорі.***

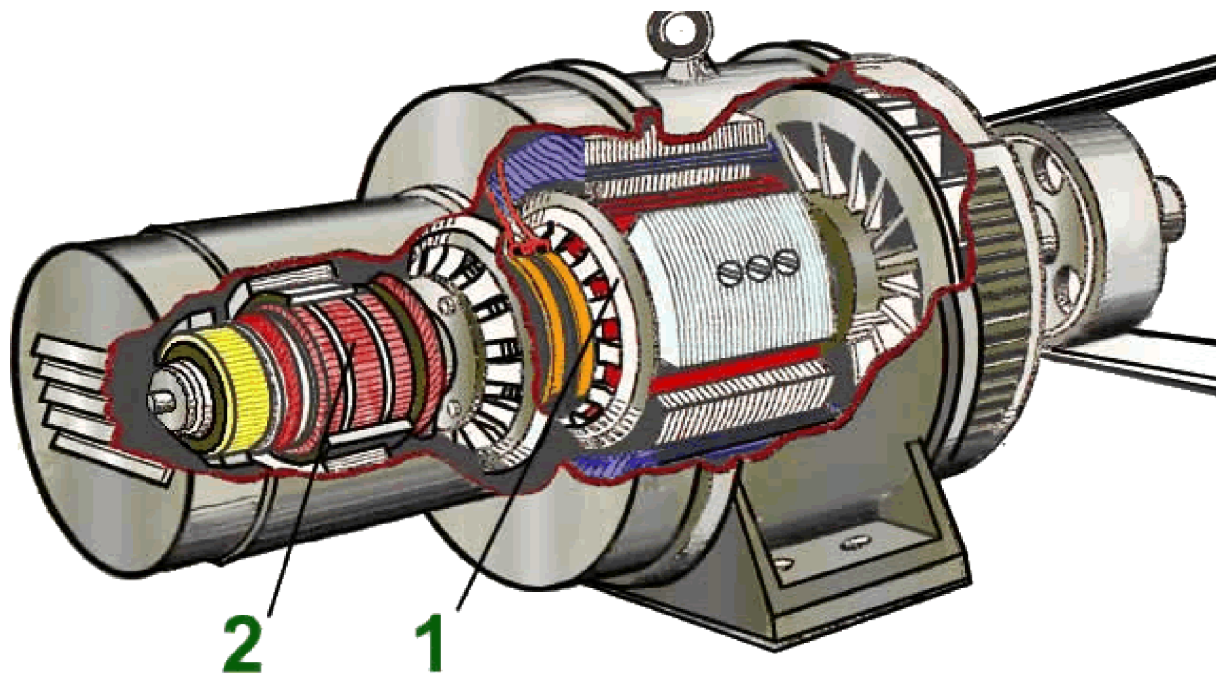
Обмотки збудження (індукторів) синхронних машин позначають:  $I_1$  - початок,  $I_2$  - кінець. Обмотки статора або ротора, в залежності, що є якорем, позначають так само як і в асинхронних двигунах.

Вище ми розглянули принцип дії синхронного генератора з нерухомими полюсами та обертовим якорем. У такому генераторі енергія, що виробляється ним, передається приймачеві енергії через ковзні контакти - контактні кільця і щітки. Ковзний контакт у колі великої потужності спричиняє значні втрати енергії, а за високих напруг наявність такого контакту вкрай небажана. Тому генератори з обертовим якорем і нерухомими полюсами виготовляють тільки для невисоких напруг (до 380/220 В) та невеликих потужностей (до 15 кВ • А).

Найширшого застосування набули синхронні генератори, в яких полюси розміщені на роторі, а якір — на статорі. Струм збудження протікає по обмотці збудження, яка являє

собою послідовно з'єднані котушки, розміщені на полюсах ротора. Кінці обмотки збудження з'єднані з контактними кільцями, які закріплюються на валу машини. *На кільцях розміщуються нерухомі щітки, через які в обмотку збудження підводиться постійний струм від стороннього джерела енергії — генератора постійного струму, який називається збудником.*

На мал. 64.2 подано загальний вигляд синхронного генератора зі збудником.



Мал. 64.2. Будова синхронного генератора: 1 — синхронний генератор; 2 — збудник.

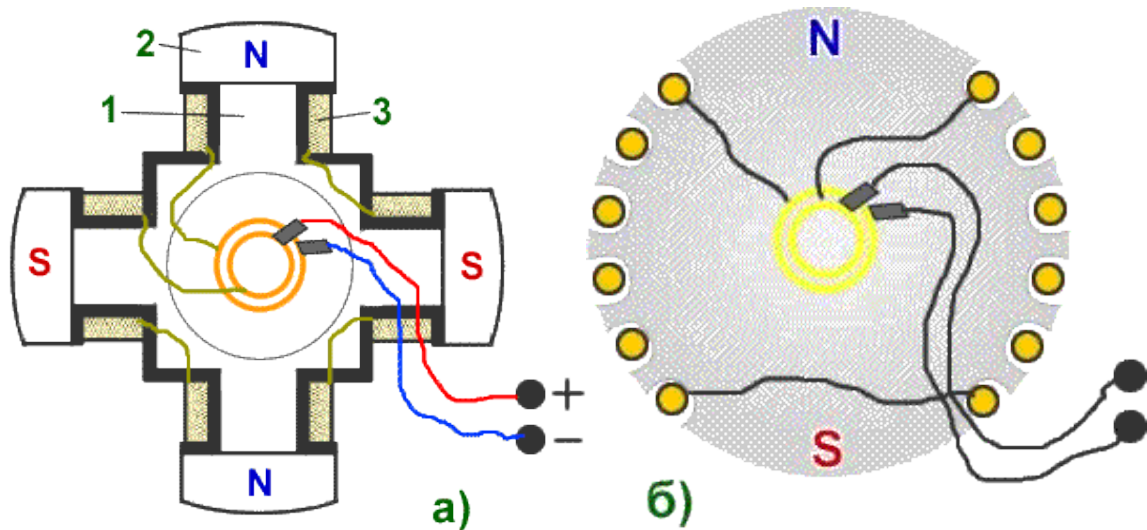
Будова статора синхронного генератора аналогічна будові статора асинхронної машини. Осердя статора набирають зі сталевих пластин завтовшки 0,35 або 0,5 мм. Пластини штамнують із западинами (пазами) ізолюють лаком або окалиною для зменшення втрат на вихрові струми, складають в окремі пакети і закріплюють у станині двигуна. До станини прикріплюють також бічні щити з розміщеними на них підшипниками, на які спирається роторний вал. Станину встановлюють на фундаменті. У поздовжні пази статора вкладають провідники його обмотки, які відповідно з'єднують між собою так, що утворюється трифазна система.

Ротор синхронних генераторів виконують або з явно вираженими (виступними) полюсами, або з неявно вираженими полюсами, тобто без виступних полюсів.

У машинах з відносно малою частотою обертання (за великої кількості полюсів) у ротора явно виражені полюси, рівномірно розміщені по його обводу. Полюс складається з осердя, полюсного накінецьника та обмотки збудження.

Первинні двигуни синхронних генераторів з явно вираженими полюсами являють собою гідравлічні турбіни, які є тиххідними машинами. За великої частоти обертання така будова ротора не може забезпечити потрібної механічної міцності і тому високошвидкісні

машини обладнані роторами з неявно вираженими полюсами.



Мал. 64.3. Ротор синхронної машини: а - з явно вираженими полюсами; б - з неявно вираженими полюсами

Осердя роторів з неявно вираженими полюсами виготовляють із суцільних поковок, на поверхні яких фрезеруються пази. Після укладання обмоток збудження пази ротора забивають клинами, а лобові з'єднання обмотки збудження закріплюють сталевими бандажами, розміщеними на торцевих частинах ротора. За такої конструкції ротора допускаються високі частоти обертання.

Для генераторів з неявно вираженими полюсами первинними двигунами є парові турбіни, які належать до швидкохідних машин.

### Синхронні двигуни

Синхронний двигун не має принципових конструктивних відмінностей від синхронного генератора. Як і в генераторі, на статорі синхронного двигуна розміщено трифазну обмотку, у разі ввімкнення якої в мережу трифазного змінного струму утворюватиметься обертове магнітне поле  $\Phi_p$  з частотою обертання за хвилину  $n_1 = 60f/p$ . На роторі двигуна знаходиться обмотка збудження, яка вмикається в мережу джерела постійного струму. Струм збудження утворює магнітний потік полюсів  $\Phi_m$ . Обертове магнітне поле, утворене струмами статорної обмотки, веде за собою роторні полюси. При цьому ротор може обертатися тільки синхронно з полем, тобто з частотою, яка дорівнює частоті обертання статорного поля. Отже, частота обертання синхронного двигуна стала, якщо незмінна частота струму живильної мережі.

Основною перевагою синхронних двигунів є можливість їх роботи зі споживанням випереджаючого струму, тобто двигун може являти собою ємнісне навантаження для мережі. Такий двигун підвищує  $\cos\phi$  всього підприємства, компенсуючи реактивну потужність інших приймачів енергії.

Як і в генераторів, у синхронних двигунів зміна реактивної потужності, тобто зміна  $\cos\varphi$ , досягається регулюванням сили струму збудження. За сили струму збудження, яка відповідає нормальному збудженню,  $\cos\varphi=1$ . Зменшення сили струму збудження обумовлює появу відстаючого (індуктивного) струму в статорі, а збільшення сили струму збудження (перезбуджений двигун) — випереджаючого (ємнісного) струму в статорі.

Перевагою синхронних двигунів є також менша, ніж у асинхронних чутливість до зміни напруги живильної мережі. У синхронних двигунів обертаючий момент прямо пропорційний напрузі мережі у першому степені, а в асинхронних — квадратів напруги.

Обертаючий момент синхронного двигуна утворюється внаслідок взаємодії магнітного поля статора з магнітним полем полюсів. Від напруги живильної мережі залежить лише магнітний потік статорного поля.

Синхронні двигуни виготовляють переважно з явно вираженими полюсами і працюють вони в нормальному режимі з випереджаючим струмом при  $\cos\varphi=0,8$ . Збудження вони набувають або від збудника, або від мережі змінного струму через напівпровідникові випрямлячі.

Пуск синхронного двигуна безпосереднім увімкненням його в мережу неможливий, оскільки ввімкнення статорної обмотки в мережу обумовлює утворення обертового магнітного поля, а ротор у момент ввімкнення нерухомий, отже немає взаємодії магнітних полів статора і ротора, тобто двигун не розвиває обертаючого моменту. Тому для пуску двигуна треба попередньо довести частоту обертання ротора до синхронної частоти або такої, що наближається до неї.

Зараз застосовується переважно так званий асинхронний пуск синхронних двигунів, суть якого полягає ось у чому. У полюсних наконечниках ротора синхронного двигуна укладено пускову обмотку, виконану у вигляді білячого колеса, подібно до короткозамкненої обмотки ротора асинхронної машини. Статорна обмотка двигуна вмикається у трифазну мережу, і пуск його відбувається так само, як і пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Після того як двигун розв'є частоту, що наближається до синхронної (приблизно 95 %), обмотка збудження вмикається в мережу постійного струму і двигун входить у синхронізм, тобто частота обертання ротора збільшується до синхронної.

Під час пуску двигуна обмотка збудження замикається на опір, який у 10... 12 разів більший від опору самої обмотки. Не можна обмотку збудження під час пуску залишати розімкненою або замикати накоротко. Якщо під час пуску обмотка збудження виявиться розімкненою, то в ній індукуватиметься дуже велика ЕРС, яка небезпечна як для ізоляції обмотки, так і для обслуговуючого персоналу. Це пояснюється тим, що під час пуску двигуна статорне поле з великою частотою перетинає провідники обмотки збудження.

Якщо обмотку збудження замкнути накоротко під час пуску двигуна під

навантаженням, то він може розвинути швидкість, що наближається до половини синхронної, й увійти в синхронізм не зможе.

Робота синхронної машини зі споживанням в мережі випереджаючого струму дає змогу використати її як компенсатор. Компенсатором є синхронний двигун, що працює без навантаження і призначений для підвищення  $\cos\varphi$  підприємства. Отже, компенсатор є генератором реактивної потужності. Конструктивно компенсатор відрізняється від синхронного двигуна незначною мірою: він не несе механічного навантаження, тому його вал і ротор легші, а повітряний зазор менший, ніж у двигуна.

Основний недолік синхронних двигунів — потреба в джерелах змінного й постійного струму. Потреба в джерелі постійного струму для живлення обмотки збудження синхронного двигуна робить його вкрай неекономічним у разі невеликих потужностей. Тому синхронні двигуни малої потужності зі збудженням постійним струмом не застосовуються. У цих випадках широко використовують реактивні синхронні двигуни. У ротора такого двигуна явно виражені полюси. Для дуже малих потужностей ротор роблять з алюмінію у вигляді циліндра, у який під час виливання закладають стрижні з м'якої сталі, які виконують функцію явно виражених полюсів. Циліндрична форма ротора спрощує його обробку й балансування, а також знижує втрати на тертя об повітря в процесі роботи машини, що важливо для двигунів дуже малих потужностей.

У реактивних синхронних двигунів обертаючий момент утворюється внаслідок орієнтування ротора в магнітному полі так, щоб магнітний опір для цього поля був найменшим. Тому ротор завжди займатиме таке положення у просторі, за якого магнітні лінії обертового поля статора замкнуться через сталь ротора і він обертатиметься разом з магнітним полем статора.