## Лекція 5. СИНХРОННІ МАШИНИ

* + 1. **Загальні відомості**

З усіх електричних машин найбільшою та найменшою є саме син- хронна машина. Найбільшою електричною машиною є генератор тепло- вої електростанції потужністю 1,75 ГВт, а найменшою – двигун кулера комп’ютера потужністю 4 Вт. Такий діапазон потужностей та широке за- стосування привело до появи низки окремих типів синхронних машин: турбогенераторів, гідрогенераторів, дизель-генераторів, синхронні дви- гунів, синхронних компенсаторів, крокових двигунів, гістерезисних дви- гунів, двигунів з постійними магнітами, реактивних синхронних двигу- нів. Через конструктивні особливості синхронні машини можуть мати як горизонтальне, так і вертикальне розташування вала.

Приблизно 90 % усієї світової електроенергії виробляється за допо- могою синхронних генераторів. Синхронні генератори, що працюють на теплових та атомних електростанціях, називаються турбогенераторами, на гідравлічних – гідрогенераторами. На вітряних, припливних елект- ростанціях застосовуються синхронні генератори з постійними магніта- ми. Також синхронні генератори є джерелом електричної енергії на пе- ресувних електростанціях і транспортних установках (кораблях, теп- ловозах, літаках, автомобілях та ін.).

У двадцятому сторіччі синхронні двигуни були поширені порівняно мало. Синхронні двигуни використовувались для приводу потужних на- сосів, вентиляторів, компресорів та інших установок, де потрібна постій- на частота обертання.

В двадцять першому сторіччі розповсюдженню синхронних двигу- нів посприяло поширення постійних магнітів, що дозволило отримати магнітне поле збудження без застосування обмотки.

У синхронних двигунів з обмоткою збудження є унікальна власти- вість – генерувати реактивну потужність в електричних установках для підвищення енергетичних показників джерел і приймачів електричної енергії, наприклад, для підвищення коефіцієнта потужності мережі. Для цього ж використовують синхронні компенсатори, які встановлюються на підстанціях електричних мереж.

СИНХРОННІ МАШИНИ

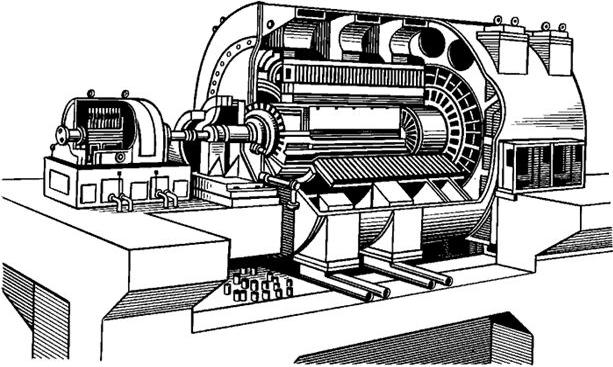
### 5.2. Приклади застосування синхронних машин

Турбогенератори (рис. 5.12) приводяться в обертання швидкохід-

ними паровими турбінами. Діапазон потужностей турбогенераторів є дуже широким: від 5000 до 1750000 кВ·А. Сучасні турбогенератори вико- нані дво- або чотириполюсними.

Ротори турбогенераторів виконуються неявнополюсними з горизо-

нтальним розташуван- ням вала.



Максимальними розмірами ротора є ді- аметр 1,2 м, довжина осердя – до 6,5 м. Саме в турбогенераторах за- стосовуються складні системи охолодження воднем, водою або по-

Рисунок 5.1 – Турбогенератор у розрізі:

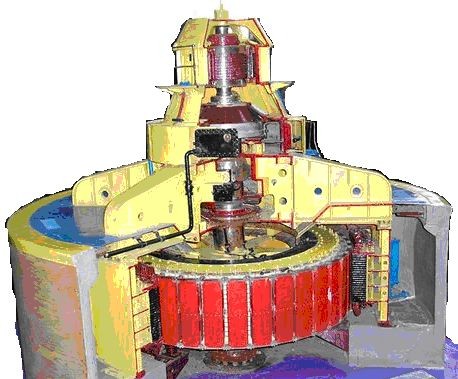
*1* – корпус; *2* – статор; *3* – ротор; *4* – збуджувач

вітрям.

Гідрогенератори (рис. 5.2) приводяться

до обертання тихохідними водяними турбінами з частотою обертання де- кілька десятків або сотень обертів за хвилину, наприклад, 48-ми полюс- ний генератор має частоту обертання 125 об/хв при частоті 50 Гц. Через тихохідність гідрогенераторів вони виконуються явнополюсними.

Найбільша потужність гідроге- нератора в світі становить 760000 кВ·А. Гідрогенератори не ма- ють габаритних обмежень, їх розміри сягають – внутрішній діаметр осердя статора 16 м, висота пакета статора 2 м. Розташування вала може бути вертикальним. Вал може закріплю- ватися за допомогою верхнього або нижнього підшипників.



*4*

*3 2 1*

Рисунок 5.2 – Макет

вертикального гідрогенератора: 1 – корпус; 2 – статор; 3 – ротор;

4 – збуджувач

Для гідрогенераторів середньої

потужності можливо капсульне ви- конання. Для цього гідрогенератор із

Зменшення опору

*Xad*

при зростанні МРС *FE*

зумовлено саме наси-

ченням магнітної системи синхронної машини по поздовжній осі.

## 5.3. Енергетична діаграма та ККД синхронної машини

Енергетичні діаграми синхронних машин (рис. 5.3) будуються за загальними правилами.



*Pem*

*Pem*

*Pexc Pmec*

*Pels Pmag*



*Pem*

*Pem*

*Pels Pmag*

*Pexc Pmec Pad*



Рисунок 5.3 – Енергетичні діаграми активної потужності синхронного генератора (*а*) та синхронного двигуна (*б*)

Магнітні втрати

*Pmags*

визначаються за окремими ділянками осердя ста

тора (зубці та спинка) синхронної машини. Для синхронних машин середньої та великої потужностей сума електричних втрат в обмо

тці статора

*Pels*

та магнітних втрат

*Pmag*

дуже мала порівняно з вихідною

потужністю *P* – електричною потужністю, що віддається до мережі в ре- жимі генератора, або механічною потужністю, що знімається з вала в ре-

жимі двигуна. Додаткові втрати

*Pad*

згідно зі стандартами не повинні пе-

ребільшувати 0,5 % від вхідної потужності.

Зважаючи на малість суми втрат, у синхронних машинах прийма- ється, що

(5.1)

В усталеному режимі магнітні втрати в осерді ротора відсутні через те, що по осердю ротора проходить постійний магнітний потік збуджен- ня.

Якщо збудження відбувається за рахунок підведеної потужності до синхронної машини (наприклад, самозбудження), то втрати на збудження змінюються за величиною та знаком

реактивна потужність машини .



При збільшенні активної потужності (рис. 5.4) зростає



струм

*I s* , зростають спади на-

пруг

*I s X* *s* і

*I s Rs* . Для забезпе-

чення умови необхідно

збільшувати струм

*IE* . Тому

нижня точка *U*-подібних харак- теристик зміщується праворуч

Рисунок 5.4 – *U*-подібна характеристика та залежності *Q*(*IE*),

по осі

*IE* , тобто в бік більших

cosφ(*IE*) синхронного генератора

струмів.

*a*

*b c*

*IEn*

*P''' P = P =*

*P = P =*

*IE*

У точці *А* струм , *Is*

*> P'' > P'*

*P''' =* const

ЕРС . Напруга явнопо-

*P'' =* const

люсного за та неявнополюсного за генераторів *A* становитиме відповідно:

*P' =* const 0

*U s*  0 

*U s*  0 

*d* ; (5.126)

*j I s X s* . (5.127)

0

Рисунок 5.5 – Сімейство *U*-подібних характеристик

Далі отримуються вирази струмів обмотки статора явнополюсного та неявнополюс- ного генераторів у точці *А* відповідно:

Кривою *а* обмежується стійка робота синхронного генератора. Пря- ма *c* обмежує можливі режими за умовами насичення магнітної системи

через зростання струму *IE*та нагрівання обмотки збудження через зрос-

тання втрат на будження.

Таким чином, регулювання реактивноїдо режиму перезбудження та віддає до мережі реактивний ємнісний струм. За наявності в мережі ємнісного струму напруга на всіх затискачах трансформаторів зростає.

Якщо напруга мережі зростає, , то ЕРС *Eo* стає меншою зафазну напругу мережі,

. Синхронний компенсатор потрапляє до

режиму недозбудження та віддає до мережі реактивний індуктивний струм. За наявності в мережі індуктивного струму напруга на всіх затис- качах трансформаторів спадає.

Якщо потужність синхронного компенсатора приблизно дорівнює потужності мережі, до якої підключено синхронний компенсатор, то за допомогою синхронного компенсатора можна підтримувати постійність

напруги мережі у межах .

## Контрольні запитання

* 1. Де застосовуються синхронні машини?
  2. Які величини наводяться на табличці паспортних даних синхро- нної машини?
  3. В чому полягає принципи дії синхронної машини?
  4. Від чого залежить частота обертання синхронної машини?
  5. Порівняйте конструкції явнополюсної та неявнополюсної син- хронних машин.
  6. Які системи охолодження застосовуються в синхронних маши-

нах?

* 1. Які системи збудження застосовуються в синхронних машинах?
  2. Як проходять поздовжня та поперечна осі в синхронній машині?
  3. Які особливості конструкції неявнополюсної та явнополюсної

синхронних машин наближають розподіл магнітної індукції магнітного поля збудження в повітряному проміжку до синусоїдного?

* 1. Що враховують коефіцієнти магнітного поля збудження, маг- нітного потоку збудження, насичення?
  2. Що називається реакцією якоря електричної машини?
  3. Від яких чинників залежить реакція якоря синхронної машини?
  4. Як визначається реакція якоря в явнополюсній та неявнополюс- ній синхронних машинах?