

Тема 4.

Синхронні електродвигуни та їх застосування в електроприводах

Мета вивчення теми. Ознайомитися з принципом дії синхронних електродвигунів, їх конструктивними особливостями, режимами роботи, способами пуску та регулювання, а також з'ясувати їх переваги щодо енергоефективності, компенсації реактивної потужності та використання в сучасних електроприводах.

1. Загальні відомості про синхронні електродвигуни

Синхронний електродвигун - це електрична машина змінного струму, у якій швидкість обертання ротора жорстко пов'язана з частотою живильної мережі та параметрами магнітного поля статора. На відміну від асинхронного двигуна, ротор синхронної машини в усталеному режимі обертається без ковзання, тобто з тією самою кутовою швидкістю, що й обертове магнітне поле статора.

Синхронні двигуни застосовують у тих випадках, коли необхідні стала частота обертання, високий коефіцієнт корисної дії, підвищений коефіцієнт потужності, можливість компенсації реактивної потужності та надійна робота потужних механізмів. Вони широко використовуються у насосних, компресорних, вентиляційних установках, млинах, дробарках, підйомно-транспортних механізмах, а також у сучасних сервосистемах і високоточних електроприводах.

2. Принцип роботи синхронних електродвигунів

Принцип дії синхронного двигуна базується на взаємодії обертового магнітного поля статора з магнітним полем ротора. Після подачі трифазної напруги на обмотку статора в повітряному проміжку виникає обертове магнітне поле. Якщо ротор має власне магнітне поле, створене струмом збудження або постійними магнітами, він прагне зайняти положення, за якого магнітні осі статора і ротора взаємно фіксуються.

Синхронна частота обертання визначається за формулою:

$$n_1 = 60f / p$$

де n_1 - синхронна частота обертання, об/хв; f - частота мережі, Гц; p - число пар полюсів.

У сталому режимі виконується рівність:

$$n = n_1$$

а ковзання дорівнює нулю:

$$s = (n_1 - n) / n_1 = 0$$

Електромагнітний момент синхронної машини залежить від кута навантаження між векторами магнітних полів статора і ротора. За збільшення навантаження цей кут зростає, але частота обертання залишається сталою до досягнення граничного моменту. Якщо навантаження перевищує критичне значення, синхронізм порушується, і двигун виходить з робочого режиму.

3. Конструктивні виконання синхронних машин

Основними елементами синхронного двигуна є статор і ротор. Статор за конструкцією подібний до статора асинхронної машини: він містить шихтований магнітопровід, трифазну обмотку, корпус, систему вентиляції та клемні виводи.

Ротор синхронної машини може мати різне виконання. Найпоширеніші варіанти:

- явнополюсний ротор - використовується для низько- та середньошвидкісних машин великої потужності; має виступаючі полюси з обмоткою збудження;
- неявнополюсний ротор - застосовується у швидкохідних машинах; має циліндричну форму та підвищену механічну міцність;
- ротор з постійними магнітами - характерний для сучасних сервоприводів, робототехнічних систем, верстатів з числовим програмним керуванням, електротранспорту.

За способом створення магнітного поля ротора синхронні двигуни поділяють на машини з електромагнітним збудженням, з постійними магнітами та реактивні синхронні двигуни. Окрему групу становлять гібридні синхронні машини, що поєднують властивості різних конструкцій.

4. Режими роботи та особливості пуску

Синхронні двигуни можуть працювати у двигунному, генераторному та компенсаторному режимах. У двигунному режимі машина перетворює електричну енергію на механічну і приводить у рух робочий механізм. У генераторному режимі синхронна машина використовується для вироблення електричної енергії. У компенсаторному режимі синхронний двигун, працюючи без механічного навантаження або з малим навантаженням, використовується для регулювання коефіцієнта потужності мережі.

Основною особливістю синхронного двигуна є неможливість самостійного прямого пуску від мережі у класичному виконанні. Це пов'язано з тим, що середній пусковий момент за нерухомого ротора практично дорівнює нулю. Тому використовують спеціальні способи пуску:

- асинхронний пуск за допомогою демпферної обмотки;
- пуск від допоміжного двигуна;
- частотний пуск від перетворювача частоти;
- пуск синхронних двигунів з постійними магнітами від сервоінвертора.

Асинхронний пуск є найпоширенішим для промислових машин. Під час розгону ротор поводить себе подібно до короткозамкненого ротора асинхронної машини, а після досягнення близької до синхронної швидкості вмикається збудження, і двигун "втягується" в синхронізм.

Частотний пуск є найсучаснішим способом. При цьому живлення двигуна здійснюється від перетворювача частоти зі плавним підвищенням частоти й напруги, що забезпечує м'який розгін, обмеження пускових струмів і високу якість керування.

5. Регулювання параметрів синхронного електропривода

Регулювання синхронного електропривода може здійснюватися за швидкістю, моментом, струмом, положенням та коефіцієнтом потужності. У сучасних системах керування застосовують перетворювачі частоти, цифрові регулятори, давачі швидкості й положення, а також алгоритми векторного керування.

Основні способи регулювання:

- зміна частоти живлення статора;
- зміна напруги статора;
- регулювання струму збудження;
- векторне керування із незалежним регулюванням магнітного потоку і моменту;
- сервокерування для прецизійних приводів.

За використання перетворювача частоти швидкість синхронного двигуна визначається виразом:

$$n = 60f / p$$

Отже, зміна частоти дає змогу плавно регулювати швидкість у широкому діапазоні.

Регулювання струму збудження дозволяє змінювати коефіцієнт потужності двигуна. За недозбудження двигун споживає реактивну потужність, а за перезбудження - генерує її в мережу. Це створює додаткові можливості для оптимізації режиму роботи енергосистеми та зменшення навантаження на мережу.

6. Вплив синхронних двигунів на режим електричних мереж

Синхронні двигуни істотно впливають на параметри електричних мереж, особливо в разі роботи великих електроприводів. Однією з найважливіших переваг є можливість роботи з випереджальним коефіцієнтом потужності, тобто зі споживанням або генерацією реактивної потужності залежно від режиму збудження.

Завдяки цьому синхронні двигуни можуть:

- підвищувати коефіцієнт потужності підприємства;
- зменшувати струми в мережі;
- знижувати втрати активної потужності в кабелях і трансформаторах;
- покращувати рівень напруги в вузлах електромережі;
- зменшувати потребу в окремих компенсуючих установках.

Для підприємств з великою кількістю асинхронних двигунів і значним реактивним навантаженням застосування синхронних приводів є ефективним засобом нормалізації режиму електроспоживання.

7. Компенсація реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності є однією з найважливіших функціональних переваг синхронних двигунів. Реактивна потужність не виконує корисної роботи, але створює додаткові струми в мережі, збільшує втрати та навантаження електрообладнання.

Синхронний двигун із перезбудженням може працювати як джерело реактивної потужності. У такому режимі він не лише виконує механічну роботу, а й покращує енергетичні показники мережі. Якщо машина використовується тільки для компенсації реактивної потужності, її називають синхронним компенсатором.

Економічний ефект компенсації полягає у:

- зниженні плати за реактивну енергію;
- зменшенні струмового навантаження на мережі;
- підвищенні пропускної здатності електрообладнання;
- стабілізації рівня напруги на шинах споживача.

8. Енергоефективність синхронних електроприводів

Синхронні електроприводи характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, особливо в діапазоні середніх і великих потужностей. Відсутність ковзання в усталеному режимі зменшує втрати в роторі, а робота з оптимальним коефіцієнтом потужності знижує повні втрати в системі електропостачання.

Основні чинники високої енергоефективності:

- відсутність втрат ковзання;
- підвищений ККД у номінальному режимі;
- можливість регулювання реактивної потужності;

- ефективна робота при тривалих навантаженнях;
- сумісність із сучасними частотними перетворювачами і цифровими системами керування.

Особливо високі енергетичні показники мають синхронні двигуни з постійними магнітами та синхронні реактивні двигуни нового покоління, які дедалі частіше використовують у насосах, вентиляторах, компресорах, сервоприводах і транспортних системах.

9. Приклади застосування в промислових і енергетичних установках

У промисловості синхронні електроприводи застосовують там, де потрібні велика потужність, стабільна частота обертання або високий рівень енергоефективності. Найхарактерніші напрями застосування:

- компресорні установки;
- насосні станції;
- вентилятори великої продуктивності;
- кульові млини і дробарки;
- металургійні агрегати;
- приводи потужних конвеєрів;
- верстати з числовим програмним керуванням;
- робототехнічні та сервосистеми.

В енергетиці синхронні машини використовуються не лише як генератори, а й як приводи допоміжних механізмів та засоби компенсації реактивної потужності. У сучасних умовах особливого значення набуває використання синхронних двигунів у системах з відновлюваними джерелами енергії, накопичувачами енергії, мікромережами та інтелектуальних системах керування електроспоживанням.

10. Переваги та недоліки синхронних електродвигунів

До основних переваг синхронних двигунів належать:

- стала частота обертання незалежно від навантаження;
- високий коефіцієнт корисної дії;
- можливість компенсації реактивної потужності;
- покращення коефіцієнта потужності мережі;
- висока перевантажувальна здатність у керованих системах;

- ефективне використання в потужних та точних електроприводах.

Недоліками є:

- складніший пуск порівняно з асинхронними двигунами;
- необхідність системи збудження або перетворювача;
- вища вартість обладнання;
- чутливість до порушення синхронізму в окремих режимах;
- складніша система керування та захисту.

11. Порівняльна характеристика синхронних та асинхронних двигунів

Ознака	Синхронний двигун	Асинхронний двигун
Швидкість	Стала, дорівнює синхронній	Менша за синхронну, залежить від ковзання
Коефіцієнт потужності	Може бути близьким до 1 або випереджальним	Здебільшого відстаючий
Пуск	Потребує спеціального способу пуску	Простий пуск від мережі
Енергоефективність	Висока, особливо у потужних приводах	Добра, але нижча при тих самих умовах
Вартість системи	Вища	Нижча

12. Висновки

Синхронні електродвигуни є важливим класом електричних машин, що забезпечують сталість швидкості, високу енергоефективність та можливість активного впливу на режим електричних мереж. Їх застосування є особливо доцільним у потужних промислових приводах, системах автоматизації, прецизійних механізмах і сучасних енергоефективних установках.

Розвиток силової електроніки, мікропроцесорного керування та цифрових систем автоматизації значно розширив сферу використання синхронних електроприводів. Сьогодні вони є ключовими елементами високоефективних, інтелектуальних та ресурсозберігаючих систем електромеханічного перетворення енергії.