

Тема 5. Двигуни постійного струму в системах електропривода

Мета - ознайомитися з принципом дії двигунів постійного струму, їх конструктивними типами та схемами збудження, механічними характеристиками, методами регулювання швидкості, а також визначити переваги, недоліки та експлуатаційні особливості електроприводів постійного струму.

1. Загальні відомості

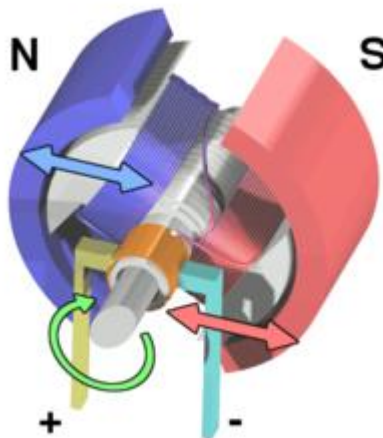
Двигуни постійного струму є електромеханічними перетворювачами енергії, у яких електрична енергія постійного струму перетворюється на механічну енергію обертального руху. Упродовж тривалого часу вони були основою регульованих електроприводів завдяки простоті зміни швидкості, високому пусковому моменту та добрим динамічним характеристикам.

У сучасних системах автоматизованого електропривода двигуни постійного струму використовуються там, де потрібне плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, точне позиціонування або значний пусковий момент. Разом з тим їх застосування обмежується наявністю колекторно-щіткового вузла, що ускладнює обслуговування та знижує надійність у важких умовах експлуатації.

2. Принцип роботи двигунів постійного струму

Принцип роботи двигуна постійного струму ґрунтується на взаємодії магнітного поля статора і струму в провідниках обмотки якоря. Якщо провідник зі струмом перебуває в магнітному полі, на нього діє електромагнітна сила, напрям якої визначається правилом лівої руки. Сукупність таких сил створює електромагнітний момент, що обертає якір.

Під час обертання якоря в його провідниках індукуються протидіюча ЕРС, яку називають зворотною ЕРС. Вона пропорційна магнітному потоку та швидкості обертання двигуна і визначається співвідношенням $E = C_e \Phi n$. Рівняння напруги кола якоря має вигляд $U = E + I_a R_a$, де U - напруга живлення, I_a - струм якоря, R_a - опір кола якоря. Електромагнітний момент двигуна пропорційний добутку магнітного потоку на струм якоря: $M = C_m \Phi I_a$.



3. Конструктивні типи та схеми збудження

Основними частинами двигуна постійного струму є статор, якір, колектор і щітковий апарат. Статор створює магнітне поле, якір містить робочу обмотку, а колектор забезпечує комутацію струму в обмотках якоря для сталого напрямку моменту.

За способом створення магнітного потоку двигуни постійного струму поділяють на двигуни незалежного, паралельного, послідовного та змішаного збудження. Двигун незалежного збудження має окреме джерело живлення обмотки збудження і забезпечує добрі можливості регулювання швидкості. У двигуна паралельного збудження обмотка збудження вмикається паралельно якорю, тому магнітний потік у нормальному режимі майже сталий. У двигуна послідовного збудження обмотка збудження вмикається послідовно з якорем, що забезпечує дуже великий пусковий момент. Двигун змішаного збудження поєднує властивості паралельного і послідовного збудження.

4. Механічні характеристики та режими роботи

Механічною характеристикою двигуна постійного струму називають залежність частоти обертання n від моменту навантаження M . Для двигуна незалежного або паралельного збудження характерною є жорстка механічна характеристика: зі зростанням навантаження швидкість змінюється незначно. Саме тому такі двигуни зручні для приводів, де потрібна відносно стала швидкість.

Для двигуна послідовного збудження характерна м'яка механічна характеристика. У разі зменшення навантаження швидкість різко зростає, тому робота такого двигуна без навантаження є небезпечною. Основними режимами роботи двигунів постійного струму є пуск, усталена робота, гальмування та реверс. У системах електропривода можуть застосовуватися противмикальне, динамічне та рекуперативне гальмування.

5. Методи регулювання швидкості обертання

Швидкість обертання двигуна постійного струму можна регулювати трьома основними способами: зміною напруги на якорі, зміною магнітного потоку та введенням додаткового опору в коло якоря.

Регулювання зміною напруги якоря є найекономічнішим і забезпечує плавну зміну швидкості вниз від номінальної. Регулювання ослабленням поля здійснюється шляхом зменшення струму збудження, унаслідок чого швидкість підвищується вище номінальної. Регулювання введенням додаткового опору в коло якоря є простим, але супроводжується значними втратами енергії, тому застосовується обмежено - переважно під час пуску або в приводах малої потужності.

6. Переваги та недоліки електроприводів постійного струму

До переваг електроприводів постійного струму належать високий пусковий момент, широкий і плавний діапазон регулювання швидкості, добрі динамічні властивості, простота реалізації реверсу й гальмування. Саме ці властивості забезпечили їх широке використання у прокатних станах, підіймально-транспортних механізмах, тягових установках і металорізальних верстатах.

Основними недоліками є наявність колектора і щіток, підвищені вимоги до технічного обслуговування, іскріння, обмеження за умовами пилу, вологи та вибухонебезпечного середовища. Крім того, порівняно із сучасними частотно-керованими асинхронними приводами системи постійного струму є дорожчими в обслуговуванні.

7. Експлуатаційні особливості та обмеження

Надійна експлуатація двигунів постійного струму потребує регулярного контролю стану колектора, щіток, підшипників, ізоляції обмоток і системи охолодження. Особливу увагу приділяють правильності комутації, оскільки порушення умов комутації призводить до іскріння, локального перегріву та передчасного зношування колектора.

Суттєвим обмеженням є недопустимість тривалої роботи двигуна послідовного збудження без навантаження. Також для двигунів постійного струму важливим є забезпечення стабільного живлення, належного захисту від перевантажень і коротких замикань, а в автоматизованих системах - якісного налаштування регуляторів струму, швидкості та моменту.

8. Втрати енергії та коефіцієнт корисної дії

У двигунах постійного струму мають місце електричні, магнітні, механічні та додаткові втрати. Електричні втрати виникають в обмотках якоря та збудження, магнітні - у сталевих частинах машини через гістерезис і вихрові струми, механічні - унаслідок тертя в підшипниках і вентиляційних втрат.

Коефіцієнт корисної дії двигуна визначається як відношення корисної механічної потужності на валу до електричної потужності, спожитої з мережі. Найбільших значень ККД досягають у двигунах, що працюють поблизу номінального навантаження. Для підвищення енергоефективності необхідно правильно вибирати потужність двигуна, зменшувати втрати в колах керування, підтримувати справний стан щітково-колекторного вузла та застосовувати раціональні режими регулювання швидкості.

9. Застосування двигунів постійного струму в системах електропривода

Двигуни постійного струму традиційно використовуються у приводах, де потрібні високі вимоги до регулювання швидкості та моменту. До таких належать електроприводи прокатних станів, підймальних кранів, електровозів, трамваїв, тролейбусів, екскаваторів, друкарських машин і ряду верстатів.

У сучасних умовах частина таких систем витісняється асинхронними й синхронними приводами з напівпровідниковими перетворювачами, однак двигуни постійного струму й надалі залишаються актуальними в окремих спеціалізованих установках, навчальних стендах і системах, де вже сформована відповідна інфраструктура.

10. Порівняльна характеристика схем збудження

Тип двигуна	Основні властивості	Переваги	Обмеження
Незалежного збудження	Потік майже сталий, жорстка характеристика	Точне регулювання швидкості	Потребує окремого кола збудження
Паралельного збудження	Стабільна швидкість за зміни навантаження	Добрі регульовальні властивості	Менший пусковий момент, ніж у послідовного
Послідовного збудження	М'яка характеристика, великий момент	Дуже високий пусковий момент	Не можна вмикати без навантаження
Змішаного збудження	Компроміс між жорсткістю і пусковим моментом	Поєднання переваг двох схем	Складніша конструкція

Двигуни постійного струму відіграли важливу роль у розвитку регульованого електропривода завдяки високим пусковим характеристикам і простоті регулювання швидкості. Незважаючи на конкуренцію з боку сучасних безколекторних та частотно-керованих приводів, вони залишаються важливим об'єктом вивчення як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

Розуміння принципу дії, механічних характеристик, методів регулювання та експлуатаційних особливостей двигунів постійного струму є необхідним для підготовки фахівців у галузі електропривода, автоматизації та електромеханічних систем.