**Лекція 4**

**Новітні технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці**

**Синхронні двигуни TLDR — це майбутнє електродвигунів завдяки прогресу силової електроніки та схем керування**

Винахід потужних постійних магнітів і застосування їх у синхронних двигунах і генераторах обумовлює революцію в електротехнічній галузі, забезпечуючи більш ефективне та надійне рішення, усуваючи потребу в струмі збудження та ковзних контактних кільцях.

Синхронні двигуни з постійними магнітами та вентильний реактивний електродвигун вважаються майбутнім для електромобілів завдяки прогресу силової електроніки та схем керування.

Глобальний ринок великих синхронних двигунів стабільно зростає в останні роки. Очікується, що з 2023 по 2030 рік він зростатиме на 5,7% у середньому. У 2022 році ринок оцінювався в 6,3 мільярда доларів США.

Ринок синхронних двигунів являє багатообіцяючий ландшафт для сталого зростання та інновацій у найближчому майбутньому. Зі збільшенням уваги до енергоефективності та екологічної стійкості синхронні двигуни стали ключовим гравцем у різних галузях промисловості.

**Перспективи майбутнього ринку синхронних двигунів з постійними магнітами**

Синхронні двигуни з постійними магнітами (PMSM) — це синхронні двигуни з самозбудженням, які обертають механічний приводний вал у процесі перетворення багатофазної вхідної електричної енергії в обертове магнітне поле. Ці двигуни є доцільнішими порівняно з асинхронними двигунами завдяки таким технічним можливостям, як високий коефіцієнт потужності та щільність крутного моменту. Синхронні двигуни з постійними магнітами (PMSM) економічно вигідні та ефективні; тому йому віддають перевагу розробники додатків керування двигуном.

Збільшення попиту на енергозберігаючий двигун: основний рушій для ринку PMSM.

Електродвигуни використовуються в широкому діапазоні застосувань, а промислові двигуни споживають від 50% до 70% загальної електроенергії, виробленої в усьому світі. Ці двигуни споживають велику кількість електроенергії в обробній і переробній промисловості, нафтовій і газовій, металургійній і гірничодобувній промисловості. З обмеженою кількістю доступних енергетичних ресурсів скорочення споживання електроенергії є істотним. У результаті виробники двигунів почали зміщувати увагу на нове покоління двигунів — PMSM. PMSM економить приблизно 40% енергії порівняно з асинхронними або загальними редукторними двигунами. Існують численні стандарти енергоефективності, встановлені такими асоціаціями, як NEMA, EPACT, CSA, CEMEP, COPANT, AS/NZS, JIS та GB. Таким чином, використання ефективних двигунів, таких як PMSM, замість асинхронного, задовольнить ринок PMSM протягом наступних п’яти років.

Використання PMSM у промисловому секторі та використання недорогих феритових постійних магнітів сприятиме розвитку ринку PMSM. PMSM використовуються для приводу підводних насосів у нафтовій і газовій промисловості, оскільки вони споживають на 20% менше енергії, ніж звичайні двигуни. PMSM використовуються в широкому діапазоні застосувань у гірничодобувній промисловості, включаючи вентилятори, насоси та конвеєри, шахтні підйомники, млини та валки. Ці фактори разом стимулюють попит на ринок PMSM.

Згідно з маокетинговими дослідженнями, у 2015-2020 рр. транспортний сегмент понад 11% зростав завдяки використанню PMSM у тяговому приводі та гібридних автомобілях. Ключові гравці ринку, такі як Toshiba Corp. і Alstom, пропонують залізничні силові установки для руху легкорейкових вагонів. Наступні приклади висвітлюють події для ключових гравців на ринку PMSM:

Toshiba отримала контракт від токійської приватної фірми Seibu Railway на забезпечення високопродуктивних силових установок для близько 40 000 поїздів. Ці потяги призначені для ліній, що обслуговують Токіо, Японія, та його передмістя.

Компанія Alstom поставила PMSM для приміських, міжміських і високошвидкісних поїздів у Франції, Італії та Німеччині, високошвидкісних поїздів у Марокко та трамваїв у Дубаї.

Привід синхронної машини з постійними магнітами (PMSM) є одним із найкращих варіантів для повного спектру програм керування рухом. PMSM широко використовується в робототехніці, верстатах, вітряках і розглядається у застосуваннях високої потужності, таких як промислові приводи та силові установки транспортних засобів. Він також використовується для житлових/комерційних споживачів. PMSM відомий тим, що має низьку пульсацію крутного моменту, чудові динамічні характеристики, високу ефективність.

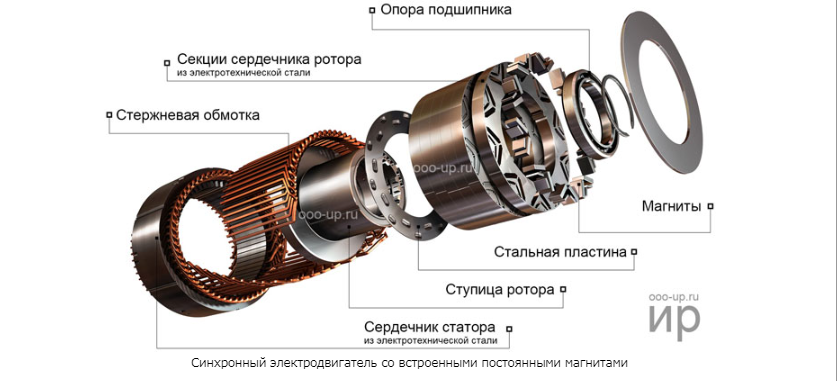
**Конструкція і переваги**

Синхронний двигун з постійними магнітами''' (permanent magnet synchronous motor, PMSM) – це синхронний електродвигун, індуктор якого складається з постійних магнітів.

Синхронний двигун з постійними магнітами має ККД на 2% більше, ніж високоефективний (IE3 є надвисоким класом енергоефективності. Це означає, що електродвигуни матимуть вищий ККД, більш тривалий термін служби, зменшене нагрівання двигуна, а також більшу економність з погляду витрат на електроенергію, https://unitech.com.ua/ua/blog/klass-jenergojeffektivnosti-jelektromotorov---zona-osobogo-vnimanija-ili-pochemu-othodjat-ot-klassa-ie1/ КЛАС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ) асинхронний електродвигун, за умови, що статор має однакову конструкцію, а для керування використовується той самий частотний перетворювач. При цьому синхронні електродвигуни з постійними магнітами в порівнянні з іншими електродвигунами мають кращі показники: потужність/об'єм, момент/інерція та ін.

IE3 є надвисоким класом енергоефективності. Це означає, що такі синхронні електродвигуни матимуть вищий ККД, більш тривалий термін служби, зменшиться нагрівання двигуна, а також будуть більш економними з погляду витрат на електроенергію.

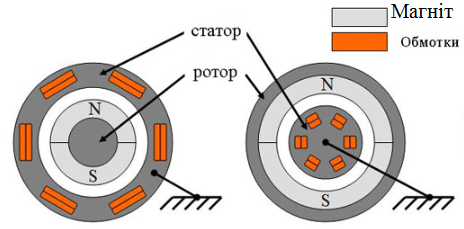
Синхронний електродвигун з постійними магнітами, як і будь-який електродвигун, що обертається, складається з ротора і статора. Статор - нерухома частина, ротор - частина, що обертається.



Зазвичай ротор знаходиться всередині статора електродвигуна, також існують конструкції із зовнішнім ротором - електродвигуни оберненого типу.

Зазвичай ротор знаходиться всередині статора електродвигуна, також існують конструкції із зовнішнім ротором — електродвигуни оберненого типу.

Ротор складається із постійних магнітів. Як постійні магніти використовуються матеріали з високою коерцитивною силою.



Також за конструкцією ротора СДПМ поділяються на:

* синхронний двигун з поверхневою установкою постійних магнітів (англ. SPMSM - surface permanent magnet synchronous motor); (на рисунку ліворуч)
* синхронний двигун із вбудованими (інкорпорованими) магнітами (англ. IPMSM - interior permanent magnet synchronous motor). (на рисунку праворуч)



Поверхнева установка магнітів Вбудовані магніти

Магнітне поле ротора, взаємодіючи із синхронним змінним струмом обмоток статора, згідно із законом Ампера, створює крутний момент, змушуючи ротор обертатися (докладніше).

Постійні магніти, розташовані на роторі СДПМ, створюють постійне магнітне поле. При синхронній швидкості обертання ротора з полем статора, полюси ротора зчіплюються з магнітним полем статора, що обертається. У зв'язку з цим СДПМ не може сам запуститися при підключенні безпосередньо до мережі трифазного струму (частота струму в мережі 50Гц).

**Управління синхронним двигуном із постійними магнітами**

Для роботи синхронного двигуна з постійними магнітами обов'язково потрібна система керування, наприклад частотний перетворювач або сервопривід. При цьому існує велика кількість способів управління системами контролю, що реалізуються. Вибір оптимального способу управління, головним чином, залежить від задачі, що ставиться перед електроприводом. Основні методи керування синхронним електродвигуном із постійними магнітами наведені в таблиці нижче.

Прогрес у створенні постійних магнітів

Прогрес був досягнутий також у створенні постійних магнітів, особливо - з рідкоземельних металів. Такі матеріали, що включають SmCo5 (самарій – кобальт), Мають найбільш високий опір розмагнічування з відомих. Інші матеріали зроблені, наприклад, з використанням комбінації заліза, неодиму та бору.

**Феритові або керамічні магніти**

Феритові або керамічні магніти найбільш поширені і економічні. Вони виготовлені із суміші оксиду заліза та карбонату стронцію, мають гарну стійкість до корозії та високу коерцитивну силу. Однак його магнітна сила відносно низька порівняно з іншими типами магнітів.

**Альніко магніти**

Магніти Alnico виготовлені зі сплаву алюмінію, нікелю та кобальту, мають високу коерцитивну силу та хорошу стійкість до високих температур. Вони ідеально підходять для застосування в двигунах і динаміках, хоча їхня магнітна сила відносно низька порівняно з іншими типами магнітів.

**Неодимові магніти**

Неодимові магніти є найпотужнішими і сучасними магнітами на даний момент. Вони виготовлені зі сплаву неодиму, заліза та бору та мають високу коерцитивну силу та надзвичайно високу магнітну силу. Вони ідеально підходять для застосувань, що вимагають високої магнітної потужності, наприклад, у двигунах, турбінах та аудіосистемах.

**Самарій-кобальтові магніти**

Самарієво-кобальтові магніти подібні до неодимових за своєю магнітною силою і стійкістю до високих температур. Вони виготовлені зі сплаву самарію та кобальту та ідеально підходять для застосування в двигунах і системах hi-fi.

**Інтернет-ресурси**

[Applied Electromechanical Devices and Machines for Electric Mobility Solutions](https://www.intechopen.com/books/9290) <https://www.intechopen.com/chapters/68961>

<https://www.youtube.com/watch?v=rKt0QHwPhAE&ab_channel=%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B2> **Асинхронные и Синхронные двигатели и генераторы. ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 24 хв.**

# Синхронный двигатель с постоянными магнитами

[**https://ru.about-motors.com/motorcontrol/pmsm/**](https://ru.about-motors.com/motorcontrol/pmsm/)

# Електрогенератори на постійних магнітах

[**http://um.co.ua/4/4-6/4-66887.html**](http://um.co.ua/4/4-6/4-66887.html)

[**https://polaridad.es/uk/%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96-%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%B8-%D0%B2%D1%81%D0%B5%2C-%D1%89%D0%BE-%D0%B2%D0%B0%D0%BC-%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%80%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%B8/**](https://polaridad.es/uk/%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96-%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%B8-%D0%B2%D1%81%D0%B5%2C-%D1%89%D0%BE-%D0%B2%D0%B0%D0%BC-%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%80%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%B8/)