

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто фізичні принципи функціонування електричних генераторів як пристроїв для перетворення механічної енергії в електричну. Проведено аналіз явища електромагнітної індукції та його математичного опису. Описано конструктивні особливості статора та ротора, проведено порівняння синхронних, асинхронних та інверторних систем. Наведено фізичне обґрунтування енергетичних втрат.

Ключові слова: електричний генератор, електромагнітна індукція, закон Фарадея, синхронний генератор, інвертор, ЕРС.

Abstract

The article presents the physical principles of operation of electric generators as devices for converting electrical energy into electrical energy. The phenomenon of electromagnetic induction and its mathematical description are analyzed. The design features of the stator and rotor are described, and synchronous, asynchronous and inverter systems are compared. The physical justification of energy losses is given.

Keywords: electric generator, electromagnetic induction, Faraday's law, synchronous generator, inverter, EMF.

Вступ

Функціонування сучасної цивілізації базується на споживанні електроенергії, основним джерелом якої є електричні генератори. В основі їхньої роботи лежить перетворення кінетичної енергії обертання турбін або двигунів у енергію електричного струму. Ключову роль у цьому процесі відіграють закони класичної електродинаміки та властивості феромагнітних матеріалів. Аналіз цих процесів дозволяє визначити межі ефективності машин та шляхи їх оптимізації.

Теоретичні основи та принцип дії

Фундаментом для розуміння роботи генератора є закон електромагнітної індукції, відкритий Майклом Фарадеем. Згідно з ним, при зміні магнітного потоку Φ , що пронизує провідний контур, у ньому виникає електрорушійна сила (ЕРС).

Математично закон індукції описується рівнянням:

$$\mathcal{E} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

де N – кількість витків в обмотці, а знак «мінус» відображає правило Ленца (індукований струм протидіє причині, що його викликала).

При рівномірному обертанні ротора з кутовою швидкістю ω у магнітному полі з індукцією B , магнітний потік змінюється за гармонічним законом, що породжує змінну напругу:

$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t)$$

Розуміння цих теоретичних засад створює основу для аналізу конструкції пристрою, що забезпечує цей процес у промислових масштабах.

Конструктивні елементи та механізми збудження

Після теоретичного опису принципу дії можна перейти до фізичної реалізації машини. Будь-який генератор складається з двох ключових взаємодіючих частин (рис.1):

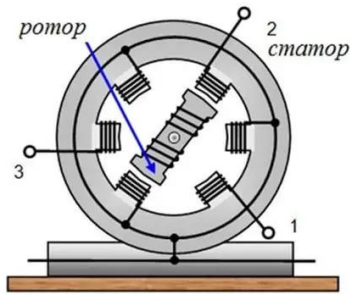


Рисунок 1 – статор та ротор

Статор – нерухома частина, у пазах якої розміщена обмотка. Саме тут під дією змінного поля генерується струм.

Ротор – рухома частина, що створює основне магнітне поле.

Ефективність генерації напряму залежить від способу збудження магнітного поля ротора:

Використання постійних магнітів: застосовується у малопотужних пристроях, забезпечує стабільність, але не дозволяє регулювати вихідну напругу.

Електромагнітне збудження: на обмотку ротора подається постійний струм. Це дозволяє динамічно керувати потужністю генератора через зміну сили струму збудження.

Саме спосіб взаємодії полів ротора та статора визначає класифікацію генераторів за їхніми робочими характеристиками.

Види генераторів та їх фізичні властивості

На основі теоретичних засад електромагнітної індукції виділяють кілька основних типів генераторних систем, кожна з яких має специфічні фізичні умови роботи та сфери застосування. Найбільш поширеними у великій енергетиці є синхронні машини, де частота генерованого змінного струму f жорстко пов'язана з частотою обертання ротора n співвідношенням $f = p \cdot \frac{n}{60}$, де p – кількість пар полюсів. Це дозволяє стабільно підтримувати стандартну частоту енергомережі (50 Гц). На відміну від них, асинхронні генератори працюють за принципом «ковзання», коли швидкість ротора дещо перевищує швидкість магнітного поля статора. Такі машини є конструктивно простішими, оскільки не потребують складних систем збудження, проте вони менш стійкі до змінних навантажень.

Окреме місце в ієрархії пристроїв посідають інверторні системи, які базуються на принципі багатоступеневого перетворення енергії. На першому етапі вони генерують змінний струм високої частоти, який згодом випрямляється у постійний (DC). На завершальному етапі мікропроцесорний блок за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) знову перетворює його на змінний (AC) з ідеальною синусоїдою. Це дозволяє отримати стабільні 220 вольт незалежно від того, наскільки швидко обертається двигун. Порівняльні характеристики цих типів генераторів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – характеристики типів генераторів

Тип генератора	Стабільність вихідних параметрів (частота/напруга)	Коефіцієнт корисної дії (ККД)	Основна сфера застосування
Синхронний	Висока (частота жорстко прив'язана до обертів ротора)	88-94%	Промислові електростанції (ТЕС, АЕС), великі об'єкти
Асинхронний	Середня (залежить від «ковзання» та характеру навантаження)	80-85%	Вітрові установки, зварювальні агрегати, допоміжні мережі
Інверторний	Еталонна (завдяки подвійному електронному перетворенню)	90-95%	Чутлива побутова техніка, медичне обладнання, газові котли

Аналіз втрат та ефективність (ККД)

Реальна робота генератора супроводжується перетворенням частини енергії у тепло, що знижує його ККД. Фізична природа втрат поділяється на:

Електричні: нагрівання провідників ($P = I^2 \cdot R$).

Магнітні: виникнення вихрових струмів (струмів Фуко) в осерді статора, що призводить до його нагрівання.

Механічні: тертя у підшипниках та аеродинамічний опір.

Для мінімізації втрат осердя роблять із тонких ізольованих листів електротехнічної сталі, а для обмоток використовують мідь високої чистоти.

Висновки

У ході роботи розглянуто фізичні закономірності, що визначають ефективність електричних генераторів. Показано, що в основі процесу лежить фундаментальний закон електромагнітної індукції. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок: для стабільної роботи великих мереж безальтернативними є синхронні машини, тоді як для приватного сектору з високоточною технікою пріоритет зміщується в бік інверторних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sivukhin D. V. General Course of Physics. Vol. III. Electricity. – Kyiv : Vyshcha Shkola, 2005. – 656 p.
2. Chapman S. J. Electric Machinery Fundamentals. – New York : McGraw-Hill Education, 2011. – 716 p.
3. Martyniuk V. V. Physics of Electrotechnical Processes : course of lectures. – Vinnytsia : Vinnytsia National Technical University, 2022.
4. Fitzgerald A. E., Kingsley C., Umans S. D. Electric Machinery. – New York : McGraw-Hill Higher Education, 2003.
5. Hughes E. Electrical and Electronic Technology. – London : Pearson Education Limited, 2008.

Рачковський Вадим Григорович - студент групи 1KI-25МС, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rachkovskyvadym@gmail.com.

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** - канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Rachkovsky Vadym Hryhorovych – student of group 1KI-25MS, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rachkovskyvadym@gmail.com.

Scientific advisor: **Martyniuk Volodymyr Valeriyovych** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia