

СИНХРОННИЙ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН З МАСИВОМ ХАЛЬБАХА ДЛЯ ПРИВОДУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Васьковський Ю.М., д.т.н., професор, Чирка І.О., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. Квадрокоптер – це різновид безпілотного літального апарату (БПЛА), який має чотири пропелери, розташовані вертикально, що забезпечує підйомну силу й тягу для польоту. Основні компоненти квадрокоптера включають: раму, електродвигуни, пропелери, контролер польоту, акумуляторну батарею, систему керування й датчики орієнтації в просторі.

Такі БПЛА застосовуються для різних цілей: аерофотозйомки, пошуково-рятувальних операцій, сільського господарства, спостереження та транспортування різних вантажів. Завдяки універсальності та простоті в управлінні, квадрокоптери стали популярними для виконання широкого спектру завдань.

Більшість квадрокоптерів оснащені чотирма безщітковими електродвигунами (це класичне виконання), по одному на кожній куті рами. Ці двигуни обертають пропелери, створюючи необхідну тягу для підйому та маневрів. Незалежний контроль кожного двигуна дозволяє регулювати орієнтацію та переміщення квадрокоптера в просторі. Квадрокоптери, окрім основних компонентів, часто забезпечені додатковими системами, такими як GPS-навігація, датчики перешкод, камера, автопілот і системи штучного інтелекту, що дозволяють автоматизувати польоти та збільшити точність завдань. Залежно від призначення, їх вибірка в різних сферах: від інспекції промислових об'єктів і моніторингу навколишнього середовища до розваг та логістики. Сучасні моделі здатні виконувати як автономні місії, так і працювати в координації з іншими дронами, що відкриває нові можливості для комерційних і наукових інтеграцій [1].

Синхронний магнітоелектричний двигун (СМД) з трифазною обмоткою статора живиться від акумуляторної батареї (АБ) через інвертор, який перетворює постійну напругу АБ в трифазну напругу змінного струму.

Мета роботи: оцінка і порівняльний аналіз варіантів синхронного магнітоелектричного двигуна з зовнішнім ротором, виконаних з накладеними радіально намагніченими постійними магнітами та з використанням масиву Хальбаха.

Матеріали і результати досліджень. Добре відомо, що традиційній конструкції синхронної машини відповідає внутрішнє розташування ротора і зовнішнє розташування статора в пази якого вкладено трифазну обмотку, але в конструктивній компоновці квадрокоптера більш ефективним з точки зору масо-габаритних і енергетичних показників є обернена конструкція двигуна – зовнішнє розташування ротора і внутрішнє – статора рис. 1 (а). Подальше покращення характеристик двигуна можна отримати шляхом застосування спеціальної зборки (масиву) Хальбаха рис. 1 (б). Шляхом спеціального розташування постійних магнітів в роторі з різним напрямом вектора їх

намагніченості можливо створити оптимальну конфігурацію магнітного поля: збільшити магнітне поле з одної (внутрішньої) сторони ротора і зменшити з іншої (зовнішньої) сторони ротора. Внаслідок цього можливо зменшити висоту ярма ротора й масу двигуна у цілому.

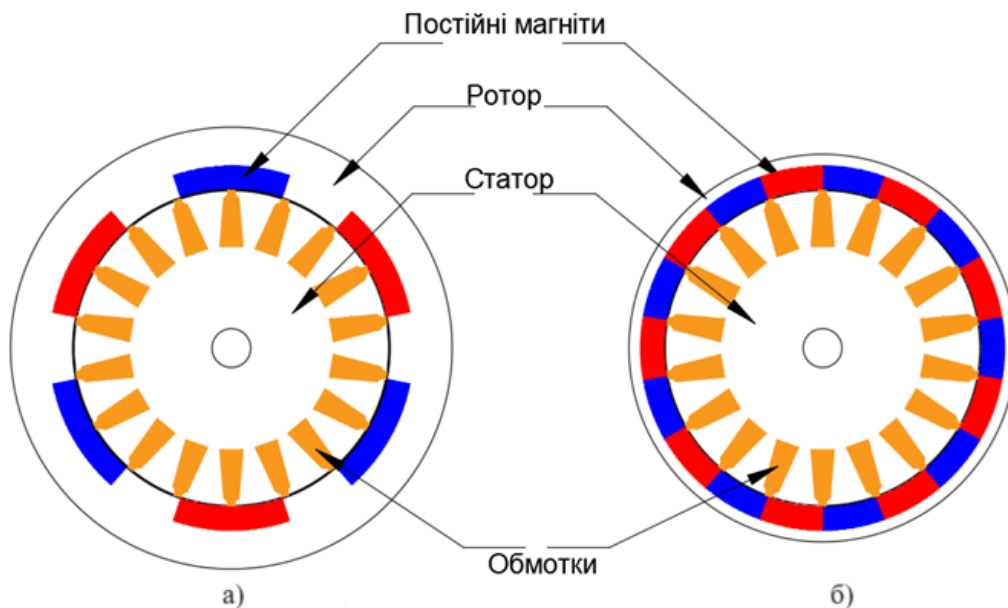


Рисунок 1 – Синхронні магнітоелектричні двигуни оберненого виконання:
а) з накладеними радіально намагніченими постійними магнітами;
б) з масивом Хальбаха.

Дослідження проведено шляхом математичного моделювання з використанням теорії електромагнітного поля. На рис. 2 представлено картину поля СМД з зовнішнім ротором та з накладеними радіально намагніченими постійними магнітами. Видна значна висота ярма ротора, індукція в якому сягає 2,5 Тл.

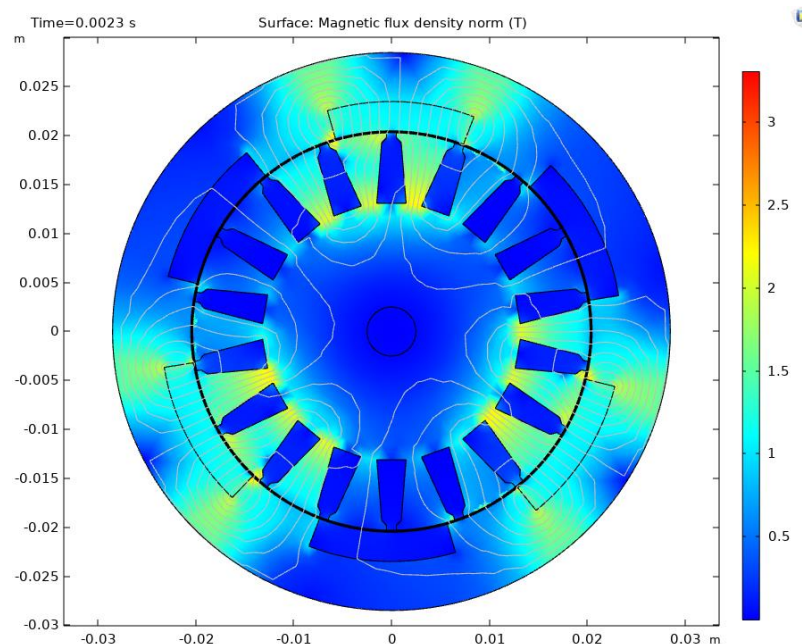


Рисунок 2 – Розподіл магнітної індукції двигуна оберненого виконання:
з накладеними радіально намагніченими постійними магнітами

Система постійних магнітів Хальбаха, відома як масив Хальбаха, є спеціальною конструкцією розташування магнітів, яка дозволяє створити магнітне поле з високою густиною на одній стороні, в той час як поле з іншого боку практично зникає [2]. На рис. 3 показана картина поля масиву Хальбаха, яка забезпечує внутрішнє магнітне поле високої густини в зоні розташування нерухомого статора СМД. При цьому на зовнішній поверхні ротора розташоване невелике ярмо, висота якого вибирається лише з міркувань механічної міцності для утримання постійних магнітів ротора від дії відцентрових сил при обертанні. Це дозволяє у порівнянні з традиційною конструкцією СМД суттєво зменшити масу ротора, покращити маневрені властивості двигуна шляхом більш швидкої зміни швидкості обертання ротора тощо.

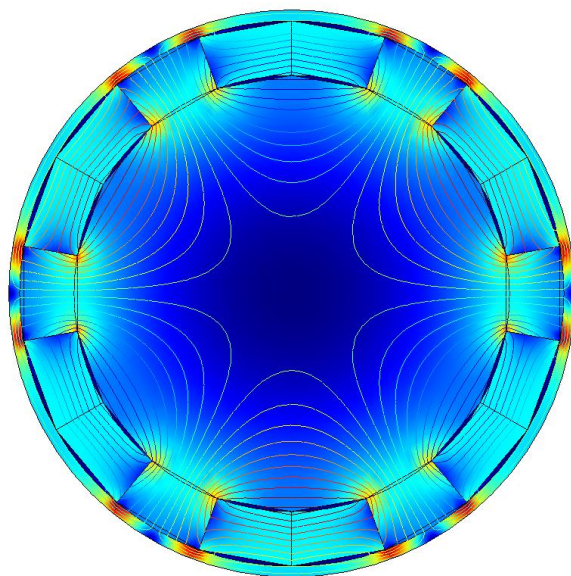


Рисунок 3 – Картина поля магнітної індукції системи ПМ, з феромагнітним ярмом ротора з масивом Хальбаха

Висновок. Квадрокоптери завдяки своїй універсальності та простоті керування залишаються незамінними у багатьох галузях. Їхня ефективність залежить від оптимального вибору компонентів, зокрема конструкції електродвигунів. Синхронний магнітоелектричний двигун з зовнішнім ротором і постійними магнітами, складеними у вигляді масиву Хальбаха, має кращі масо-габаритні показники і питому потужність у порівнянні з СМД, ротор яких має традиційну конструкцію – накладені радіально намагнічені постійні магніти. Тому використання трифазних СМД з зовнішнім ротором і постійними магнітами, складеними у вигляді масиву Хальбаха, є перспективним для подальших досліджень і впроваджень.

Перелік посилань

1. How to Build A Drone | Step by Step Guide – <https://dronenodes.com/how-to-build-a-drone/>
2. Halbach array https://en.wikipedia.org/wiki/Halbach_array