

УДК 621.313.323

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ З ВБУДОВАНИМИ МАГНІТАМИ

Бешта О.С., д.т.н., проф., Балахонцев О.В., к.т.н., доц., Фурса С.Г., асп.

Національний гірничий університет

пр. К. Маркса, 19, 49027, м. Дніпропетровськ, Україна

E-mail: fursasergii@ukr.net

У даній роботі розглянуто один з найперспективніших варіантів конструкції СДПМ та виконано його розрахунок за допомогою спеціальної програми моделювання електромагнітних полів. Обґрунтовано доцільність використання СДПМ як ефективного технічного рішення для підвищення економії електроенергії.

Ключові слова: синхронний двигун з вбудованими постійними магнітами, асинхронний двигун, енергетична ефективність.

Вступ. Зростання цін на енергоносії та виснаження їх світових запасів приводять з одного боку до посилення енергетичних вимог до промислового устаткування, а з іншого боку – до пошуку енергозберігаючих технологій. Дана проблема особливо актуальна для промисловості України, де за даними провідних фахівців, доля енерговитрат в собівартості продукції сягає 30-40%, що значно вище, ніж, наприклад, в західноєвропейських країнах. Причинами такого положення є застарілі енергоємкі технології, устаткування та прилади. Очевидно, що зниження цих витрат дозволить значно підвищити конкурентоспроможність виробництва.

Одним із можливих шляхів для вирішення даної проблеми є використання більш економічних електродвигунів. Такими двигунами сміливо можна назвати синхронні двигуни з постійними магнітами (СДПМ) [1]. Основною перевагою цього типу електричних машин є висока питома потужність та енергетичні показники, простота конструкції, відсутність ковзаючих контактів, втрат в роторі і на збудження, а також дуже низькі витрати на обслуговування.

Аналіз попередніх досліджень. Як відомо, одним із стримуючих факторів широкого розповсюдження СДПМ є досить висока їх ціна. В [2] була запропонована технологія виробництва СДПМ на основі АД. Дане технічне рішення дозволяє мінімізувати капіталовкладення, що, в свою чергу, знижує подальшу собівартість СДПМ та дає можливість використовувати аналогічні комплектуючі для обох типів електродвигунів.

В приведеній роботі [2] був виконаний приблизний теоретичний розрахунок з рядом припущень, який не відображає в повній мірі весь потенціал даного класу електричних машин.

Окрім цього був досліджений не самий економічний, з точки зору собівартості виробництва, варіант конструкції СДПМ.

Мета роботи. Виконати практичний розрахунок одного з варіанту конструкції СДПМ та обґрунтувати доцільність його використання.

Матеріал і результати досліджень. Для виконання поставленої мети був проведений порівняльний аналіз головних технічних та енергетичних параметрів СДПМ та найбільш поширеного в промисловості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (АД). Для цього був використаний стандар-

тний 6-полюсний АД компанії Danfoss Bauer типорозміру ІЕС112 та розраховано СДПМ в даному габаритному розмірі.

На сьогоднішній день існує велика кількість різних конструктивних варіацій СДПМ, які відрізняються способами живлення, конструктивним виконанням пакету статора та ротора, розташуванням постійних магнітів тощо.

Одною з найперспективніших конструкцій вважається СДПМ з вбудованими постійними магнітами (IPMSM – абревіатура в англійській літературі, рис. 1) і саме її було вибрано для подальших досліджень.

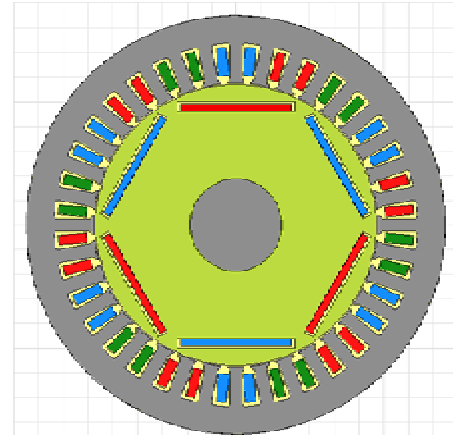


Рисунок 1 – Поперечний переріз IPMSM

Статор СДПМ має таку ж саму конструкцію, як в класичному АД. Він набирається з пластин електротехнічної сталі завтовшки 0,5 мм. Пластини штамуються циліндричної форми з пазами на внутрішній стороні для укладання обмотки та ізолюються з обох боків лаком. Обмотка статора виконується мідним обмотувальним дротом круглого та прямокутного перерізу.

У вибраному варіанті конструкції СДПМ постійні магніти розташовуються в спеціально підготовлених отворах, що дає ряд суттєвих переваг у порівнянні з варіантом їх розташування на поверхні ротора.

Форма та особливості магнітної конфігурації такого ротора призводять до збільшення щільності потоку, тобто збільшується електромагнітний момент [3]. Окрім цього конструкція ротору дозволяє оптимізувати форму його поверхні для досягнення майже синусоїдального розподілу магнітного поля в зазорі.

Наступною перевагою IPMSM є можливість керованого послаблення магнітного поля, що дозволяє розширити діапазон робочих швидкостей [4]. Також розташування постійних магнітів в роторі підвищує захист від корозії та зменшує розмагнічуючий вплив реакції якоря.

Ще одна важлива перевага IPMSM – механічно міцний та добре збалансований ротор. Тому цей варіант конструкції може використовуватись в високошвидкісних електроприводах.

Виготовлення IPMSM є також більш економічним, ніж СДПМ з поверхневими магнітами. Це обумовлено простішим монтажем, відсутністю бандажу та більш низькими вимогами щодо точності виготовлення постійних магнітів.

Через особливості розташування постійних магнітів взаємна індуктивність значно відрізняється вздовж осей $L_d < L_q$, що спричиняє утворення додаткового реактивного моменту. Такі специфічні властивості обумовлюють необхідність більш складних алгоритмів керування. Іншим недоліком IPMSM є обмежена гранична потужність та відсутність можливості регулювання струму збудження.

В якості матеріалу постійних магнітів використовуються рідкоземельні магніти Nd-Fe-B, які мають найкращі енергетичні та техніко-економічні показники.

Розрахунки IPMSM були виконані за допомогою моделювання в програмі Maxwell v12 компанії Ansoft. Даний програмний продукт базується на методі кінцевих елементів (Finite Element Method – FEM) і виконує точний розрахунок статичних, гармонійних електромагнітних та електричних полів, а також перехідних процесів в польових задачах (рис. 2). Також Maxwell v12 дозволяє реалізувати точну геометрію електричної машини та врахувати властивості використаних матеріалів.

Точність розрахунків електричних машин за допомогою програмних пакетів, заснованих на методі кінцевих елементів, підтверджено в багатьох роботах [3, 5].

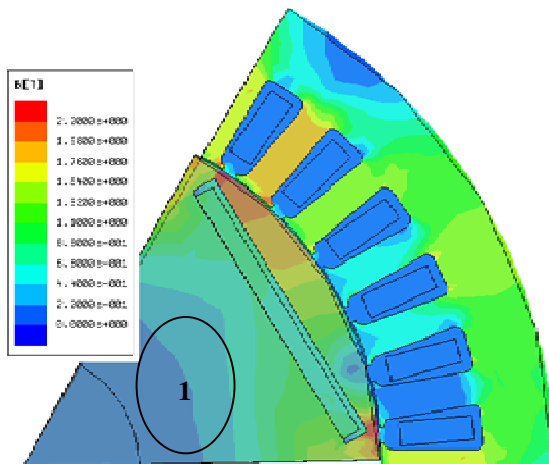


Рисунок 2 – Розподіл магнітної індукції в фрагменті IPMSM

Відповідно до запропонованої технології пакет статора IPMSM був виконаний ідентичним до статора АД.

Номинальним навантаженням IPMSM було вибрано таке навантаження, при якому величина загальних втрат не перевищувала б максимальне допустиме значення для даного габаритного розміру (приблизно 1 кВт). Обидва електродвигуна мають клас ізоляції F, тому IPMSM моделювався при температурі обмотки статора 115°C, що є максимально допустимою для даного класу.

Результати розрахунків головних параметрів IPMSM та відповідні паспортні номінальні параметри АД наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Номінальні параметри АД та СДПМ

№	Параметри	АД	IPMSM
1.	Потужність, кВт	3	6,3
2.	Тип з'єднання обмотки статора	Δ	Y
3.	Лінійний струм статора, А	7,11	10,42
4.	Номинальний момент, Нм	30,5	60
5.	Номинальна частота обертання, об/хв	930	1000
6.	Загальні втрати, Вт	718	861
7.	ККД, %	80,9	88
8.	cosφ	0,754	0,969
9.	Маса міді обмотки статора, кг	3,25	3,16
10.	Маса сталі, кг	19,88	20,69
11.	Маса алюмінію обмотки ротора, кг	0,91	-
12.	Маса постійних магнітів, кг	-	1,007
13.	Загальна маса матеріалів, кг	24,03	24,86
14.	Номинальний момент/маса, Нм/кг	1,27	2,42

Як видно з табл. 1, розглянуті АД та IPMSM мають невелику різницю в загальній масі використаних матеріалів. При цьому IPMSM розвиває в 2,1 рази більшу номінальну потужність при ідентичних габаритних розмірах. Це свідчить про те, що IPMSM, аналогічної потужності з АД, матиме значно менші габаритні розміри. Отже, для його виробництва потрібно значно менше витратного матеріалу, що, в свою чергу, знижує собівартість електричної машини.

Окрім цього в СДПМ є невеликий резерв для зменшення маси ротора. Як видно з рис. 2, в роторі з'являються ділянки, позначені цифрою 1, де протікає незначний магнітний потік. В цих місцях можливо зробити додаткові отвори, які зменшать масу, а з нею і момент інерції, що, в свою чергу, підвищить динаміку СДПМ.

Високий коефіцієнт питомої потужності СДПМ особливо актуальний в електромеханічних комплексах.

сах з високими вимогами щодо габаритів та маси (електропривод верстатів, автомобілів, літаків тощо).

Наступною перевагою IPMSM є значно кращі енергетичні показники. ККД є вищим на 7,1%, що дає змогу віднести даний двигуни до класу енергоефективності eff1, тоді як представлений АД належить до eff3. За даними європейських експертів вартість електроенергії, споживаної щорік середнім двигуном в промисловості, майже в 5 разів перевершує його власну вартість [6]. Тому не важко поррахувати, таке значне підвищення ККД дозволить швидко компенсувати витрати на придбання більш дорогого СДПМ.

Окрім цього, при виконанні відповідної оптимізації представленої конструкції IPMSM та використання більш високоякісних матеріалів (наприклад, сталь M530-50A) можливе підвищення ККД на 3-5%.

Як відомо з теорії електричних машин, АД є значним споживачем реактивної потужності, тоді як приведений IPMSM має $\cos j \approx 1$. З врахуванням того, що споживачі повинні платити і за споживану реактивну енергію, СДПМ дозволяє зекономити додаткові кошти.

Висновки. 1. Технологія виробництва СДПМ на основі АД та використання вбудованих магнітів дає змогу значно скоротити його собівартість та підвищити конкурентоспроможність даного класу електричних машин.

2. СДПМ має дуже високі показники питомої потужності і розвиває 2,1 рази більшу потужність в ідентичних габаритних розмірах з АД.

3. СДПМ володіє одними з кращих енергетичними властивостями в діапазоні малої та середньої потужності.

4. Завдяки своїм енергетичним властивостям СДПМ дозволяє досить швидко компенсувати значні затрати на його придбання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kaufhold M., Jöckel A. Permanenterregte Großmaschinen: Potenziale in der Oberklasse // Elektrotechnik + Automation. – 2002. – Heft №20, – S. 2-7.
2. Кочергин В. В. Вентильный двигатель на основе асинхронного / В. В. Кочергин, Б. В. Закревская // Электротехника – 2009. – №10, – С. 18–21.
3. Wöhl-Bruhn H., Canders W. Einsatz von Synchronmaschinen in leistungsverzweigten Antriebssystemen // ETG-Kongress 2007 „Hybridantriebstechnik. Energieeffiziente elektrische Antriebe“, 23 - 24.10.2007, Karlsruhe, Deutschland.
4. Stölting H., Kallenbach E.: Handbuch Elektrische Kleinantriebe // 2. Auflage, Carl Hanser Verlag. – München Wien, 2002.
5. Müller G., Vogt K., Ponick B. Berechnung elektrischer Maschinen // 6 Auflage, Wiley-VCH Verlag. – Weinheim, 2008.
6. Ильинский Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение / Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко // учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.

Стаття надійшла 27.04.10 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ СО ВСТРОЕННЫМИ МАГНИТАМИ

*Бешта А.С., д.т.н., проф., Балахонцев А.В., к.т.н., доц., Фурса С.Г., асп.
Национальный горный университет
пр. К. Маркса, 19, 49027, г. Днепропетровск, Украина
E-mail: fursasergii@ukr.net*

В данной работе рассмотрен один из наиболее перспективных вариантов конструкции СДПМ и выполнен его расчет при помощи специальной программы моделирования электромагнитных полей. Обоснована целесообразность использования СДПМ как эффективного технического решения для повышения экономии электроэнергии.

Ключевые слова: синхронный двигатель с вмонтированными постоянными магнитами, асинхронный двигатель, энергетическая эффективность

GROUND OF EXPEDIENCE OF THE USE OF SYNCHRONOUS ENGINES WITH PERMANENT MAGNETS WITH BUILT-IN MAGNETS

*Beshta A.S., Doc of Sci. (Tech.), Prof., Balahontsev A.V., Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Fursa S.G., post-grad.
National Mountain University
K. Marksa Av., 19, 49027, Dnipropetrovsk, Ukraine
E-mail: fursasergii@ukr.net*

In the presented paper the most advanced construction of permanent magnet synchronous motor (PMSM) is analyzed. Results of electromagnetic field simulation are given. The cost benefit analysis is made to vindicate PMSM to increase energetic efficiency.

Key words: interior permanent magnet synchronous motor, induction motor, energy efficiency.