

РОЗРОБКА СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ МІНІМАЛЬНОЇ ВАРТОСТІ

Вступ: Одною з головних ознак сучасного електропривода електромеханічних систем є широке впровадження частотно-регульованого електропривода змінного струму. Сучасні системи керування дозволяють досягти великого діапазону регулювання швидкості, забезпечують високі вимоги щодо точності її підтримання та динамічних характеристик привода. Дану тенденцію яскраво підтверджують дані товарообігу в області електроприводу та компонентів до нього в ФРН, яка є одним з найбільших світових виробників в області електротехніки [1]. У більшості випадків частотно-регульований електропривод реалізується на основі асинхронних двигунів (АД). Альтернативою йому виступає електропривод з синхронними двигунами з постійними магнітами (СДПМ). Кількість подібних систем інтенсивно збільшується і складає сьогодні за різними даними до 30-40% від загального числа регульованого електропривода змінного струму, що виробляється щорічно [2]. Подібна тенденція викликана зростаючими енергетичними, динамічними та технологічними вимогами до електропривода електромеханічних систем, які не завжди в силу своїх недоліків може забезпечити електропривод на базі традиційних АД. Тоді як СДПМ мають таку ж просту та надійну конструкцію, низькі витрати на обслуговування та значно вищу питому потужність і кращі енергетичні показники (ККД, $\cos\phi$). Одним з стримуючих факторів розповсюдження розглянутих електричних машин є досить висока їх вартість. Тому актуальним завданням є пошук конструкції СДПМ, яка б дозволила значно знизити собівартість їх виробництва.

Постановка задач досліджень. Метою даної роботи є розробка та оптимізація конструкції СДПМ за допомогою сучасних пакетів САПр для розв'язання польових задач.

Матеріали досліджень. Як відомо [3], одним з можливих шляхів мінімізації собівартості СДПМ є створення їх на основі традиційних АД. Це дозволяє виробникам знизити початкові капіталовкладення при налагодженні серійного виробництва та дає можливість використовувати аналогічні комплектуючі для обох типів електродвигунів. Тому для подальшої розробки та оптимізації СДПМ був використаний стандартний 6 полюсний АД типорозміру ІЕС112. В даному АД короткозамкнений ротор було замінено на новий пакет з постійними магнітами та укладено нову відповідно розраховану обмотку статора. Усі інші конструктивні елементи АД, як пакет статора, корпус, підшипники та відповідні посадочні місця під них, вентилятор самообдуву, залишились стандартними. Зміна вала пов'язана зі збільшенням номінального моменту та необхідністю розміщення на ньому датчика положення ротору. У випадку використання опосередкованих алгоритмів визначення положення ротору, – датчик не потрібний, що значно знижує собівартість електропривода.

Конструкція ротора була виконана з вбудованими постійними магнітами (рис. 1), тому що вона вважається одною з найбільш економічних і дозволяє знизити загальну собівартість СДПМ. Це обумовлено простішим монтажем, відсутністю бандажу та більш низькими вимогами щодо точності виготовлення постійних магнітів ніж при розташуванні їх на поверхні ротора. В якості постійних магнітів використано магніти Nd-Fe-B серії TERRAMAG виробництва фірми ВЕС (Китай).

Взагалі вартість постійних магнітів є одним з головних факторів, який в значній мірі визначає собівартість СДПМ. Саме тому було виконано моделювання декількох варіантів СДПМ з різною масою магнітного матеріалу при ідентичності інших конструктивних параметрів, а також напруги живлення та навантаження на валу. Маса магнітів змінювалась тільки від обраної висоти в межах $h_m = 2-5$ мм. Це було викликано тим, що ширина перемички 1 між «карманами» для магнітів (рис. 1) у всіх моделях підтримувалась постійною, а отже ширина магнітів, а за нею і коефіцієнт полюсного перекриття, майже не змінювались. Ширина даної «перемички» повинна бути мінімальною для зменшення втрат на розсіювання магнітів, а з іншого боку, вона повинна володіти достатньою міцністю, щоб гарантувати надійну роботу при максимальній швидкості СДПМ.

Моделювання СДПМ були виконані за допомогою програми Maxwell v12. Даний програмний продукт виконує точний розрахунок статичних, гармонійних електромагнітних та електричних полів, а також перехідних процесів в польових задачах за допомогою методу кінцевих елементів (Finite Element Method – FEM). Він також дозволяє реалізувати точну геометрію електричної машини та врахувати властивості використаних матеріалів.

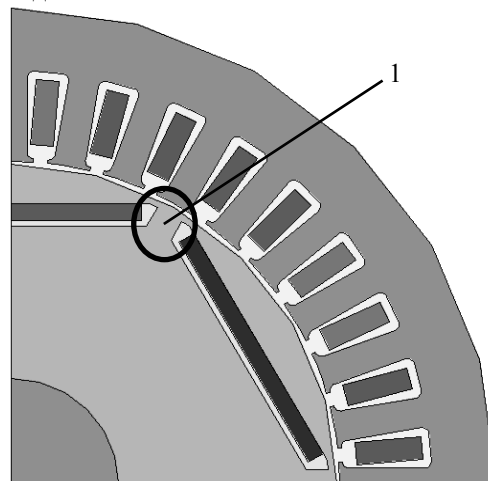


Рисунок 1 – Поперечний розріз фрагменту СДПМ з вбудованими магнітами

За результатами моделювання на рис. 2 наведені залежності загальних втрат СДПМ від маси використаного магнітного матеріалу. Як видно з наведеної діаграми, збільшення маси магнітного матеріалу призводить до зменшення загальних втрат при досягненні ідентичного електромагнітного моменту у повітряному зазорі. Окрім цього відповідно підвищується і ККД. Габарити електричної машини обмежуються кількістю можливих для розсіювання втрат, тому зі збільшенням об'єму постійних магнітів підвищується максимальна та питома потужність СДПМ, а також коефіцієнт перевантаження. Аналізуючи представлені залежності бачимо, що оптимальна маса постійних магнітів для даного СДПМ становить 1,1-1,25 кг і подальше збільшення маси не призводить до значного поліпшення. Так наприклад, при збільшенні маси на 49,6% – загальні втрати зменшились тільки на 8%.

Тому для створення експериментального зразка було запропоновано варіант СДПМ з висотою магнітів $h_m = 3$ мм. Отримані для нього, за результатами моделювання, основні електричні параметри при номінальному навантаженні приведені в таблиці 1. Обмотка статора з'єднана в зірку та має клас ізоляції F. Також на рис. 3 приведена осцилограма фазних струмів СДПМ.

Таблиця 1 Номінальні дані СДПМ

№	Параметри	Значення
1	Потужність, кВт	6,3
2	Номінальна напруга, В	400
3	Номінальний струм, А	10,42
4	Номінальний момент, Нм	60
5	Номінальна частота обертання, об/хв	1000
6	ККД, %	88,1
7	cosφ	0,969
8	Опір обмотки статора, Ом	1,41
9	Індуктивність L_d , мГн	27,5
10	Індуктивність L_q , мГн	103,5
11	Момент інерції, кг/м ²	0,0179

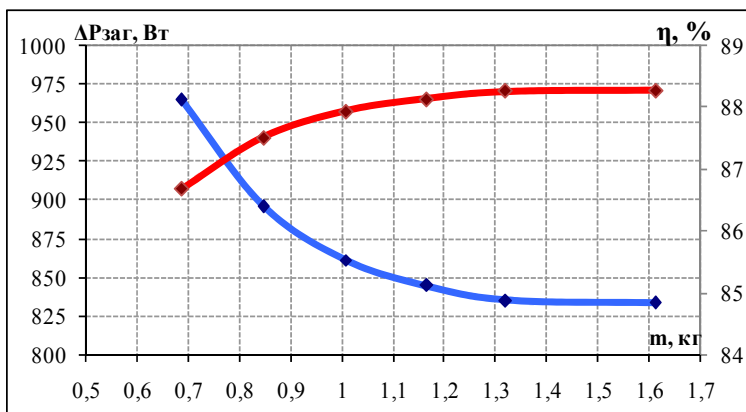


Рисунок 2 – Залежності загальних втрат та ККД СДПМ від маси постійних магнітів

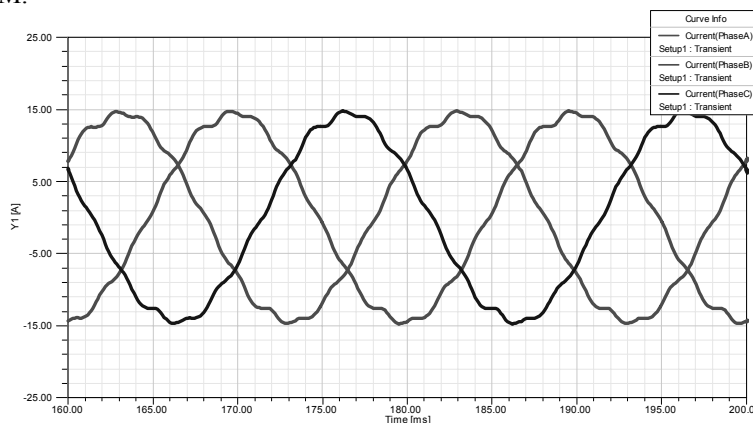


Рисунок 3 – Протікання фазових струмів СДПМ

Висновки:

1. Технологія виробництва СДПМ на базі АД, що дає можливість розширити серійний ряд продукції та значно знизити капіталовкладення для підприємств-виробників електричних машин.

2. Використання спеціальних пакетів САПр, зокрема Maxwell v12, для вирішення польових задач підвищує точність розрахунків, відкриває нові можливості для оптимізації конструкції електричних машин та дозволяє знизити витрати при виконанні будь-яких проектних робіт.

3. Для СДПМ типорозміру ІЕС112 отримано залежності загальних втрат та ККД від маси магнітного матеріалу, а також встановлено, що найбільш раціональна маса постійних магнітів становить 1,1-1,25 кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.zvei.org – офіційний сайт союзу електротехнічних виробників Німеччини.
2. Колпаков А.И. «Перспективы развития электропривода» // Силовая электроника – 2004. – №1. – С. 46-48.
3. Бешта О.С., Балахонцев О.В., Фурса С.Г. «Обгрунтування доцільності використання СДПМ з вбудованими магнітами» // Вісник КДПУ: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 4/2010(63). – Ч.2 – Кременчук: КДПУ, 2010. – С. 73-75.