

УДК 621.34–501.72

**В. І. Мороз**, д-р техн. наук,  
**П. А. Болкот**, інженер,  
**І. Ф. Снітков**, завідувач лабораторії,  
**К. І. Снітков**, інженер

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

## **ЧУТЛИВІСТЬ ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОХИБОК СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ СИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ**

У статті проведено аналіз впливу на системи оптимального керування синхронними двигунами з постійними магнітами технологічних похибок, які з'являються у процесі їх виготовлення.

**Ключові слова:** *давачі положення ротора, електромагнітний момент, кут комутації, синхронний двигун з постійними магнітами, система керування.*

**Постановка проблеми.** Переваги синхронних двигунів з постійними магнітами зумовили їхнє широке розповсюдження в багатьох електромеханічних системах. Для підвищення ефективності їхнього використання розроблено різні алгоритми, що дають змогу забезпечити оптимальні стратегії керування. У той же час, у процесі реалізації таких стратегій вважається, що за сигналами з давачів положення ротора система керування однозначно ідентифікує правильні значення потрібних моментів комутації, а полюси статора розміщені геометрично точно, через що питання необхідної точності підтримання проміжних координат в обраній стратегії керування синхронним двигуном не розглядається.

У дійсності елементи двигуна виготовлені з певними технологічними похибками — і полюси статора, і елементи давача положення ротора розміщені з деякими неточностями, що можуть складати як частки міліметра, так і міліметри у випадку великогабаритних електричних машин. Іншою причиною похибок визначення положення ротора є рівень напруженості магнітного поля, що викликає спрацювання давача на ефекті Холла і спричинює зсув появи сигналу давача положення ротора стосовно розрахункового. У випадку великої кількості полюсів при невеликому діаметрі синхронного двигуна ці фактори стають досить вагомими, що вимагає окремих досліджень.

Аналіз досліджень і публікацій. Як показано в роботах [1; 2], застосування відповідних законів керування синхронними двигунами з постійними магнітами за різними критеріями (максимального моменту для заданого струму, максимального ККД тощо) дає змогу забезпечити ефективніше використання згаданої електричної машини з огляду на поставлену задачу. Проте задача впливу точності виготовлення електричної машини на її параметри не розглядається.

Задачею досліджень є аналіз впливу на системи керування (у т. ч. оптимальні) розкидів технологічних параметрів під час проектування і виготовлення синхронних машин з постійними магнітами на прикладі двофазного синхронного двигуна з постійними магнітами типу ДБМ-1200-3-Д25 із вбудованим давачем положення ротора на основі давачів Холла фірми Honeywell [3], розробленого і виготовленого в лабораторії НДЛ-68 Спеціального конструкторського бюро електромеханічних систем (СКБ ЕМС) Національного університету "Львівська політехніка".

Викладення основного матеріалу. Основними джерелами похибок під час реалізації законів керування синхронними двигунами з постійними магнітами є похибки виготовлення, які проявляються у випадку великої кількості полюсів, і похибки спрацювання давачів положення ротора.

У випадку синхронного двигуна типу ДБМ-1200-3-Д25, полюсне ділення якого складає лише 14 мм, що при точності виготовлення біля 0,5 мм (при діаметрі електричної машини 1 м) дає відносну похибку 3,6%, при цьому кутова похибка як розміщення полюса статора двигуна, так і розміщення місця встановлення давачів Холла, може складати 3,2 ел. град.

Більш вагомою є похибка від моменту неточного спрацювання давачів Холла, які використовуються для ідентифікації положення ротора двигуна. Така похибка виникає внаслідок певного порогу спрацювання давача, який для типових промислових давачів Холла фірми Honeywell може коливатися в межах від  $40 \cdot 10^{-4}$  до  $250 \cdot 10^{-4}$  Тл (з врахуванням технологічного розкиду параметрів згідно даних каталогу [3] цей діапазон може складати від  $20 \cdot 10^{-4}$  до  $400 \cdot 10^{-4}$  Тл). Для двофазного синхронного двигуна типу ДБМ-1200-3-Д25 максимальна напруженість магнітного поля  $B_{\max}$  в районі розміщення давачів Холла може складати 0,25 Тл. З переходом до відносних одиниць можна оцінити ймовірні кутові похибки  $\delta\Theta$  (див. рис. 1).

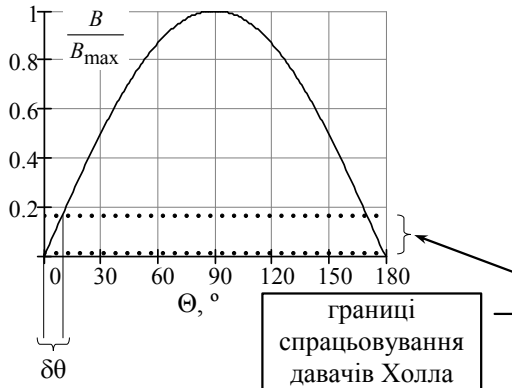


Рис. 1. Ілюстрація похибок спрацювання давача положення

Реалізація оптимальних за вибраними критеріями режимів керування синхронним двигуном з постійними магнітами передбачає підтримання визначених координат у заданих алгоритмом керування межах. У випадку розробленого в СКБ ЕМС двофазного двигуна здійснюється чотириточкова (за кількістю силових ключів, які здійснюють керування обмоткою статора) комутація із зонами по 90 ел. град. (див. рис. 2, де  $E_\phi$  — фазна ЕРС,  $\delta\Theta$  — похибка кута комутації відносно природного положення).

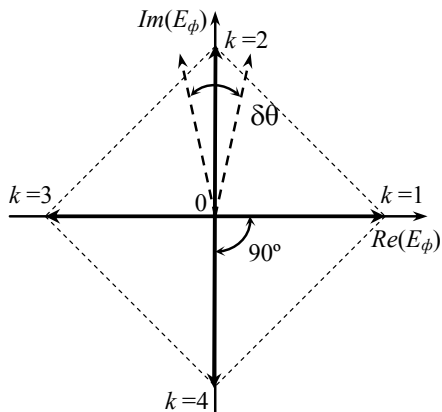
Середнє значення моменту  $\bar{M}$  двофазного синхронного двигуна з постійними магнітами знаходиться шляхом інтегрування залежності електромагнітного моменту від кута повороту ротора  $\Theta$  між двома моментами комутації:

$$\bar{M} = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/4}^{\pi/4} M_{\max} \cdot \cos(\Theta) d\Theta ,$$

де  $M_{\max}$  — максимальне значення моменту двигуна.

У випадку врахування кутових похибок комутації  $\delta\Theta$  середнє значення моменту зміниться:

$$\bar{M} = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/4+\delta\theta}^{\pi/4+\delta\theta} M_{\max} \cdot \cos(\Theta) d\Theta ,$$



**Рис. 2.** Чотириточкова комутація двофазного синхронного двигуна з постійними магнітами

При цьому зростають і пульсації моменту на проміжку між комутаціями, що пов'язано зі зменшенням значення мінімального моменту двигуна  $M_{\min} = M_{\max} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} + \delta\theta\right)$ .

Результати аналізу величини деградації моменту та збільшення величини пульсацій електромагнітного моменту в залежності від похибки кута комутації відносно оптимального зведені у табл. 1.

Таблиця 1

*Вплив похибки кута комутації відносно оптимального на величину електромагнітного моменту і величину пульсацій моменту*

Похибка кута комутації, град.	Зменшення середнього моменту, %	Зростання величини пульсацій моменту відносно середнього значення, %
5 <sup>0</sup>	0,4	6,4
10 <sup>0</sup>	1,5	13,4
15 <sup>0</sup>	3,4	20,7
20 <sup>0</sup>	6,0	28,4
25 <sup>0</sup>	9,4	36,5

**Висновки.** Під час виготовлення та експлуатації двофазних синхронних двигунів з постійними магнітами і давачем положення ротора на основі давачів Холла фірми Honeywell внаслідок похибок виготовлення і технологічного розкиду параметрів допускається відхилення кута комутації від оптимального до 20°, що не призводить до відчутного (понад 6%) зниження номінального електромагнітного моменту і не викликає зростання рівня його пульсацій понад 28%.

#### Список використаних джерел:

1. Перельмутер В. М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока / В. М. Перельмутер. — Харків : Основа, 2004. — 210 с.
2. Толочко О. І. Уніфікований алгоритм керування синхронними двигунами без електричного збудження / О. І. Толочко, В. В. Божко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Електротехніка і енергетика". — 2011. — №11(186). — С. 392–395.
3. Application Note. Magnetic Position Sensing in Brushless DC Electric Motors. Honeywell : Sensing and Control. — Режим доступу: [www.honeywell.com/sensing/document\\_50263\\_1.pdf](http://www.honeywell.com/sensing/document_50263_1.pdf)

The article presents an overview of the impact of optimal control of the synchronous motors with permanent magnet technology errors that occur during their manufacture.

**Key words:** rotor position sensor, electromagnetic torque, angle switching, permanent magnet synchronous motor, control system.

Отримано: 16.09.2012