

ПРОЕКТУВАННЯ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА ЗІ ЗНИЖЕНИМИ ПУЛЬСАЦІЯМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ

О.В.Бібік, канд.техн.наук, **В.В.Гребеніков**, докт.техн.наук, **М.В.Приймак**, **Р.Р.Гамалея**
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,
email: elm1153@gmail.com

Запропоновано підхід щодо проектування оптимальної геометрії статора і ротора вентильно-реактивного двигуна із співвідношенням числа полюсів $6/4$ на базі асинхронного двигуна поршневого компресора, що забезпечує необхідне значення середнього електромагнітного моменту і мінімальні його пульсації. Виконано моделювання варіантів вентильно-реактивних двигунів та проведено дослідження їхніх магнітних систем за допомогою методу скінченних елементів. Визначено аналітичні залежності максимального і середнього електромагнітних моментів при варіюванні діаметра розточування і кутової величини полюса статора для заданої величини зовнішнього діаметра з використанням методу планування експерименту. Бібл. 4, рис. 4.

Ключевые слова: вентильно-реактивний двигун, оптимальна геометрія статора і ротора, мінімальні пульсації електромагнітного моменту.

Досвід проектування вентильно-реактивних двигунів (ВРД) показав необхідність визначення оптимальних геометричних розмірів зубцевих зон статора й ротора, які дозволяють вже на попередньому етапі задовольнити певним вимогам, зокрема, зменшенню пульсацій електромагнітного моменту [1].

Мета досліджень – визначення оптимальної геометрії статора і ротора ВРД, яка забезпечує мінімізацію пульсацій середнього електромагнітного моменту та його необхідне значення для серійного двигуна поршневого компресора.

На першому етапі визначено варіант ВРД за діаметром розточування статора, який забезпечує максимальне значення статичного електромагнітного моменту для заданої величини зовнішнього діаметра магнітопровода статора за одиничної комутації.

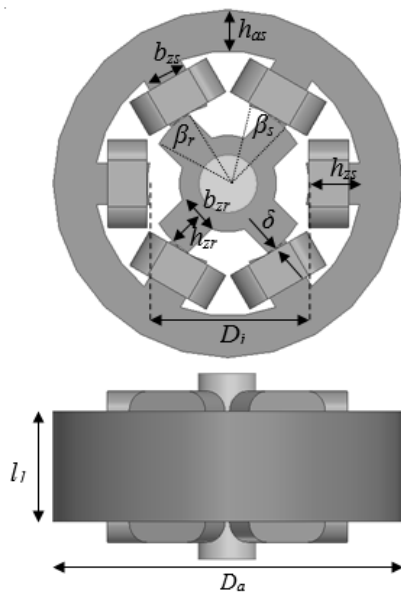


Рис. 1

За функцію мети обрано середній $Y1=M_{сep}$ і максимальний $Y2=M_{max}$ електромагнітні моменти ВРД, незалежні змінні – величину розточування статора D_i (x_1) і кутову величину полюса статора β_s (x_2). Значення варійованих параметрів знаходяться у межах $\pm 20\%$ від значень базового варіанту. Базовий рівень відповідає значенням: $D_i=50$ мм; $\beta_s = 30^\circ$; максимальний – $D_i=60$ мм; $\beta_s = 37,5^\circ$; мінімальний – $D_i=40$ мм, $\beta_s = 22, 5^\circ$.

Для кожного варіанту побудовано відповідні моделі магнітних систем в пакеті Elcut 5.6, розраховано їхні статичні електромагнітні моменти методом кінцевих елементів [3]. Для кожної з моделей визначено карту поля (наприклад, рис. 2 відповідає узгодженому положенню, коли зубці ротора і статора співпадають), електромагнітний момент в залежності від кута повороту ротора за різних кутових величин полюса статора (рис. 3).

Середня величина магнітної індукції у повітряному проміжку знаходиться на рівні 1,45 Тл, густина струму – 5 А/мм².

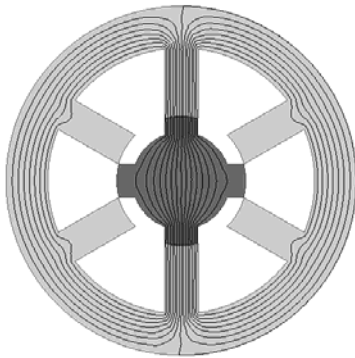


Рис. 2

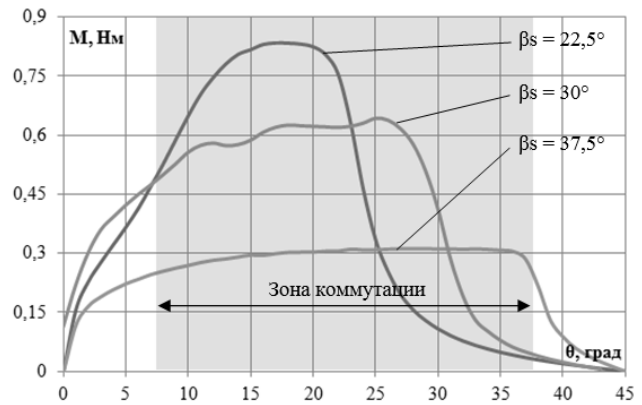


Рис. 3

Для визначення аналітичної залежності середнього статичного електромагнітного моменту $M_{ср} = f(D_i, \beta_s)$ використано ортогональний план другого порядку

$$Y1 = 0,2769 - 0,1164 \cdot x_1 - 0,0985 \cdot x_2 + 0,0322 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (1)$$

Похибка при використанні цієї залежності складає не більше 3% до значень, які розраховано за допомогою методу скінченних елементів.

Отримана аналітична залежність для визначення максимального електромагнітного моменту у статистиці $M_{max} = f(D_i, \beta_s)$ (за допомогою ортогонального центрально-композиційного плану (ОЦКП) другого порядку МПЕ) забезпечує незалежність визначення коефіцієнтів регресії та достатню точність моделі (похибка в центральній точці плану склала близько 7,4%)

$$Y2 = 0,4706 - 0,1748 \cdot x_1 - 0,14 \cdot x_2 - 0,05953 \cdot (x_1^2 - \frac{2}{3}) - 0,00567 \cdot (x_2^2 - \frac{2}{3}) + 0,01984 x_1 \cdot x_2. \quad (2)$$

З дев'яти розрахованих моделей на першому етапі визначено модель за максимальними значеннями середнього (0,52 Нм) і максимального (0,82 Нм) моментів ($D_i = 40$ мм, $\beta_s = 22,5^\circ$) за одиначної комутації.

На другому етапі проведено серію оптимізаційних розрахунків з метою визначення варіанта за мінімумом пульсацій електромагнітного моменту, які оцінюються коефіцієнтом пульсацій k_n

$$k_n = \frac{M_{max} - M_{min}}{2M_{ср}}, \quad (3)$$

де M_{max} – максимальний, M_{min} – мінімальний, $M_{ср}$ – середній (в межах зони комутації від $7,5^\circ$ до $37,5^\circ$) електромагнітні моменти.

При цьому здійснювалося варіювання кутових величин полюсів β_s : $22,5^\circ$; 30° ; $37,5^\circ$ і β_r : 30° ; $37,5^\circ$; 45° за сталого діаметра розточування статора $D_i = 40$ мм, який обрано на попередньому етапі. За результатами проведених розрахунків визначена геометрія моделі (з рівними кутовими величинами полюсів статора і ротора $\beta_r = \beta_s = 37,5^\circ$), що забезпечує мінімальний коефіцієнт пульсацій $k_n = 25,2\%$ та необхідне значення середнього електромагнітного моменту $M_{ср} = 0,4$ Нм для серійного двигуна.

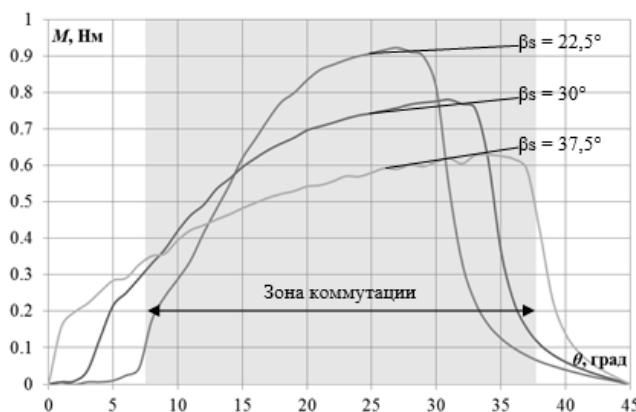


Рис. 4

Залежність електромагнітного моменту від кута повороту ротора для варіантів з діаметром розточування статора 40 мм, кутовою величиною полюса ротора $37,5^\circ$ за різних значень кутових величин полюса статора показана на рис. 4.

Висновки. Конфігурація магнітної системи ВРД істотно впливає на його характеристики, зокрема на пульсації електромагнітного моменту і частоту обертання двигуна. Тому на стадії попереднього (ескізного) проектування необхідно оптимізувати геометрію магнітної системи.

Сформульовано критерії оптимізації конструкції ВРД. Отримано аналітичні залежності для максимального і середнього електромагнітних моментів ВРД за варіювання параметрами магні-

топроводу у межах $\pm 20\%$ (діаметром розточування і кутовою величиною полюса статора) для заданої величини зовнішнього діаметру за одиничної комутації.

Визначена оптимальна геометрія статора ВРД із співвідношенням числа полюсів 6/4, виконаного на базі асинхронного двигуна типу ДАО, яка забезпечує достатнє значення середнього електромагнітного моменту ВРД для поршневого компресора і мінімальні його пульсації.

1. Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Особенности проектирования индукторной машины для вентильно-индукторного двигателя // Электромеханика. – 2008. – № 1. – С. 60–68.
2. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электромеханике. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
3. Гребеников В.В. Сравнительный анализ вентильных двигателей индукторно-реактивного типа и с постоянными магнитами на роторе // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2011. – № 28. – С. 70–76.
4. Бібик О.В., Мазуренко Л.І., Жуков Л.О. Дослідження квазістатичних режимів вентильно-індукторних двигунів з періодичним навантаженням // Електромеханічні та енергозберігаючі системи. Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика". – 2012. – №3. – С. 416–418.

УДК 621.313

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С УМЕНЬШЕННЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА

Бибик Е.В., канд.техн.наук, **Гребеников В.В.,** докт.техн.наук, **Прыймак М.В.,** **Гамалея Р.Р.**

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

email: elm1153@gmail.com

Предложен подход к проектированию оптимальной геометрии статора и ротора вентильно-реактивного двигателя с соотношением числа полюсов 6/4, выполненного на основе асинхронного двигателя поршневого компрессора, что обеспечивает необходимое значение среднего электромагнитного момента и минимальные его пульсации. Выполнено моделирование вариантов ВРД и проведены исследования их магнитных систем с помощью метода конечных элементов. Определены аналитические зависимости максимального и среднего электромагнитных моментов при варьировании внутреннего диаметра и угловой величины полюса статора для заданной величины внешнего диаметра с использованием метода планирования эксперимента.

Библ. 4, рис. 4.

Ключевые слова: вентильно-реактивный двигатель, оптимальная геометрия статора и ротора, минимальные пульсации электромагнитного момента.

THE DESIGN OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR FOR THE PURPOSE OF DECREASE IN SIZE OF PULSATIONS OF THE ELECTROMAGNETIC TORQUE

Bibik O.V., Grebenikov V.V., Pryimak M.V., Gamaliia R.R.

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

email: elm1153@gmail.com

The approach for designing the optimal geometry of the stator and the rotor of switched reluctance motors (SRM) with the ratio of the number of poles 6/4 on the basis of the asynchronous motor of piston compressor that provides the required value of the average of the electromagnetic moment and its minimum pulsation is proposed. The modeling of options SRM and the research their magnetic systems using the method of finite elements are performed. Analytical dependencies for maximal and average electromagnetic torque with constant outer diameter of stator and variable stator inner diameter and angular dimension of stator pole using the design experiments method are defined.

References 4, figures 4.

Key words: switched-reluctance motor, optimal geometry of the stator and rotor, the minimal pulses of the electromagnetic torque.

1. Kuznetsov V.A., Kuzmichev V.A. Features of the design of inductor machine for switched reluctance motor // Elektromekhanika. – 2008. – № 1. – Pp. 60–68. (Rus)
2. Ivobotenko B.A., Ilinskii N.F., Kopylov I.P. Planning of experiment in electromechanics. – Moskva: Energiia, 1985. – 184 p. (Rus)
3. Grebenikov V.V. Comparative analysis of valve motors of inductor-reactive type with permanent magnets on the rotor // Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2011. – № 28. – Pp. 70–76. (Rus)
4. Bibik O.V., Mazurenko L.I., Zhukov L.O. Investigation of kvazistatics regimes of switched reluctance motors with periodical load // Elektromekhanichni ta enerhozberihaiuchi systemy. Tematychnyi vypusk "Problemy avtomatyzovanoho elektropryvida. Teoriia i praktyka". – 2012. – №3. – Pp. 416–418. (Rus)

Надійшла 17.02.2014