

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРУ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Єгоров О. Б.¹, Єгорова О. Ю.²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,

²Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Проаналізовано вплив геометрії листів ротору синхронного реактивного двигуна на опору по поздовжній і поперечній осях і на величину корисної потужності.

Постановка проблеми. Трифазні асинхронні двигуни є найбільш поширеним типом двигунів в промисловості, проте в даний час виникає інтерес до нових типів двигунів змінного струму, одними з яких є синхронні реактивні двигуни (СРД).

Синхронні реактивні двигуни - крок вперед у порівнянні з двигунами з постійними магнітами, якщо враховувати вартість і конструкцію магнітної системи. У СРД відсутні постійні магніти і, отже, в виготовленні та експлуатації вони значно дешевше синхронних і асинхронних класичних машин. Однак існують проблеми при проектуванні такого типу двигунів, особливо в питаннях розробки оптимальної геометрії магнітопроводу ротору СРД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення науково-технічних матеріалів, по даній тематиці, показав, що розвиток силової перетворювальної електроніки дозволив наблизитися до створення високоефективних СРД. В [1] було запропоновано новий аналітичний метод для розрахунку індуктивних опорів по поздовжній і поперечній вісях. До цього дослідження, отримання високого ККД і, в кінцевому підсумку, більш високого крутного моменту, були довільними.

У роботах з відвіданих питань оптимізації конструкції ротора [2-5] зроблено аналіз впливу параметрів ротора СРД на його ККД і крутний момент. У статті про критерії проектування синхронних реактивних двигунів [6] зроблено висновок про те, що СРД може розвивати крутний момент на 20-40% вище в порівнянні з асинхронним двигуном при підвищеному номінальному струмі і тій же сумі втрат.

Різні методи оптимізації були оцінені дослідниками в [7, 8]. В [9] розглядалися оптимізація форми бар'єру і питання зниження пульсацій крутного моменту.

Метою даного дослідження є аналіз індуктивних опорів та геометрії ротору, як факторів, що впливають на характеристики СРД в цілому.

Основні матеріали дослідження. Розвиток сучасних підходів до аналізу електромеханічних систем на основі методу скінченних елементів дозволило проводити розрахункові експерименти з використанням таких програмних комплексів, як FEMM, Ansys Mawell і ін.

У статті проведено аналіз для тягових СРД спроектованих на базі одного асинхронного двигуна потужністю 180 кВт, числом полюсів рівним 4.

Такі двигуни (рис.1) передбачається встановлювати в якості тягових двигунів на нові конструкції

тролейбусів з низькою підлогою українського виробництва.

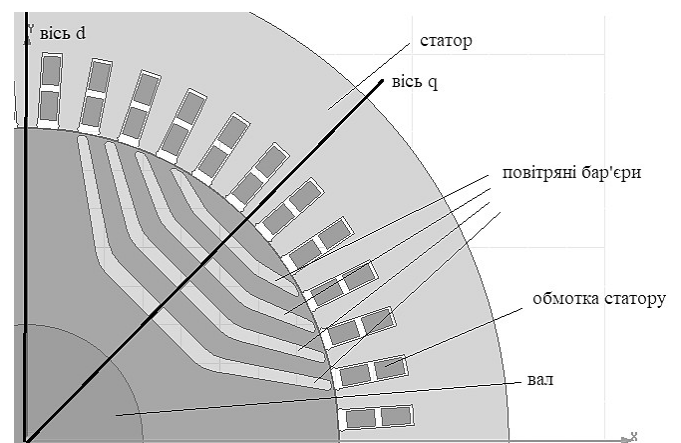


Рисунок 1 – Основні складові магнітної системи СРД

Ротор синхронних реактивних двигунів не містить обмотки або постійних магнітів. Це призводить до того, що в СРД не має втрат в обмотці ротора, його маса на 25% нижче маси ротора асинхронного двигуна. Остання перевага особливо важлива для тягових двигунів, які працюють з постійними змінами частоти обертання ротора, і зниження його інерційності дозволяє швидко змінювати швидкість руху транспортного засобу.

Загальне рівняння крутного моменту цього двигуна знаходиться в рівнянні (1)

$$M = \frac{3p}{4} (\lambda_{ds} i_{ds} - \lambda_{qs} i_{qs}) \quad (1)$$

де p - число пар полюсів, λ_{ds} , λ_{qs} - це зв'язку по осі d і q статора, i_{ds} , i_{qs} - це струми статора по осях d і q .

Струми ротора дорівнюють нулю в стаціонарному стані, тому зв'язок потоку можна виразити як функція індуктивності осі d - q L_d і L_q відповідно, як зазначено в рівняннях (2) і (3).

$$\begin{aligned} \lambda_{qs} &= L_{qs} i_{qs} \\ \lambda_{ds} &= L_{ds} i_{ds} \end{aligned} \quad (2)$$

Момент реактивного опору в індуктивності d - q наведено в рівнянні (4).

$$M = \frac{3p}{4} (L_{ds} - L_{qs}) i_{qs} i_{ds} \quad (3)$$

Величина різниці між індуктивностями L_d і L_q має велике значення в отриманні високого крутного моменту СРД. На етапі проєктування вплив бар'єру ротора СРД аналізується з урахуванням різної кількості бар'єрів і форм цих бар'єрів.

Графічні ілюстрації числа і форми бар'єрів ротора і форми бар'єрів, які розглядаються для чисельного аналізу, наведені на рис. 2.

Аналізувався вплив співвідношення індуктивностей L_d і L_q на ККД двигуна, величину струму статора, пульсації крутного моменту. Аналіз методом кінцевих елементів виконувався для чотирьох варіантів ротора СРД.

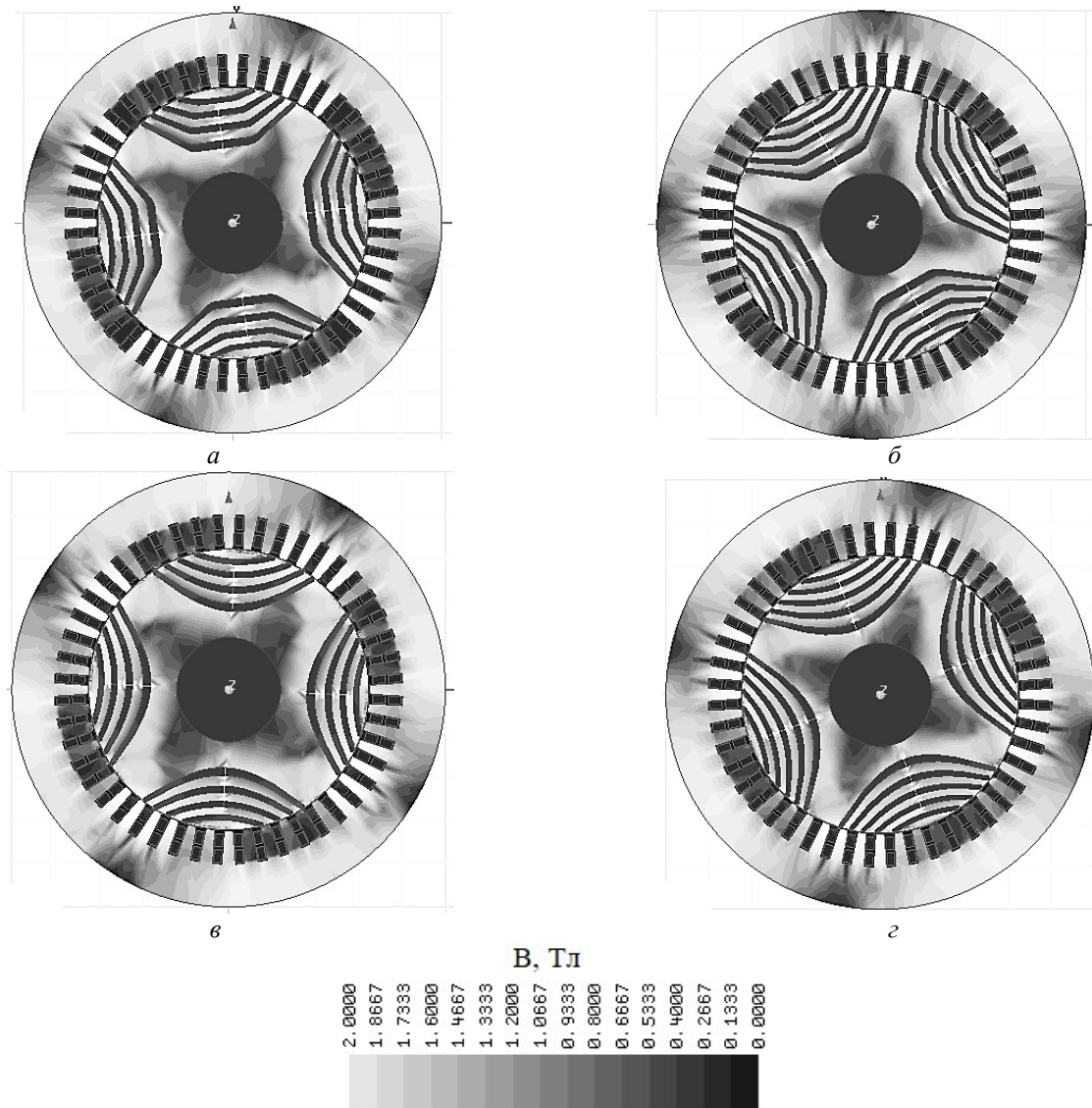
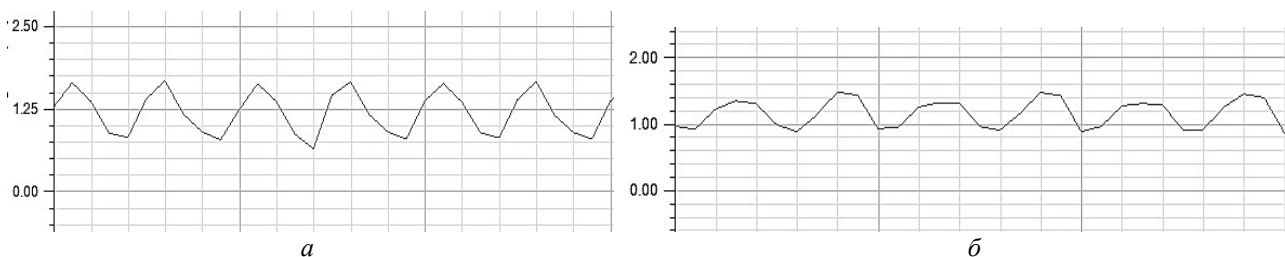


Рисунок 2 – Досліджувані варіанти роторів СРД з визначенням індукції в номінальному режимі роботи

Ширина повітряного зазору між статором і ротором повинна бути якомога менше з урахуванням механічних обмежень.

На рис. 3 представлені результати розрахункового експерименту для чотирьох досліджуваних варіантів для крутного моменту на валу ротора.



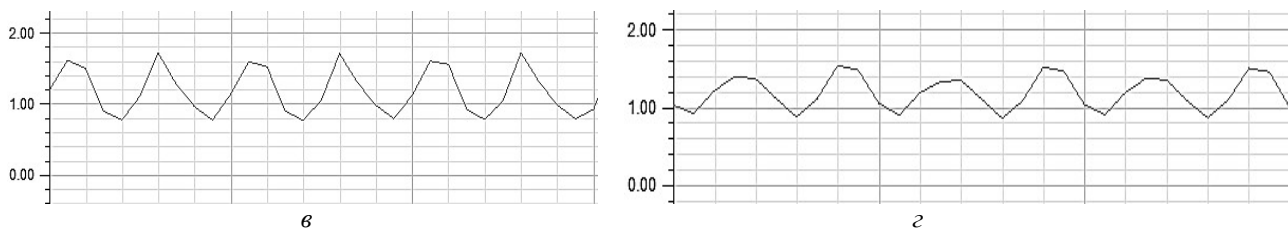


Рисунок 3 – Значення крутного моменту на валу СРД і пульсацій для чотирьох досліджуваних варіантів ротору

Таблиця 1 - Порівняльні результати електромагнітного розрахунку методом кінцевих елементів

Варіант	Форма бар'єрів	Число бар'єрів	ККД, %	Струм обмотки статора, А	Співвідношення L_d к L_q , мГн
<i>a</i>	1	4	95,9	364	10/1,49
<i>б</i>		5	96,6	318	10/1,33
<i>в</i>	2	4	95,7	381	10/1,51
<i>г</i>		5	96,5	332	10/1,36

Польовий електромагнітний розрахунок дав наступні результати, які представлені в табл. 1.

Висновки. Проаналізувавши результати розрахункового експерименту чотирьох варіантів роторів СРД можна зробити висновок, що найкращі параметри показав варіант *б*.

Двигун з такою конфігурацією і числом повітряних бар'єрів має найменші втрати, і отже найбільший ККД, меншу реактивну складову струму статора, яка визначається співвідношенням L_q до L_d , і найменші в порівнянні з іншими варіантами пульсації крутного моменту на валу.

Останній фактор дуже важливий для тягових двигунів, так як плавність ходу транспортного засобу є одним з основних вимог при розробці нового тролейбусу.

Список використаних джерел

1. Matsuo T., Lipo T. A. Rotor design optimization of synchronous reluctance machine. *IEEE Trans. Energy Convers.* 1994. P. 359–365.
2. Staton D. A., Miller T. J. E., Wood S. E. Optimisation of the synchronous reluctance motor geometry. *In Proceedings of the 5th International Conference on Electrical Machines and Drives.* London, UK. 11–13 September 1991; P. 156–160.
3. Єгоров О. Б., Єлєцька Г. О., Геращенко А. О. Врахування нелінійної магнітної проникності осердя трансформатору при моделюванні перехідних процесів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2017. №. 186. С. 55-56.
4. Miller T. J. E. Design of a synchronous reluctance motor drive. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 1991. 27. P. 741–749.
5. Єгоров О. Б., Єгорова О. Ю. Схеми заміщення двофазного асинхронного генератора. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил.* 2014. №. 1. С. 182-183.
6. Vagati A., Canova A. Design refinement of synchronous reluctance motors through finite-element analysis. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2000. 36. P. 1094–1102.

7. Moghaddam R. R., Magnussen F. Novel rotor design optimization of synchronous reluctance machine for high torque density. *In Proceedings of the 6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012),* Bristol, UK 27–29 March 2012.

8. Moghaddam R.R., Magnussen F. Novel rotor design optimization of synchronous reluctance machine for low torque ripple. *In Proceedings of the XXth International Conference on Electrical Machines.* Marseille, France, 2–5 September 2012. P. 397–403.

9. Rotor flux-barrier design for torque ripple reduction in synchronous reluctance motors / Bianchi N., Bolognani S., Bon D., Pré M. *In Proceedings of the Industry Applications Conference.* Tampa, FL, USA, 8–12 October 2006.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Егоров А. Б., Егорова О. Ю.

Проанализировано влияние геометрии листов ротора синхронного реактивного двигателя на опору по продольной и поперечной осям и на величину полезной мощности.

Abstract

INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF ROTOR OF SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTOR ON ITS ENERGY CHARACTERISTICS

O. Iegorov, O. Iegorova

The influence of the geometry of the sheets of the rotor of a synchronous jet engine on the support along the longitudinal and transverse axes and on the value of the net power is analyzed.