

УДК 621.313.17

В. В. ГРЕБЕНИКОВ**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ**

Досліджено чотири типи конфігурації магнітної системи: вентильного реактивного двигуна (SRM), синхронного реактивного двигуна зі змінним опором ротора (SynRM), синхронного електродвигуна з феритовими постійними магнітами в роторі (SynRM2), синхронного електродвигуна з неодимовими постійними магнітами в роторі (PMSM). Показано, що при однакових габаритних розмірах найбільший електромагнітний момент і потужність у електродвигуна типу PMSM з неодимовими магнітами. Розрахунок робочих характеристик досліджуваних електродвигунів виконаний в програмному пакеті Infolytica MotorSolve і Magnet.

Ключові слова: тип магнітної системи, постійні магніти, електромагнітний момент, робочі характеристики, чисельне моделювання, магнітна індукція.

Исследовано четыре типа конфигурации магнитной системы: вентильного реактивного двигателя (SRM), синхронного реактивного двигателя с переменным сопротивлением ротора (SynRM), синхронного электродвигателя с ферритовыми постоянными магнитами в роторе (SynRM2), синхронного электродвигателя с неодимовыми постоянными магнитами в роторе (PMSM). Показано, что при одинаковых габаритных размерах наибольший электромагнитный момент и мощность у электродвигателя типа PMSM с неодимовыми магнитами. Расчет характеристик исследуемых электродвигателей выполнен в программном пакете Infolytica MotorSolve и Magnet.

Ключевые слова: тип магнитной системы, постоянные магниты, электромагнитный момент, рабочие характеристики, численное моделирование, магнитная индукция.

The numerical study results of the magnetic system configuration influence on the characteristics of electric motors are presented. Four types of magnetic system configuration have been studied: the switched reluctance motor (SRM), the synchronous reluctance motor with variable rotor resistance (SynRM), the synchronous reluctance motor with ferrite permanent magnets in the rotor (SynRM2), the permanent magnet synchronous motor with neodymium permanent magnets in the rotor (PMCA). The influence of the stator windings number on the character of the dependence of the electromagnetic torque on the rotor speed is investigated. It is shown that, with the same overall dimensions, the SRM-type electric motor has the smallest electromagnetic torque and power, and the PMSM type motor with neodymium magnets has the best performance. Calculation of the characteristics of the investigated electric motors is carried out in the software package Infolytica MotorSolve and Magnet.

Keywords: type of magnetic system, permanent magnets, electromagnetic torque, performance characteristics, numerical simulation, magnetic induction.

Введение. В промышленно развитых странах, в том числе и в Украине, более 2/3 всего объема потребляемой электроэнергии используется для механической работы, выполняемой электродвигателями. Наибольшее число электродвигателей по количеству потребляемой электроэнергии находится в диапазоне мощностей 1 – 20 кВт, а среди исполнительных механизмов самыми распространенными являются вентиляторы, транспортеры и насосы, составляющие более половины общего количества механизмов. В целом электродвигатели мощностью от 1 до 20 кВт составляют 80% и потребляют 70% электроэнергии, преобразуемой в механическую [1].

Мировая и отечественная практика показывает, что наибольший экономический эффект при реализации программ энергосбережения дает переоснащение объектов-потребителей регулируемым электроприводом. Учитывая вышеперечисленное, переход на регулируемый электропривод является одним из перспективнейших направлений энергосбережения.

Анализ состояния вопроса. Наряду с частотно-управляемыми асинхронными двигателями все большее распространение получают другие типы регулируемых электродвигателей.

Вентильный электродвигатель без постоянных магнитов (вентильно-реактивный двигатель – ВРД) или в зарубежной литературе – SRM (Switched Reluctance Motor) с коммутацией фаз по сигналам датчика положения ротора. Этот вид вентильного электродвигателя может составить конкуренцию по характеристикам и

цене универсальному коллекторному двигателю [2].

Компания АВВ серийно выпускает регулируемые электродвигатели типа SynRM (synchronous reluctance motor), конструкция ротора у которых является более надежной в сравнении с асинхронным двигателем или двигателем с постоянными магнитами. Кроме того, отсутствует риск выхода из строя из-за возможного размагничивания в случае отказа или перегрева. Двигатель изначально безопасен в эксплуатации, так как, не имея магнитов, не индуцируется никакая противоэлектродвижущая сила и защита преобразователя от перенапряжения становится излишней [3].

Также компания АВВ разработала новый тип электродвигателей – SynRM2. Отличительной особенностью двигателей типа SynRM2 является то, что в них не используются редкоземельные постоянные магниты. Вместо этого используются ферритовые магниты, которые являются более экономически эффективными и легкодоступными. Электродвигатели типа SynRM2 при тех же габаритах имеют на 20% большую мощность, чем SynRM, при равной мощности – КПД у них выше [4].

Электродвигатели с неодимовыми постоянными магнитами также находят широкое применение в качестве регулируемых, поскольку обладают хорошими удельными показателями и поэтому находят широкое применение в электротранспорте [5].

Имеется две разновидности электродвигателей с постоянными магнитами в зависимости от способа управления ими: BLDC (Brush-Less Direct Current Motor) - это двигатели, форма фазного тока которых напоминает трапецию; PMSM (Permanent Magnet

©В.В. Гребеников, 2017

Synchronous Motor) – электродвигатели, работающие от источника синусоидального напряжения или тока. В данной работе будут исследованы электродвигатели типа PMSM.

В иностранной и отечественной научно-технической литературе много публикаций, посвященных исследованию электродвигателей типа SRM [6, 7], SynRM и SynRM2 [8], PMSM [9], а также публикации, в которых сравниваются между собой характеристики, например, SRM и PMSM [10].

Следует отметить, что исследованию характеристик вышеперечисленных четырех типов электродвигателей при одинаковых габаритах магнитной системы не уделено достаточно внимания.

Цель исследований. При одинаковых габаритах активной части (внешний диаметр статора, длина активной части сердечника) провести сравнительный анализ рабочих характеристик четырех типов электродвигателей (SRM, SynRM, SynRM2, PMSA) и определить конфигурацию магнитной системы, при которой достигается наибольшее значение момента и мощности в заданном диапазоне частоты вращения.

Постановка задачи. При исследовании характеристик четырех типов электродвигателей в качестве базового для сравнения взят асинхронный двигатель АИР100S4, номинальная мощность которого – $P_N = 3$ кВт, номинальная частота вращения – $n_N = 1410$ об/мин. Поскольку при регулировании

частоты вращения для большинства механизмов необходимо иметь частоту вращения выше номинальной, примерно на $30 \div 40\%$, то при исследовании характеристик вышеперечисленных четырех типов электродвигателей выбран диапазон регулирования частоты вращения – $n = 100 \div 2000$ об/мин.

Для электродвигателей типа SynRM и SynRM2 и PMSA в качестве статора применен статор асинхронного электродвигателя АИР100S4. Внешний диаметр статора равен $d_{se} = 168$ мм, внутренний диаметр статора – $d_{si} = 104$ мм, активная длина пакета статора и ротора $l_{Fe} = 100$ мм. Внешний диаметр статора электродвигателя типа SRM и его активная длина такие же, как у электродвигателей типа SynRM и SynRM2 и PMSA. Параметры исследуемых электродвигателей: конфигурация магнитной системы статора и ротора электродвигателя типа SRM; конфигурация ротора для электродвигателей SynRM, SynRM2, PMSA; число витков обмоток статора варьировалось таким образом, чтобы обеспечить максимум электромагнитного момента в диапазоне частоты вращения $n = 100 \div 2000$ об/мин. При этом задавались неизменными следующие параметры: плотность тока $J = 5$ А/мм², рабочий зазор $\delta = 0.5$ мм, масса магнитов для моделей SynRM2 и PMSA $m_{PM} = 1.15$ кг. Общий вид магнитных систем исследуемых электродвигателей показан на рис. 1.

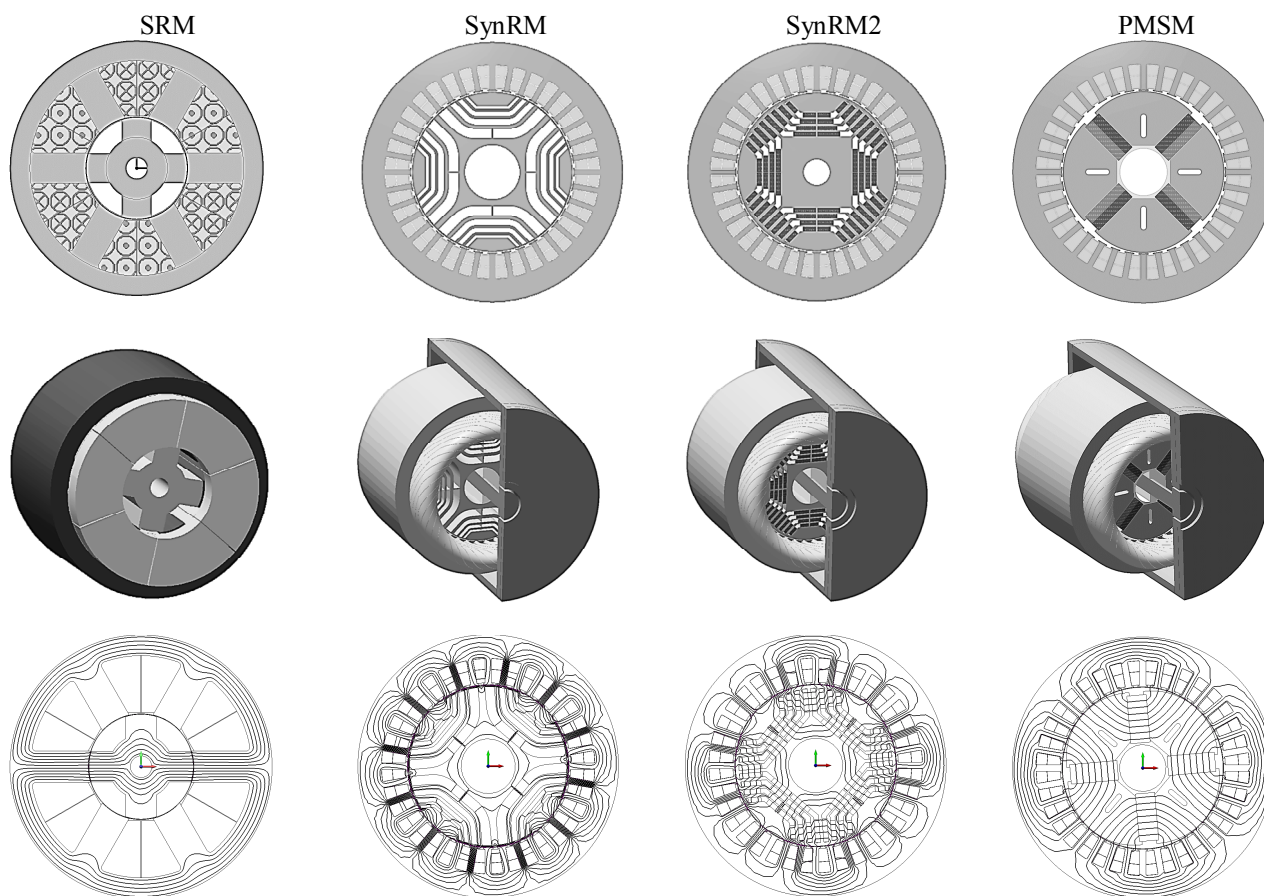


Рис. 1. Общий вид магнитных систем четырех типов электродвигателей и картина распределения индукции в магнитной системе

Результаты численного исследования. Для реализации поставленной цели на первом этапе для определения оптимальной конфигурации, которая обеспечивает максимум среднего электромагнитного момента в зоне коммутации (30° геометрических градусов для электродвигателя SRM и 90° – для остальных типов) было выполнено моделирование магнитостатики в пакете Infolytica Magnet и определена зависимость электромагнитного момента от угла поворота ротора для каждой из моделей.

Оптимальные соотношения между внешним и внутренним диаметром статора, а также угловые величины полюсов статора и ротора для двигателя типа SRM взяты из [11].

Для электродвигателей типа SynRM и SynRM2 в пакете Infolytica можно выбирать количество слоев (от одного до четырех) и форму стальных промежутков в роторе. В результате предварительных расчетов было выбрано количество слоев равное четырем.

Сравнительный анализ магнитных систем электродвигателей с постоянными магнитами типа PMSA показал, что наибольшее значение электромагнитного момента у электродвигателя с тангенциальным намагничиванием постоянных магнитов, поэтому для исследований был выбран ротор с тангенциальной намагниченностью магнитов [12]. Для уменьшения пульсаций «зубцового» момента в данном двигателе применяется профилирование ферромагнитных полюсов.

Расчет магнитостатики для всех исследуемых моделей производился при следующих условиях: магнитопровод статора и ротора – сталь СТ2211; магнитопровод ротора электродвигателя PMSA – конструкционная сталь СТ20; остаточная индукция постоянных магнитов для SynRM2 – $B_r = 0.38$ Тл, для PMSA – $B_r = 1.22$ Тл; коэффициент заполнения обмоточного окна – 0.69; толщина магнитов модели SynRM2 – 3 мм; ширина магнита в зависимости от слоя, в котором находится магниты – $8 \div 15$ мм; размеры магнитов для модели PMSA – 12.5×30.5 мм.

Картина распределения индукции в магнитной системе приведена на рис. 1. В результате расчетов определены следующие значения среднего электромагнитного момента в зоне коммутации: SRM – 15.6 Н·м, SynRM – 24 Н·м, SynRM2 – 27 Н·м, PMSA – 45 Н·м. Таким образом, наибольший электромагнитный момент у электродвигателя типа PMSA.

На втором этапе расчет рабочих характеристик для всех исследуемых электродвигателей производился в пакете Infolytica MotorSolve при следующих условиях: напряжение питания – 380 В; обмотки статора включены в «звезду»; коммутация фаз для двигателя типа SRM – поочередная; форма питающего тока в фазах статора для двигателей типа SynRM, SynRM2, PMSA – синусоидальная.

На рис. 2 приведена зависимость тока от положения ротора для электродвигателя SRM. На этом рисунке по оси абсцисс – угол в электрических градусах.

Рабочие характеристики, в частности, зависимость электромагнитного момента от частоты

вращения ротора существенным образом зависят от числа витков обмоток статора.

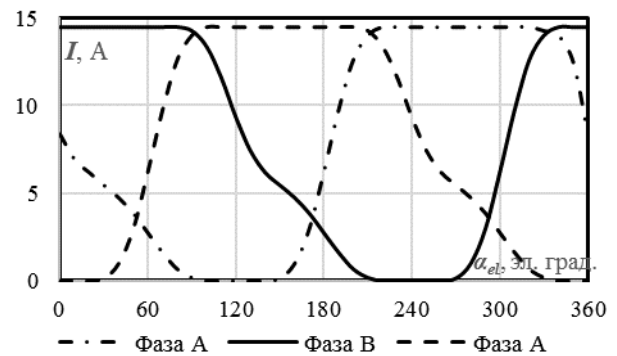


Рис. 2 – Зависимость тока от положения ротора для электродвигателя SRM

Чтобы обеспечить максимум электромагнитного момента в заданном диапазоне частоты вращения ротора необходимо подобрать оптимальное число витков обмоток статора. На рис. 3 приведена зависимость электромагнитного момента от частоты вращения ротора при разных значениях числа витков каждой из фаз для электродвигателя SRM.

Из приведенных результатов видно, что наибольший электромагнитный момент для диапазона частоты вращения ротора равного $n = 100 \div 2000$ об/мин наблюдается при числе витков $W = 150$. При большем числе витков кривая момента лежит ниже. Поэтому в дальнейших расчетах это значение числа витков принято за базовое.

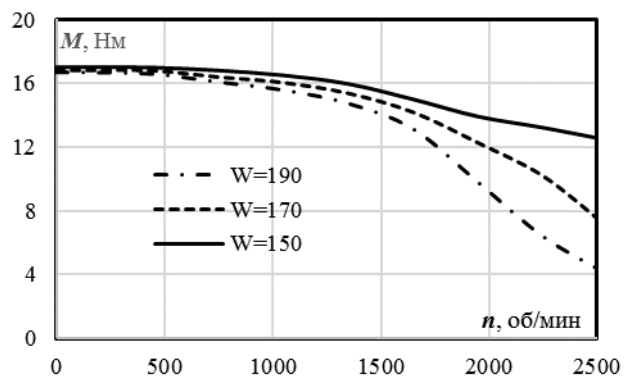


Рис. 3 – Зависимость электромагнитного момента от частоты вращения ротора при разных значениях числа витков каждой из фаз для электродвигателя SRM

На рис. 4 приведена зависимость тока от положения ротора для электродвигателя SynRM2, форма тока питающего напряжения – синусоидальная, такая же форма тока используется и для двигателей SynRM и PMSA.

Для электродвигателей с синусоидальной формой питающего напряжения также необходимо в результате численных экспериментов подобрать число витков обмоток статора, при котором обеспечивается максимальный электромагнитный момент в заданном диапазоне частоты вращения ротора.

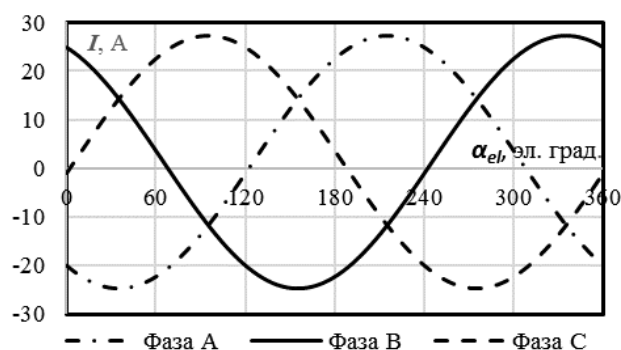


Рис. 4 – Зависимость тока от положения ротора для электродвигателя SynRM2

На рис. 5 приведена зависимость электромагнитного момента от частоты вращения ротора для нескольких значений числа витков обмоток статора. Из рассмотрения этих зависимостей видно, что оптимальным значением числа витков равно $W = 55$. При этом значении числа электромагнитный момент практически неизменен витков в заданном диапазоне частоты вращения ротора, его снижение начинается только при частоте вращения $n = 2300$ об/мин. При числе витков равно $W = 45$ кривая момента имеет точку перегиба при частоте вращения $n = 2750$ об/мин, однако и максимум выходной мощности будет примерно в этой точке, а значит для заданного диапазона частоты вращения это значение числа витков не является оптимальным. В результате численных экспериментов определено оптимальное число витков для каждого из двигателей, которые обеспечивают максимум электромагнитного момента и мощности в заданном диапазоне частоты вращения ротора.

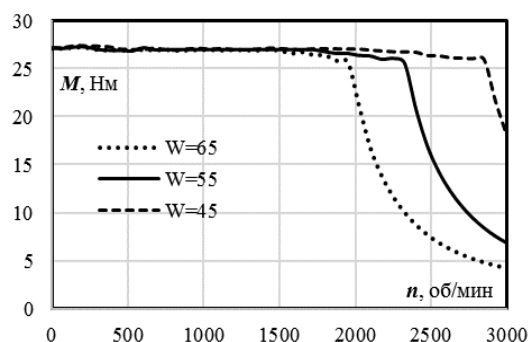


Рис. 5 – Зависимость электромагнитного момента от частоты вращения ротора при разных значениях числа витков каждой из фаз для электродвигателя SynRM2

Оптимальные значения числа витков для каждого из двигателей приведено в табл. 1.

Следует отметить, что на рабочие характеристики электродвигателя также существенным образом влияет угол опережения. В пакете MotorSolve можно в процессе численных экспериментов изменять угол опережения. Угол опережения определяет, при каких положениях ротора фазный ток имеет максимальное значение. Нулевой угол опережения означает, что фазный ток имеет максимальное значение, когда ось q ротора совмещена со средней линией включенной фазы. Оптимальные углы опережения для каждого из исследуемых электродвигателей приведены в табл. 1.

Датчик положения обратной связи позволяет коммутировать фазы двигателя таким образом, чтобы обеспечивать заданный угол опережения. На рис. 6 приведены рабочие характеристики (зависимость электромагнитного момента от частоты вращения ротора) для четырех исследуемых электродвигателей.

Таблица 1 – Основные технические параметры исследуемых электродвигателей

Наименование параметра	Ед. изм.	SRM	SynRM	SynRM ²	PMSM
Число полюсов		4	4	4	4
Число пазов статора		6	36	36	36
Диаметр магнитной системы	[мм]	168	168	168	168
Длина(толщина) магнитной системы	[мм]	100	100	100	100
Воздушный зазор	[мм]	0.5	0.5	0.5	0.5
Внутренний диаметр статора	[мм]	67.7	104	104	104
Масса стали статора	[кг]	8.31	7.48	7.48	4.08
Масса стали ротора	[кг]	1.68	3.07	3.89	7.48
Масса меди	[кг]	4.07	5.09	5.09	4.76
Масса магнитов	[кг]	–	–	1.15	1,15
Масса магнитной системы	[кг]	14.06	15.64	17.61	
Коэффициент заполнения катушек		0.69	0.69	0.69	0.69
Число витков		150	47	55	50
Угол опережения		0	45	45	20
Остаточная индукция магнитов	[Тл]	–	–	0.38	1,22
Марка стали		СТ2211	СТ2211	СТ2211	СТ2211
Плотность тока в обмотке	[А/мм ²]	5	5	5	5
Расчетный момент двигателя ($n = 100-1500$ об/мин)	[Н·м]	15.6	24	27	44.5
Расчетный мощность двигателя ($n = 1500$ об/мин)	[кВт]	2.52	3.78	4.23	7

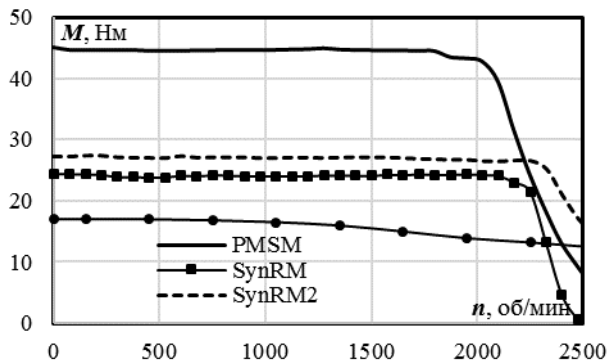


Рис. 6 – Сопоставление рабочих характеристик четырех типов электродвигателей при плотности тока $J = 5 \text{ А/мм}^2$

Сопоставление этих характеристик позволяет констатировать, что наибольший электромагнитный момент у электродвигателя типа PMSM, расчетное значение электромагнитного момента для заданного диапазона частоты вращения у этого двигателя равно $M = 44.5 \text{ Нм}$, т.е. в 2.85 раза больше, чем у электродвигателя SRM. Значение электромагнитного момента для электродвигателя SynRM равно соответственно $M = 24 \text{ Нм}$, т.е. в 1.54 раза больше, чем у электродвигателя SRM. Применение ферритовых магнитов для двигателя SynRM2 позволило повысить примерно на 12.5% электромагнитный момент по сравнению с электродвигателем типа SynRM и соответственно на 73% по сравнению с электродвигателем SRM.

На рис. 7 приведено сопоставление выходной мощности четырех типов электродвигателей.

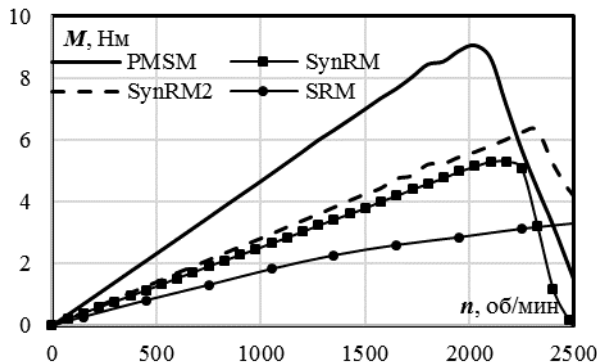


Рис. 7 – Сопоставление выходной мощности четырех типов электродвигателей при плотности тока $J = 5 \text{ А/мм}^2$

Если за базу принять асинхронный двигатель АИР100S4, габаритные размеры которого равны размерам исследуемых электродвигателей, то следует констатировать следующее: при частоте вращения $n = 1500 \text{ об/мин}$ мощность АИР100S равна $P = 3 \text{ кВт}$, соответственно SRM – $P = 2.52 \text{ кВт}$, SynRM – $P = 3.78 \text{ кВт}$, SynRM2 – $P = 4.23 \text{ кВт}$, PMSA – $P = 7 \text{ кВт}$.

Таким образом мощность электродвигателя SRM меньше на 16%, чем у АИР100S4. Соответственно для электродвигателя SynRM мощность на 26% больше, для SynRM2 – на 41% и для PMSA – на 133.3%, чем у АИР100S4.

Выводы.

1. В результате моделирования электро-

двигателей с различной конфигурацией магнитной системы установлено, что наибольшим электромагнитным моментом обладает конфигурация с неодимовыми магнитами в роторе (PMSM).

2. Для всех четырех типов исследуемых электродвигателей в заданном диапазоне частоты вращения ($n = 500 \div 2000 \text{ об/мин}$) характеристика $M = f(n)$ содержит горизонтальный участок, что в отличие от стандартного асинхронного электродвигателя, регулируемого с помощью преобразователя частоты, является несомненным преимуществом.

3. При идентичном статоре у электродвигателя, имеющего ротор с переменным магнитным сопротивлением (SynRM), мощность на 26% больше (при частоте вращения $n = 1500 \text{ об/мин}$) по сравнению со стандартным асинхронным электродвигателем АИР100S4 и соответственно на 41% для электродвигателя типа SynRM2 с ферритовыми постоянными магнитами в роторе и на 133.3% – для электродвигателя типа PMSA с неодимовыми магнитами в роторе.

Список литературы

1. Регулируемые электроприводы. – Режим доступа: <http://mobile.studbooks.net>. – Дата обращения: 05 апреля 2017.
2. Вентильные реактивные электродвигатели/генераторы. – Режим доступа: <http://www.kaskod.ru>. – Дата обращения: 14 апреля 2017.
3. Synchronous reluctance motor-drive packages. – Режим доступа: <http://www.abb.com/ua>. – Дата обращения: 17 апреля 2017.
4. ABB's new SynRM2 motor technology will deliver IE5 efficiency without rare earth magnets. – Режим доступа: <http://www.abb.com/ua>. – Дата обращения: 17 апреля 2017.
5. Шумов Ю. Н. Энергосберегающие электрические машины для привода электромобилей и гибридных автомобилей (Обзор зарубежных разработок) / Ю. Н. Шумов, А. С. Сафронов. // Электричество. – 2016. – №1. – С.55–65.
6. Васильев Л.О. Одновременная коммутация фаз и ее влияние на выходные характеристики ВРД / Л.О. Васильев, Ю.В. Мускин, А.И. Лужнев // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика". – 2003. – Вип. 50. – С.43–47.
7. Мазуренко Л. І. Моделювання режимів та регулювання частоти обертання вентильно-індукторного двигуна з перетворювачем із С-скиданням і коливальним поверненням енергії при зміні кутів комутації / Л.І. Мазуренко, О.В. Бібік, О.А., М.О. Шихненко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. пр. Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – 2016. – Вип. 11 (1183). – С. 64 – 69.
8. Liu C. T. Field Path Design Assessments of a High-Performance Small-Power Synchronous-Reluctance Motor / C. T. Liu, T. Y. Luo, C. S. Hwang and B. Y. // IEEE Transactions on Magnetics. – 2015. – vol. 51. – No. 11. – pp. 1–4.
9. Zhang Jian. Optimal system efficiency operation of dual PMSM motor drive for fuel cell vehicles propulsion / Zhang Jian, Wen Xuhui, Zeng Lili // IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference. – 2009. – pp. 1889–1892.
10. Антонов А. Е. Сопоставительный анализ вентильных двигателей с пассивным и активным ротором / А. Е. Антонов, И. Н. Радимов, В. В. Рышча // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2005. – № 1. – С.53–56.
11. Бібік О.В. Проектування вентильно-реактивного двигуна з метою зменшення пульсацій електромагнітного моменту / О.В. Бібік, В.В. Гребеніков, М. В. Приймак // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 4. – С. 117–119.
12. Гребеніков В. В. Сравнительный анализ магнитных систем электродвигателей с постоянными магнитами для электробуса / В. В. Гребеніков, М. В. Приймак // Вісник НТУ «ХПІ». Сер.: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – 2016. – Вип. 11 (1183). – С.42–48.

References (transliterated)

1. Reguliruemye jelektroprivody. Available at: <http://mobile.studbooks.net>. (accessed 05.04.2017).
2. Ventil'nye reaktivnye jelektrodvigateli/generatory [Gate jet motors/generators]. Available at: <http://www.kaskod.ru>. (accessed 14.04.2017).
3. Synchronous reluctance motor-drive packages. Available at: <http://www.abb.com/ua>. (accessed 17.04.2017).
4. ABB's new SynRM2 motor technology will deliver IE5 efficiency without rare earth magnets. Available at: <http://www.abb.com/ua>. (accessed 17.04.2017).
5. Shumov Ju. N., Safronov A. S. Jenergosberegajushhie jelektricheskie mashiny dlja privoda jelektromobilej i gibridnyh avtomobilej (Obzor zarubezhnyh razrabotok) [Energy-saving electrical machines for driving electric cars and hybrid cars (Overview of foreign developments)]. *Jelektrichestvo*. 2016, no. 1. pp. 55–65.
6. Vasil'ev L.O., Mnuskin Ju.V., Luzhnev A.I. Odnovremennaja kommutacija faz i ee vlijanie na vyhodnye harakteristiki VRD [Simultaneous phase switching and its influence on the output characteristics of the SRM]. *Naukovi pratsi Donets'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: "Elektrotehnika i enerhetyka"*. 2003, vol. 50, pp. 43–47.
7. Mazurenko L. I., Bibik O.V., Bilyk, Shykhnenko M.O. Modelyuvannya rezhymiv ta rehulyuvannya chastoty obertannja ventyl'no-induktornoho dvyhuna z peretvoryuvachem iz S-skydannyam i kolyval'nym povernennjam enerhiyi pry zmini kutiv komutatsiyi [Simulation mode and speed control of switched reluctance motor using a converter with the C-dump and the oscillation return of energy at changing switching angles]. *Visnyk NTU «KhPI»: Ser.: Elektrychni mashyny ta elektromekhanichne peretvorennja enerhiyi*. 2016, vol. 11(1183), pp. 64–69.
8. C.T. Liu, T.Y. Luo, C.C. Hwang and B.Y. Chang Field Path Design Assessments of a High-Performance Small-Power Synchronous-Reluctance Motor. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2015, vol. 51, no. 11, pp. 1–4.
9. Zhang Jian, Wen Xuhui, Zeng Lili Optimal system efficiency operation of dual PMSM motor drive for fuel cell vehicles propulsion. *IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference*. 2009, pp. 1889–1892.
10. Antonov A.E., Radimov I.N., Rymsha V.V. Sopotavitel'nyj analiz ventyl'nyh dvigatelej s passivnym i aktivnym rotorom [Comparative analysis of valve motors with a passive and active rotor]. *Pr. In-tu elektrodynamiky NAN Ukrainy*. 2005, no. 1. pp. 53–56.
11. Bibik O.V., Grebenikov V.V., Prymak M.V. Proektuvannya ventyl'no-reaktyvnoho dvyhuna z metoyu zmenshennja pul'satsiy elektromagnitnoho momenta [Design of the Switched Reluctance Motor for reducing the electromagnetic torque ripple]. *Tekhn. Elektrodynamika*. 2014, no. 4. pp. 117–119.
12. Grebenikov V. V., Prymak M.V. Sravnitel'nyj analiz magnitnyh sistem jelektrodvigatel' s postojannymi magnitami dlja jelektrobusa [Comparative analysis of magnetic systems of electric motors with permanent magnets for electric bus] *Visnyk NTU «KhPI»: Ser.: Elektrychni mashyny ta elektromekhanichne peretvorennja enerhiyi*. 2016, vol. 11(1183), pp. 42–48.

Поступила (received) 28.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Сравнительный анализ электродвигателей с различной конфигурацией магнитных систем / В. В. Гребеников // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 1 (1223). – С. 119–124. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2409-9295.

Порівняльний аналіз електродвигунів з різною конфігурацією магнітних систем / В. В. Гребеніков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 1 (1223). – С. 119–124. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2409-9295.

Comparative analysis of electric motors with various configuration of magnetic systems / V. V. Grebenikov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. – No. 1 (1223). – P. 119–124. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2409-9295.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гребеніков Віктор Володимирович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут електродинаміки Національної академії наук України, м. Київ; тел. (067) 441-73-72; e-mail: elm1153@gmail.com.

Гребеников Виктор Владимирович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт электродинамики национальной академии наук Украины; г. Киев; тел. (067) 441-73-72; e-mail: elm1153@gmail.com.

Grebenikov Viktor Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv; tel. (067) 441-73-72; e-mail: elm1153@gmail.com.