

УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И АСИНХРОННЫМ ПУСКОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРМЫ ПАЗА

Р. Р. Мирзаянов¹, Ф. Р. Исмагилов², В. Е. Вавилов³

¹mirzayanovrustem@mail.ru, ²ifr@ugatu.ac.ru, ³s2_88@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 20.03.2017

Аннотация. Повсеместная автоматизация промышленности невозможна без синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). Особый интерес представляет применение СДПМ в топливных насосах летательных аппаратов (ЛА) типа ЭЦН или ЭЦНГ. В данных изделиях сейчас используются асинхронные двигатели малой мощности, КПД которых составляет 60–70%, а коэффициент мощности – 0,6. При этом замена асинхронного двигателя на СДПМ позволит поднять КПД электродвигателя до 90% (за счет минимизации потерь в роторе на вихревые токи, а также отсутствия потерь в стержнях короткозамкнутой обмотки) и повысить коэффициент мощности. Все это значительно понизит электропотребление насосов в ЛА. В статье представлены результаты исследования влияния формы пазов статора на магнитное поле СДПМ с асинхронным пуском. Также были сравнены и массогабаритные показатели двигателя при различных формах пазов статора.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами; асинхронный пуск; трапецеидальный паз.

ВВЕДЕНИЕ

Синхронный двигатель с постоянными магнитами на сегодняшний день является одним из перспективных направлений автоматизации промышленности. Такая востребованность обусловлена малыми размерами и массой, повышенной надежностью, увеличением КПД и использованием современных высококоэрцитивных постоянных магнитов.

Однако существует и недостаток СДПМ, связанный с использованием частотного преобразователя, что увеличивает стоимость. Одним из вариантов успешного решения является асинхронный способ пуска, который позволяет сократить величину пускового тока машины и исключить использование частотного преобразователя. Асинхронный пуск реализуется путем установки на ротор демпферной обмотки в виде короткозамкнутой «беличьей клетки» [1].

Особый интерес представляет применение СДПМ в топливных насосах летательных аппаратов (ЛА) типа ЭЦН или ЭЦНГ. В данных из-

делиях сейчас используются асинхронные двигатели малой мощности, КПД которых составляет 60–70%, а коэффициент мощности 0,6. Например, серийный асинхронный электродвигатель ЭТМ–105, используемый в топливном насосе ЭЦНГ при выходной мощности 900 Вт потребляет из бортовой сети ЛА 2142,8 Вт. В данном случае замена асинхронного двигателя на СДПМ позволит поднять КПД электродвигателя до 85–90% (за счет минимизации потерь в роторе на вихревые токи, а также отсутствия потерь в стержнях короткозамкнутой обмотки) и повысить коэффициент мощности до 0,9 (характерное значение для синхронных электродвигателей). Тем самым энергопотребление электродвигателя при номинальной мощности 900 Вт в случае применения СДПМ снижается до 1176 Вт.

Поэтому задачи разработки и проектирования СДПМ являются важными и актуальными для развития авиационной электромеханики.

При решении данных задач особое внимание необходимо уделять выбору рациональной геометрии пазовой зоны статора СДПМ, так как именно форма пазов во многом определяет параметры СДПМ и его эффективность.

Наличие пазов на поверхности статора СДПМ вызывает искажение магнитного поля в зазоре и появление зубцовых пространственных гармоник этого поля. Пространственные гармоники вызывают добавочные потери в стали, искажение кривой вращающего момента, изменение индуктивных сопротивлений дифференциального рассеяния и появления шума в двигателе [2–4].

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И РЕШЕНИЕ

Целью работы является исследование методами компьютерного моделирования магнитного поля СДПМ с асинхронным пуском при различных формах паза статора и определение на основе данных исследований наиболее рациональной формы паза.

Критериями, по которым определяется рациональность той или иной формы паза в работе, являются масса СДПМ в целом и его активных частей при условиях, что КПД и коэффициент мощности СДПМ не ниже 0,85–0,9.

Для решения поставленной задачи были проанализированы и сравнены результаты смоделированных магнитных полей в программном комплексе MaxwellRMXprt. Все магнитные поля были смоделированы на основе предварительно смоделированного СДПМ с асинхронным пуском.

В программном комплексе MaxwellRMXprt для расчета СДПМ представлены 4 вида паза статора, которые представлены в рис. 1.

В программном комплексе Ansys Maxwell были исследованы магнитные поля СДПМ с асинхронным пуском методами компьютерного моделирования при различных формах паза статора.

В табл. 1, 2 представлены расчетные значения, которые были получены при различных формах паза в программном обеспечении ANSYS RMXprt.

На рис. 2–5 представлены наглядные результаты моделирования магнитного поля при изменении формы паза статора. В рассматриваемой модели двигателя располагается концентрическая обмотка. Параметры магнита задаются 1,1 Тл и 838 кА/м, сердечник статора набран из электротехнической стали 2421.

Анализ влияния форм паза на магнитное поле двигателя показывает, что индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора уменьшается при изменении паза от овального полузакрытого 1 типа к трапецидальному полузакрытому пазу 2 типа. Также уменьшается и плотность тока в проводах на 0,348 А/мм² и индукция в зубцах статора на 0,034 Тл. Индукция в ярме статора, наоборот, увеличивается на 0,58 Тл. Остальные показатели изменяются незначительно.

1	Овальный полузакрытый паз 1	
2	Овальный полузакрытый паз 2	
3	Трапецидальный полузакрытый паз 1	
4	Трапецидальный полузакрытый паз 2	

Рис. 1. Формы пазов в MaxwellRMXprt

Таблица 1

Влияние формы паза на магнитное поле двигателя

№ паза	DX_{ad} , Ом	$DX_1 + X_{ad}$, Ом	DX_{aq} , Ом	$DX_1 + X_{aq}$, Ом	B_{δ} , Тл	B_{ZS} , Тл	B_{YS} , Тл	j , А/мм ²	B_{ZR} , Тл	B_{YR} , Тл
1	8,9853	11,9344	18,6968	21,646	0,320	1,429	0,842	2,883	0,842	0,377
2	8,9853	11,8782	18,6968	21,590	0,320	1,429	0,842	2,872	0,842	0,377
3	7,4906	10,4651	15,5866	18,561	0,308	1,377	1,513	2,550	0,811	0,363
4	7,4906	10,5766	15,5866	18,672	0,312	1,395	1,422	2,535	0,822	0,368

Таблица 2

Влияние формы паза на массогабаритные показатели двигателя

№ паза	m_{Cu} , кг	m_{scu} , кг	$m_{гcu}$, кг	$m_{стали s}$, кг	$m_{стали r}$, кг	$m_{маг}$, кг	m_{Σ} , кг
1	3,76097	2,03848	0,68893	8,10109	1,64747	0,14496	16,3819
2	3,73178	2,03396	0,68893	8,10109	1,64747	0,14496	16,34819
3	4,23772	1,49614	0,68893	8,10109	1,64747	0,14496	16,31631
4	4,23772	1,48041	0,68893	8,10109	1,64747	0,14496	16,30058

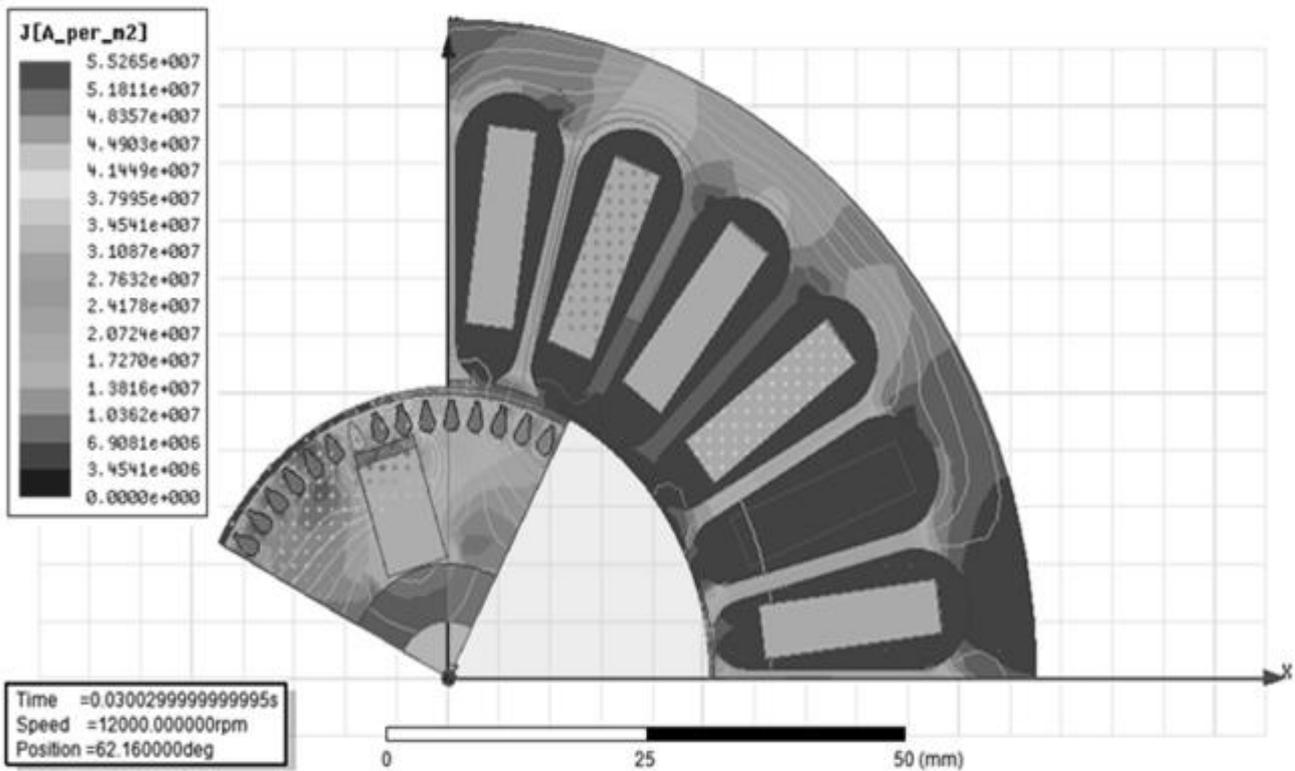


Рис. 2. Магнитное поле при овальном полузакрытом пазе 1 статора

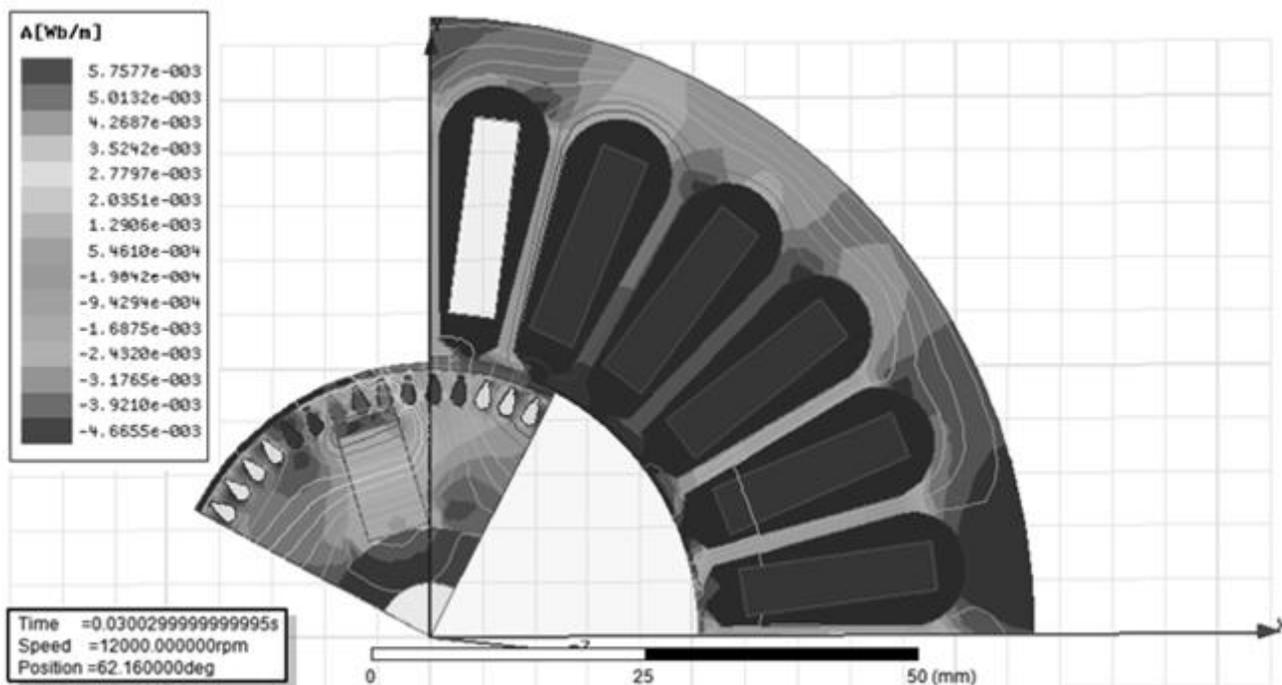


Рис. 3. Магнитное поле при овальном полузакрытом пазе 2 статора

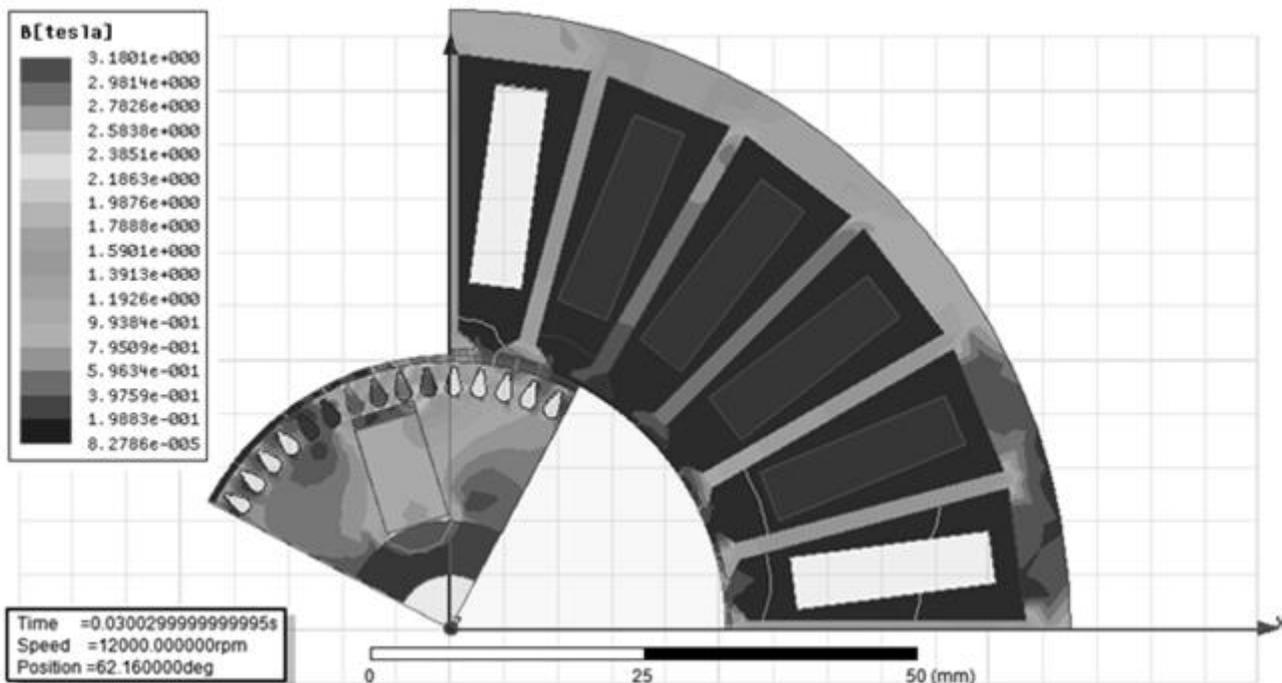


Рис. 4. Магнитное поле при трапецидальном полузакрытом пазе 1 статора

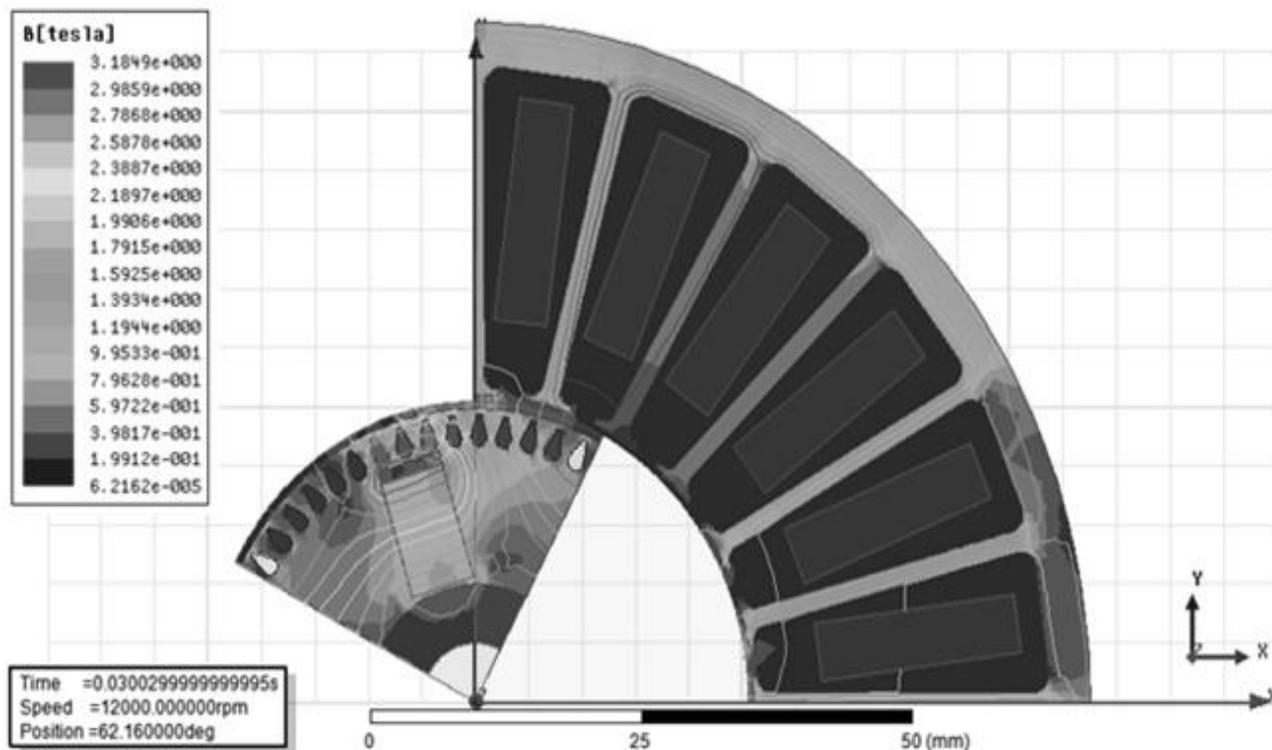


Рис. 5. Магнитное поле при трапецидальном полузакрытом пазе 2 статора

ВЫВОД

По массогабаритным показателям синхронный двигатель с трапецидальным полузакрытым пазом 2 типа имеет наименьший общий вес, хотя общая масса меди наибольшая в сравнении с другими видами пазов (табл. 2).

Анализируя результат исследований, очевидно, что наименьшее индуктивное сопротивление имеют полузакрытые пазы трапецидального типа при меньших значениях плотности тока в проводях. Также пазы, полузакрытые трапецидального типа, имеют наименьшие значения индукции статора и ротора в отличие от овальных полузакрытых пазов. Наименьшее значение плотности тока, индуктивных сопротивлений, индукций статора и ротора у трапецидального полузакрытого пазе 2 типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вольдек А. И., Попов В. В.** Электрические машины. Машины переменного тока. СПб.: Питер, 2008. 350 с. [A. I. Voldek and V. V. Popov, *Electric machines. Alternating current machines*, (in Russian). SPb.: Piter, 2008.]
2. **Кацман М. М.** Электрические машины: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Академия, 2013. 496 с. [M. M. Katzman, *Electric machines: a textbook for stud. establishments of environments. prof. education*, (in Russian). M.: Academy, 2013.]
3. **Осин И. Л.** Синхронные электрические двигатели малой мощности. М.: Изд. МЭИ, 2006. 216 с. [I. L. Osin, *Synchronous electric motors of low power*, (in Russian). M.: Izd. MEI, 2006.]
4. **Дмитриев В. Н.** Проектирование и исследование асинхронных двигателей малой мощности: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2013. 89 с. [V. N. Dmitriev, *Design and research of low-power asynchronous motors*, (in Russian). Ulyanovsk: UISTU, 2013.]

ОБ АВТОРАХ

МИРЗАЯНОВ Рустем Радикович, м-т каф. электромеханики. Дипл. бакалавр электроэнергетика и электротехника (УГАТУ, 2015). Иссл. в обл. синхронных двигателей с постоянными магнитами.

ИСМАГИЛОВ Флюр Рашитович, д.т.н., проф., зав. каф. электромеханики. Дипл. инж.-электромех. (УАИ, 1973). Иссл. в обл. электромех. преобразователей энергии.

ВАВИЛОВ Вячеслав Евгеньевич, к.т.н., ст. преп. каф. электромеханики. Дипл. инж.-электромех. (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. высокоэффективных энергетических преобразователей энергии.

METADATA

Title: Study of the magnetic field synchronous motor with permanent magnets and asynchronous start in depending of shape slot.

Authors: R. R. Mirzayanov ¹, F. R. Ismagilov ³, V. E. Vavilov ³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹mirzayanovrustem@mail.ru, ²ifr@ugatu.ac.ru, ³s2_88@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 21, no. 2 (76), pp. 82-87, 2017. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Widespread automation industry is impossible without permanent magnet synchronous motors (PMSM). This research paper presents the results of a study of the influence of stator slot in the magnetic field of the PMSM with asynchronous start. It was also compared and the weight and size of the engine performance at different slots.

Key words: Permanent magnet synchronous motor; asynchronous start; graded slot.

About authors:

MIRZAYANOV, Rustem Radikovich, Grad. Student, Dept. of Electromechanics. Bachelor's diploma (USATU, 2015).

ISMAGILOV, Flur Rashitovich, Prof., Head of the Dept. of EM. Dipl. Ing-electromechanical (UAI, 1973), Dr. of Tech. Sci.

VAVILOV, Vyacheslav Evgenievich, Ph.D., senior lecturer of the Dept. of EM. Dipl. Ing-electromechanical (USATU, 2010).