

К РАСЧЕТУ УГЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Базилевич Никита Айдарович,

магистрант, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: bazilevich.n@gmail.com

Денисенко Виктор Иванович,

профессор, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: v.i.denisenko@urfu.ru

Гайфутдинов Александр Рифкатович,

аспирант, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: alexzanderg@mail.ru

Храбрый Екатерина Алексеевна,

студент, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: exrabryx@mail.ru

TO THE CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC TORQUE OF THE SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

Bazilevich Nikita Aidarovich,

Graduate Student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg, e-mail: bazilevich.n@gmail.com

Denisenko Viktor Ivanovich,

Professor, Doctor of Technical Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg, e-mail: v.i.denisenko@urfu.ru

Gayfutdinov Alexander Rifkatovich,

Post-graduate Student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg, e-mail: alexzanderg@mail.ru

Khrabrykh Ekaterina Alekseevna,

Student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg, e-mail: exrabryx@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлены результаты расчета электромагнитного момента индукторной машины без системы управления с использованием пакета Femm 4.2. Полученная характеристика сравнивается с экспериментальными данными и с результатами аналитического расчета.

Ключевые слова. Электромагнитный момент индукторной машины.

Abstract. This article presents the results of calculating of electromagnetic torque of the switched reluctance motor without a control system using the Femm 4.2. The obtained characteristic is compared with the experimental data and with the results of the analytical calculation.

Key words. Electromagnetic torque of the switched reluctance motor.

Одним из перспективных электромеханических преобразователей при создании интеллектуальных систем регулируемого привода является вентильно-индукторный двигатель (ВИД), представляющий из себя неразрывное сочетание индукторной электрической машины и системы управления [1]. Благодаря ряду преимуществ, прежде всего простоте и технологичности конструкции, отсутствию скользящего кон-

такта и обмотки на роторе, простейшей конструкции обмотки статора, состоящей из сосредоточенных катушек, особенно перспективно применение регулируемого привода на основе ВИД для работы в тяжелых условиях эксплуатации, в агрессивных средах, а также в экстремальных условиях воздействия радиационных полей и высоких температур. Но, несмотря на простоту конструкции, электромеханические процессы, протекающие в ВИД, имеют сложный характер, связанный с непрерывно протекающими, даже в номинальном режиме работы, переходными процессами. Электрические и магнитные величины ВИД носят ярко выраженный несинусоидальный характер, что не позволяет использовать при расчете традиционные методы, применяемые при проектировании классических электрических машин.

В связи со сложностью применения классических методик расчета и отсутствием достаточного опыта проектирования ВИД, важным инструментом в такой ситуации становится использование пакетов прикладных программ для численного моделирования магнитного поля, таких как Femm, позволяющих быстро и с достаточной точностью получить необходимые характеристики. Использование Femm позволяет учесть нелинейные свойства электротехнической стали, учесть локальное насыщение головок зубцов, возникающее при их частичном перекрытии.

Одной из важнейших характеристик, определяющих работу ВИД, является его электромагнитный момент. В связи с этим, был проведен расчет электромагнитного момента ВИД с использованием пакета Femm 4.2. Характер изменения поля в зависимости от углового положения ротора приведен на рис. 1. Были рассмотрены две модели двигателей: опытный образец ВИД с керамической изоляцией конфигурации 6/4, с длиной магнитопровода 120 мм, мощностью 2,2 кВт и двигатель с электромагнитной редукцией скорости, мощностью 0,25 кВт и длиной магнитопровода 40 мм.

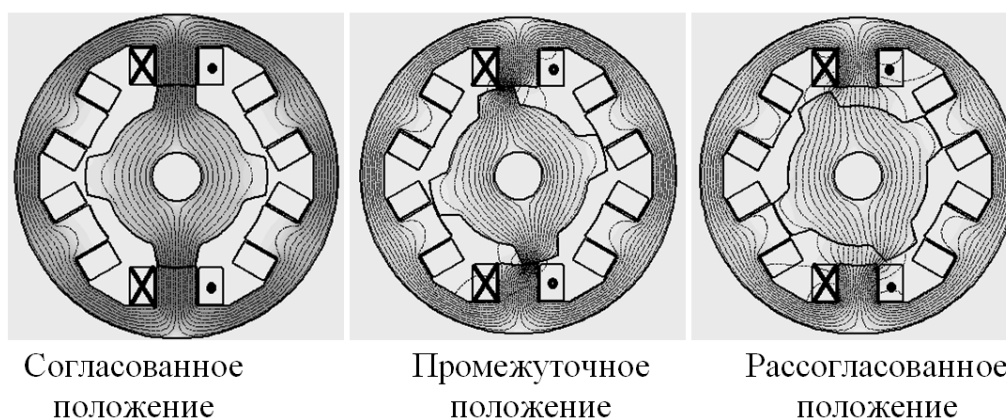


Рисунок 1 – Картина поля ВИД конфигурации 6/4 при различных положениях ротора.

Для оценки результатов расчета с применением Femm была снята экспериментальная угловая характеристика электромагнитного момента на опытном образце двигателя конфигурации 6/4. Одна из фаз двигателя была запитана током от источника постоянного напряжения. Вращающий момент, возникающий на валу двигателя, определялся по методу рычага с помощью цифрового динамометра. Расчеты и измерения производились при величине тока обмотки статора $I = 5$ А, близкой к номинальному значению.

Кроме того, был произведен расчет электромагнитного момента двигателей на основе энергетического подхода [2]:

$$M = \frac{\partial W_{\text{маг}}}{\partial \theta}$$

Результаты расчетов и эксперимента представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1 – Сравнение зависимостей статического момента ВИД конфигурации 6-4, полученных при помощи Femm 4.2 с экспериментальными и расчетными данными

θ°	Femm 4.2		Опытный образец	Расчет
	M, Нм	W_m , Дж	M, Нм	M, Нм
0	0	1,558	0	0
2,5	3,086	1,497	3,412	3,808
5	4,539	1,391	4,221	5,267
7,5	5,331	1,266	4,791	5,974
10	5,727	1,129	5,114	6,407
12,5	5,947	0,985	5,298	6,589
15	5,948	0,84	5,336	6,566
17,5	6,038	0,697	5,474	6,703
20	6,042	0,546	5,856	6,977
22,5	6,093	0,391	5,987	6,293
25	2,924	0,27	1,957	3,808
27,5	1,698	0,224	0,74	1,573
30	0,829	0,201	0,399	0,805

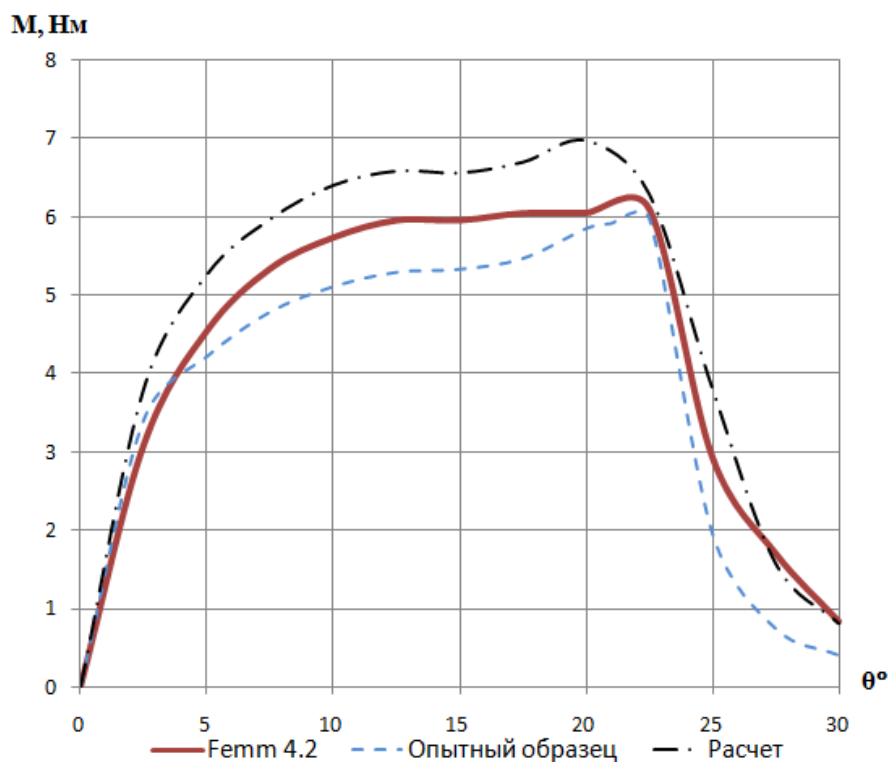


Рисунок 2 – Сравнение зависимостей статического момента ВИД от углового положения ротора, полученных различными способами

Сопоставление результатов расчета статического момента ВИД, полученных с помощью Femm с экспериментальными данными, дало достаточно удовлетворительный результат. Отличие расчетных кривых от кривых, полученных экспериментальным путем, возможно связано с влиянием неучтенных моментов сопротивления при измерении вращающего момента на опытном образце двигателя.

Кроме того, влияние на результаты опыта могли оказать неучтенные технологические факторы, такие как отклонение заявленной величины воздушного зазора, магнитная и электрическая несимметрия, возможное несоответствие электротехни-

ческой стали, используемой в опытном образце, заявленным характеристикам. Безусловно, сказались на результатах опыта и случайная погрешность измерений.

Тем не менее, следует отметить, что максимальные значения моментов и в том и в другом случае возникают при одинаковых значениях углов рассогласования, после прохождения которых, момент резко падает, что связано с локальным насыщением зоны перекрытия зубцов, которое приводит к резкому увеличению эквивалентного воздушного зазора.

На рис. 3 приведены результаты расчетов угловой характеристики электромагнитного момента ВИД с электромагнитной редукцией скорости, выполненных указанными выше способами. В данном случае наблюдается существенное расхождение результатов расчета различными способами. Это приводит к необходимости дополнительных исследований условий использования энергетического подхода для расчета электромагнитного момента для ВИД с мелкой зубцовой структурой сердечников статора и ротора.

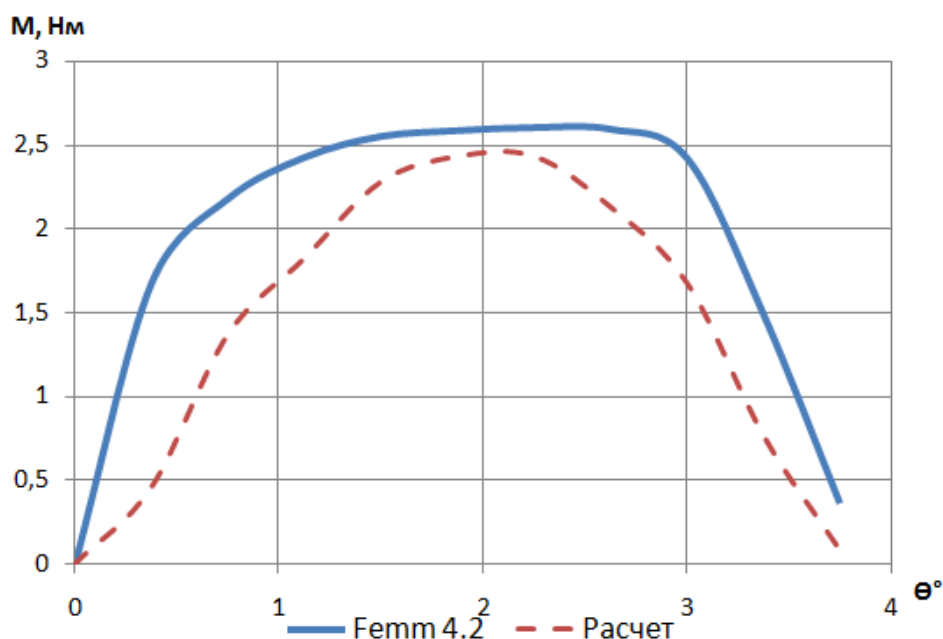


Рисунок 3 – Сравнение зависимостей статического момента ВИД с электромагнитной редукцией от углового положения ротора, полученных различными способами

В целом, результаты проведенного сравнения позволяют говорить о перспективности использования пакетов прикладных программ для численного моделирования магнитного поля ВИД, позволяющих учесть нелинейные свойства электротехнической стали и другие факторы, не учитываемые в традиционных методиках.

Список использованных источников

1. Кузнецов В.А. Вентильно-индукторные двигатели / В.А. Кузнецов, В.А. Кузьмичев - М.: издательство МЭИ, 2003. – 70 с. // Наука и образование. Электронное научно-техническое издание. №12. 2012 г.
2. Вентильные индукторно-реактивные двигатели/Ю. А. Голландцев – СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 2003 – 148 с.