

Рассматриваемая модель позволит меня спектральный состав модифицировать сигналы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенкина Т.Ю. Построение модели синхронного двигателя с электромагнитной редукцией индукторного типа // 12-я международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 11-14 ноября 2014 г.): сборник трудов. Томск: Издательство ТПУ.- т.1, 2014. С.351–352.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высшая школа, 1996. - 580 с.
3. Майер Р.В. Изучение метода гармонического анализа и синтеза с помощью пакета MathCad. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fmaier-gv.glazov.net%2FGarmanaliz.pdf&name=Garm-analiz.pdf&lang=ru&c=5642aacace95>, (дата обращения 06.10.2015).

МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С МАССИВНЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ РОТОРОМ В РЕЖИМЕ МИНИМАЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ

Плеханов М.С.

Закрытое акционерное общество «Томский приборный завод»

Россия, г. Томск, ул. Высоцкого, 28, стр. 3, 634040

Научный руководитель: Голиков А.Н., зав. лабораторией кафедры ТПС ИНК ТПУ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: plehanovms@tpu.ru

MODEL OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC ENGINE WITH MASSIVE FERROMAGNETIC ROTOR IN MINIMUM SLIP MODE

Plechanov M.S.

Close corporation "Tomsk Instrument Plant"

Russia, Tomsk, Vysotsky str., 28, bul. 3; 634040

Scientific Supervisor: Golikov A.N., head of the laboratory of Instrument making department

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: plehanovms@tpu.ru

Рассматривается модель асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором. Принцип работы электродвигателя основан на взаимодействии магнитного поля вихревых токов, наведенных на поверхности ротора с вращающимся магнитным полем статора. Объект исследования – натурный макет электродвигателя с экспериментально установленными рабочими характеристиками. Цель исследования – оценка характеристик электродвигателя при допущении разгона ротора в режим минимального скольжения, характерного для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при неизменных параметрах питающего напряжения. Модель полностью соответствует исходным геометрическим, электрическим и конструктивным параметрам натурального макета. Моделирование произведено в программной среде COMSOL 5.0 методом конечных элементов в модуле расчета магнитных полей постоянных и переменных электрических токов. В результате исследования получена механическая характеристика исследуемого привода, установлены зависимости фазного и поверхностного токов от скорости вращения ротора, что может быть использовано при разработке алгоритмов управления электроприводами подобной конструкции.

The model of an asynchronous engine with a massive ferromagnetic rotor is examined. The principle of work this engine based on the interaction of the magnetic field of the surface currents induced on the surface of the rotor with the rotating magnetic field of the stator. The object of study – real model of the engine with the experimentally established features. The purpose of research - to evaluate the features of the engine assuming the

rotor acceleration to a minimum slip mode, in an asynchronous engine with a squirrel cage at constant voltage. The model is fully consistent with the original geometrical, electrical and design parameters of real model. Simulation software environment made COMSOL 5.0 finite element method in the module for calculating the magnetic fields of direct and average currents. The study investigated the mechanical characteristic obtained drive phase and set depending from surface currents rotor speed that can be used in the development of electric control algorithms similar construction.

Работа асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором основана на взаимодействии магнитного поля вихревых токов, наведенных на поверхности ротора с вращающимся магнитным полем, создаваемым статором. Преимущества такого электродвигателя – простота конструкции, высокая кратность пускового момента к номинальному, минимальное время разгона; недостатки – сравнительно высокие энергетические потери, обусловленные наличием вихревых токов, и как следствие – номинальный режим работы обеспечивается в пределах скольжения $0,1 \div 0,25$ ($10 \div 25\%$) [1-2]. Благодаря своим преимуществам, электродвигатели с массивным ферромагнитным ротором нашли широкое применение в приводах устройств, где при сравнительно невысокой кратности пускового тока необходимо обеспечить высокую кратность пускового момента, быстрый разгон и торможение ротора [2]. Исследования такого рода электродвигателей в основном направлены на поиск методов снижения энергетических потерь и описание переходных процессов, вызванных протеканием вихревых токов в теле ротора, благодаря чему удается достичь режимов работы, обеспечивающих скольжение ротора в пределах $0,02 \div 0,05$ [2].

Практический интерес представляют задачи физико-математического моделирования режимов работы электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором, поскольку это позволяет установить алгоритмы управления скоростью и вращающим моментом. Однако наличие вихревых токов высокой плотности, требующих сложного математического описания при моделировании и расчетах, приводит к ряду допущений и упрощений, что существенно сказывается на расхождении расчетных и экспериментальных данных режимов работы [3-4]. Использование метода конечных элементов при моделировании электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором позволяет решить поставленные задачи – применение геометрических моделей при ограниченных начальных условиях позволяет получить картину электромагнитного поля устройства, построить его рабочие характеристики.

Для исследования была выбран макет реального асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором обращенной конструкции. Статор электродвигателя (рис. 1) – от серийно выпускавшегося синхронного гистерезисного гиromотора обращенной конструкции с газодинамическими опорами ротора, где в момент запуска действует сравнительно высокий момент сил сухого трения. Ротор (рисунок 1) – в виде стакана из магнитомягкого материала (сталь ШХ15) с индукцией насыщения 1,255 Тл при напряженности магнитного поля 2500 А/м. В качестве опорного узла в макете (рис. 2) используется асинхронный исполнительный двигатель с полым малоинерционным немагнитным ротором типа АДП-402, при подключении обмоток возбуждения к источнику напряжения 24 В, 1000 Гц, а обмоток управления к вольтметру или осциллографу, имеется возможность построения графиков разгона и выбега ротора, расчета пускового и номинального моментов. Для моделирования используется поперечное сечение макета, соединение и укладка фазных обмоток в пазах полностью соответствуют электрической схеме статора.

Цель моделирования – определить вид характеристик двигателя при допущении разгона ротора в номинальном режиме до скорости 58 000 об/мин (966,67 об/с), что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к асинхронным двигателям наиболее распространенных конструкций [1]. Исходные данные для моделирования приведены в таблице 1. Решение задачи осуществляется в программе COMSOL 5.0, модуле расчета магнитных полей переменного тока. Допущенные упрощения при моделировании – каждая

секция представляется отдельным проводником, соответствующему отдельной катушке. В процессе расчетов не учитываются аэродинамические моменты и моменты реакции в опорах, т.о. рассчитываются рабочие характеристики в режиме холостого хода.



Рис. 1. Статор и ротор двигателя



Рис. 2. Макет двигателя

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	40
Число фаз	3
Частота питающего напряжения, Гц	1000
Моделируемая номинальная скорость ротора, об/мин (об/с)	58 000 (966,6)
Число пазов статора	18
Число пар полюсов	1
Материал статора (сплав)	49К2ФА-ВИ
Диаметр обмоточного провода (по меди), мм	0,16
Количество катушек на фазу	6
Количество катушек в пазу	2
Число проводников в пазу	56
Относительная магнитная проницаемость материала статора	3947
Материал ротора	ШХ15
Относительная магнитная проницаемость материала ротора	399
Внутренний диаметр ротора, мм	32
Величина воздушного зазора, мм	0,15
Момент инерции ротора в сборе с опорным узлом, г·мм ²	9,0
Длина пакета статора и активной зоны ротора, мм	5

В результате моделирования были получены картины магнитного поля двигателя в диапазоне скоростей $0 \div 58\,000$ об/мин. Картины магнитного поля при скорости ротора 0 об/мин и 58 000 об/мин показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

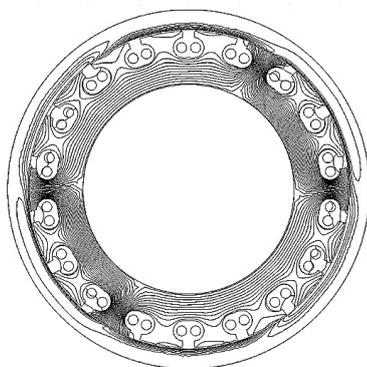


Рис. 3. Картина магнитного поля при нулевой скорости ротора

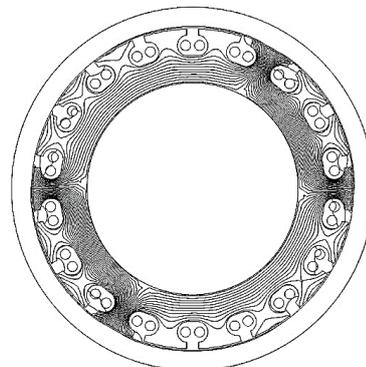


Рис. 4. Картина магнитного поля при скорости ротора 58 000 об/мин

Как видно из рис. 3 и 4, в первоначальный момент времени при скорости ротора равной 0, глубина проникновения вихревых токов максимальна, при выходе на номинальный режим работы с установившейся скоростью, вихревые токи вытесняются в тонкий поверхностный слой, создавая магнитный поток, приводящий к смещению плотности силовых линий индукции в зазоре, что полностью соответствует правилу Ленца [4].

Механическая характеристика и зависимость фазного тока от скорости ротора показаны на рис. 5 и 6 соответственно.

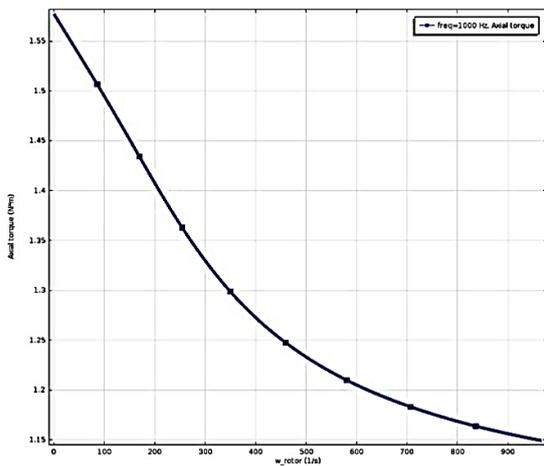


Рис. 5. Моментная характеристика двигателя

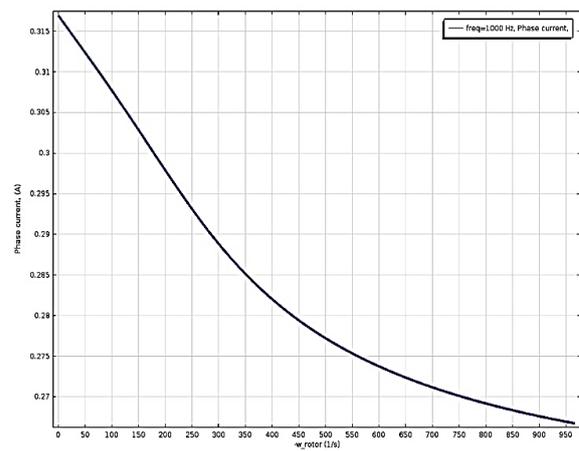


Рис. 6. Зависимость фазного тока от скорости ротора

Как видно из рис. 5 и 6, пусковой момент равен 1,57 Н·м, и при выходе двигателя на номинальный режим работы снижается до 1,15 Н·м, в то время как пусковой ток равен 317 мА и снижается до 265 мА соответственно. Расчетные данные позволяют утверждать, что при допущении разгона ротора до 58 000 об/мин кратность пускового тока и момента находятся примерно в равных значениях, при этом пусковой ток и момент при выходе на номинальный режим работы снижаются незначительно.

Наибольший интерес при расчетах представляет плотность вихревого тока, наведенная на поверхности ротора. Зависимость плотности тока на поверхности ротора от скорости вращения показана на рис. 7.

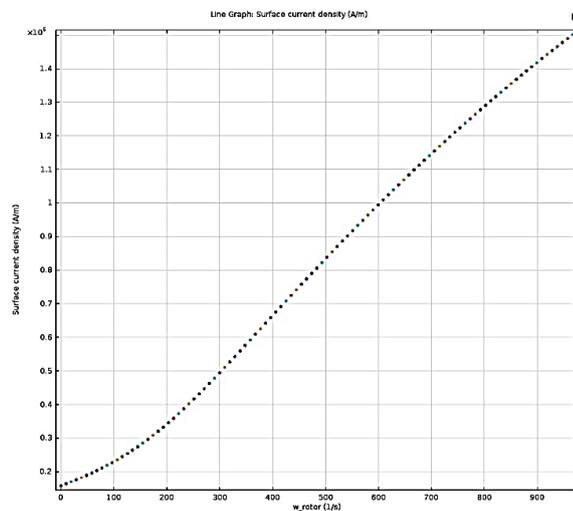


Рис. 7. Зависимость плотности вихревого тока от скорости ротора

Как видно из рис. 7, при достижении ротором скорости 58 000 об/мин, плотность вихревого тока концентрируется в тонком поверхностном слое и достигает значения в номинальном режиме $1,5 \cdot 10^6$ А/м. При этом плотность тока не превышает значений, рассчитанных для существующих конструкций асинхронных электродвигателей с массивным ферромагнитным ротором схожих габаритов [1-2]. Однако такая достаточно высокая плотность вихревых токов, сосредоточенная в малом объеме может привести к значительному нагреву ротора, что также негативно сказывается на энергетических и рабочих характеристиках.

В результате моделирования установлено, что разгон массивного ферромагнитного ротора возможен до скорости, приемлемой для гироскопического двигателя как носителя кинетического момента. При этом такие рабочие характеристики как вращающий момент и фазный ток в процессе разгона изменяются незначительно, что важно для поддержания стабильности скорости ротора в номинальном режиме работы. Пусковой ток в таком случае не превышает значений, установленных для серийно выпускаемых синхронных и асинхронных гироскопических электродвигателей [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. - Л.: «Энергия», 1976. – 384с.
2. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1979. – 160 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для ВУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Высшая школа», 2001. – 327 с.
4. Ламмеренер Й., Штафль М. Вихревые токи. Перевод с чешского. – Л., «Энергия», 1967, 208 с.
5. Гироскопические системы: Элементы гироскопических приборов: Учебник для ВУЗов по спец. «Гироскопические приборы и устройства»; Под ред. Д. С. Пельпора. – М.: Высшая школа, 1988. – 432с.

ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ ЧИСЛА ВИТКОВ ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКИ

Самодуров И.Н.

Научный руководитель: Долгих А.Г., ассистент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

THE TORQUE MOTOR MASS DEPENDANCE FROM THE TAPE WINDING COIL'S NUMBER

Samodurov I.N.

Scientific Supervisor: Assistant Dolgih A.G.
Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

В статье приведен расчет массы активных частей моментного двигателя в зависимости от числа витков ленточной намотки. Ленточная намотка представляет собой спирально намотанную электропроводящую ленту на немагнитную гильзу и является заменой традиционной обмотки. Применение ленточной намотки позволяет повысить удельные характеристики двигателя. Активные части моментного двигателя состоят из внешней магнитной системы, внутренней магнитной системы, гильзы и ленточной намотки. Полученные результаты, в совокупности с аналогичными исследованиями развиваемого момента и потребляемой двигателем мощности от количества витков намотки - позволят определить оптимальное количество витков ленточной намотки, при котором статическая добротность