

ситета. Серия «Энергетика». – 2013. – Том 13. – №1. – С. 111-117

11. Григорьев М.А. Электропривод с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Том 13. – №1. – С. 118-123.

УДК 62-83:621.313.3

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНОЙ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

*Д.А. Сычев*

*Южно-Уральский государственный университет, Россия,  
г. Челябинск*

*dmitry.epa@gmail.com*

### ***Аннотация***

На сегодняшний день совершенствование технологии производства повышает требования к современному регулируемому электроприводу. Такие требования как высокая перегрузочная способность, широкий диапазон регулирования скоростей, простота изготовления и высокая механическая прочность ротора могут быть обеспечены только при комплексном подходе к проектированию электропривода с учетом совместной работы преобразователя и двигателя [1,2].

***Ключевые слова:*** конечно-элементный анализ, синхронная реактивная машина с независимым возбуждением.

## **MATHEMATIC SIMULATION OF THE ELECTRIC DRIVE WITH THE FIELD REGULATED RELUCTANCE MACHINE**

*D.A. Sychev*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

*dmitry.epa@gmail.com*

### ***Abstract***

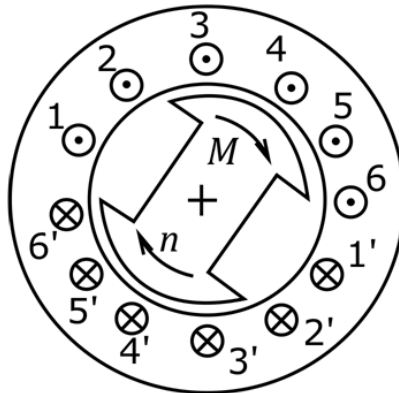
Nowadays the improvement in technology of production increases the demands on the modern regulated electric drive. Such requirements as high overload capacity, a wide range of speed regulation, ease of fabrication and high mechanical resistance of the rotor can be achieved only through a complex approach to the design of the electric drive with respect to the

combined action of the converter and the motor [1,2]. In our opinion, the most promising is the drive with the field regulated reluctance machine (FRRM).

**Keywords:** finite element analysis, field regulated reluctance machine.

### ***Принцип действия СРМНВ***

Обмотка статора (рис. 1), выполненная с полным шагом выполняет как функцию возбуждения, так и функцию создания момента, ротор выполнен без обмотки.



*Рис. 1. Принцип работы СРМНВ*

Элементарный принцип работы привода с СРМНВ следующий. Если по обмоткам 1–1' и 2–2', расположенным в данный момент в межполюсном промежутке пропустить постоянный ток, этот ток создаст поток возбуждения. Если теперь мы будем пропускать ток по обмоткам 3–3', 4–4', 5–5', 6–6', расположенными над полюсом, то, взаимодействуя с созданным потоком, этот ток будет создавать вращающий электромагнитный момент. Теперь при повороте ротора будем переключать обмотки так, чтобы машина работала на максимуме угловой характеристики.

Для увеличения электромагнитного момента очень часто усложняют конструкцию ротора: применяются аксиально или радиально расположенные магнитонепроводящие вставки. Чаще всего такие вставки выполняются из алюминия [3,4,5].

Однако отсутствие реальных методик расчета для данных вариантов конструкции ротора в теории электрических машин и требование корректировки существующих методик с учетом применения совре-

менных материалов, учета краевых эффектов и работы электродвигателя от преобразователя частоты приводит к необходимости применения математического моделирования, в частности методом конечных элементов. Так, на кафедре ЭПА для этих целей используется доступная в лаборатории суперкомпьютерного моделирования ЮУрГУ система конечно-элементного анализа ANSYS 13.0 [6-10].

### ***Математическое моделирование электропривода с СРМНВ***

Прежде чем переходить к результатам исследования, хотелось бы остановить свое внимание на особенностях генерации конечных элементов сетки модели. Основным критерием оптимизации являлся электромагнитный момент, вычисляемый посредством тензора напряжений Максвелла, а данный интеграл берется по исследуемой поверхности (в нашем случае ротора), критичным здесь было разбиение зазора. В нашем случае точность разбиения зазора была выбрана в 10 раз больше точности разбиения ротора.

На первом этапе было определено оптимальное соотношение диаметров статора и ротора 0,7. При соотношении 0,5 большая часть спинки статора не используется. При соотношении 0,8 происходит насыщение стали статора, и электромагнитный момент не создается. Наибольший момент создает машина с радиально расположенными вставками [11,12]. Однако в силу сложности технологии изготовления такого ротора было принято решение использовать ротор без вставок. Здесь было выбрано оптимальное соотношение полюсной дуги к полюсу 0,4.

На следующем этапе была выявлена перегрузочная способность машины до 8...10 номиналов. Моментную характеристику можно разбить на два участка: линейный участок и участок, где сталь насыщается, и последующее увеличение момента происходит только за счет роста тока. При этом индукция в зазоре «выравнивается», что приводит к снижению зубцовых пульсаций момента.

При работе же в номинальном режиме для уменьшения амплитуды зубцовых пульсаций используется скос пазов статора. Для этого была рассчитана 3D модель СРМНВ, которая ко всему прочему позволила учесть краевые эффекты. Оптимальным оказался скос пазов статора на одно пазовое деление.

Наконец, была создана математическая модель ЭП с СРМНВ в среде Simplorer. Данная система позволяет легко интегрировать конечно-элементную модель двигателя, созданную в программном продукте ANSOFT Maxwell, где после расчета переходных процессов можно наблюдать картину полей в реальном времени. Структура модели следующая. Машина питается от источников тока, задание на которые

поступают с узла формирования фазных токов, работа которого заключается в переключении обмоток в зависимости от текущего угла поворота ротора. Система охвачена обратной связью по скорости, и позволяет создавать момент нагрузки.

В результате наброса нагрузки от 0,5 до  $4 M_n$  система обрабатывает идеально. Просадки скорости практически не наблюдается, ток не превышает допустимых пределов. В ходе исследования данной системы было определено оптимальное число фаз 6. При меньшем числе фаз наблюдаются высокие пульсации момента, при большем числе фаз схема заметно усложняется и, как следствие удорожается [13,14].

Полученные данные были экспериментально подтверждены на лабораторной установке.

### ***Список литературы***

1. Брылина О.Г. Регуляторы переменного напряжения с частотно-широтно-импульсной модуляцией // Вестник ЮУрГУ, серия «Энергетика». – Вып.17. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – №16, – С. 26-30.

2. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н. и др. Потери в регулируемых электроприводах при разных законах управления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2010. – Вып. 13. – № 14(190). – С. 47 – 51.

3. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н., Бычков А.Е., Белоусов Е.В. Развитие частотных методов синтеза электроприводов с синхронными электрическими машинами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2011. – Вып. 16. – №34(251). – С. 21 – 27.

4. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н. Вентильный электропривод с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Электротехника. – № 3. – С. 37-43.

5. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н., Журавлев А.М., Лохов С.П. Параметрическая оптимизация частотнорегулируемых электроприводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – №37(296). – С. 30-33.

6. Григорьев М.А. Удельные массогабаритные показатели электроприводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Том 13. – №1. – С. 111-117.

7. Григорьев М.А. Электропривод с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Том 13. – №1. – С. 118-123.

8. Усынин Ю.С., Лохов С.П., Григорьев М.А., Шишков А.Н., Белоусов Е.В. Электроприводы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения для станов холодной прокатки труб // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 17. – №16(275). – С. 107 – 110.

9. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н., Гладышев С.П., Горожанкин А.Н. Синтез системы управления электроприводом с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – №37(296). – С. 38-41.

УДК 621.771.01

## **МЕХАТРОННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ТОЛСТОЛИСТОВОГО СТАНА 5000 ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

***В.Р. Гасияров, А.А. Радионов***

*Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), Россия, г. Челябинск  
gasiyarovvr@gmail.com, radionovaa@rambler.ru*

### ***Аннотация***

В статье толстолистовой стан 5000 горячей прокатки представлен с позиций автоматизированного технологического комплекса, объединяющего в единую многоуровневую иерархическую структуру системы управления технологическими параметрами и различные технологические мехатронные модули. Приведены структурные схемы отдельных систем управления и технологического комплекса в целом.

***Ключевые слова:*** толстолистовой прокатный стан, автоматизированная система управления технологическим процессом, мехатронная система, система автоматического управления, гидропривод, электропривод.

## **MECHATRONIC TECHNOLOGICAL COMPLEX OF HOT PLATE MILL 5000**

***V.R. Gasiyarov, A.A. Radionov***

*South Ural State University (national research university), Russia,  
Chelyabinsk  
gasiyarovvr@gmail.com, radionovaa@rambler.ru*