

**УДЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С
СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНОЙ
НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В РАЗНЫХ СХЕМАХ
ВКЛЮЧЕНИЯ**

Д.А. Сычев, Е.В. Белоусов, А.М. Журавлев, А.Е. Бычков

Южно-Уральский государственный университет, Россия, г.

Челябинск

epasusu@gmail.com

Аннотация

В установках с тяжёлыми и весьма тяжёлыми условиями эксплуатации хорошо зарекомендовали себя синхронные реактивные машины независимого возбуждения (СРМНВ) [1, 2, 4], в которых роль обмотки возбуждения выполняет обмотка, размещённая в пазах статора, когда её витки находятся напротив межполюсного промежутка ротора, в то время как роль якоря выполняет обмотка, расположенная над полюсом.

Ключевые слова: синхронная реактивная машина с независимым возбуждением, электрический преобразователь.

**SPECIFIC INDICATORS OF THE ELECTRIC DRIVES
WITH THE FIELD REGULATED RELUCTANCE MACHINE
IN VARIOUS CONNECTION SCHEMES**

D.A. Sychev, E.V. Belousov, A.M. Zhuravlev, A.E. Bychkov

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

epasusu@gmail.com

Abstract

Field regulated reluctance machines (FRRM) [1, 2, 4] are well proved themselves in machines with severe and very severe conditions of operation. In FRRM the role of the field coil performs the coil placed in the stator slot, where it's windings are separated opposite the interpolar space of the rotor, while the winding which is above the pole plays the role of an armature.

Key words: field regulated reluctance machine, electric converter.

Силовые цепи вентиляльных электроприводов

Достижение высоких удельных показателей машины возможно при специальных законах формирования фазных токов, что приходится учитывать при конструировании полупроводникового преобразователя.

Современные электрические преобразователи выполняются на вентилях нового поколения: MOSFET (отличающиеся большим входным сопротивлением и предельным коммутируемым напряжением 500 В), IGBT (высокое быстродействие, малое падение напряжения, выпускаемые на предельные напряжение

3,3 кВ и токи 1200 А) и, наконец, транзисторные модули, в которых собрано от одного до шести транзисторов с обратными диодами [3]. Средние цены IGBT транзисторов в зависимости от тока на различные уровни напряжения приведены на рис. 1.

Наиболее просто реализуется схема с индивидуальными источниками тока (ИИТ) на каждую фазу (рис. 2). Такие системы могут выполняться с симметричным или несимметричным управлением вентилями. Недостатком схемы является большое суммарное число ключей $4m$ (где m – число фаз СРМНВ).

С учётом возможностей серийных трёхфазных инверторов напряжения (ИН) целесообразно рассматривать вариант электропривода, в котором статорные обмотки собраны в две трёхфазные звезды, сдвинутые на 30 электрических градусов друг относительно друга (рис. 3) [5]. Схема требует двух трёхфазных инверторов: ИН1 и ИН2. В электроприводах малой и средней мощности она выгоднее схемы (рис. 2) меньшим числом ключей [6, 7]. В электроприводах большой мощности она является наиболее естественной, т.к. не требует параллельного соединения ключей при больших токах.

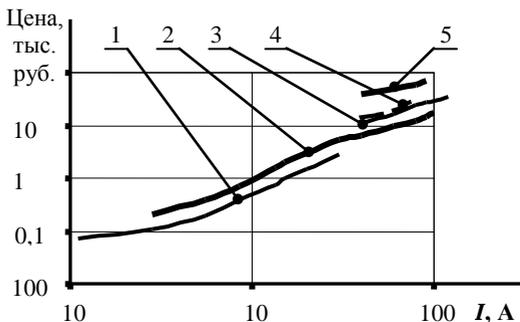


Рис. 1. Стоимость силовых ключей (IGBT) в функции тока для различных классов напряжений: 1 – 600 В; 2 – 1,2 кВ; 3 – 1,7 кВ; 4 – 2,5 кВ; 5 – 4,5 кВ

Как показали оптимизационные расчёты электропривода с СРМНВ для разных вариантов схем силовых цепей статора, наименьший по габаритам электродвигатель при заданном номинальном моменте получается в схеме (рис. 2) при прямоугольной форме фазных токов [8,9,10]. В схеме (рис. 3) электрический преобразователь, выполненный на стандартных ИН имеет меньшее число ключей, но габарит электродвигателя из-за невозможности иметь прямоугольную форму фазных тока получается на 12 % больше.

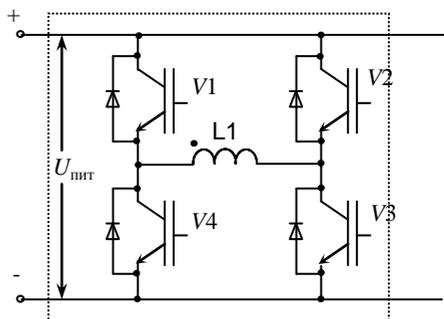


Рис. 2. Мостовая схема, питания фазы СРМНВ

В электроприводах и электрогенераторах, работающих в сетях с пониженным напряжением, заслуживают внимания варианты нулевых схем силовых цепей статора, т.к. в отличие от мостовых здесь нет двойного падения напряжения на вентилях и при том же количестве

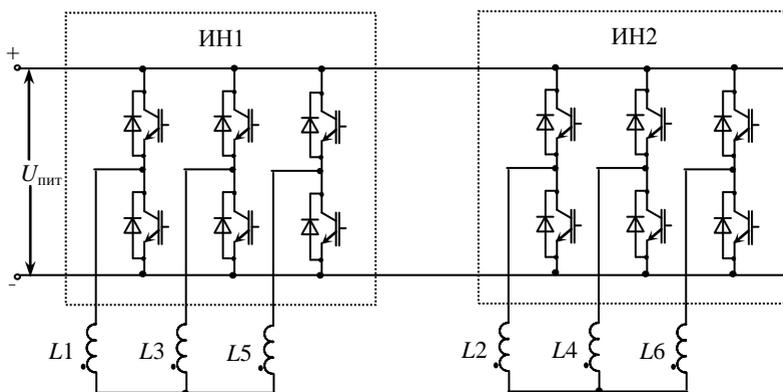


Рис. 3. Схема с двумя мостовыми инверторами

ключей можно получить двойной ток.

Бортовые сети подвижных объектов, выполняются на постоянном токе с очень низким уровнем напряжения – 12, 24 или 48 В. Здесь оказывается выгоднее разделить потенциально силовые цепи и цепи возбуждения: силовые цепи – выполнить по нулевым схемам с неуправ-

ляемыми вентилями, а цепи возбуждения с целью снижения тока через транзисторы – с питанием от высоковольтного источника напряжения.

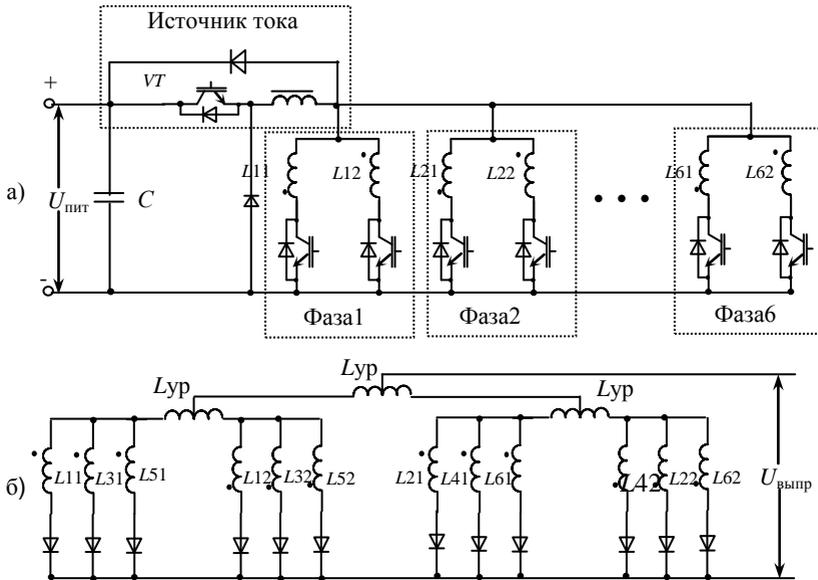


Рис. 4. Схема цепей возбуждения (а) и силовых (якорных) цепей (б) при их гальваническом разделении

Один из вариантов такого решения представлен на рис. 4.

Здесь (см. рис. 4, а) в цепи обмоток возбуждения включены транзисторы, которые образуют коммутатор фазных токов. Последовательно с ними включен транзистор VT , который работает в режиме широтно-импульсной модуляции и выполняет функцию регулируемого источника тока. Т.к. каждая из обмоток возбуждения должна создавать магнитодвижущую силу в двух направлениях, а вентиль проводит ток только в одном направлении, то каждую обмотку фазы выполнили расщеплённой.

Переменное напряжение силовой (якорной) обмотки преобразуется в постоянное по нулевой схеме выпрямления «звезда – обратная звезда» (рис. 4, б).

По данным дилеров ряда отечественных и зарубежных фирм, выпускающих серийное электрооборудование, были рассчитаны и сопоставлены затраты на электропривод с СРМНВ для разных вариантов силовых схем (рис. 5). Анализ приведенных кривых показывает, что схемы с инверторами напряжений (рис. 5, кривая 2) оказываются вполне конкурентоспособными в диапазоне средних мощностей (от 10 до 100 кВт). При мощностях более $P=100$ кВт относительная разница цен схемы с индивидуальными источниками питания и с инверторами напряжения выравнивается. Здесь схема с индивидуальными источниками питания оказывается наиболее естественной, из-за высокой надёжности электропривода.

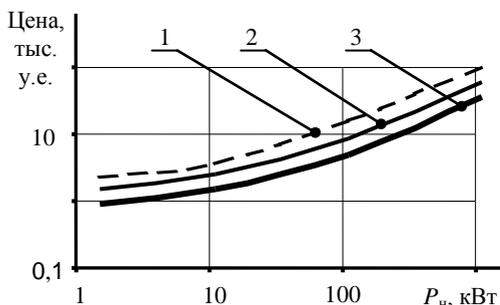


Рис. 5. Стоимость электрических преобразователей при различных схемах силовых цепей СРМНВ: 1 – ИИТ; 2 – ИН; 3 – схема на рис. 4

Анализ работы данных схем проводился посредством математического моделирования в системе ANSYS Simplorer [11, 12]. Данная среда позволяет легко интегрировать в расчет конечно-элементную модель электрической машины, что позволяет учитывать нелинейность кривой намагничивания стали, зубцовые пульсации момента и краевые эффекты.

В качестве источников питания использовался источник ЭДС, охваченный обратной связью по току. Рассматривался вариант ШИМ преобразователя, однако, данная модель заметно усложняет расчет, поскольку вычисление каждой точки подразумевает пересчет всей конечно-элементной модели.

На рис. 6. представлено мгновенное значение фазного тока.

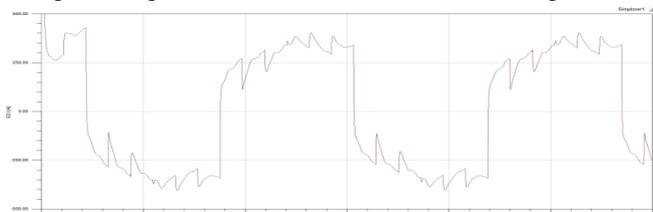


Рис. 6. Мгновенное значение фазного тока

Применение схемы с двумя трехфазными инверторами позволяет сгладить пульсации тока, однако увеличивает его среднеквадратичное значение за период при постоянстве момента [13, 14].

В электроприводе с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения можно использовать схему рис. 3 с нулевой общей точкой. Эквивалентный источник питания звена постоянного тока представляет собой последовательное соединение двух источников. Общая точка источника питания подключается к общей точке фаз обмотки двигателя. В этом случае удастся снизить массогабаритные показатели полупроводникового преобразователя при сохранении удельных показателей синхронной реактивной машины независимого возбуждения.

Заключение

Рассмотрение представленных схем силовых цепей показывает, что в схемах с СРМНВ вполне эффективно могут найти применение схемы со стандартным инвертором напряжения. В схемах же с пониженным напряжением постоянного тока (бортовые сети подвижных установок) выгоднее гальванически разделять цепи возбуждения и силовые цепи.

Список литературы

1. Лохов С.П., Цытович Л.И., Дудкин М.М., Брылина О.Г., Рахматулин Р.М. О новом принципе интегрирующего аналого-цифрового преобразования с бестактовым поразрядным уравниванием // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – № 37 (296). – С. 97–106.

2. Брылина О.Г. Статические и динамические спектральные характеристики многозонного преобразователя с частотно-широотно-импульсной модуляцией // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2013. – Вып. 13. – № 1. – С. 70–79.

3. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н., Бычков А.Е., Кашаев Д.И., Москов Т.Т. Энергосбережение в электроприводах тягодутьевых механизмов многосвязных объектов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2011. – Вып. 15. – №15(232). – С. 40–45.

4. 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.

5. Григорьев М.А. Удельные массогабаритные показатели элект-

троприводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Том 13. – №1. – С. 111-117

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

7. 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.

8. 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.

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

10. 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.

11. 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.