

УДК 62-83:621/.69

**В. Ф. Козаченко**, д-р техн. наук,  
**М. М. Лашкевич**

## ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ДЛЯ ТЯГОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

**Аннотация.** Рассматриваются перспективы применения вентильно-индукторного двигателя с независимым возбуждением для тягового электропривода. Возможность регулировки поля возбуждения позволяет приводу работать в широком диапазоне скоростей при постоянстве мощности, при этом машина технологична и проста в изготовлении, а для управления подходит классический трехфазный инвертор.

**В. П. Козаченко**, д-р техн. наук,  
**М. М. Лашкевич**

## ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З НЕЗАЛЕЖНИМ ПОРУШЕННЯМ ДЛЯ ТЯГОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

**Анотація.** Розглядаються перспективи застосування вентильно-індукторного двигуна із незалежним збудженням для тягового електропривода. Можливість регулювання потоку збудження дозволяє приводу працювати в широкому діапазоні швидкостей при постійній потужності, при цьому машина технологічна і проста у виготовленні, а для управління підходить класичний трифазний інвертор.

**V. F. Kozachenko**, ScD,  
**M. M. Lashkevich**

## SWITCHED-INDUCTOR DRIVE WITH INDEPENDENT EXCITATION FOR TRACTION APPLICATIONS

**Abstract.** In article it is considered application perspectives of switched reluctance drive with external excitation for the traction electric drive. Possibility of regulation of a field of excitation allows such drive to work in wide range of speeds at persistence of capacity, thus the machine is technological and simple in manufacture, and for control the classical three-phase inverter approaches.

Для тягового применения в настоящее время используются в основном асинхронные двигатели и синхронные двигатели с постоянными магнитами. У каждой из этих машин есть свои достоинства и недостатки.

**Асинхронный привод.** Достоинства – простота и дешевизна изготовления, возможность ослабления/усиления поля возбуждения. Минусы: основные потери выделяются в роторе, с которого трудно отводить большое количество тепла. Диапазон ослабления поля невелик (1:2) вследствие резко увеличивающихся потерь при ослаблении.

**Синхронный привод с постоянными магнитами.** Достоинства – нет энергетических затрат на возбуждение, высокий КПД, большая габаритная мощность. Минусы: нет регулировки поля возбуждения. Ослабление поля током статора может использоваться только незначительно (1:2), так как при потере управления есть риск серьезного повреждения инвертора. К недостаткам относится также высокая стоимость и трудоемкость изготовления двигателя. Редкоземельные магниты очень сложны в монтаже, хрупки, а также ограничивают перегрев машины.

**Вентильно-индукторный привод с независимым возбуждением.** Применение данного считается перспективным. Привод такого типа уже рассматривался в [1]. Свойства данной машины приближены к классической синхронной машине с возбуждением со стороны ротора и скользящим контактом. Однако в

рассматриваемой машине обмотка возбуждения расположена на статоре, а скользящий контакт отсутствует.

На рис. 1 схематично показана геометрия ротора и магнитный поток обмотки возбуждения, а на рис. 2 изображено взаимодействие магнитных потоков статора и ротора, при этом ротор на рисунке установлен в согласованное положение (момент равен нулю).

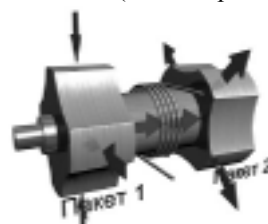


Рис.1. Геометрия ротора и магнитный поток обмотки возбуждения

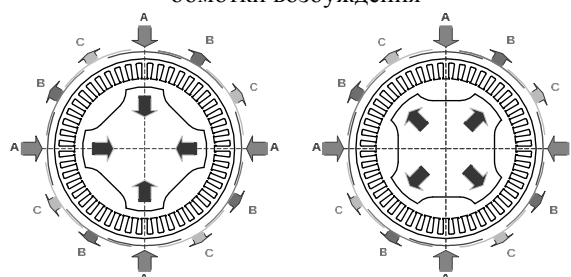


Рис.2. Взаимодействие магнитных потоков статора и ротора: ротор установлен в точке синхронизации (нулевой момент)

Машина собрана из двух пакетов, между кото-

рыми установлена обмотка возбуждения. Ротор и статор выполнены из шихтованного железа, постоянные магниты отсутствуют. Обмотка статора распределенная (существуют варианты такого типа машин с сосредоточенной обмоткой [1]), трехфазная. Витки обмотки статора охватывают сразу оба пакета машины. Упрощенно принцип работы можно описать следующим образом: ротор стремится повернуться в такое положение, при котором направления магнитного потока в статоре и роторе совпадут. При этом половина электромагнитного момента образуется в одном пакете, а половина – в другом. Следует отметить, что машина подразумевает разнополярное питание, электромагнитный момент активный и образован за счет взаимодействия поля, созданного током обмотки возбуждения, с полем, созданного обмотками статора. По принципу работы эта машина отлична от классических шаговых и SRD двигателей, в которых момент реактивный. С точки зрения управления машина оказывается эквивалентна синхронной машине с контактными кольцами. Таким образом, вентильно-индукторный двигатель с независимым возбуждением обладает следующими преимуществами:

- Отсутствие скользящего контакта.
- Простота и технологичность конструкции.
- Управляемое возбуждение.
- Отсутствие перемагничивания ротора, а, следовательно, и отсутствие потерь в нем.
- Применение для управления машиной классического векторного управления.
- Использование стандартного трехфазного инвертора в управляющем преобразователе.
- Отсутствие риска повреждения инвертора из-за возникновения завышенной ЭДС двигателя при работе в зоне ослабления поля (в синхронной машине с постоянными магнитами такой риск есть).

К минусам можно отнести необходимость применять специальные меры для предотвращения замыкания магнитного потока возбуждения по подшипниковым щитам, в обход зубцов статора. Наличие такого паразитного пути может приводить к преждевременному выходу из строя подшипников качения.

Проверка системы управления и алгоритмов ослабления поля была проведена на лабораторном стенде с аналогичной по принципу работы машиной (имеющей сосредоточенные обмотки). На рис.3 показаны осциллограммы ступенчатого задания момента, его отработка, а также ослабление поля по мере разгона двигателя.

Несмотря на то, что ВИП имеет увеличенные массо-габаритные показатели по сравнению с приводом на постоянных магнитах, вследствие регулируемого возбуждения ВИП может реализовывать больший диапазон скоростей при постоянстве мощности, что делает эту машину привлекательной для тягового применения.

Как было показано в [1], вентильно-индукторный привод с независимым возбуждением с точки зрения управления и принципу работы эквивалентен классической синхронной машине.

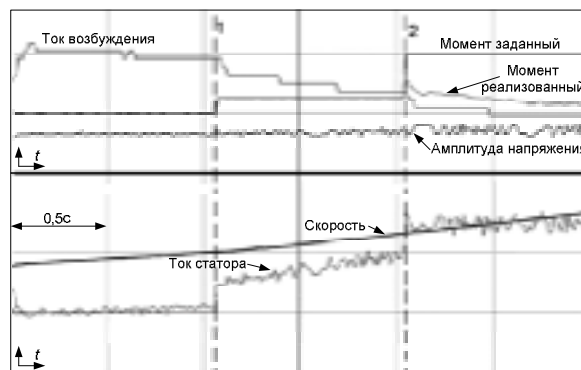


Рис.3. Осциллограмма скачкообразного задания момента при разгоне привода

Применение распределенной обмотки статора вместо сосредоточенной (обычно используется в машинах данного типа) должно уменьшить перемагничивание железа ротора, потенциально снизить уровень шума, что актуально для транспортного применения. Глубина ослабления поля в таком приводе ограничена только остаточным потоком и может быть значительно больше (10:1 и более), чем в синхронном приводе с постоянными магнитами, что увеличивает диапазон скоростей при работе с постоянством мощности. Для управления приводом может быть применена стандартная силовая база и классическая структура векторного управления, дополненная некоторым алгоритмом ослабления поля. При всём этом машина технологична в изготовлении, допускает большой перегрев, позволяет легко отводить тепло со статора, что делает перспективным использование вентильно-индукторного привода с независимым возбуждением в качестве тягового электропривода.

#### Список использованной литературы

Электропривод на базе вентильных индукторных машин с электромагнитным возбуждением / В.Ф.Козаченко, Д.В. Корпусов, В.Н. Остриров, А.М. Русаков // *Электронные компоненты*. – № 6. – 2005. – С. 60-64  
Получено 11.07.2011



Козаченко  
Владимир Филиппович,  
д.т.н., ген. директор  
ООО «НПФ ВЕКТОР»,  
Россия, Москва,  
ул.Красноказарменная, д.13,  
тел. +7-495-362-71-51  
KozachenkoVF@mpei.ru



Лашкевич Максим Михайлович,  
инженер-программист  
ООО «НПФ ВЕКТОР»,  
Россия, Москва,  
ул.Красноказарменная д.13,  
тел. +7-495-362-71-51  
maxsoftpage@yandex.ru