

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Лужнев А.И., студент; Мнускин Ю.В., ассистент, к.т.н.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Современное состояние электромеханики характеризуется постепенным переходом от нерегулируемого электропривода к регулируемому, что обусловлено необходимостью повышения качества производственных операций и увеличения производительности. Перспективным в этом направлении является бесколлекторный электропривод постоянного тока с вентильными реактивными двигателями (ВРД), которые обладают повышенной надежностью электромеханического преобразователя (ЭМП) при более высоких или не уступающих технико-экономических характеристиках по сравнению с АД или вентильными двигателями с постоянными магнитами.

Принцип действия ВРД основан на использовании реактивного вращающего момента, а коммутация фаз статора обеспечивается управляемыми полупроводниковыми ключами (вентильми).

ВРД состоит из ЭМП, силового полупроводникового преобразователя (СПП), устройства управления (УУ) и датчика положения ротора (ДПР) (рисунок 1). Питание ВРД обеспечивается от источника постоянного напряжения.

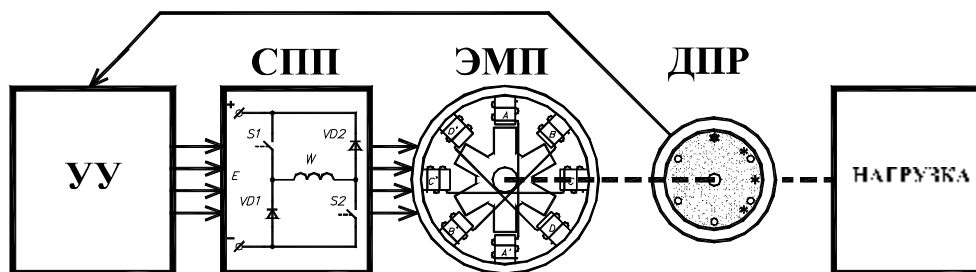


Рисунок 1 – Структурная схема ВРД.

Несмотря на значительные успехи в теории и практическом конструировании ВРД существует ряд специфических проблем, которые сдерживают широкое распространение ВРД и требуют дальнейшего изучения.

Актуальной проблемой является усовершенствование конструкции ЭМП с целью снижения пульсаций момента путём выравнивания его угловой характеристики. В [1] предложено компенсировать неравномерность электромагнитного момента двумя способами: с помощью алгоритмов нелинейного токового управления, использующих специально подобранную форму токовой волны, которая обеспечивает выравнивание момента и с помощью специальных регуляторов с применением обратных связей по электромагнитному моменту или производной частоты вращения.

В [2] также предложен способ компенсации неравномерности момента путём одновременного питания двух фаз четырёхфазного двухстаторного ВРД, в котором первый статор повернут относительно второго на 90 электрических градусов. Путём формирования питающих импульсов двух фаз пропорциональными  $\sin^2\theta$  выравнивается угловая зависимость электромагнитного момента  $M=f(\theta)$ . Однако использование данного способа значительно усложняет конструкцию ЭМП и схему питания фаз.

Еще одна проблема ВРД – повышенный уровень шумов. В [3] рассмотрены пять источников шума двигателя, определены методы его снижения. Все эти источники описываются резонансными звеньями не ниже второго порядка, в которых могут возникать как ударные колебания при разрывах производных возмущающих или управляющих воздействий, так и резонансные явления по первой или высшим гармоникам. При этом управляющим воздействием является питающее напряжение, а возмущающим – противоЭДС двигателя. Проблема снижения шумов требует дальнейших экспериментальных и теоретических исследований и может быть решена только при комплексном подходе с усовершенствованием конструкции двигателя и плавным формированием токов фаз.

Тепловые модели ВРД, предложенные отдельными авторами, не дают достоверного представления о распределении тепла в различных частях машины. Традиционные методики теплового расчёта ВРД требуют адаптации к особенностям конструкции и функционирования двигателя. Например, в [4] тепловая модель основана на расчете температуры перегрева в наиболее нагретой зоне с использованием способа интегральных аналогов с введением критерия подobia. Такой метод является достаточно приближённым, так как при оценке теплового состояния необходимо учитывать резкое изменение магнитного потока при коммутации обмоток, локальное насыщение зубцовой зоны, повышенную частоту перемагничивания ротора.

СПП является одним из наиболее изученных узлов ВРД. В [5] проанализированы основные варианты силовых и управляющих схем. Отмечено, что известные силовые схемы не используют всех возможностей двигателя. В частности, недостаточно изучена несимметричная коммутация фаз, которая позволяет повысить мощность ВРД, требуется усовершенствование схем защиты и формирования безопасной траектории переключения силовых элементов.

Современное направление развития УУ ВРД – использование вычислительных возможностей микропроцессорных контроллеров для реализации требуемых выходных характеристик двигателя, обеспечения заданных технико-экономических показателей. Возможность программного формирования характеристик (ПФХ) ВРД исследована в [5]. Для осуществления ПФХ произведен сравнительный анализ способов управления ВРД и предложено использовать комбинацию токового и широтно-фазового управления, которая обеспечивает эффективное формирование заданного электромагнитного момента при питании от нерегулируемого источника напряжения, а также позволяет получить максимальную энергетическую отдачу ВРД при высоких качественных характеристиках. Предложенная структура микропроцессорного УУ реализует ПФХ

путём сравнения текущих и заданных координат ВРД и выработки соответствующих управляющих воздействий – тока уставки, углов включения и выключения фаз. Управляющие воздействия определяются УУ в каждой точке выходных характеристик с использованием текущих значений напряжения питания, частоты вращения и углового положения ротора, режима работы, положения органов управления ВРД. Анализ полученных результатов показывает, что необходимо дополнительно исследовать особенности ПФХ, соответствующих распространённым видам нагрузки, не рассмотренным в работе [5], а также повышать точность ПФХ.

Точность ПФХ в значительной мере зависит от точности определения углового положения ротора с помощью ДПР. Для повышения точности наиболее распространённых оптических ДПР необходимо увеличивать их габариты, обеспечить минимальную ширину зоны срабатывания и максимальное быстродействие каждого элемента датчика. С учётом этих требований перспективным решением может стать применение лазерных светодиодов в качестве фотоизлучателей ДПР. Общий недостаток всех ДПР – невысокая надёжность работы в экстремальных условиях (вибрации, повышенная температура, влажность, запылённость, электромагнитные помехи), сложность конструкции. Поэтому всё интенсивнее развиваются косвенные способы, основанные на определении углового положения ротора с использованием известной экспериментальной или теоретической зависимости потокосцепления  $\psi(\theta)$ . В этом случае точность определения положения ротора зависит от точности и времени проведения расчёта потокосцепления, поэтому требуется повышенное быстродействие УУ.

В целом можно отметить, что современное развитие ВРД позволяет предположить всё большее их распространение, особенно в области высокотехнологичных применений (например, перспективные виды электротранспорта). Решение актуальных проблем ВРД позволит повысить их конкурентоспособность и расширить область применения путём замены традиционных электрических машин в регулируемом электроприводе.

#### Перечень ссылок

1. Шабает В.А., Лазарев М.В., Захаров А.В. Алгоритмы управления вентильно-индукторным электроприводом, обеспечивающие уменьшение неравномерности электромагнитного момента // Электротехника. 2005. №5. - С. 54-56.
2. Шайхиев А.Р. Улучшение тяговых свойств электроподвижного состава с вентильно-индукторным тяговым электроприводом с учётом ограничения по сцеплению. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Ростов-на-Дону, 2004. - 20 с.
3. Шабает В.А. Анализ шума вентильно-индукторного двигателя // Электротехника. 2005. №5. - С. 62-64.
4. Ильинский Н.Ф., Докукин А.Л., Кузьмичёв В.А. Тепловые модели вентильно-индукторного электродвигателя // Электричество. 2005. № 8. - С.27-33.
5. Мнускин Ю.В. Вентильный реактивный двигатель с программным формированием выходных характеристик. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Донецк, 2005. - 221 с.