

Нейман, А.А. Петрова, А.А. Скотников, О.В. Рогова // Электротехника. – 2011. – № 6. – С. 50а–53.

8. Нейман Л.А. Исследование нагрева электромагнитного двигателя в переходных режимах / Л.А. Нейман, А.А. Скотников, В.Ю. Нейман // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 50–54.

9. Нейман Л.А. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора / Л.А. Нейман, А.А. Петрова, В.Ю. Нейман // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 62–64.

10. Нейман В.Ю. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова // Транспорт: Наука, техника, управление: Научный информационный сборник. – М.: Изд-во ВИНТИ. – 2008. – № 6. – С. 21–24.

11. Нейман Л.А. Рабочий цикл двухкатушечной синхронной электромагнитной машины со свободным выбегом бойка / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Известия вузов. Электромеханика. – 2013. – № 6. – С. 48–52.

12. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование динамических процессов в электромагнитных преобразователях энергии для систем генерирования силовых воздействий и низкочастотных вибраций // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 4. С. 154–162.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЯМЫХ МАТРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЧАСТОТНО-ТОКОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*А.С. Поляков*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, Томск

Специфика автономных объектов состоит в том, что они должны надежно функционировать в течение длительного времени без возможности квалифицированного ремонта. Как правило, такие объекты обладают собственными источниками энергии, мощность которых сравнима с мощностью потребителей. Следствием этого являются жесткие требования к гармоническому составу потребляемого тока электрооборудования, а также их нечувствительность к скачкам напряжения.

Для потребителей электроэнергии – электровентиляторов, зачастую, исходя из требований массогабаритных показателей, функционирования в широком диапазоне температур и изменения скорости вращения, используют регулируемые электроприводы (ЭП). Это приводит к необходимости использования в ЭП преобразователя частоты.

Наиболее критичными в инверторном ЭП являются электролитические конденсаторы, ресурс которых значительно снижается при температурах, более

60°C. Это приводит к тому, что появляется необходимость замены батареи конденсаторов в процессе использования, что ухудшает эксплуатационные характеристики ЭП в целом.

В настоящее время для уменьшения объема применяют ЭП на основе синхронных машины с преобразователями частоты, построенные по схеме «неуправляемый выпрямитель» – «инвертор». Они просты в управлении и обладают относительно низким уровнем потерь, но потребляют несинусоидальный ток из сети. Для борьбы с этим недостатком применяют несколько методов, от активных фильтров до использования схемы двенадцатипульсного выпрямления.

В некоторых случаях ЭП включают в себя преобразователи вида «управляемый выпрямитель» – «инвертор» на ключах типа IGBT. В этом случае входной коэффициент мощности равен единице, но КПД такого преобразователя ниже, чем при использовании неуправляемого инвертора.

Обе вышеописанные структуры подразумевают использование батареи электролитических конденсаторов между выпрямителем и инвертором. Во-первых, сглаживаются пульсации, неизбежно возникающие при работе полупроводниковых элементов. Во-вторых, при переходе синхронной машины в генераторный режим в этой емкости скапливается избыточная энергия, которая впоследствии тем или иным образом рассеивается.

Существует также класс преобразователей, в силовой части которых отсутствуют накопители энергии значительного объема – матричные [1]. Структура непрямого матричного преобразователя приведена на рис. 1. Она была предложена в конце прошлого века, но из-за отсутствия эффективных двунаправленных ключей промышленного применения она не получила. Ситуация изменилась в последние несколько лет с появлением двунаправленных ключей нового поколения, так называемых RB-IGBT (Reserve - blocking IGBT) [2]. За счет особой структуры по статическому падению напряжения они приближаются к одиночным IGBT (разница составляет около 20%), а по динамическим потерям они практически идентичны.

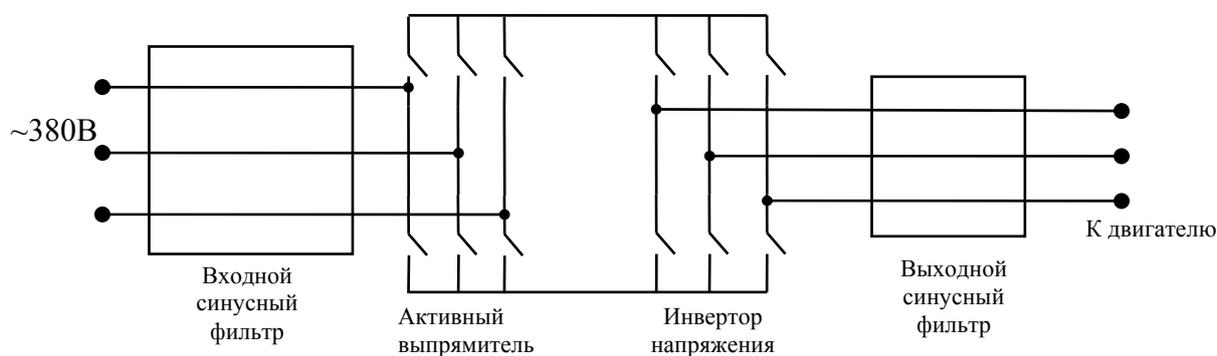


Рис. 1. Структурная схема непрямого матричного преобразователя

Выпрямитель основан на ключах переменного тока, что позволяет обеспечивать близкий к единице коэффициент потребляемой мощности и возможность рекуперации энергии в сеть. Основной задачей выпрямителя

является поддержание стабильного уровня напряжения, подаваемого на инвертор, который, в свою очередь, формирует напряжение необходимой для двигателя формы. Входной и выходной синусные фильтры необходимы для блокирования высокочастотных составляющих напряжения, которые неизбежно возникают при работе ключей.

Из-за отсутствия в матричных преобразователях батареи электролитических конденсаторов, они обладают рядом особенностей. Во-первых, непрямые матричные преобразователи обладают меньшими габаритами силовой части. Во-вторых, в случае работы синхронного двигателя в генераторном режиме условием для отсутствия скачков напряжения в преобразователе является необходимость сброса энергии в сеть. В-третьих, на инвертор может подаваться напряжение с высокочастотной переменной составляющей, что должно учитываться при организации управления.

Для управления ЭП используют скалярный или векторный методы формирования напряжения на выходе инвертора. Система управления на их основе достаточно известна.

Для устранения постоянной составляющей тока в трехфазной системе токов двигателя представляет интерес частотно-токовый метод [3], который, как следует из названия, осуществляет управление ЭП путем регулирования токов. Структура управления показана на рис. 2.

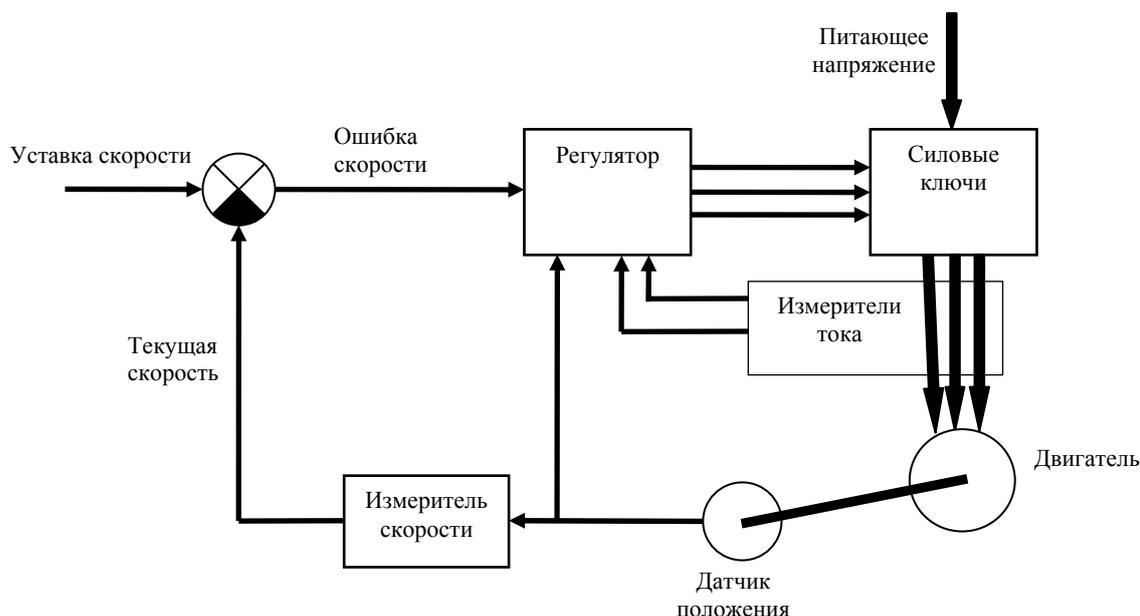


Рис. 2. Структурная схема частотно-токового управления

Регулирование происходит по двум контурам. Внешний контур вычисляет ошибку скорости вращения как разность между уставкой и текущей скоростью. Внутренний поддерживает необходимую форму и амплитуду тока. Эталонной формой тока является сигнал датчика положения, в качестве которого используется вращающийся трансформатор. Амплитуда регулируется в зависимости от сигнала ошибки скорости (обычно используется ПИ- или ПИД-регулятор).

Такой подход позволяет упростить блок управления, минимизировать размеры и увеличить срок службы электродвигателя, что особенно важно на автономных объектах. Минусом частотно-токового управления является чувствительность к пульсациям входного напряжения, что требует, как правило, использования батареи конденсаторов значительной емкости.

Этот недостаток объясняет отсутствие совместного применения не прямых матричных преобразователей и частотно-токового принципа управления. В случае вентиляторного характера нагрузки в ЭП отсутствуют резкие изменения момента, а потребляемый инвертором ток является постоянным (если не учитывать высокочастотные пульсации от работы ключей).

Рассмотрим зависимость формы токов двигателя в зависимости от величины конденсатора между выпрямителем и инвертором. На рис. 3 показана модель предлагаемого решения в среде Matlab. При величине нагрузки 8 кВт в обычном двухзвенном преобразователе используется фильтр с номиналом конденсаторов от 10000 до 25000 мкФ.

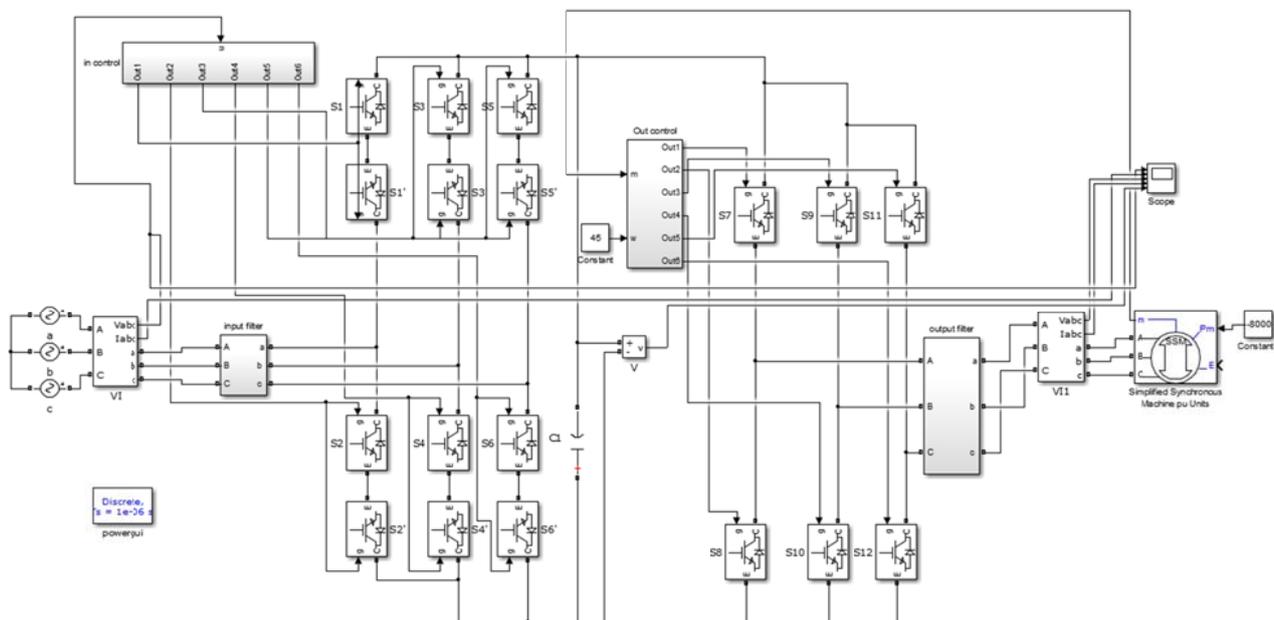


Рис. 3. Модель матричного преобразователя в среде Matlab.

На рис. 4 показаны результаты моделирования (напряжение, поступающее на инвертор и выходные токи) при различных значениях емкости  $C1$ .

Из рис. 4 видно, как при уменьшении емкости увеличивается влияние дополнительных гармоник, что негативно сказывается на КПД ЭП. Также при этом следует учитывать снижение прочности изоляции обмоток двигателя. Конкретный уровень допустимой величины дополнительных гармоник – оптимизационный параметр, являющийся компромиссом между габаритными размерами преобразователя, его ценой, необходимым сроком службы и рядом других параметров.

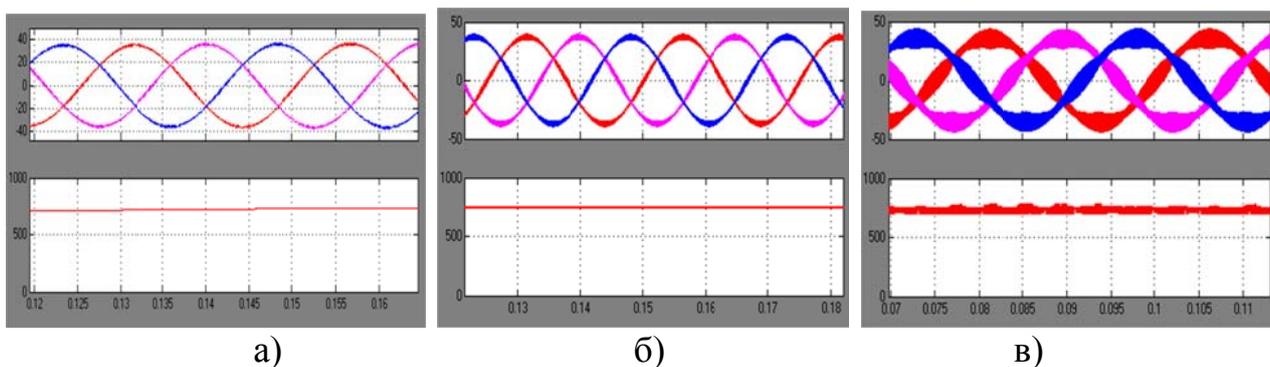


Рис. 4. Входное напряжение и выходные токи инвертора при различных значениях сглаживающей емкости:

а)  $C1=10000$  мкФ, б)  $C1=100$  мкФ, в)  $C1=10$  мкФ

В современных преобразователях хорошим достижением считается величина дополнительных гармоник менее 2-3%. На рис.е 4 этой величине соответствуют варианты а) и б). Таким образом, достаточно использовать емкость, в 100 раз меньшую, чем в преобразователях обычного типа.

В случае ЭП автономных объектов для расширения допустимого температурного диапазона требуется исключить применение электролитических конденсаторов в силовой части преобразователя. Для этого можно заменить электролитические конденсаторы на неэлектролитические. Учитывая, что емкость этих элементов отличаются в 50-100 раз (при тех же габаритах), можно создать непрямоугольный матричный преобразователь с тем же объемом, что и обычный двузвенный.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Р.Мотто, Дж.Ф. Донлон. Application Characteristics of an experimental RB-IGBT (Reserve Blocking IGBT) Module. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.pwtx.com/pwtx/app/04ias42p4.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
2. Т. Фрэндли, Дж.В.Колар. Milestones in Matrix Converter Research. //IEEEJ Journal of Industry Applications, Июль, 2012, – С. 2–14.
3. А.Б. Виноградов. Векторное управление электроприводами переменного тока.// ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».– Иваново, 2008.– 298 с.