

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В. В. Казаченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. В. Логвин

Экономия и рациональное использование электрической энергии являются важными проблемами для любого государства и человеческого общества в целом.

Известно, например, что в городском электрическом транспорте потери электроэнергии в переходных режимах составляют более 40 % от ее объема, потребляемого из сети.

Поэтому проблема уменьшения энергетических потерь в тяговых электроприводах за счет организации рационального режима их разгона и торможения является достаточно актуальной.

Качество системы управления электроподвижного состава оценивается по нескольким показателям, основными из которых являются: регулировочная способ-

ность; энергетическая эффективность; массогабаритные и стоимостные показатели; надежность; безопасность и эргономика обслуживания.

Микропроцессорная система управления тяговым электродвигателем (МПСУ) – комплекс компьютерного, электронного и электромеханического оборудования на основе IGBT-транзисторов для управления тяговыми электродвигателями. Основным принципом работы МПСУ является регулирование оборотов и вращающего момента тягового электродвигателя путем формирования в обмотках тягового электродвигателя импульсов электрического тока с заданной частотой и скважностью следования. При необходимости увеличения оборотов или вращающего момента импульсы становятся более частыми и длительными во времени, таким образом возрастает средний ток через тяговый электродвигатель. Если нужно понизить обороты или развиваемый момент, то МПСУ формирует более редкие и короткие импульсы в их временной последовательности, обеспечивая уменьшение среднего тока, проходящего через обмотки тягового электродвигателя. При работе с асинхронным электродвигателем переменного тока МПСУ также производит разложение постоянного напряжения контактной сети 600 В на многофазное переменное с регулируемой частотой вращения поля и изменением напряжения для контроля момента тяги или торможения.

Использование современных микропроцессорных систем управления тяговым электродвигателем позволяет избежать потерь электроэнергии на нагрев, тем самым значительно повысить КПД электропривода. Так же, за счет бесступенчатого увеличения тока в обмотках тягового электродвигателя, МПСУ позволяет достичь плавного разгона электропривода без рывков и толчков. Отсутствие сложных электромеханических устройств, механической коммутации положительно сказывается на надежности всего электрооборудования.

МПСУ можно условно разделить на три типа:

- работающие с двигателями постоянного тока;
- работающие с асинхронными электродвигателями;
- универсальные МПСУ, работающие с электродвигателями как переменного, так и постоянного тока.

Основным элементом систем управления современных преобразователей частоты является специализированный микроконтроллер, или цифровой сигнальный процессор (DSP). Построение системы управления на базе DSP обусловлено необходимостью произведения большого объема сложных вычислений в режиме реального времени для реализации современных алгоритмов управления.

Система управления может быть одно- или многопроцессорной. Однопроцессорные системы обладают рядом существенных недостатков: к микроконтроллеру предъявляются повышенные требования по наличию встроенных периферийных модулей и портов ввода–вывода, по быстродействию и объему памяти; значительно усложняется разработка программного обеспечения.

В настоящее время большинство преобразователей строится на двухпроцессорной основе. Первый процессор выполняет основные функции управления преобразователем частоты (реализация алгоритмов управления инвертором, выпрямителем, опрос датчиков и т. д.), второй обеспечивает работу пульта управления, связь с системой верхнего уровня и другие сервисные функции.

Микропроцессорная система управления электроприводом (МПСУ) состоит из:

- МПСУ выпрямителя;
- МПСУ инвертора;
- местного пульта управления с индикацией на базе контроллера и промышленного компьютера.

МПСУ обеспечивает:

- регулирование и стабилизацию напряжения выпрямителя;
- регулирование и ограничение тока заряда фильтра постоянного тока и тока нагрузки;
- регулирование и ограничение тока инвертора;
- регулирование оборотов электродвигателя в функции внешнего сигнала;
- плавный разгон и торможение электродвигателя с заданным темпом.

Частотное регулирование осуществляется по закону $U/f = \text{const}$, при котором соотношение между частотой статора поддерживается постоянным. Преимуществом этого закона является то, что электропривод может работать без отрицательной обратной связи по скорости и обладает естественной жесткостью механических характеристик в ограниченном диапазоне регулирования скорости.

Контроллер выпрямителя формирует импульсы управления выпрямителем с необходимым углом, величина которого зависит от тока и напряжения выпрямителя и напряжения сети.

Контроллер инвертора формирует импульсы управления тиристорами инвертора, причем модулируется средний шестидесятиградусный интервал проводимости каждого плеча. Частота модуляции находится в пределах 350–400 Гц и обеспечивается необходимым количеством импульсов модуляции для каждого конкретного значения выходной частоты. Глубина модуляции (скважность и количество импульсов) определяет величину выходного напряжения инвертора. При изменении глубины модуляции от нуля до единицы выходное напряжение инвертора изменяется от нуля до максимального значения, определяемого напряжением заряда фильтра.

Выходная частота задается от задатчика интенсивности, который плавно изменяет текущую частоту до значения, которое соответствует заданному. При превышении допустимых значений токов и напряжений изменение текущей частоты прекращается. Выходное напряжение задается в соответствии с выходной частотой.

Для эффективного управления электроприводом необходимо иметь информацию как о полном выходном токе инвертора (ток нагрузки), так и о его активной и реактивной составляющих. При прямоугольной форме выходного напряжения, как показали результаты моделирования различных вариантов, наиболее достоверную информацию дает использование измерения выходных токов инвертора для вычисления полного тока и его активной и реактивной составляющих основной гармоники.

Асинхронный ТЭД является более перспективным. Главными преимуществами асинхронного ТЭД являются большая экономичность и отсутствие коллектора с щетками.

Асинхронные тяговые двигатели с короткозамкнутым ротором в 2–4 раза легче двигателей постоянного тока, в 2–3 раза дешевле их, практически не имеют ограничений по силе тяги и току, обладают повышенной надежностью из-за отсутствия скользящих контактов (коллектора) и реализуют максимальную мощность во всем заданном диапазоне скоростей.

Кроме того, ввиду отсутствия коллектора в асинхронных двигателях не нужны устройства, облегчающие процесс коммутации, в том числе и добавочные полюсы. Максимальная частота вращения ротора не ограничивается допустимой окружной скоростью коллектора. Вращающееся магнитное поле позволяет обеспечить более высокое использование электромагнитных сил в электродвигателе. Поэтому асинхронный двигатель по сравнению с двигателем постоянного тока имеет меньшую массу, для его изготовления расходуется меньше дефицитных материалов. Снижение массы тягового двигателя является весьма важным еще и потому, что приводит к

уменьшению воздействия неподрессоренных масс электропривода. Асинхронные двигатели значительно надежнее в эксплуатации, менее трудоемки в обслуживании и ремонте. Как указывалось выше, частота вращения ротора асинхронного двигателя не может достигнуть частоты вращения магнитного потока статора. Благодаря этому асинхронные двигатели не допускают резкого повышения частоты вращения ротора при снятии механической нагрузки.

Быстрое развитие полупроводниковой техники и микроэлектроники привело к применению микропроцессорной системы управления тяговым приводом.

Микропроцессорная система обладает рядом преимуществ:

- электромеханическое преобразование энергии осуществляется более просто – регулируемый с помощью микропроцессорного средства управления, асинхронный электропривод позволяет устранить необходимость в трансмиссиях, коробках передач, редукторах;

- цена системы уменьшается путем эффективного регулирования во всем диапазоне скоростей;

- возрастает энергетическая эффективность системы – регулирование скорости снижает потери мощности в двигателях;

- управление вентильными преобразователями и создание выходных ШИМ-сигналов с высоко разрешающей способностью;

- модернизация функционирования – цифровое регулирование добавляет такие свойства, как изменение частотных свойств, диапазона контролируемых неисправностей и способность к взаимодействию с другими системами.

Предложены мероприятия, при которых как при частотном, так и при векторном способе управления осуществляется управление процессом разгона транспортного механизма с учетом протекания электромагнитных процессов и оптимизации энергетических затрат, что потребовало, в свою очередь, создания эффективных систем управления. Одним из критериев качества протекания электромагнитных процессов является величина перерегулирования, которая не превышает некоторого максимального значения в переходных режимах.