Черепенников А.В.

Актуальные проблемы систем управления электроприводом

*Пензенский государственный университет кафедра нано- и микроэлектроники
(Россия, Пенза)*

doi: 10.18411/lj-12-2018-193

idsp: ljjournal-12-2018-193

Аннотация

Современная промышленность характеризуется широким использованием электроприводов переменного тока. В данной статье рассмотрены развитие микропроцессорных систем управления и принципы построения систем управления электроприводом. Выявлены проблемы, решение которых, поможет наиболее эффективно использовать электроприводы на производстве.

Ключевые слова: инверторы напряжения, частотное регулирование, управление электроприводом, векторное управление, многоуровневые инверторы, статор, ротор, потеря устойчивости, преобразования энергии.

Введение

В настоящее время на производстве используется огромное количество оборудования питающегося от трехфазной сети переменного тока. Более 60 % этого оборудования составляют трехфазные асинхронные двигатели (АД), которые используются не только на стационарных, но и на подвижных объектах (на пример тепловоз). При этом не везде существует возможность провести промышленную трехфазную сеть для питания АД, к тому же в большинстве случаев необходимо контролировать скорость вращения вала и поддерживать механический момент на нем. Поэтому целесообразно применение инверторов напряжения.

Инверторы напряжения – электротехнические устройства, предназначенные для преобразования постоянного тока в переменный. Также они позволяют регулировать напряжение и частоту. Инверторы напряжения строятся на основе высокочастотных преобразователей электроэнергии, в которых используются полупроводниковые компоненты, так как они позволяют обеспечить максимальный коэффициент полезного действия (КПД). Инверторы напряжения входят в состав электропривода, как силовые преобразователи электрической энергии и устройства управления [1].

Преобразовательная техника играет большую роль в сфере автоматизации промышленности, а так же оказывает существенное влияние на расширение возможностей использования оборудования питающегося от сетей переменного тока.

Одной из задач использования инвертора напряжения в составе электропривода является энергосбережение. Эффективность энергосберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода. По этому главным образом современная техника развивается в направлении создания высокопроизводительных, компактных и экономичных систем управления электроприводом [2].

Развитие микропроцессорных систем управления

Первый микропроцессор появился в 1971 году, после чего, получило развитие новое направление в области цифровой управляющей электроники, которое в свою очередь положило начало созданию систем управления в реальном времени. За последние 20 лет структура электропривода перетерпела качественные изменения, что напрямую связано с переходом на новую компонентную базу построения силовых ключей (биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ или IGBT) и системы управления ими), и канала управления – высокопроизводительные микроконтроллеры специального назначения. Эти микроконтроллеры оснащены системой прямого

цифрового управления, это относится не только к прямому управлению силовыми ключами преобразователей, но и прямой связи с разнообразными датчиками обратной связи (датчики скорости, ускорения, температуры), а так же с дискретными исполнительными устройствами. Микропроцессорная техника была достаточно быстро адаптирована под задачи управления двигателями и силовыми преобразователями.

Для упрощения решения задач управления электроприводом, были созданы микроконтроллеры специализированного назначения, в которых специализированные периферийные устройства интегрированы непосредственно на кристалл. Они не требуют дополнительных средств сопряжения за счет высокопроизводительной архитектуры и развитой системы команд, что позволяет решать типовые задачи управления двигателем программным способом.

Вследствие роста степени интеграции в микропроцессорной технике появилась возможность встраивать специализированные периферийные устройства напрямую в кристалл. Что привело к переходу от аналоговых систем управления электроприводами на системы прямого цифрового управления, а так же переход от микропроцессоров к микроконтроллерам [3].

Принципы построения систем управления электроприводом

В основе построения системы управления электроприводом лежит совокупность связанных между собой физических принципов, а так же способы организации управления и взаимодействия функциональных элементов системы [4].

Широко известен способ управления асинхронным электроприводом, при котором напряжение на обмотках статора не изменяется, то есть регулирование скорости вращения, производится частотой. Этот метод регулирования малоэффективен, так как позволяет осуществлять регулирование в узком диапазоне скоростей. Поэтому обычно регулирование производится двумя параметрами – частотой и напряжением, данные параметры могут регулироваться принципиально независимо друг от друга, к тому же напряжение и частота определяют параметры механической характеристики асинхронного двигателя. Обычно в качестве независимого воздействия берется частота, а вид механической характеристики, значение пускового тока и критического момента, определяется значением напряжения. Такая система управления называется скалярной, в ней реализуется частотный способ управления с законом частотного регулирования [5].

В большинстве систем управления электроприводом реализован закон частотного регулирования, при котором напряжение изменяется пропорционально частоте, то есть отношение напряжения к частоте является некоторым постоянным числом. Достоинством такого закона регулирования является естественная жесткость механических характеристик и возможность его реализации без обратной связи по скорости. Но главным его недостатком является, то, что его применение возможно лишь в определенном диапазоне скоростей, так как вне этого диапазона механические характеристики электропривода начинают «плавать». Закон частотного регулирования удобен еще и тем, что подобрав соответствующее соотношение между напряжением и частотой, его можно адаптировать под любую нагрузку [6].

Общий принцип построения системы управления электроприводом, на базе частотного регулирования отражает функциональная схема, изображенная на рисунке 1. Здесь, в зависимости от характера нагрузки реализуется один из законов частотного управления, за это отвечает функциональный преобразователь (блок Б). Задатчик интенсивности (блок А) отвечает за плавность подачи сигнала нарастания, количества оборотов, на асинхронном двигателе (блок Г). Немаловажной частью данной схемы является полупроводниковый преобразователь (блок В), в состав которого входят инвертор напряжения и система управления им.

А – задатчик интенсивности, Б – функциональный преобразователь, В – полупроводниковый преобразователь, Г – асинхронный двигатель

Рисунок 1 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным управлением

Системы управления асинхронными приводами, строящиеся на базе частотного управления, относительно дешевые, но не могут обеспечить точного управления скоростью вращения вала электродвигателя. Они находят свое применение в электроприводах насосов, вентиляторов, компрессоров, то есть везде, где нет жестких требований к скорости вращения, но необходимо повышение КПД при неизменном энергопотреблении [7].

Обеспечить возможность быстрого непосредственного управления моментом электродвигателя, как в статических, так и в динамических режимах работы, в широком диапазоне скоростей позволяет система векторного управления. Данный вид системы управления так назван по тому что физические величины в ней представляются как вектора. Система векторного управления обеспечивает возможность раздельного регулирования потокосцепления и скорости вращения электродвигателя, что по характеристикам приближает электропривод переменного тока к приводу постоянного тока.

На рисунке 2 изображена функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением, она принципиально отличается от схемы скалярного управления. Если сравнить схему векторного управления и скалярного, то на рисунке 2 регуляторы (блок А) не имеют принципиального отличия от задатчика (блок А на рисунке 1). Регулятор осуществляет прямое управление с учетом обратной связи через наблюдатель (блок Б). Он осуществляет обратную связь по координатам, через преобразователь координат (блок В), а так же в наблюдателе восстанавливаются не измеряемые переменные необходимые для регулирования. В некоторых случаях, наблюдатель используется для оценки скорости. Полупроводниковый преобразователь и асинхронный двигатель осуществляют те же функции, что и при скалярном управлении.

Применение векторной системы управления целесообразно в случаях, когда требуется точное регулирование скорости вращения ротора, например, в станках, транспортерах, подъемных механизмах. Данная система управления имеет большую стоимость относительно скалярной, но в последнее время происходит отказ от применения датчиков скорости и переход на алгоритмы управления, оценивающие механические величины, что ведет к повышению надежности и уменьшению стоимости [8].

А – регуляторы, Б – наблюдатель, В – преобразователь координат, Г – полупроводниковый преобразователь, Д – асинхронный двигатель

Рисунок 2 – Функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением

В середине 90-х годов был предложен новый метод управления электроприводом – метод прямого управления моментом. Он является продолжением векторного управления, и заключается в том, что на каждом шаге расчета определяется оптимальное состояние инвертора напряжения по значению момента и потока статора, в данной системе широтно-импульсный модулятор не является отдельным звеном. Система реализует векторное регулирование скорости, математический аппарат которого основан на дифференциальных уравнениях динамики асинхронного двигателя и векторных соотношениях. Метод одинаково корректен как для переходных, так и для установившихся процессов, что существенно повышает динамический диапазон работы системы. Задача контура скорости – задать мгновенное положение вектора тока, необходимое для поддержания заданной скорости. Задача контура тока – обеспечить реальное положение и амплитуду вектора тока равными заданным значениям [9].

Метод прямого управления моментом имеет существенные преимущества по сравнению с ШИМ-управлением. Он позволяет строить более скоростные системы, мгновенно реагирующие на возмущающие воздействия, и одновременно рассеивать меньше энергии в силовых ключах по сравнению с методом ШИМ.

Актуальные проблемы

В настоящее время значимой проблемой в создании систем управления электроприводом является уменьшение энергопотребления и влияния на сеть помех, создаваемых во время работы электропривода. Данные проблемы можно решить путем рекуперации энергии, но в связи с возросшими требованиями к качеству возвращаемой и потребляемой электрической энергии необходимо применять иные системы управления электроприводом. По этому, остро стоит вопрос проектирования системы четырехквadrантных электроприводов переменного тока. Данные системы позволяют электроприводу работать в тормозном режиме долгое время, отдавая при этом в сеть синусоидальный ток.

Другой не менее важной проблемой является увеличение КПД электропривода. Так как большинство управляемых инверторов напряжения электроприводов строятся на основе широтно импульсной модуляции (ШИМ), то для увеличения КПД необходимо уменьшить потери в силовых ключах. Для чего обычно уменьшают несущую частоту, но это приводит к увеличению амплитуд высших гармоник, а следовательно влечет за собой увеличение потерь в двигателе. Для решения данной проблемы увеличивают количество уровней инвертора, что позволяет уменьшить мощность ключей. Каждый уровень такого инвертора производит квантование напряжения, с увеличением числа уровней и подбором длительности каждого уровня фазное напряжение приближается к синусоиде [10].

И так, многоуровневые инверторы позволяют уменьшить потери, а, следовательно, увеличить КПД, и одновременно улучшить гармонический состав напряжения, используемого для питания электродвигателя.

Не менее актуально стоит вопрос об изменении параметров двигателя вследствие его нагрева. При изменении температуры двигателя изменяются активные сопротивления статора и ротора, что приводит к неверному оцениванию магнитного потока, а это ведет к снижению энергетической эффективности процесса преобразования энергии и потери устойчивости.

Для оценки магнитного потока необходимо знать точные параметры схемы замещения двигателя, для этого производится измерение параметров двигателя в статическом режиме, путем подачи на него стандартных возмущающих воздействий. Этот метод позволяет уточнить параметры двигателя в нормальном состоянии. Компенсация вариации параметров двигателя, вызванная его нагревом, осуществляется путем приблизительной оценки температурной ошибки, на основе двойного вычисления составляющих вектора потокосцепления ротора по уравнениям статорной и роторной цепи [11].

Заключение

Современная промышленность предполагает использование высокоэффективных технологий с точки зрения энергосбережения и эффективности управления. Повышение энергосбережения в современной технике достигается уменьшением потерь во время преобразования энергии, а эффективность управления исследованием особенностей физических процессов протекающих в различных системах.

Электропривод является неотъемлемой частью большого количества электрооборудования, используемого в промышленности. На данный момент основной упор при разработке систем управления на построение математической модели электродвигателя с учетом насыщения магнитопровода и потерь в стали, для чего разрабатываются методики и устройства идентификации параметров электродвигателя. Для решения проблемы энергосбережения разрабатываются алгоритмы функционирования с оптимальным управлением токами. То есть на современном этапе проектирования электроприводов не требуется разработка аппаратной части системы управления, требуется разработка новых алгоритмов управления, следовательно, возрастает потребность в специалистах в области теории электропривода.

1. Козаченко В.Ф., Обухов Н.А., Трофимов С.А., Чуев П.В. Применение DSP-микроконтроллеров фирмы «Texas Instruments» в преобразователях частоты «Универсал» с системой векторного управления// Электронные компоненты. N4, -2002, -с. 61
 2. Баев А.П., Исаков А.С. Современные системы управления асинхронным электроприводом. <https://cyberleninka.ru/article/v/sovremennye-sistemy-upravleniya-asinhronnym-elektroprivodom>
 3. Козаченко В.Ф. Микроконтроллерные системы управления электроприводами: современное состояние и перспективы развития. <http://www.motorcontrol.ru/publications/controllers.pdf>
 4. Шабанов В.А., Кабаргина О.В. О законах частотного регулирования синхронных двигателей на нефтеперекачивающих станциях. http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Shabanov/Shabanov_2.pdf
 5. Бичай В.Г., Пиза Д.М., Потапенко Е.Е., Потапенко Е.М. Состояние, тенденции и проблемы в области методов управления асинхронными двигателями. <https://cyberleninka.ru/article/v/sostoyanie-tendentsii-i-problemy-v-oblasti-metodov-upravleniya-asinhronnymi-dvigatelyami>
 6. Макаров В.Г. Актуальные проблемы асинхронного электропривода и методы их решения. <https://cyberleninka.ru/article/v/aktualnye-problemy-asinhronnogo-elektroprivoda-i-metody-ih-resheniya>
 7. Башарин А.В. Новиков В.А. Соколовский Г.Г. Управление электро-приводами. Издательство: Ленинград энергоиздат, ленинградское отделение 1982 г. – 83 с.
 8. Москаленко В.В. Структуры и принципы построения схем управления электропривода; издательство Инфра-М, 2004 г. – 14 с.
 9. Баев А.П., Гончаренко М.Р., Исаков А.С., Осипцева О.С. Особенности проектирования четырехквadrантных асинхронных электроприводов. <https://cyberleninka.ru/article/v/osobennosti-proektirovaniya-chetyrehkvadrantnyh-asinhronnyh-elektroprivodov>
 10. Полякова Л.Ю. Современные преобразователи частоты <http://masters.donntu.org/2006/eltf/borzilov/library/book6.htm>
 11. Баев А.П., Исаков А.С. Современные системы управления асинхронным электроприводом. <https://cyberleninka.ru/article/v/sovremennye-sistemy-upravleniya-asinhronnym-elektroprivodom>
-