

ПАВЛОВ Е. С., ТУТАЕВ Г. М.
ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННЫМИ
ДВИГАТЕЛЯМИ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Аннотация. Позиционные электроприводы, как правило, строятся на базе синхронной машины с постоянными магнитами, двигателях постоянного тока с независимым возбуждением, а также асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором. Однако преимущество использования асинхронного двигателя с фазным ротором состоит в большем числе возможных каналов управления: токи, напряжение и частоты статора и ротора, управление сдвигом фаз между током и напряжением, а также форма питающего напряжения.

Ключевые слова: электропривод, широтно-импульсная модуляция, двигатель двойного питания, преобразователь частоты, генератор треугольных напряжений.

PAVLOV E. S., TUTAEV G. M.
FEATURES OF CONTROL OF POSITIONING MOTORS WITH DOUBLE POWER

Abstract. Positional electric drives, as a rule, are built on the basis of a synchronous machine with permanent magnets, DC motors with independent excitation, and an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor. However, the advantage of using a wound-rotor induction motor is the greater number of possible control channels: currents, voltages and frequencies of the stator and rotor, control of the phase shift between current and voltage, as well as the form of the supply voltage.

Keywords: electric drive, pulse width modulation, double power motor, frequency converter, triangular voltage generator.

Позиционный электропривод – это автоматизированный электропривод, предназначенный для регулирования положения исполнительного органа рабочей машины. Он применяется во многих технических устройствах: в промышленных машинах, станках ЧПУ, в автоматизированных телескопах, манипуляторах и т.д.

Асинхронный электропривод двойного питания – система «преобразователь частоты – двигатель», в которой обмотки статора и ротора асинхронного двигателя подключены к источнику энергии и одна из них получает питание от преобразователя частоты [1].

Энергоэффективное управление позиционным электроприводом на базе двигателя двойного питания является технологическим процессом, который позволяет выполнить движение целевого объекта по определённой траектории с минимальным расходом энергии.

Для этого применяются специальные алгоритмы управления, которые позволяют оптимизировать работу двигателя и регулятора скорости.

Важным элементом такой системы является механизм коммутации двигателя. Он может быть осуществлен двумя способами: с использованием обычного коммутатора или бесконтактного электронного регулятора.

В случае использования коммутатора для управления позиционным приводом необходимо заранее знать примерную траекторию движения объекта, чтобы точно определить положение ротора. При использовании электронного регулятора скорости такой проблемы не возникает, поскольку он позволяет контролировать положение ротора в режиме реального времени.

В псевдосинусоидальных источниках питания теоретически возможно управление двигателя двойного питания (ДДП) путем изменения восьми величин: частоты, амплитуды, фаз и форм напряжений на двух обмотках [2], что достигается преобразователями с одноканальным [3; 4; 5; 6; 7; 8] или двухканальным управлением ДДП [2]. Для управления используются автономные инверторы напряжение-ток [9]. При одноканальном управлении одна из обмоток может питаться от сети или неуправляемого инвертора, а другая обмотка – от управляемого инвертора.

Обычная проблема низкой частоты и амплитуды питающей сети переменного тока с частотным регулированием приводит к несинусоидальным искажениям тока и, следовательно, к пульсациям момента и скорости, которые в случае ДДП не столь существенны. Благодаря принципу формирования разности частот, частота питания остается высокой даже при глубоком регулировании скорости. Это гарантирует синусоидальный ток во всем диапазоне частот, даже при переключении на 180° .

Кроме частоты и амплитуды, регулируемыми параметрами могут выступать также фаза и форма питающего напряжения, поэтому в приводах ДДП используется синусоидальная ШИМ. Амплитуда напряжения и его форма могут задаваться как с помощью различных устройств (рисунок. 1) (индивидуальная настройка), так и с помощью одного устройства (рисунок 2) (комбинированная настройка).

При использовании электроприводов с одноканальным управлением двигателем, если мы установим меньшую амплитуду основной гармоники, это приведет к сокращению длительности импульсов ШИМ. В результате, часть этих импульсов может быть упущена, так как силовые ключи не успевают включиться. Это, в свою очередь, приводит к более грубому формированию огибающей синусоиды. Из-за указанных ранее изменений в электроприводах с одноканальным управлением двигателем искажается форма тока в обмотках. Это приводит к появлению дополнительных пульсаций момента и частоты вращения, которые затрудняют демпфировать с помощью системы управления.

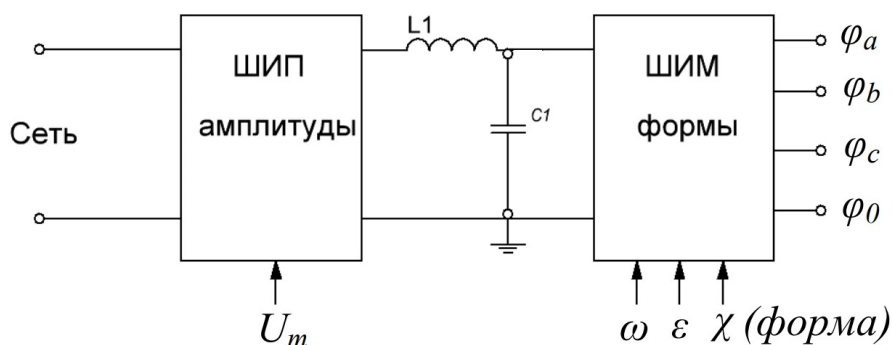


Рис. 1. Преобразовательное устройство с индивидуальным заданием амплитуд и формы питающих напряжений.

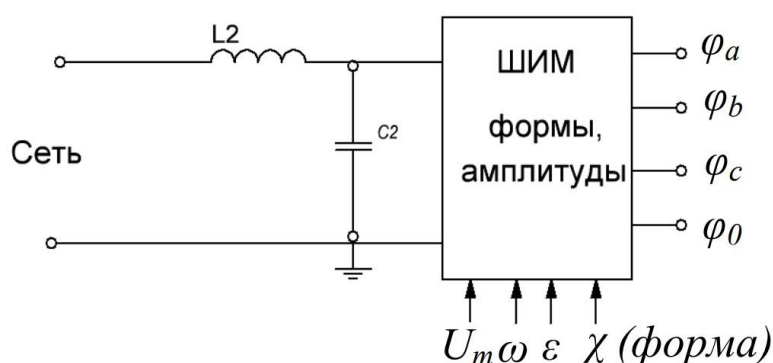


Рис. 2. Преобразовательное устройство с комбинированным заданием амплитуд и формы питающих напряжений.

Для избежания описанных проблем возможно использование регулирования амплитуды напряжения с помощью широтно-импульсного преобразователя (ШИП), отдельно от настройки формы с помощью ШИМ (рисунок 1). Добавление фильтра на выходе амплитудного ШИП не оказывает влияния на общие скоростные характеристики привода, поскольку частота импульсов ШИП может достигать десятков килогерц, а постоянная времени фильтра может быть выбрана относительно небольшой. Главным недостатком является увеличение количества оборудования, что приводит к увеличению массы, габаритов и сложности системы. Конкретно, имеется необходимость в использовании двух статических инверторов постоянного тока для регулирования амплитуды выходного напряжения и двух автономных инверторов с ШИМ.

В ДДП, применяется частотно-разностный принцип для формирования скорости. Этот принцип позволяет достичь относительно небольшого изменения частоты в самом широком диапазоне регулирования скорости. В случае ДДП, регулирование амплитуды обычно осуществляется в том же диапазоне, что и регулирование частоты, то есть в менее широком

диапазоне. Это позволяет избежать искажения формы сигнала напряжения и обеспечить стабильность работы ДДП. В электроприводе с двойным питанием это обстоятельство позволяет использовать только два комбинированных автономных инвертора (АИ) (рисунок 2), которые примерно такой же сложности, как и ШИМ без амплитудного управления. При этом отпадает необходимость в отдельном управлении формой и амплитудой напряжения.

В качестве элементной базы для позиционного электропривода практически всегда используются транзисторные ключи. Они обеспечивают эффективное управление электрическими сигналами и позволяют реализовать точное и быстрое позиционирование привода. Это связано с их высокой коммутационной скоростью и надежностью работы [10; 11; 12]. Помимо этого, используются сборки и микросхемы на их основе. Это в свою очередь упрощает схему управления. Различают следующие схемы управления транзисторными АИ: аналоговые, аналого-цифровые и цифровые.

В аналоговых схемах [13] для формирования импульсов ШИМ используется компаратор. На один из входов компаратора подаются импульсы от генератора синусоидального напряжения (ГСН), а на другой вход – импульсы от генератора треугольного напряжения (ГТН). Таким образом, компаратор осуществляет сравнение двух входных сигналов и формирует соответствующие импульсы ШИМ. Частоты сигналов от ГСН и ГТН обычно синхронизированы, при этом частота ГТН значительно превышает частоту ГСН. Для формирования выходного сигнала используется изменение частоты ГТН и ГСН одновременно (это обеспечивает постоянное количество импульсов ШИМ за период модуляции выходного напряжения), а изменение амплитуды осуществляется при помощи изменения амплитуды ГСН. Аналоговая схема управления АИ имеет преимущество в управлении частотой и амплитудой, но не может обеспечить простое управление формой и фазой в динамике.

В цифро-аналоговых схемах для формирования синусоидальной волны используется цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) выходного сигнала с постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), где записываются оцифрованные значения синусоидальной волны на небольших фиксированных интервалах фазы. Для этого применяется схема дискретизации с тактовым генератором и счетчиком, а также ЦАП выходного сигнала с фильтром нижних частот для сглаживания пульсаций. Остальная часть схемы идентична аналоговому варианту. Такой подход упрощает формирование синусоидальных напряжений, включая многофазные режимы. Регулирование частоты выходного напряжения осуществляется путем управления частотой тактовых импульсов выборки, а амплитуда определяется напряжением питания ЦАП. Код счетчика в схеме выборки используется для управления фазой. Цифровые схемы формирования синусоиды обеспечивают простую синхронизацию всех процессов в

многофазном инверторе и основываются на основных принципах синусоидальной широтно-импульсной модуляции [14].

Для создания схемы управления используются тактовый генератор, счетчики и элементы ПЗУ. В ПЗУ заранее записывается информация об управляющих импульсах для силовых ключей. Период огибающей выходного напряжения разбивается на относительно большие тактовые интервалы, например, 16, 32, 64 и т. д. Внутри каждого тактового интервала размещаются импульсы переключения для силовых ключей автономного инвертора. Распределение импульсов задается таким образом, чтобы минимизировать нелинейные искажения выходного сигнала. Для каждого такта или дискретной фазы, устанавливается значение ноль (без импульсов) или единица (с импульсами) в соответствии с заранее заданной последовательностью. Результаты выполненного деления тактовых интервалов на нули и единицы последовательно записываются в ячейки ПЗУ. Число ячеек ПЗУ соответствует количеству тактовых интервалов, и каждая ячейка содержит информацию о соответствующем состоянии (ноль или единица) для данного интервала. При работе генератора тактовых импульсов, схемы управления с помощью счетчика ПЗУ и содержащегося между ними счетчика формируют последовательность цифр в порядке возрастания разрядов, и соответственно считываются нули или единицы, поступающие из ячеек памяти на выход ПЗУ, а оттуда-на силовой ключ схемы управления в соответствующей фазе. Вообще говоря, этот метод не является полным значением термина ШИМ, так как импульсы не обязательно имеют одинаковый интервал. В многофазном АИ может использоваться несколько ПЗУ, в зависимости от количества фаз. Частота формируется изменением частоты тактовых импульсов, а фаза-принудительной записью в код счетчика, соответствующего новому значению фазы. Однако амплитуда в этом случае не регулируется. Это является недостатком рассмотренного метода, и для его корректировки может быть использована, например, схема, в которой амплитуда и частота устанавливаются отдельно.

Более функционально гибким является метод одновременного формирования импульсов различной длительности (например, одновибратором) и последовательной их коммутации на выход [15; 16; 17; 18; 19].

Таким образом, энергоэффективное управление позиционным электроприводом на базе двигателя двойного питания является важным шагом в развитии современных технологий автоматизации и контроля движения объектов. Его применение позволяет не только сократить расход энергии, но и повысить точность и стабильность работы системы.

Согласно этому методу, период огибающей выходного напряжения разделен на определенное количество равных по величине тактовых интервалов. Для каждого тактового интервала генерируется ШИМ-импульс, длительность которого пропорциональна величине

тактового интервала и зависит от синусоидальной зависимости. Во время работы схемы генератор тактовых импульсов с помощью счетчика последовательно формирует ряд тактовых импульсов, которые используются для создания ШИМ-импульсов в каждом тактовом интервале. При каждом поступлении тактового импульса, специальный формирователь создает полный набор ШИМ-импульсов для всех тактовых интервалов. Выход формирователя подключен к коммутатору, который управляется счетчиком тактовых импульсов. Коммутатор выбирает ШИМ-импульсы, соответствующие числу тактовых интервалов, и подает их на выход. Для формирования относительных длительностей ШИМ-импульсов могут использоваться запоминающие устройства [17; 18] или одиночные вибраторы с различными характеристиками [16]. В многофазных системах число коммутаторов равно числу фаз, а последовательность ШИМ-импульсов, переключающая на соответствующий выход (фазу), программируется на сдвиг на требуемый угол (число необходимых тактовых интервалов). Частота выходного напряжения задается частотой тактовых импульсов, а фаза-количеством последующих интервалов (заставляя счетчик считать против естественной последовательности). Управление амплитудой представляет собой другую задачу и имеет иное решение.

Анализируя известные схемы управления АИ, можно сделать вывод, что большинство из них не имеют возможности управлять четырьмя параметрами выходного напряжения – частотой, амплитудой, фазой и формой – независимо друг от друга. В большинстве случаев изменение одного параметра (например, частоты) приводит к изменению и других параметров, что ограничивает гибкость и точность управления. Это является недостатком существующих схем и может быть предметом дальнейших исследований для разработки более эффективных методов управления АИ с возможностью независимой регулировки каждого параметра. Однако в сочетании с соответствующим и модификациями такие схемы могут быть созданы. Это практически невозможно без применения цифровых компонентов. Поэтому для регулировки амплитуды, частоты, фазы и формы необходимо использовать цифроаналоговое или полностью цифровое устройство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50369-92. Электроприводы. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1993.
2. Сабинин Ю. А., Грузов В. Л. Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 128 с.
3. Ботвинник М. М., Шакарян Ю. Г. Управляемая машина переменного тока. – М.: Наука, 1969. – 140 с.

4. Бродовский В. Н., Иванов Е. С. Исполнительные устройства с многофазными электродвигателями переменного тока // Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 3. Исполнительные устройства и сервомеханизмы / Под ред. В. В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1976. – С. 239–295.
5. Бродовский В. Н., Иванов Е. С. Приводы с частотно-токовым управлением. – М.: Энергия, 1974. – 168 с.
6. Блоцкий Н. Н., Шакарян Ю. Г., Плотникова Т. В. Аналитический расчёт переходных процессов в АС машинах при заданном изменении некоторых переменных // Режимы работы асинхронизированных синхронных машин: Сб. статей. – М., 1982. – С. 8–17.
7. Онищенко Г. Б., Локтева И. Л. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
8. Слежановский О. В., Дацковский Л. Х., Кузнецов И. С., Лебедев Е. Д., Системы Л. М. подчинённого регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
9. Блоцкий Н. Н., Лабунец И. А., Шакарян Ю. Г. Машины двойного питания. Итоги науки и техники. Сер. Электрические машины и трансформаторы. – Т. 2. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1979. – 124 с.
10. Голубев П. В., Карпенко В. М., Коновалов М. Б., и др. Проектирование статических преобразователей. – М.: Энергия, 1974. – 408 с.
11. Соустин Б. П., Иванчура В. И., Чернышев А. И., Исляев Ш. Н. Системы электропитания космических аппаратов. – Новосибирск: ВО "Наука". Сибирская издательская фирма, 1994. – 318 с.
12. Герман-Галкин С. Г., Лебедев В. Д., Марков Б. А., Чичерин Н. И. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 248 с.
13. Слепов Н. Н., Дроздов Б. В. Широтно-импульсная модуляция. (Анализ и применение в магнитной записи). – М.: Энергия, 1978. – 192 с.
14. Забуга В. А., Лопатин Ю. Н. Система управления инверторами с ШИМ по синусоидальному закону // Устройства автоматики автономных объектов: Межвуз. сб. – Красноярск: КрПИ, 1985. – С. 8–13.
15. А. с. 1026282 СССР, МКИЗ Н 02 Р 13/18. Устройство для управления автономным инвертором / Г. В. Чалый, Ю. А. Дмитриенко, В. И. Олещук (СССР). – № 3403632/24–07; Заявлено 11.03.1982; Опубл. 30.06.1983, Бюл. № 24.

16. А. с. 542323 СССР, МКИ2 Н 02 Р 13/16. Способ цифрового формирования синусоидального тока нагрузки / В. М. Абушкин, А. И. Чернышев (СССР). – № 2076559/07; Заявлено 21.11.1974; Оpubл. 05.01.1977, Бюл. № 1.
17. А. с. 613476 СССР, МКИ2 Н 02 Р 13/18. Цифровая система управления инвертором напряжения / Г. С. Зиновьев, Н. А. Красиков (СССР). – № 2365893/07; Заявлено 01.06.1976; Оpubл. 30.06.1978, Бюл. № 24.
18. А. с. 985923 СССР, МКИЗ Н 02 Р 13/18. Цифровое устройство для управления инвертором напряжения / В. Л. Грузов, А. Н. Полозок, А. В. Родионов, В.А. Тихановский (СССР). – № 3302412/24–07; Заявлено 19.06.1981; Оpubл. 30.12.1982, Бюл. № 48.
19. А. с. 995258 СССР, МКИЗ Н 02 Р 13/18. Устройство для управления автономным инвертором / В. Л. Грузов, В. А. Тихановский (СССР). – № 3275334/24–07; Заявлено 13.04.1981; Оpubл. 07.02.1983, Бюл. № 5.