

Оптимизация КПД при проектировании векторного управления асинхронными двигателями на транзисторных инверторах

Виктор Зайцев, Игорь Никифоров, Александр Жилин
(Челябинская обл.)

В статье рассмотрены варианты формирователя ШИМ, а также описана реализация алгоритмов векторного управления АСД на современной элементной базе.

Асинхронные двигатели (АСД) мощностью до 400 кВт сегодня широко используются в промышленности и на транспорте благодаря надёжности и хорошим массогабаритным характеристикам. В зависимости от мощности применяемого электродвигателя, изменяются требования к энергетическим характеристикам привода. Например, при мощности привода более 10 кВт на первый план выходят показатели энергосбережения, зависящие от принципа регулирования и алгоритма управления АСД, которые напрямую связаны с потерями в системе «инвертор – двигатель».

ВЫБОР АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АСД

На сегодняшний день наиболее распространённым способом формирования ШИМ-сигналов для преобразователей схем управления АСД является

ся алгоритм с векторным типом коммутации. Рассмотрим его преимущества и недостатки.

Векторный алгоритм переключения транзисторов позволяет реализовать форму фазного напряжения каждой обмотки двигателя, максимально приближённую к синусоидальной, с регулировкой амплитуды. При использовании такой коммутации каждый транзистор открыт ровно настолько, чтобы обеспечить амплитуду и частоту синусоиды, необходимые для максимально возможного КПД по мощности. Однако из-за инерционности транзисторов и диодов, в такой схеме могут возникать большие сквозные токи в момент переключения. Для их устранения осуществляется программная задержка управляющих сигналов и используются диоды с нормированным временем восстановления обратного сопротивления.

Рассмотрим простую схему векторного управления трёхфазным асинхронным двигателем с инвертором на базе IGBT-модулей (см. рис. 1), испытанную на стендовом оборудовании в лабораторных условиях. Данная схема состоит из блока питания 1, трёхфазного асинхронного двигателя 2, датчиков тока 3 в каждой фазе АСД, вольтметра 4, IGBT-модулей 5 и их драйверов 6, инвертирующих усилителей 7 с коэффициентом усиления 1 В/В каждый, задатчика 8 постоянной частоты 60 Гц, генератора частоты дискретизации (500/1500 Гц) 9 и двухчастотного суммирующего усилителя 10.

На блок питания 1 подаётся 380 В переменного тока, после трёхфазного выпрямления на выходе получается 550 В постоянного тока. Инвертор состоит из шести IGBT-модулей 5, содержащих три верхних и три нижних ключа. Генератор частоты дискретизации 9 формирует базовую частоту 500 Гц, которая сравнивается с постоянной частотой 60 Гц, установленной задатчиком 8, и через двухчастотный суммирующий усилитель 10 подаётся на блок драйверов 6.

В процессе испытаний были получены осциллограммы, приведённые на рисунке 2. На верхней осциллограмме (1) показана синусоида фазного тока обмотки двигателя при частоте дискретизации 500 Гц, где хорошо заметны высшие гармоники, приводящие к снижению КПД асинхронного двигателя, ощутимым потерям мощности и нагреву АСД.

Осциллограмма 2 на рисунке 2 отображает напряжение на конденсаторе блока питания. Наличие высокочастотных пульсаций напряжения на конденсаторе приводит к его нагреву и, как следствие, деградации ёмкости, сокращению срока службы и даже к выходу из строя блока IGBT-модулей. Острота проблемы снимается увеличением ёмкости конденсатора и его паспортного напряжения.

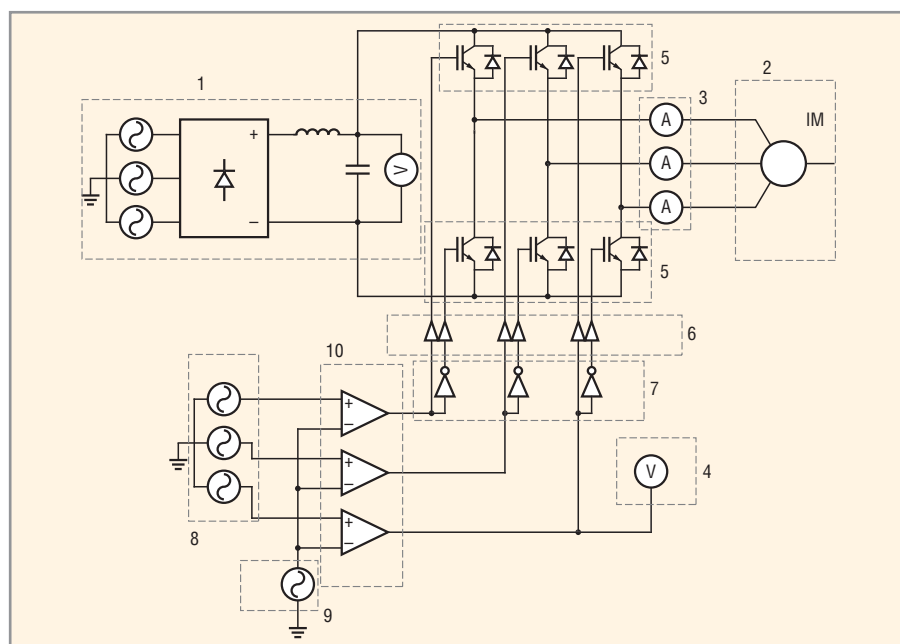


Рис. 1. Электрическая схема векторного управления трёхфазным асинхронным двигателем с инвертором на базе IGBT-модулей

На рисунке 3 представлены те же осциллограммы при входной частоте дискретизации 1500 Гц. На верхней осциллограмме (1) видна практически идеальная синусоида тока, с минимальным уровнем высших гармоник. Напряжение пульсаций на осциллограмме 2 сглажено, что позитивно сказывается на КПД и тепловыделении асинхронного двигателя.

Однако сравнительный анализ соответствующих осциллограмм (3) на рисунках 2 и 3 показывает, что динамические потери в IGBT-модуле при входной частоте дискретизации 1500 Гц в три раза выше по сравнению с динамическими потерями при частоте 500 Гц, что приводит к увеличению тепловыделения на подошве IGBT-модуля

на 30...40%. Для обеспечения надёжного функционирования инвертора в данном случае требуется увеличить площадь охлаждающей поверхности теплоотвода, а при использовании двигателей высокой мощности – переходить на водяные системы охлаждения.

Верхний предел частоты ШИМ ограничивается тепловыми потерями в транзисторах и не может превышать максимально допустимого значения частоты переключения используемых силовых приборов. Нижняя граница частоты ШИМ определяется ростом потерь от пульсаций тока через обмотку двигателя. Таким образом, потери в двигателе определяются несинусоидальностью и несимметрией полувольт

синусоид напряжения, подводимого к обмоткам, а также пульсациями тока в обмотках. Увеличивая число уровней напряжения, возможно приблизить форму напряжения, подаваемого на обмотки двигателя, к синусоидальной, уменьшив тем самым число и уровень нечётных гармоник.

Форма напряжения, подводимого к обмоткам двигателя, оказывает большое влияние на КПД системы АСД, особенно для двигателей мощностью свыше 10 кВт. Например, для двигателя мощностью 20 кВт потери составляют не более 1 кВт. Приближение формы подаваемого на двигатель напряжения к синусоидальной влияет на рост КПД, однако приводит к увеличению массогабаритных показателей самого ин-

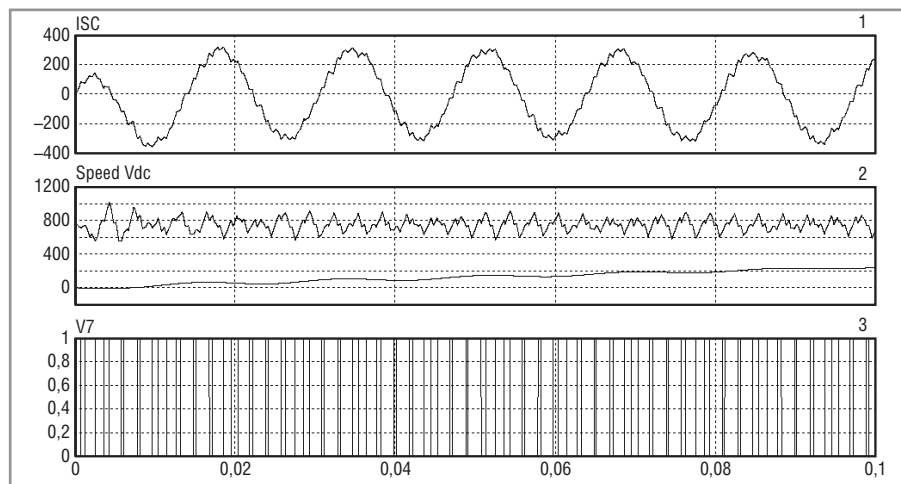


Рис. 2. Осциллограммы фазного тока обмотки двигателя при входной частоте дискретизации 500 Гц (1), напряжения на конденсаторе блока питания (2) и коммутации модуля ШИМ (3)

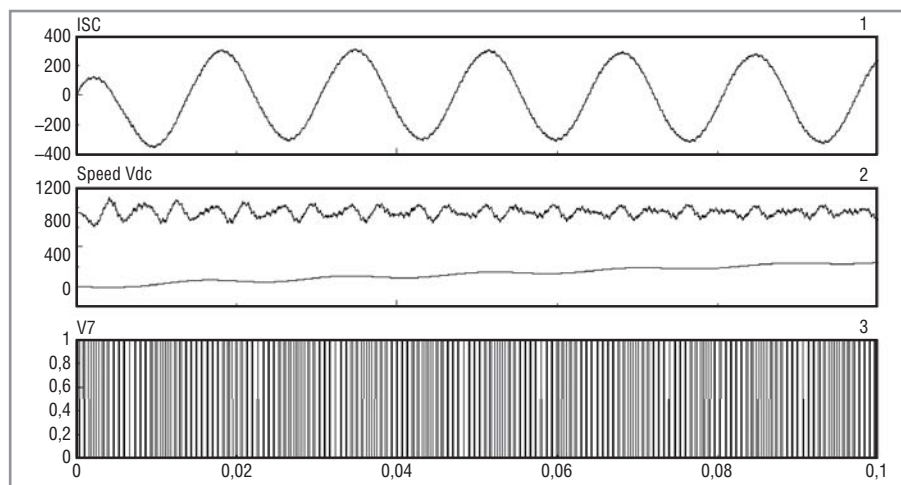


Рис. 3. Осциллограммы фазного тока обмотки двигателя при входной частоте дискретизации 1500 Гц (1), напряжения на конденсаторе блока питания (2) и коммутации модуля ШИМ (3)

вертора. При разработке системы АСД – инвертор необходимо сбалансировать КПД двигателя и тепловыделение на подошве IGBT-модулей.

Так или иначе, наиболее эффективно с задачей управления АСД справляется коммутация ШИМ с формированием синусоидального напряжения на обмотках двигателя. Как показывает опыт эксплуатации, такой алгоритм снимает проблему сквозных токов, поскольку транзисторы, находящиеся в противоположных плечах, переключаются с запаздыванием относительно друг друга на нормированные, регулируемые интервалы времени.

Форма фазных напряжений имеет ограничение только по разрядности применяемого процессора. Поэтому векторная схема коммутации системы управления АСД является наиболее энергоэффективной и надёжной при использовании современной элементной базы контроллеров и силовых полупроводниковых приборов.

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНВЕРТОРА УПРАВЛЕНИЯ АСД

Потери в системе управления АСД помогут уменьшить современные силовые IGBT-модули, объединяющие в себе положительные качества как биполярных, так и МОП-транзисторов.

Приборы типа HVIGBT могут работать на частотах до 4 кГц. При рабочих напряжениях 1200...1700 В модули на их основе обладают низким падением напряжения (2,0...2,2 В), обеспечивают рабочий ток до 1200 А при напряжении 3300 В, устойчивость к короткому замыканию и возможность внедрения в системы управления мощными приводами. На сегодняшний день максимальную надёжность демонстрируют IGBT-модули производства Eupac (Германия) и Semikron (Германия), которые адаптированы к системам управления тяговыми электродвигателями транспортных средств. Отметим, что для решения задач упрочнения по току или напряжению можно исполь-

зовать несколько IGBT-модулей в параллельном или последовательном включении.

Длительность переключения силовых транзисторов зависит, во-первых, от инерционности самих транзисторов, во-вторых, от характеристик системы управления. Чтобы снизить потери при коммутации и правильно настроить параметры переключения, необходимо использовать специальные ИС с гальванической развязкой – драйверы управления IGBT-модулями. Выпуск таких драйверов осуществляют лидеры мировой электронной индустрии, такие как ST-ConceptTechnology, Matsushita (Япония) и др.

Кроме того, ряд компаний (Eupac, Semikron) производит готовые блоки управления АСД, состоящие из шести IGBT-модулей, смонтированных в одном корпусе. Применение таких блоков позволяет дополнительно снизить потери на переключение.

Помимо IGBT-модулей и драйверов, при проектировании инвертора управления АСД важное место занимает микропроцессор. Ведущими производителями специализированной микропроцессорной техники, используемой в системах управления электроприводами, являются компании Texas Instruments (США), Atmel (Финляндия), STMicroelectronics (Франция) и NXP (Нидерланды). Выбор конкретного микропроцессора или микроконтроллера определяется техническим заданием на электропривод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Этштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. Энергоиздат, 1982.
2. Никел К, Хо П., Лавлейс Р., Салливан П. Изобретённое устройство управления затвором с защитой и обратной связью по состоянию сбоя. Chip News. 1998. № 3.
3. Amp Gate Drive Optocoupler with Integrated Desaturation Detection and Fault Status Feedback. Technical Data, Hewlett Packard, 1998.
4. Ерошкин Е., Горячев О. Амплитудно-частотное управление асинхронными трехфазными двигателями. Электроника. 1999. № 2. С. 10–13.
5. Field Orientated Control of 3-Phase AC-Motor. LN: BPR073, Texas Instruments, 1998.
6. AC Induction Motor Control Using Constant V/Hz Principle and Space Vector PWM Technique with TMS320C240. Application Report SPRA284A, Texas Instruments, 1998.
7. Motor Control Technology Seminar. Analog Devices, 1998.



Новости мира News of the World Новости мира

Утверждены первые профессиональные стандарты в сфере наноиндустрии

Комиссия по профессиональным стандартам Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) утвердила два профессиональных стандарта – «Производство наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем с использованием нанотехнологий» и «Метрологическое обеспечение разработки, производства и испытаний нанотехнологической продукции». Эти документы, разработанные при участии специалистов Фонда инфраструктурных и образовательных программ и Метрологического центра РОСНАНО, стали первыми в России профессиональными стандартами в сфере наноиндустрии.

В разработке утверждённых документов приняли участие более 300 экспертов – представителей нанотехнологических компаний и вузов – из 10 регионов России. Кроме того, стандарты прошли экспертизу на 13 независимых предприятиях наноиндустрии.

«Мы рассчитываем, что профессиональные стандарты помогут нанотехнологическим компаниям в поиске квалифицированных сотрудников, – говорит директор образовательных проектов и программ Елена Соболева. – Однако важно отметить, что наиболее эффективно они начнут работать в связке с другими инструментами оценки компетентности кадров. Именно поэтому в ближайших планах фонда – открытие центров сертификации сотрудников предприятий наноиндустрии и разработка тестов и практических заданий для оценки квалификации сотрудников».

В настоящее время Фонд инфраструктурных и образовательных программ разрабатывает ещё десять профессиональных стандартов, в том числе связанных с материаловедением и нанoeлектроникой.

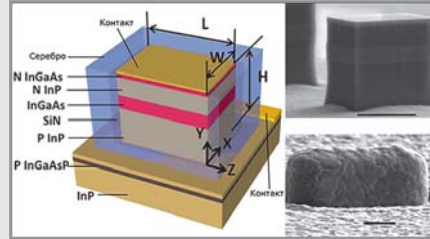
<http://www.rusnano.com>

Создан полнофункциональный микроскопический полупроводниковый лазер

Инженеры из США и Нидерландов испытали микроскопический полупроводниковый лазер, способный работать при комнатной температуре.

Размеры оптического резонатора нового устройства составляют $1,15 \times 1,39 \times 1,70$ мкм. Рекордно малыми эти значения назвать нельзя: существуют и более компактные образцы, использующие, к примеру, явление возбуждения поверхностных плаз-

монполяритонов – электромагнитных волн, которые возникают на границе раздела между диэлектриком и металлом и позволяют «разместить» колебания на оптической частоте в крошечном плазмонном резонаторе.



В идеале оптическую накачку, сохраняя непрерывный режим генерации, следовало бы заменить электрической инжекцией, а рабочую температуру – довести до комнатной. Реализовать пункты такой программы по отдельности несложно, но друг с другом они согласуются плохо (непрерывная работа при электрической инжекции, скажем, ведёт к сильному нагреву). Это, однако, не помешало авторам создать удовлетворяющий всем трём пунктам миниатюрный лазер с резонатором объёмом $0,42\lambda^3$ ($\lambda = 1,55$ мкм – длина волны излучения), описание которого было составлено ещё в середине 2011 г.

К недостаткам разработки годичной давности можно было отнести то, что ширина линии выдаваемого ею излучения достигала $3...4$ нм. Этот изъян учёные и попытались устранить.

Новый вариант лазера имеет форму микроскопического полупроводникового «столбика» сложной структуры, помещённого в серебряную оболочку. В ходе измерений при температуре в 294 К устройство обнаружило чёткий порог лазерной генерации и формировало излучение на длине волны в 1,591 мкм (легко рассчитать, что объём резонатора составлял $0,67\lambda^3$) с шириной линии всего в 0,5 нм. По утверждению авторов, столь высокое отношение длины волны к ширине линии, равное 3182, не демонстрировал ни один из известных микроскопических лазеров непрерывного действия, работающих в комнатных условиях.

Сейчас физики пытаются увеличить ресурс лазера, который ограничивается наблюдаемым при большом токе инжекции и комнатной температуре быстрым ухудшением качества поверхности арсенида индия-галлия InGaAs. Кроме того, они хотят оптимизировать конструкцию – подобрать оптимальную толщину диэлектрического слоя SiN. Увеличение его толщины, как показывают эксперименты, приводит к сокращению срока службы устройства, а умень-

шение – к снижению упомянутого выше отношения длины волны к ширине линии.

<http://arxiv.org>

Китайский репортёр поработал «под прикрытием» на сборке iPhone 5 на заводе Foxconn

Китайский репортёр ресурса Shanghai Evening Post, поработавший десять дней «под прикрытием» в качестве рабочего на линии по сборке iPhone 5 на заводе Foxconn в Тайюане, поделился своими впечатлениями об условиях труда и быта в китайской компании. Заметим, что первоначальной целью сотрудника газеты было рассказать об iPhone 5, но затем он решил дать более развёрнутую картину о жизни рабочих китайского предприятия.

«Первая ночь в общежитии была настоящим кошмаром, – пишет журналист. – Все помещения пропитаны тяжёлой смесью запаха мусора, который здесь лежит всюду не один день, пота и поролон. Картину дополняют тараканы, спящие в шкафах, а также грязные простыни, которые выдаютсь новым работникам».

«При поступлении на работу в Foxconn необходимо подписать контракт, состоящий из четырёх разделов, которые содержат техническую информацию, статистику о производстве, продажах и трудовых ресурсах, – продолжает описание репортёр. – В разделе с описанием возможных вредных факторов на данном производстве представитель администрации попросил указать отрицательный ответ по всем позициям, включая «наличие чрезмерного шума» и «токсическое загрязнение». Вся информация является строго конфиденциальной».

Следует отметить повышенные меры предосторожности, предпринимаемые компанией во избежание хищений и утечек при производстве iPhone 5. При переходе с этажа, где собирается новый смартфон, на другой этаж завода рабочие проходят досмотр усиленной службой охраны с использованием металлодетекторов. Любой, кого выделит металлодетектор, немедленно увольняется.

Для поддержания дисциплины на Foxconn по-прежнему практикуются различные наказания. Например, в случае несанкционированного перерыва рабочий в качестве наказания должен простоять 10 мин в углу. Ранее сообщалось о том, что нарушители правил Foxconn должны «покаяться» перед товарищами, повторив извинения много раз, или написать заметку со словами покаяния в стенгазету.

<http://www.electronista.com/>