

№7 (33), 2007 г.

Информационно-технический
журнал.

Учредитель – ЗАО «КОМПЭЛ»



Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-19835

Редактор:

Геннадий Каневский
vesti@compel.ru

Помощник редактора:

Анна Кузьмина

Редакционная коллегия:

Юрий Гончаров
Алексей Гуторов
Игорь Зайцев
Евгений Звонарев
Сергей Кривандин
Александр Райхман
Борис Рудяк
Игорь Таранков
Илья Фурман

Дизайн, графика, верстка:

Елена Георгадзе
Владимир Писанко
Евгений Торочков

Распространение:

Эдуард Бакка

Электронная подписка:
www.compel.ru/subscribe

Отпечатано:

«Гран При»
г. Рыбинск

Тираж – 1500 экз.
© «Новости электроники»

Подписано в печать:
6 июня 2007 г.

СОДЕРЖАНИЕ

■ БРЕНД НОМЕРА: *INTERNATIONAL RECTIFIER*

International Rectifier и КОМПЭЛ – прошлое и будущее сотрудничества <i>Борис Рудяк</i>	3
International Rectifier: портрет компании <i>Георгий Келл</i>	4
G5 HVIC – новое поколение высоковольтных силовых управляющих ИС <i>Евгений Звонарев</i>	8
IRAMxx – интеллектуальные силовые IGBT-модули для электропривода широкого применения <i>Владимир Башкиров</i>	14
Высоковольтные ИС для промышленного привода <i>Михаил Румянцев</i>	18
IR1167 – легкий путь к увеличению эффективности AC/DC-преобразователя <i>Сергей Пичугин</i>	23
Транзисторы Trench IGBT шестого поколения <i>Владимир Башкиров</i>	26
Совмещенное управление двумя двигателями облегчает проектирование бытовых электроприборов <i>Энгус Мюррей</i>	31
■ ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ	36



ОТ РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели!

Мы продолжаем выпуск традиционных тематических номеров журнала, посвященных одному бренду. На этот раз бренд номера — **International Rectifier**.

В мире производителей электронных компонентов есть огромные корпорации с широчайшим спектром выпускаемой продукции (примером таковой может служить Texas Instruments) и сравнительно небольшие, так называемые нишевые, компании, посвятившие свою деятельность одному направлению. Но, как правило, уж в этом-то направлении такие компании достигают, за счет инженерной мысли, инноваций и гибкости решений, столь значительных успехов, что порой служат предметом зависти со стороны «гигантов». Компания International Rectifier, основанная в 1947 году выходцами из Литвы отцом и сыном Лидов (*Lidow*), начинала свою деятельность со штата в 6 человек и производства селеновых выпрямителей. Сейчас она является одним из самых авторитетных в мире производителей полупроводников для управления питанием и преобразования энергии. International Rectifier первой в мире начала производство тиристоров, силовых диодов Шоттки, мощных составных биполярных транзисторов, а в 1979 году произвела настоящую революцию в

силовой электронике, разработав и выведя на рынок технологию производства МОП-транзисторов с гексагональной ячейкой (HEXFET). Пожалуй, нет такого разработчика систем электропитания, выпрямительной и силовой техники, который не применял бы продукцию IR, или хотя бы не был наслышан о ней.

С 1996 года КОМПЭЛ является официальным дистрибьютором International Rectifier в России, на Украине и в Белоруссии, и последние три года официально признается крупнейшим дистрибьютором этой продукции в Восточной Европе.

Компания IR активно развивается. Недавно она решила сосредоточиться на аналоговой продукции, продав значительную часть производства диодов и транзисторов компании Vishay. Концентрация на аналоге совпадает с приоритетным направлением деятельности компании КОМПЭЛ и дает нам хорошие перспективы для дальнейшего сотрудничества.

Мы уверены, что материалы, опубликованные в этом номере, будут интересны всем разработчикам в сфере энергетики и электропитания. Как всегда, ждем ваших откликов.

С уважением,
Геннадий Каневский



INTERNATIONAL RECTIFIER И КОМПЭЛ – ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ СОТРУДНИЧЕСТВА

International IOR Rectifier

*Одиннадцать лет работы КОМПЭЛа с одним из ведущих мировых производителей силовой электроники, компанией **International Rectifier** — это неуклонно растущие продажи в России, на Украине и в Белоруссии; это рост числа компонентов IR в новых разработках электропривода и преобразовательной техники; это официально признанное **первое место КОМПЭЛа** по объему продаж IR в Восточной Европе. На вопросы о современном состоянии сотрудничества двух компаний, о возникающих проблемах и путях их решения редактору «Новостей электроники» **Геннадию Каневскому** отвечает **Президент компании КОМПЭЛ Борис Рудяк**.*

Геннадий Каневский: Какие задачи ставит перед собой КОМПЭЛ по продукции IR?

Борис Рудяк: Традиционно International Rectifier считается производителем именно силовой продукции. Это отразилось и в ее названии, когда-то весьма точном, но в наше время звучащем странновато. (Rectifier — по-английски «выпрямитель» (прим. ред.)). Сегодня в каталоге продукции IR не осталось диодов и почти не осталось транзисторов, так как подразделение, производящее их, недавно было продано компании Vishay. Таким образом, возрастающую долю в линейке продукции IR составляют аналоговые продукты — традиционная фокусная группа для КОМПЭЛа, представляющего на рынке большой выбор аналоговой продукции от Texas Instruments, Maxim Integrated Products, National Semiconductor, STMicroelectronics, NXP. International Rectifier активно развивает это направление, выпуская все новые и новые приборы. Эти новинки очень интересны: ведь IR — классическая нишевая компания, и чтобы удержаться на рынке, она должна опережать в области инноваций крупных ры-

ночных игроков. А нам, в свою очередь, интересно предлагать потребителям товары с уникальными потребительскими характеристиками, поэтому мы заинтересованы в тесном сотрудничестве с IR и ставим перед собой по этой продукции весьма высокую планку.

Г.К.: Что, на Ваш взгляд, означает для КОМПЭЛа продажа части бизнеса International Rectifier компании Vishay?

Б.Р.: Для нас это было большой неожиданностью. С компанией International Rectifier мы работаем давно. С Vishay сотрудничать пока не приходилось, хотя на рынке это имя звучит громко. У компании Vishay — широчайшая линейка продукции, в основном пассивной и электромеханической, хотя и полупроводниковые приборы у них имеются. В данный момент мы начинаем строить отношения с этой компанией, стремясь сохранить поставки нашим заказчикам той продукции компании IR, которую они получали от нас все эти годы. Стабильность поставок неизбежно будет нарушена, будут срывы, сбои, задержки — все, что обычно бывает в таких случаях. Наша задача теперь — свести к минимуму

возможные проблемы. Мы постараемся сделать это, помня, что для нас это шанс расширить линейку своих поставок, присоединив к традиционным изделиям, ранее выпускавшимся под маркой IR, то новое, что может предложить компания Vishay. Нам нужно понять, что именно из линейки Vishay будет востребовано нашими заказчиками, на какие продукты в первую очередь должна быть направлена наша активность. Я верю в то, что наше сотрудничество будет успешным.

Таким образом, для КОМПЭЛа продажа части бизнеса IR компании Vishay означает, с одной стороны, возможность при работе с IR сосредоточиться на наиболее привлекательной для компании аналоговой продукции, а с другой — расширить комплексное предложение заказчикам за счет традиционной продукции Vishay.

Г.К.: Что Вас устраивает, а что не устраивает в сотрудничестве с IR?

Б.Р.: Мы сотрудничаем с International Rectifier с 1996 года. Поначалу нас многое не устраивало. Не потому, что наши компании были чем-то нехороши, а от недостатка опыта, от недопонимания.

Нам нравится, что IR постоянно выпускает на рынок что-то новое — и мы продвигаем эту продукцию, объясняем ее преимущества, пишем статьи и тем самым поддерживаем себя в тонусе.

Сегодня мы очень близки друг другу, мы знаем работающих в компании людей, понимаем их цели и задачи. Большой стаж совместной жизни приучил нас к взаимному пониманию. **Б**

INTERNATIONAL RECTIFIER: ПОРТРЕТ КОМПАНИИ

International IOR Rectifier



Известный специалист по рынку электронных компонентов **Георгий Келл** на своей авторской странице рассказывает об истории крупнейших мировых производителей электронных компонентов.

Основатель компании **International Rectifier** Эрик Лидов (*Erik Lidow*) родился в 1913 году в Вильнюсе. При желании можно говорить о «российских корнях» — ведь в то время Литва входила в состав Российской империи, а отец будущего основателя **IR** даже некоторое время служил в русской армии и жил с семьей в России. Но после перехода Литвы под контроль Польши семья вернулась в Вильнюс, откуда, окончив в 1931 году гимназию, Эрик уехал в Германию и поступил в Берлинский Технический Университет. Получив образование инженера-электрика и ощутив неблагоприятный для дальнейшего обучения климат в милитаризованной Германии, Эрик Лидов в 1937 году уехал в США.

Проработав несколько лет в электротехнической промышленности и набравшись опыта, в 1940 году Эрик Лидов создал свою первую компанию **Selenium**, которая занималась выпуском селеновых фотоэлектрических элементов для экспонометров. В годы Второй Мировой Войны компания переклонила на военную продукцию и в 1944 году насчитывала уже 200 сотрудников. В это время два партнера Лидова продали свои доли в компании корпорации **Sperry**, а сам Эрик стал вице-президентом по разработкам в ее подразделении **Vickers**.

В 1947 году в США приезжает переживший ужасы Холокоста в Европе отец Эрика — Леон, и в августе того же года, найдя сторонних инвесторов, они основывают компанию **International Rectifier** со штатом 6 человек. Первоначальной продукцией компании стали селеновые выпрямители для гальванических производств и шахт. Уже в 1954 году **IR** осваивает производство германиевых выпрямителей, а в 1959 году выпускает на рынок первый управляемый кремниевый выпрямитель — тиристор (**SCR** —

Silicon Controlled Rectifier). Одновременно ведутся разработки солнечных батарей и силовых диодов Шоттки. В 1974 году первой в отрасли компания начинает выпуск пассивированных стеклом мощных биполярных транзисторов (в т.ч. и составных).

Компания **IR** одной из первых начала строительство заводов за пределами США. В 1958 году было открыто производство в Англии, в 1961 — в Италии, в 1965 — в Индии, в 1966 — в Канаде и в 1973 — в Мексике.

В 1977 году в компанию приходят сыновья Эрика Лидова. Старший Дерек (*Derek*) окончил Принстонский университет и в 22 года получил степень доктора по прикладной физике в Стэнфордском университете. Младший Александр (*Alex*) после окончания Калифорнийского Технологического Института и докторантуры Стэнфордского университета пришел в компанию с идеей новой структуры силового МОП-транзистора. Через несколько лет экспериментов, в соавторстве с сотрудником **IR**, Томом Херманом, был получен патент 699 на HEXFET (МОП-транзистор с гек-

- Компания: **INTERNATIONAL RECTIFIER**
- Штаб-квартира: Эл Сегундо, Калифорния
- Основана: 1947 г.
- Президент & CEO: Alex Lidow
- Штат: 6.300 человек
- Объем продаж за 2006: \$1,71 млрд.



Президент и CEO
компании **IR**
Александр Лидов

сагональной ячейкой), который на долгие годы предопределил генеральную линию развития силовых полупроводников. Всего у Алекса Лидова 9 патентов в области силовой электроники. Он занимал в компании посты вице-президента по разработкам, исполнительного вице-президента по операциям и с 1995 года является исполнительным директором (CEO).

Начав получать хороший доход от продажи лицензий на HEXFET-технологии, IR был вовлечен в судебные тяжбы с компанией Ixys, которая оспаривала приоритет IR. В 1990 году Федеральный Суд подтвердил приоритет IR, и в 1996 году компании даже обсуждали планы слияния, но им так и не было суждено сбыться. Судебные разбирательства с Ixys продолжаются и в наши дни — в 2005 был выигран иск на \$6,2 млн.

Дерек Лидов начинал в компании International Rectifier на инженерных должностях, затем занимал руководящие должности, включая посты вице-президента по маркетингу и президента отделения силовых приборов, был избран в совет директоров. В 1995 году братья разделили пост исполнительного директора (*Chief Executive Officer*). В 1999 году Дерек решил посвятить себя консалтинговому бизнесу и оставил пост «полноразмерного» CEO брату, основав собственную компанию *iSuppli*, которая за эти годы стала известным центром аналитики в сфере полупроводников.

Начав в 1979 году HEXFET-эру, компания International Rectifier не остановилась на достигнутом. Последующие годы знаменовались столь же заметными инновациями.

В 1983 году, одной из первых в отрасли, IR начала выпуск высоковольтных ИС для силовой электроники. Обладание уникальной технологией VCDMOS изоляции переходов позволило компании освоить выпуск драйверов MOSFET/IGBT на 600 и 1200 В.

В 1995 году компания выпустила новое поколение MOSFET-транзисторов, выполненных по четырехмасочной самосовмещаю-

щейся технологии, что позволило значительно снизить производственные затраты и повысить качество транзисторов. В 1999 году была разработана полосковая планарная технология, обеспечившая рекордное снижение сопротивления канала и повышение динамических характеристик МОП-транзисторов. Компания производит большую гамму IGBT-транзисторов, постоянно улучшая их динамические и электрические параметры.

В 1994 году IR выпустил свое первое полупроводниковое реле (*SSR — Solid State Relay или MER — Micro Electronic Relay*) PVT412, и с тех пор номенклатура этих изделий постоянно расширяется, охватывая все новые сферы применения.

Пик M&A активности компании пришелся на 2000 год. В январе была куплена компания **Omnirel**, производитель высоконадежных полупроводниковых приборов, а в декабре за \$50 млн. была приобретена фирма **Unisem** — разработчик ИС управления силовыми преобразователями. В октябре того же года приобретаются две компании — **Lambda Advanced Analog** и **Magnitude-3**, специализировавшихся на выпуске модульных источников питания.

В 2001 году началось активное сотрудничество с японской компанией **Sanken** по совместной разработке микросхем для управления питанием. Происходит и наращивание производственных ресурсов. В 2002 году у компании **ESM** за \$81 млн. покупается кремниевая фабрика в Уэллсе (Англия) и практически одновременно за \$30 млн. у **Fairchild** покупается производство MOSFETов военного назначения в Эл-Сегундо (Калифорния).

В 2004 году компания International Rectifier объявила приоритетным направлением своего развития на ближайшие годы, создание широкой гаммы аналоговых ИС, предназначенных для использования в силовой электронике. Планировалось довести соотношение *Аналоговые ИС — Дискретные Приборы* до 50:50. Если ранее 95% продукции

составляли силовые дискретные, то уже к 2005 году их доля была снижена до 80%. Одновременно в номенклатуре выпускаемых ИС появилось значительное количество LDO-регуляторов и ШИМ-контроллеров для источников питания. В том же финансовом году (заканчивается 30 июня) компания International Rectifier впервые превысила рубеж в \$1 млрд. по объему продаж.

В 2006 году 40% продаж компании приходилось на азиатский регион, 26% на США, 23% на Европу и 11% на Японию. При этом:

- 34% компонентов IR используются вычислительной техникой и средствах связи,
- 27% в энергосберегающей промышленной технике,
- 15% в бытовой технике,
- 12% в военной и аэрокосмической сфере

Нелишне подчеркнуть, что 3% в обороте компании приходится на продажу интеллектуальной собственности (патентов, лицензий и т.п.) — наглядное свидетельство новаторства и высокого профессионализма компании.

И в этих условиях успешного развития компания International Rectifier идет на довольно смелый шаг — в августе 2006 года объявляется о планах по продаже подразделения Систем Управления Мощностью (*Power Control Systems — PCS*) — бизнеса, составляющего примерно 26% от всего оборота компании. В эту «непрофильную» (*non-focus products*) категорию, согласно новой концепции, попали практически все дискретные компоненты: IGBT и МОП-транзисторы, выпрямительные, быстрые и Шоттки диоды, силовые тиристорные и IGBT-модули, — то, чем славилась компания, в особенности, на российском рынке. 1 ноября стал известен и покупатель — компания **Vishay Intertechnology**. К 1 апреля 2007 года сделка была завершена.

Таким образом, в 2007 году компания International Rectifier вышла на новый этап своего развития, сосредоточившись на разработке и производстве аналоговых, смешанных и силовых компонен-

тов для пяти наиболее быстрорастущих сфер современной электроники. По оценке компании ежегодный рост (CAGR) в этих сегментах сохранится на уровне 38% вплоть до 2008 года:

1. Цифровое телевидение;
2. Гибридные средства передвижения;
3. Энергосберегающие технологии;
4. Игровые приставки;
5. Серверные системы распределенного питания.

И уже есть первые успехи. В апреле 2007 года журнал **EDN** присвоил 17-ю ежегодную премию Инновация Года в категории «ИС для Силовой Электроники» микросхеме синхронного выпрямителя (*SmartRectifier™*) **IR1167**. Все более заметную роль в номенклатуре IR играют «цифровые» УНЧ класса D, ИС для DC/DC-преобразователей, ИС для балластов, PFC-контроллеры, ИС для приводов малой мощности. И можно


быть уверенным, что этот список будет расти.

Российские электронщики, возможно, и не заметят всех этих перемен. Компания **Vishay** не планирует менять привычные наименования дискретных приборов из номенклатуры **IR**, и, более того, заключила соглашения с традиционными дистрибьюторами **IR** в России. Следует, однако, учитывать, что привычные драйверы IGBT- и МОП-транзисторов, оставшиеся в номенклатуре **IR**, будут выпускаться с префиксом **IRS**, что говорит об их принадлежности к приборам 5-го поколения (с уменьшенными топологическими нормами). Подобным образом сохранились в номенклатуре и все МОП-транзисторы 5-го поколения и IGBT-транзисторы 4-го поколения, а также твердотельные оптреле.

Возвращаясь к «российским корням» компании **International Rectifier**, можно напомнить, что построенный в 80-х годах про-

шлого века завод в Молодечно (Беларусь) выпускал биполярные составные транзисторные модули серии МТКД по лицензии IR и был оснащен производственными линиями, купленными у этой же компании. Существует легенда, что посетивший уже в этом веке Литву Эрик Лидов побывал в Молодечно (это совсем недалеко от его родных мест) и прослезился при виде реликтового, но родного ему оборудования.

Можно упомянуть, что в ноябре 2006 года, на Мюнхенской выставке **Electronica** заслуги Эрика Лидова перед мировой электроникой были отмечены вручением премии (*Lifetime Achievement Award*), ежегодно присуждаемой корпорацией **Reed Electronics** за многолетнее формирование облика электронной отрасли.

Более подробно ознакомиться с продукцией и решениями **International Rectifier** можно на сайте: www.irf.com.



IR - это

- ИС высоковольтных драйверов
- Контроллеры электронных балластов
- Контроллеры аудиоусилителей
- Контроллеры корректоров коэффициента мощности
- ORing-контроллеры
- Контроллеры синхронных выпрямителей
- Контроллеры конверторов шины
- Твердотельные реле
- ШИМ-контроллеры
- Интеллектуальные силовые ключи
- Цифровые ИС управления со смешанной логикой
- MOSFET
- IGBT
- Силовые интеллектуальные модули
- Приборы HiRel

Завод компании IR в Уэльсе, Великобритания



Евгений Звонарев

G5 HVIC – НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ИС

Пятое поколение высоковольтных микросхем **HVIC** (*High-Voltage Integrated Circuit*) компании **International Rectifier** для управления транзисторами и мостами имеет ряд дополнительных функциональных возможностей, более высокую степень интеграции, более низкую стоимость. Данная статья поможет разработчику в выборе наиболее подходящей микросхемы для управления мощным силовым каскадом с напряжением питания до 600 или 1200 В.

Драйверы MOSFET- и IGBT-транзисторов предназначены для управления мощными полупроводниковыми приборами в выходных каскадах преобразователей электрической энергии. Используются в качестве промежуточного звена между управляющей схемой (контроллером или цифровым сигнальным процессором) и мощными исполнительными

элементами, коммутирующими нагрузку. Драйверы — это основная группа высоковольтных ИС International Rectifier. К ней также можно отнести контроллеры электронных балластов.

Этапы развития энергетической (силовой) электроники определяются достижениями в технологиях силовых ключей и схем управления. Динамические и статические

International IR Rectifier

параметры силовых приборов постоянно улучшаются, но мощными ключами нужно еще и эффективно управлять. Для сбалансированного взаимодействия между управляющей схемой и выходными каскадами и предназначены новые мощные драйверы MOSFET- и IGBT-транзисторов фирмы International Rectifier. Драйверы IR имеют высокие выходные токи (до ± 4 А), малые длительности фронта, спада, задержки и другие интересные отличительные особенности. Выпускаемые International Rectifier управляющие микросхемы предназначены для работы в любых конфигурациях силовых каскадов в диапазоне мощности до 3-5 кВт.

Упрощенная структура силового каскада с высоковольтной управляющей микросхемой показана на рисунке 1.

Высоковольтный драйвер MOSFET/IGBT должен удовлетворять следующим требованиям:

- управляться логическим сигналом, связанным с сигнальной шиной общего провода, следовательно, драйвер верхнего плеча должен иметь высоковольтный каскад сдвига уровня;
- мощность, рассеиваемая схемой управления, должна быть пренебрежимо мала по сравнению с общей рассеиваемой мощностью;
- схема управления должна обеспечивать токи заряда/разряда цепи затвора, гарантирующие динамические характеристики транзистора.

Производство микросхем управления HVIC вообрало в себя все достижения высоковольтных

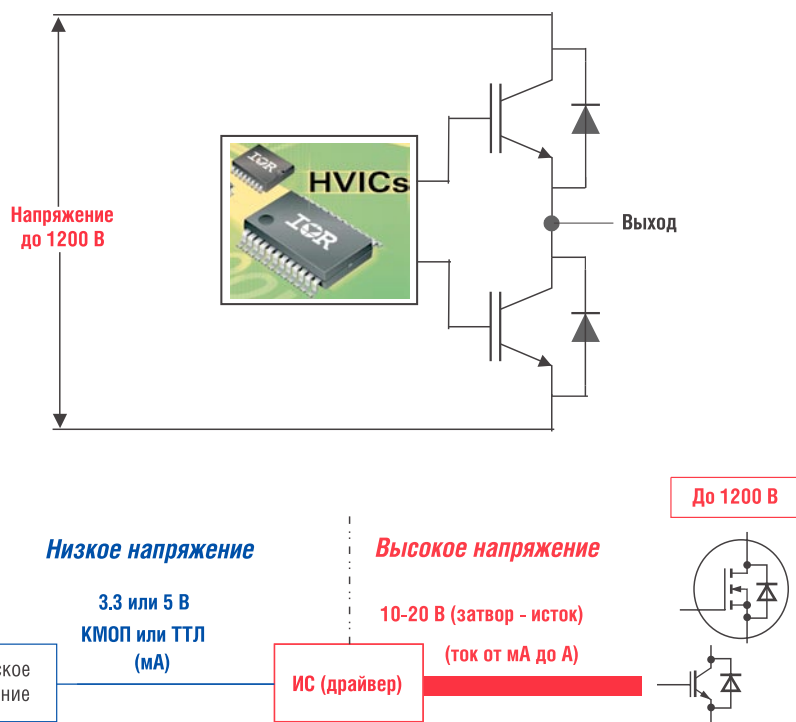


Рис. 1. Упрощенная структура полумостового силового каскада с высоковольтным драйвером (HVIC)

технологий, но их развитие происходит все более быстрыми темпами, появляются дополнительные функциональные возможности, возрастает степень интеграции при уменьшении площади кристалла и стоимости. Воплощением всех этих достижений стали высоковольтные силовые микросхемы управления 5-го поколения G5 HVIC. На рисунке 2 проиллюстрирован переход от старых серий высоковольтных управляющих микросхем к новому поколению G5 HVIC. Микросхемы предыдущих поколений со временем будут сняты с производства, цена старых драйверов в переходный период будет расти. Из нижних графиков рисунка 2 видно, что со временем отношение функциональность/стоимость будет увеличиваться. Это объясняется дальнейшим снижением цен при улучшении параметров с добавлением дополнительных функций при повышении степени интеграции ИС.

Драйверы нового поколения G5 HVIC условно можно разделить на две категории, показанные на рисунке 3:

- обновленные версии первых поколений;
- новые драйверы с расширенной функциональностью и улучшенными характеристиками.

Обновленные версии драйверов новых поколений полностью совместимы по выводам, имеют более жесткие допуски по многим параметрам, благодаря чему расширяется выбор внешних дискретных компонентов и упрощается расчет схемы, дополнительно повышается надежность всей схемы. Во многих случаях новые ИС уже содержат встроенный бутстрепный диод (bootstrap diode), благодаря чему отпадает необходимость в относительно громоздком по сравнению с самой микросхемой драйвера внешнем бутстрепном диоде. Высокая плотность структуры при уменьшенном кристалле, совместимость с логикой 3,3 В, отдельные выводы для сигнальной и силовой «земли», фиксируемое и программируемое время паузы (deadtime) при переключении транзисторов полумостовых

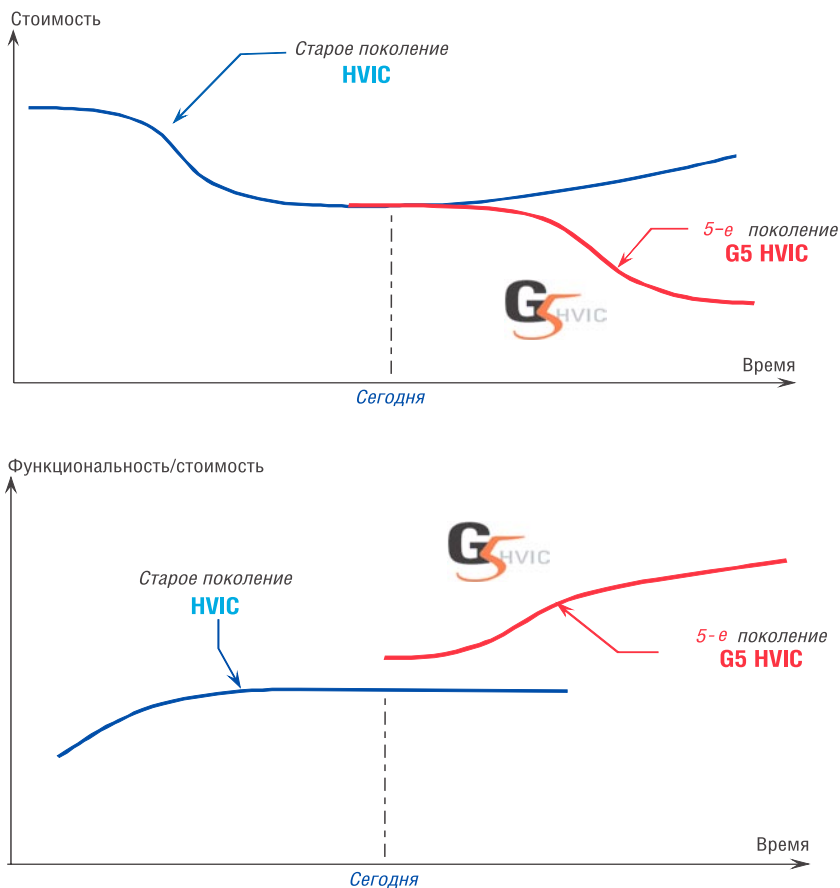


Рис. 2. Развитие HVIC (высоковольтных ИС) International Rectifier

G5 HVIC драйверы International Rectifier

Две категории продукции:

<p>Обновленные версии драйверов первых поколений</p> <ul style="list-style-type: none"> Pin-to-Pin совместимость Встроенный бутстрепный диод Повышенная надежность Уменьшенная стоимость 	<p>Новые драйверы</p> <ul style="list-style-type: none"> Улучшенные характеристики Расширенная функциональность Высокая надежность Низкая стоимость
---	--

Рис. 3. Две категории новых высоковольтных драйверов G5 HVIC

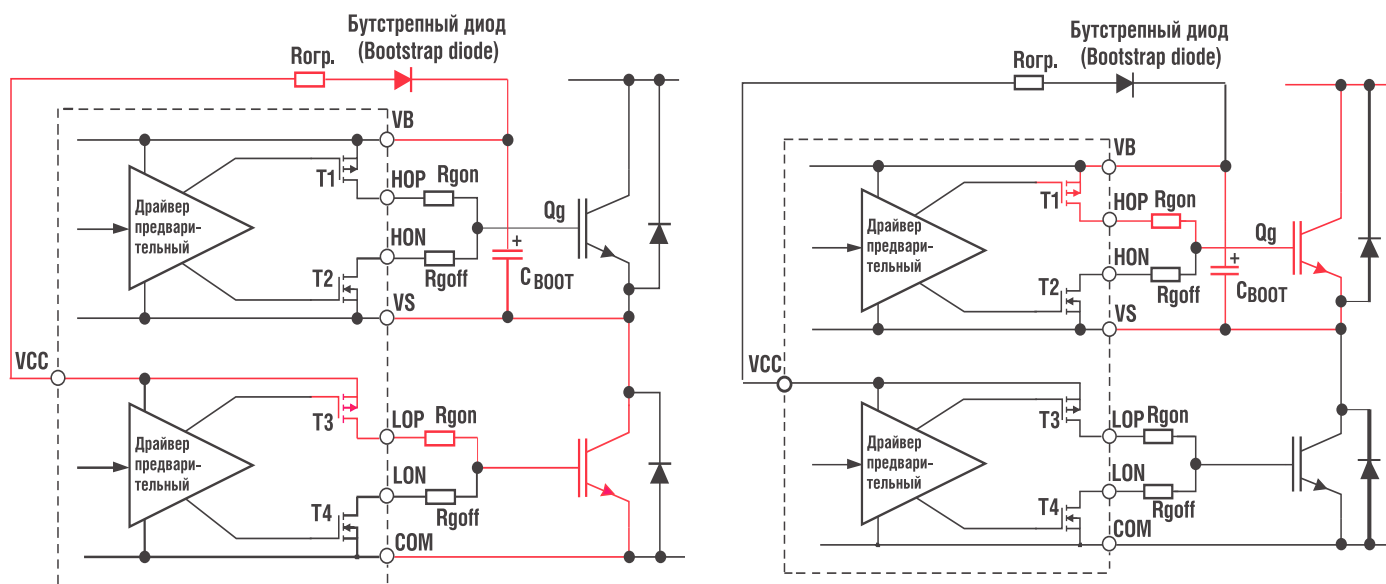
и мостовых схем, блокировка по низкому напряжению питания облегчают разработчику проектирование высоконадежных силовых устройств.

Основные параметры новых драйверов и микросхем преды-

дущих поколений сведены в таблицу 1. Обозначения микросхем новых серий отличаются добавленной буквой «S», похожей на цифру «5» (5-е поколение G5). Наименования некоторых новых микросхем оканчиваются на букву

Таблица 1. Замены для высоковольтных микросхем предыдущего поколения из новых серий G5 HVIC

G5 HVIC	Наименование предыдущего поколения	Корпус (а)	Комментарии
Драйверы нижнего и верхнего ключей (High/Low Driver)			
IRS2001	—	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2011	IR2011	SOIC/DIP	Выходной ток ± 1 А; UVLO VCC и VBS
IRS2101	IR2101	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2106	IR2106	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS21064	IR21064	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2110	IR2110	SOIC/DIP	Выходной ток $\pm 2,5$ А; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS2112	IR2112	SOIC/DIP	Выходной ток 290/600 мА; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS2113	IR2113	SOIC/DIP	Выходной ток $\pm 2,5$ А; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS2181	IR2181	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS
IRS2184	IR21814	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS
IRS2186	IR2186	SOIC/DIP	Выходной ток ± 4 А; UVLO VCC и VBS
IRS21664	IR21864	SOIC/DIP	Выходной ток ± 4 А; UVLO VCC и VBS
IRS2301	IR2301	SOIC	UVLO VCC и VBS
Драйверы полумоста (Half-Bridge Driver)			
IRS2003	—	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2004	—	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS20124	—	SOIC	Выходной ток 1/1,2 А, программируемое время deadtime, UVLO и VBS
IRS20955	—	SOIC/DIP	Выходной ток 1/1,2 А, программируемое время deadtime, UVLO и VBS
IRS2103	IR2103	SOIC/DIP	UVLO VCC
IRS2104	IR2104	SOIC/DIP	UVLO VCC, входная логика для режима shutdown
IRS2108	IR2108	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS21084	IR21084	SOIC/DIP	Программируемое время deadtime, UVLO и VBS
IRS2109	IR2109	SOIC/DIP	Входная логика для режима shutdown, UVLO VCC и VBS
IRS21091	IR21091	SOIC/DIP	Входная логика для режима shutdown, UVLO VCC и VBS
IRS21094	IR21094	SOIC/DIP	UVLO VCC, входная логика для режима shutdown, программируемое время deadtime
IRS2111	IR2111	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2153D	IR2153	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, 50% рабочий цикл, deadtime = 1,1 мкс
IRS21531D	IR21531	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, 50% рабочий цикл, deadtime = 0,6 мкс
IRS2166D	IR2166	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, программируемое время deadtime, ККМ + схема электронного балласта
IRS2168D	IR2167	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, программируемое время deadtime, ККМ + схема электронного балласта
IRS2183	IR2183	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS
IRS21384	IR21834	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS, программируемое время deadtime
IRS2184	IR2184	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS, входная логика для режима shutdown
IRS21844	IR21844	SOIC/DIP	Выходной ток 1,9/2,3 А; UVLO VCC и VBS, программируемое время deadtime, входная логика для shutdown
IRS2302	IR2302	DIP	Входная логика для режима shutdown, UVLO VCC и VBS
IRS2304	IR2304	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2308	IR2308	SOIC/DIP	UVLO VCC и VBS
IRS2540	—	SOIC/DIP	Автоматический перезапуск, deadtime = 140 нс
IRS2541	—	SOIC/DIP	Автоматический перезапуск, deadtime = 140 нс
Драйверы одноканальные (Single Channel Driver)			
IRS2117	IR2117	SOIC/DIP	Выходной сигнал синфазен с входным
IRS2118	IR2118	SOIC/DIP	Выходной сигнал в противофазе с входным
IRS2127	IR2127	SOIC/DIP	Наличие входа для подключения датчика тока, входной и выходной сигнал синфазны
IRS2128	IR2128	SOIC/DIP	Наличие входа для подключения датчика тока, входной и выходной сигнал в противофазе
IRS21851	—	SOIC	Выходной ток ± 4 А
Драйверы нижнего ключа (Low Side Driver)			
IRS4426	IR4426	SOIC/DIP	Выходной ток 2,3/3,3 А
IRS4427	IR4427	SOIC/DIP	Выходной ток 2,3/3,3 А
IRS4428	IR4428	SOIC/DIP	Выходной ток 2,3/3,3 А
Мостовой драйвер (Full-Bridge Driver)			
IRS2453D	—	SOIC/DIP	Встроенные бутстрепные диоды, выходной ток 180/260 мА, микромощная схема запуска



При открытом выходном транзисторе нижнего плеча бутстрепный конденсатор C_{boot} заряжается до напряжения V_{cc} (без учета падения напряжения на бутстрепном диоде и ограничивающем резисторе $R_{огр.}$)

При закрытом транзисторе нижнего плеча выходной каскад драйвера верхнего плеча питается от бутстрепного конденсатора C_{boot} через открытый транзистор $T1$. Напряжение, подаваемое через резистор $R_{огр.}$, открывает выходной транзистор верхнего плеча.

Рис. 4. Принцип работы бутстрепной схемы для полумостового каскада

«D», что означает наличие встроенного бутстрепного диода. Некоторые новые драйверы G5 не имеют аналогов в предыдущих поколениях микросхем.

БУТСТРЕПНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Часто из-за слишком большого входного напряжения для транзисторов верхнего плеча применяется относительно простая и недорогая бутстрепная схема управления (схема с «плавающим» источником питания). В такой схеме длительность управляющего импульса ограничена величиной бутстрепной емкости. Кроме того, необходимо обеспечить условия для его постоянного заряда с помощью высоковольтного быстродействующего каскада сдвига уровня. International Rectifier применяет свою запатентованную схему каскада сдвига уровня на высоковольтных транзисторах MOSFET. Каскад сдвига уровня передает логический сигнал схеме управления транзисторам верхнего плеча. International Rectifier выпускает драйверы, рассчитанные на перепад напряжения до 600 В (серия IR21xx и новая серия IRS21xx) и до 1200 В (серия IR22xx и новая серия IRS22xx). Каскад сдвига

уровня содержит генератор, формирующий короткие импульсы, совпадающие с фронтами входного логического сигнала, дискриминатор импульсов и RS-триггер (защелку) для формирования сигнала управления выходным транзистором верхнего плеча. Такое построение схемы управления позволяет резко снизить ток потребления верхнего каскада драйвера. Принцип работы бутстрепной схемы управления для полумостового каскада проиллюстрирован на рисунке 4. Красным цветом вы-

делены основные компоненты, активные в рассматриваемый момент работы схемы.

Кроме формирования тока затвора MOSFET и IGBT драйверы International Rectifier имеют ряд очень важных дополнительных функций:

- защита от короткого замыкания (Short Circuit Protection);
- защита от перегрузки по току (Overcurrent Protection);
- защита от защелкивания при низких напряжениях питания и управления (Under Voltage LockOut –

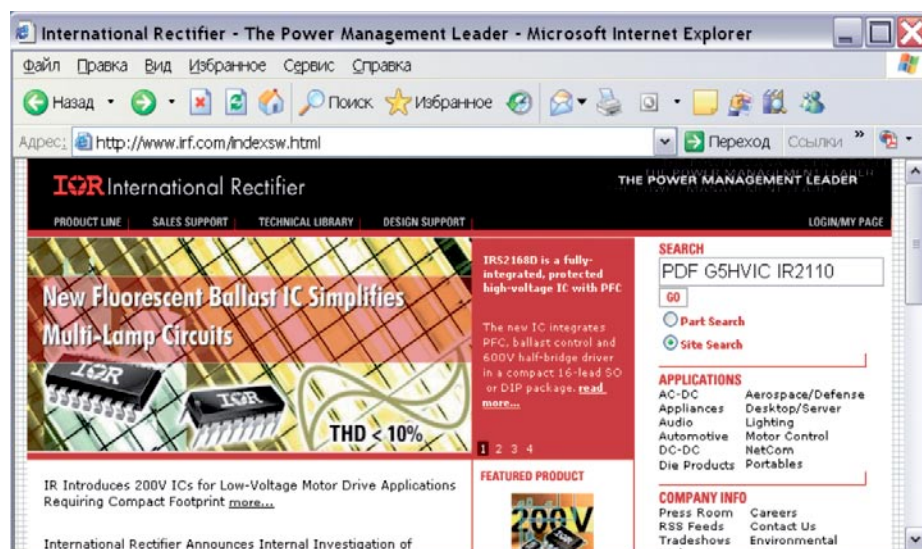


Рис. 5. Первое окно для поиска параметров новых функционально близких драйверов G5



Рис. 6. Найденные ссылки с результатами поиска сравнительной таблицы параметров новых драйверов G5 и ИС предыдущих поколений

Поиск на сайте IR (www.irf.com) функционально близких замен из нового поколения G5 для драйверов предыдущих поколений.

Инженеры International Rectifier составили большое количество таблиц для сравнения параметров новых драйверов G5 с высоковольтными микросхемами предыдущих поколений. Например, при поиске сравнительной таблицы для драйверов IR2110 в формате PDF необходимо на сайте IR в окне поиска набрать «PDF G5HVIC IR2110» и отметить “Site Search” (поиск по всему сайту). Необходимо обратить внимание

Adopting G5 HVIC: IRS2110, IRS2113 (Замены для IRS2110, IRS2113 из новой серии G5 HVIC)



	(units)	IRS2001	IRS2101	IRS210(6,64)	IR2110	IRS2110	IRS2112	IR2113	IRS2113	IRS218(1,14)	IRS218(6,64)	IRS2301	
Offset voltage	V	200	600	600	500	500	600	600	600	600	600	600	
Matched prop. delay		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
SD Pin	-	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	
Dual supply		No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	
INPUT LOGIC													
Logic compatibility	V	3.3, 5, 15	3.3, 5, 15	3.3, 5, 15	3.3-20	3.3-20	3.3-20	3.3-20	3.3-20	3.3, 5	3.3, 5	3.3, 5, 15	
HIN, LIN	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
OUTPUT													
V _{out}	V	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	5-20	
I _{O+}	mA	290	290	290	2500	2500	290	2500	2500	1900	4000	290	
I _{O-}		600	600	600	2500	2500	600	2500	2500	2300	4000	600	
UVLO													
V _{BSUV+}	V	-	-	8.9	8.6	8.6	8.5	8.6	8.6	8.9	8.9	4.1	
V _{BSUV-}		-	-	8.2	8.2	8.2	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	3.8	
V _{BSUVH}		-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	0.7	0.7	0.3
V _{CCUV+}		8.9	8.9	8.9	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5	8.9	8.9	4.1	
V _{CCUV-}		8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	3.8	
V _{CCUVH}		-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	0.7	0.7	0.3
TIMING													
t _{on}	ns	160	160	220	120	130	135	120	130	180	170	220	
t _{off}		150	150	200	94	120	130	94	120	220	170	200	
t _{sd}					110	130	130	110	130				
t _r		70	70	100	25	25	75	25	25	40	22	100	
t _f		35	35	35	17	17	35	17	17	20	18	35	
MT			50 (max)	50 (max)	30 (max)	10 (max)	10 (max)	30 (max)	20 (max)	20 (max)	35 (max)	35 (max)	50 (max)

High and Low Side Driver Comparison

Рис. 7. Найденная сравнительная таблица с параметрами для IR2110 и функционально близких к ним новых драйверов поколения G5

UVLO). Для ключей выходного каскада понижение напряжения управления очень опасно. В этом случае транзистор может перейти в линейный режим и может произойти катастрофический отказ из-за перегрева кристалла. Для исключения такого режима практически во всех современных драйверах MOSFET

и IGBT имеется схема UVLO. Все драйверы International Rectifier поддерживают фронты напряжения до 50 В/нс. Этот параметр называется dv/dt immune. Он характеризует высокую устойчивость к режиму защелкивания, который, как известно, очень опасен для высоковольтных импульсных схем.

на то, что G5HVIC необходимо набирать слитно. (см. рис. 5).

Поиск по сайту производится средствами известного поискового механизма Google (см. рис. 6 со ссылками на результаты поиска).

Найденный PDF файл содержит несколько страниц. Страница со сравнительной таблицей,

фрагмент которой показан на рисунке 7, находится в конце файла. Автор умышленно не стал переводить названия параметров, чтобы не вводить читателя в заблуждение. С другой стороны, есть полная уверенность, что в данном конкретном случае это и не требуется. Аналогичным способом поиска читатель может найти сравнительные таблицы для других драйверов ранних поколений, приведенных в таблице 1.


НОВЫЕ G5 ДРАЙВЕРЫ

Необходимо обратить внимание на новые драйверы International Rectifier поколения G5:

- IRS2453D – мостовой 600-вольтовый драйвер со встроенными бутстрепными диодами и генератором. Выходные токи драйвера составляют 180/260 мА. Микро мощная схема запуска, встроенный стабилитрон 15,6 В по питанию V_{cc}, отличная защита от защелкивания, время паузы

(deadtime) составляет 1,5 мкс, наличие входа shutdown;

- IRS2186, IRS21864 – 600-вольтовые драйверы нижнего и верхнего уровней. Выходные токи драйверов составляют ±4 А, совместимость с логикой управления 3,3 и 5 В, защита от пониженного напряжения, улучшенные показатели надежности;

- IRS21851S – одиночный 600-вольтовый драйвер верхнего уровня. Выходные токи ±4 А, длительность фронтов при нарастании и спаде напряжения около 170 нс, защита от пониженного напряжения, улучшенные показатели надежности. 

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: power.vesti@compel.ru.

International IR Rectifier

Новые 25-вольтовые DirectFET-транзисторы

Корпорация International Rectifier анонсировала три новых 25 В DirectFET® – управляющий МОП-транзистор **IRF6622** и МОП-транзисторы синхронного выпрямления **IRF6628** и **IRF6629**.

Новые транзисторы разработаны для повышения объемной плотности энергии, КПД и тепловых характеристик VRM-модулей и узлов питания процессоров серверов и телекоммуникационного оборудования.

Новые DirectFET более предпочтительны для 12 В приложений благодаря более высокому запасу по напряжению по сравнению с 20 В аналогами и меньшими потерями мощности, чем 30 В транзисторы. Управляющий транзистор **IRF6622** обеспечивает минимальные потери на переключение благодаря ультранизкому заряду затвора 12 нК. Транзисторы синхронного выпрямления **IRF6628** и **IRF6629** оптимизированы для низких потерь на проводимость и имеют очень низкое R_{DS(on)}, 1,9 мОм и 1,6 мОм, соответственно. IRF6622 выпускается в корпусе малого типоразмера SQ, а IRF6628 и IRF6629 – в корпусе среднего типоразмера MX.

Новые транзисторы предназначены для применения в DC/DC-конверторах с диапазоном токов в фазе 20-30 А. В 5-фазных конверторах с 12 В питанием и выходным напряжением 1,3 В, работающих на частоте 300 кГц, пара транзисторов IRF6622 и IRF6628 на фазу совместно с ИС XPhase® обеспечивает КПД конвертора 88% на выходном токе 130 А, а пара IRF6622 и IRF6629 дает при тех же условиях КПД 88,5%.

Источник:
www.irf.com

International
IR Rectifier
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИС ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

G5
HVIC





up to 600 V

- Управление приводом
- Бытовая техника
- Аудиоприложения
- Освещение
- Автомобильные приложения







www.compel.ru

Владимир Башкиров

IRAMxx – ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИЛОВЫЕ IGBT-МОДУЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Новые интеллектуальные силовые модули IRAMxx компании International Rectifier предназначены для использования в массовом промышленном электроприводе и приводе бытовой техники мощностью до нескольких киловатт. Эти устройства особенно популярны при производстве привода небольшой мощности. А выгодное соотношение эффективности/цена делает их весьма привлекательными для разработчиков.

Особенности схемотехники и устройства интеллектуальных модулей IR

Модули нового семейства, как и их аналоги, предназначены для реализации управления трехфазными бесконтактными электродвигателями – асинхронными и бесконтактными двигателями постоянного тока.

Поэтому в их состав входит трехфазный инвертор со схемой управления и защиты.

В отличие от своих аналогов, модули IR выпускаются в варианте с открытыми эмиттерами нижних ключей инвертора и в варианте со встроенным шунтом в цепи шины нулевого потенциала. Это позволяет реализовать различные комбинации токовых обратных связей.

Модули IR отличаются от модулей Mitsubishi, где применяются Trench IGBT, и модулей Fairchild, выполненных с применением так называемых Current Sense IGBT (часть структуры кристалла используется для получения информации о токе коллектора) тем, что в них используются 600-вольтовые NPT IGBT 5-го поколения, позволяющие работать на ультразвуковых частотах ШИМ (до 20 кГц включительно). К их достоинствам также относятся прямоугольная зона безопасной работы и низкий уровень потерь на переключение (особенно при выключении) при относительно низких потерях на проводимость. Возможность работы на более вы-

соких частотах ШИМ обеспечивает отсутствие акустических шумов (одно из требований для бытовой техники) и более широкий диапазон регулирования скорости.

Для управления ключами инвертора в модулях IR вместо трех кристаллов драйверов верхних ключей и одного драйвера нижних ключей использован один кристалл трехфазного драйвера IR21365. Драйверы серии IR2136x были специально разработаны с учетом специфики привода небольшой мощности, совместимы со всеми типами КМОП и TTL логики с уровнями от 3,3 В. Это позволяет подавать управляющие сигналы от микроконтроллера непосредственно на входы управления верхних и нижних ключей (HIN, LIN) без использования дополнительных преобразующих каскадов. Для снижения цены драйвера снижены выходные токи. Они обеспечивают блокировку по низкому напряжению питания, защиту от перегрузки по току и перегреву. ИС серии IR2136x питаются от единственного источника питания с напряжением 15 В. Как и модули Fairchild, модули IR содержат цепь тепловой защиты на термисторе Rt, но в них дополнительно введены бутстреп-ные диоды и резистор источника питания драйвера, RC-цепи управления временем срабатывания защиты от перегрузки по току, а также ограничительные резисторы в затворах ключей инвертора. В модулях версии «А» эмиттеры нижних ключей соединены непосред-

International IOR Rectifier

Первый 200-вольтовый DirectFET транзистор от IR

Новый транзистор разработан для применения в изолированных DC/DC-конверторах с питанием от универсальной шины (36...75 В). Обладая ультранизким сопротивлением канала (51 мОм) и низким зарядом затвора, IRF6641TRPbF идеально подходит для синхронных выпрямителей высокоэффективных силовых DC/DC-конверторов, работающих на высокой частоте, последнего поколения конверторов шины, привода постоянного тока и даже для 48-вольтовых конверторов ветрогенераторов. Кроме того, он может использоваться в силовых AC/DC-конвертерах компьютеров и телекоммуникационных серверов с питанием от 48-вольтовой шины.

Новый транзистор в корпусе DirectFET типа MZ при габаритах корпуса SO-8 и высоте корпуса 0,7 мм обеспечивает ток 25 А при минимальных потерях проводимости и переключения. Он заменяет до 3 транзисторов в корпусе SO-8 и экономит до 50% площади печатной платы. Транзистор обеспечивает КПД синхронных выпрямителей до 95% или такой же уровень КПД, что при удвоенном количестве транзисторов в корпусе SO-8 и выходном токе 7 А.

редственно с выводами модуля, к которым подсоединяются шунты для получения информации о токах в фазах двигателя. Модули версии «В» содержат встроенный прецизионный безындуктивный



Рис. 1. Интеллектуальный модуль в корпусе SIP

шунт R_s в цепи нулевой шины силового питания.

Модули IR принципиально отличаются от аналогов по технологии корпусирования. Модули Mitsubishi производятся в корпусе DIP одного типоразмера, как и модули Fairchild. В семействе модулей IR применяются корпуса с односторонним расположением выводов (SIP-типа) трех типоразмеров (рис. 1).

В отличие от корпуса DIP, у SIP-модуля за счет различной заводской формовки выводов (рис. 2) возможны варианты взаимного расположения платы управления и корпуса модуля (теплоотвода).

В модулях IR применена более прогрессивная технология корпусирования IMS (Insulated Metall Substrate). Она позволяет увеличить плотность монтажа до 3 раз и снизить стоимость корпуса на 60% по сравнению с технологиями, используемыми в модулях-аналогах.

IMS-материал представляет собой фольгированный материал, где слой медной фольги отделен от алюминиевой подошвы тонким изолирующим адгезивным мате-

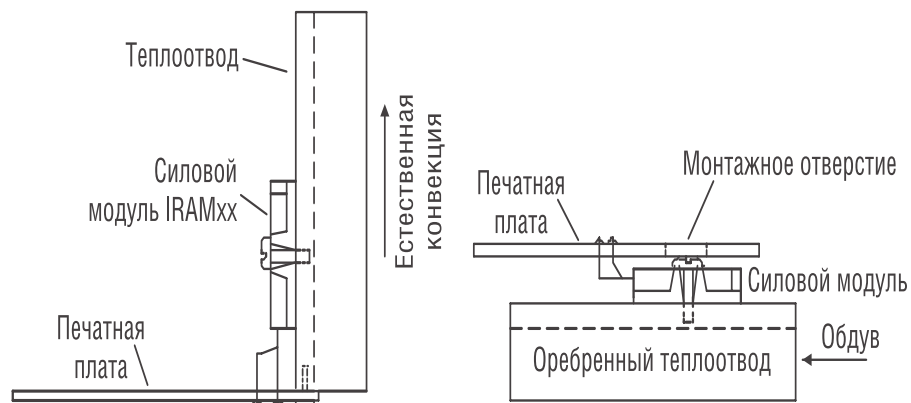


Рис. 2. Варианты монтажа интеллектуальных модулей с различной формовкой выводов

риалом с высокой теплопроводностью.

Толщина фольгированного слоя составляет 20...70 мкм, толщина адгезивной пленки 20 мкм, толщина подошвы из алюминия с двусторонним анодированием 1,5...3 мм. В отличие от аналогов модули IR относятся к типу FullPack (полностью изолированные). После заливки компаундом внешняя поверхность подошвы покрывается слоем пластмассы толщиной 500 мкм.

Применяемые в модулях IR NPT IGBT уступают по потерям

проводимости Trench и PT IGBT в модулях аналогов, но существенно выигрывают по потерям переключения. Они быстрее включаются и выключаются и имеют гораздо более короткое время спада при выключении, определяющее в основном потери на переключение. Поэтому в балансе потерь мощности модули IR могут иметь преимущество до 30%.

Наличие паразитных индуктивностей и емкостей в модуле приводит к генерации высокочастотных шумов. Для обеспечения соответствия мощности генерируемых шу-

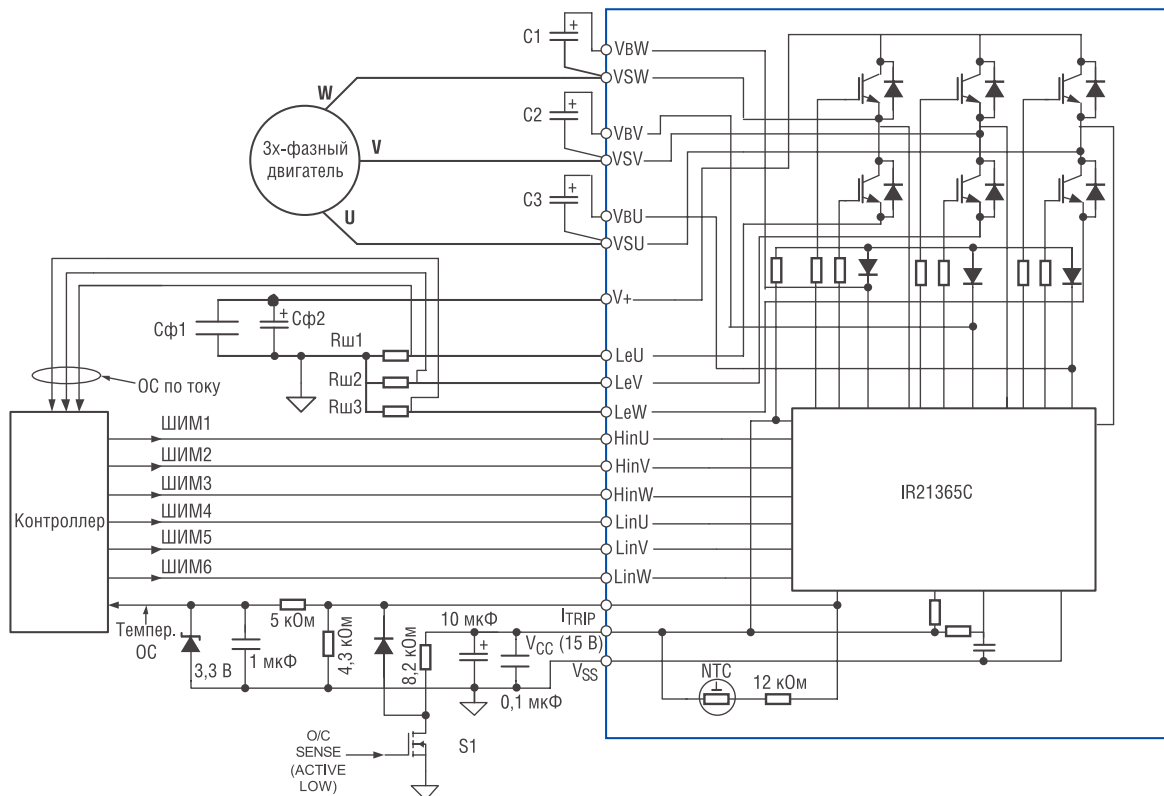


Рис. 3. Схема подключения модулей версии «А»

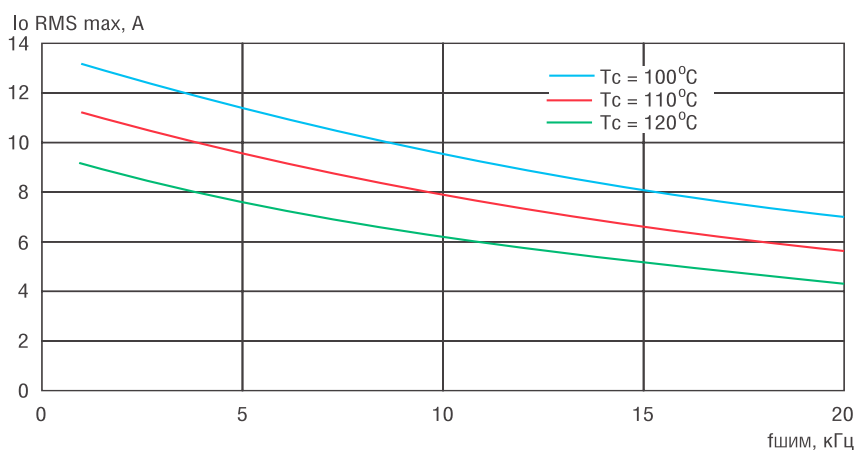


Рис. 4. Зависимость выходного тока от частоты и температуры корпуса ($U_{\text{шины}}=400$ В, $T_J=150^\circ\text{C}$, коэффициент мощности 0,6, глубина модуляции 0,8)

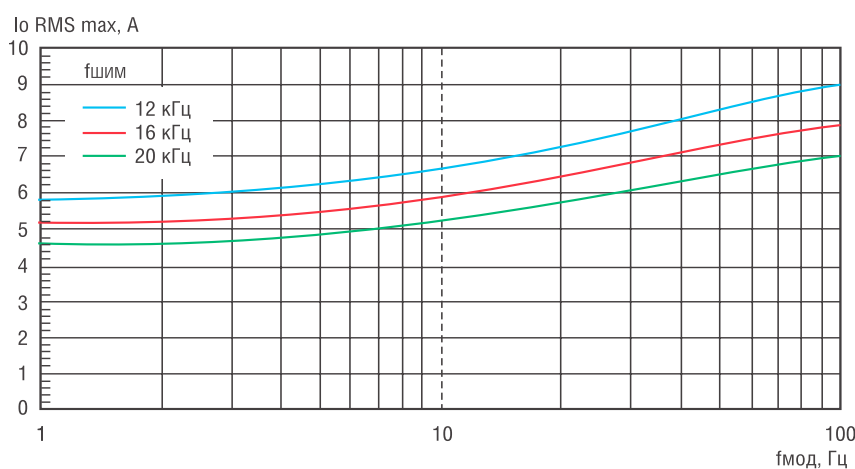


Рис. 5. Зависимость выходного тока от частоты модуляции в двигателе и частоты ШИМ

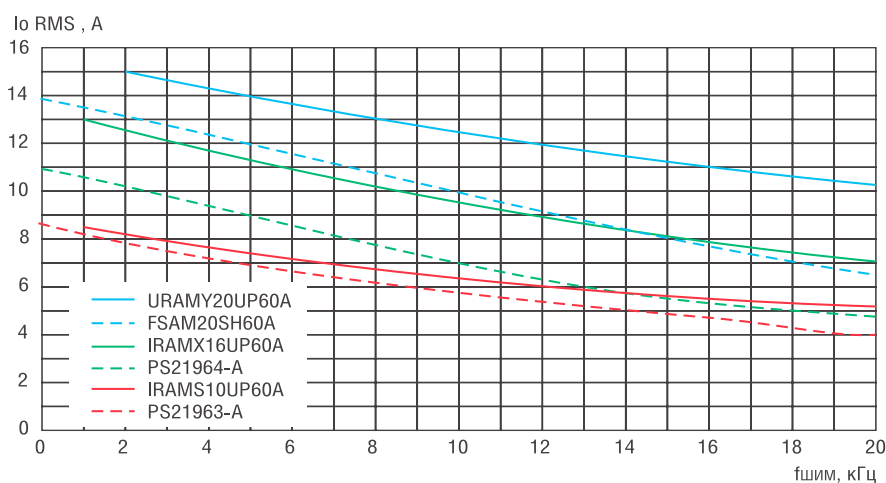


Рис. 6. Сравнение нагрузочной способности по току модулей IR и аналогов

мов требованиям стандартов, во многих случаях приходится искусственно снижать частоту ШИМ. При использовании в модулях IMS-материалов, металлическое

теплоотводящее основание платы, обладающее хорошей электропроводимостью, может быть использовано для реализации внутренней эквипотенциальной поверхности с

нулевым потенциалом (EGP) вместо общей точки. Распределенная между этой поверхностью и шиной питания емкость является проводником с низким импедансом для высокочастотных помех, генерируемых инвертором, что способствует эффективному снижению генерируемых шумов. Как показали испытания модулей IR, уровень паразитных индуктивностей может быть снижен почти на два порядка, что обеспечивает чрезвычайно высокое качество работы инвертора и низкий уровень генерируемых шумов.

Для реализации функционально законченного устройства управления трехфазным электродвигателем с применением интеллектуальных модулей требуется минимальное количество дополнительных компонентов (рис. 3) – микроконтроллер, три бутстрепных конденсатора С1-С3, сетевой фильтр Сф1, Сф2, три шунта токовых ОС Rш1-Rш3 и несложный интерфейс на пассивных компонентах для передачи на микроконтроллер информации о нештатных ситуациях (перегрев, перегрузка по току).

Номенклатура интеллектуальных модулей IRAM

Номенклатура силовых модулей семейства IRAMxx представлена в табл. 1. В сетях переменного тока с диапазоном напряжения от 85 до 253 В эти модули обеспечивают управление трехфазными электродвигателями мощностью от 100 Вт до 2,2 кВт. В целях обеспечения максимальной компактности и минимальной цены модули выпускаются, в зависимости от величины нормируемого тока, в трех типах SIP-корпусов.

Почти все модули семейства выпускаются с двумя вариантами формовки выводов (цифра 2 в обозначении – вариант формовки с отгибом на 90° по отношению к посадочной плоскости корпуса). Конструкция SIP-корпусов позволяет обеспечивать надежную эксплуатацию при питании от сетей переменного тока с напряжением до 380 В (шина постоянного тока 550 В). Сопротивление изоляции модулей нормировано на напряжение 2000 В. Температурный диапазон при эксплуатации и хранении

Таблица 1. Номенклатура интеллектуальных силовых модулей IRAMxx

Типономинал	P _м , кВт	I _о 25°C (A rms)	I _о 100°C (A rms)	P _d , Вт	F _{шим} , кГц	R _ш , мОм	R _t , кОм	R _{th} (J-C), °C/Вт	Тип корпуса	Размеры корпуса, мм
IRAMS06UP60A	0,10...0,50	6	3	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS06UP60A-2	0,10...0,50	6	3	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS06UP60B	0,10...0,50	6	3	20	20	50	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS06UP60B-2	0,10...0,50	6	3	20	20	50	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60A	0,40...0,75	10	5	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60A-2	0,40...0,75	10	5	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60B	0,40...0,75	10	5	20	20	33	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60B-2	0,40...0,75	10	5	20	20	33	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMX16UP60A	0,75...1,50	16	8	35	20	—	100	4,0	SIP2	62x29x5,5
IRAMX16UP60A-2	0,75...1,50	16	8	35	20	—	100	4,0	SIP2	62x29x5,5
IRAMX16UP60B	0,75...1,50	16	8	31	20	18	100	3,5	SIP2	62x29x5,5
IRAMX20UP60A	0,75...1,50	20	10	38	20	—	100	1,5	SIP2	62x29x5,5
IRAMY20UP60B	0,75...2,20	20	12.5	68	20	17	100	1,6	SIP3	78x31,6x6

Примечание: P_м — мощность электродвигателя (при напряжении сети ~85 В и ~253 В), P_d — максимальная мощность рассеиваемая модулем на одну фазу, I_о — среднеквадратический выходной ток (ток фазы двигателя), F_{шим} — максимальная частота ШИМ, R_ш — сопротивление шунта, R_t — сопротивление термистора, R_{th}(J-C) — тепловое сопротивление кристалл-корпус.

составляет от -40 до 150°C. В модулях варианта «В» применяются прецизионные безындуктивные шунты с предельным отклонением 1% и рассеиваемой мощностью от 1,5 до 4,5 Вт. Во всех модификациях модулей используется один типономинал термистора с номинальным сопротивлением 100 кОм, максимальным отклонением 5% и температурным коэффициентом сопротивления 4250. Применяемый во всех типах модулей трехфазный драйвер IR21365 обеспечивает блокировку работы при низком напряжении сети, паузу 300 нс на переключение верхних и нижних ключей для исключения сквозных токов, синхронное отключение всех ключей инвертора спустя 750 нс после получения сигнала о перегреве или перегрузке по току. Помимо этого, все 600-вольтовые IGBT-транзисторы инвертора нормируются на устойчивость к короткому замыканию (в этом режиме они выдерживают 10-кратное увеличение тока по отношению к номинальному в течение 10 мкс).

При выборе типономинала модуля IR следует иметь в виду, что в отличие от аналогов они сохраняют высокую нагрузочную способность по току в широком диапазоне частот ШИМ и модуляции в двигателе и кроме того по иному нормируются. Модули-аналоги нормируются по току на постоянном токе. В отличие от них модули IR нормируются по току при предельных режимах — максимальной частоте ШИМ (20 кГц), максималь-

ном напряжении на шине питания, максимальной глубине модуляции, более высокой температуре кристалла (150°C). Справочные листы модулей IR содержат информацию о зависимости максимального выходного тока от частоты ШИМ и частоты модуляции в двигателе при различных температурах корпуса (рис. 4 и 5), что значительно упрощает конструктору задачу выбора рабочих режимов.

Из графиков видно, что реальная нагрузочная способность по току может возрасти вдвое при снижении частоты ШИМ и на 50% при повышении частоты модуляции в двигателе.

В приложениях модули IR, нормированные на меньший по сравнению с аналогами ток, могут иметь преимущество по выходному току, особенно с повышением частоты ШИМ. На рис. 6 представлены зависимости максимального синусоидального тока на выходе модуля (ток фазы двигателя) в зависимости от частоты ШИМ. Сравнение проводилось между интеллектуальными модулями компании International Rectifier, ультрабыстрыми интеллектуальными модулями четвертого поколения компании Mitshubishi и ультрабыстрыми интеллектуальными модулями компании Fairchild при максимально допустимой температуре кристалла (150°C для модулей IR и 125°C для остальных). Как следует из графиков, модуль FSAM20SH60A компании Fairchild, нормиро-

ванный на ток 20 А, значительно уступает по выходному току модулю IRAMY20UP60A компании IR, нормированному на такой же ток, и фактически близок по току 16-амперному модулю IR IRAMX16UP60A. Нормированный на 15 А модуль PS21964-A компании Mitshubishi существенно уступает 16-амперному IRAMX16UP60A компании IR. На частотах ШИМ выше 10 кГц он уже равноценен 10-амперному IRAMS10UP60A, который, в свою очередь, превосходит 10-амперный PS21963-A компании Mitshubishi во всем диапазоне частот ШИМ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. M. Battelo, P. Wood, M. Hezi, A. Guerra "A new flexible low-cost IGBT inverter power module for appliance applications". PCIM 2003
2. A. Gorderino, A. Guerra "Application-specific current rating of advanced power modules for motion control" Power Systems World, 2003
3. Application note AN-1044 "IRAM series application overview", IR, 2003
4. Application note AN-9018 "Smart power module user's guide", Fairchild, 2002
5. "DIP-IPM Ver. 4 application note", Mitshubishi, 2005.

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: power.vesti@compel.ru.

Михаил Румянцев

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИС ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИВОДА

Компания International Rectifier, в рамках разработанной технологии HVIC для построения высоковольтных управляющих микросхем, выпускает ряд схем управления транзисторными ключами (СУТК) и схем для измерения тока. Эти схемы входят в структуру силовой части большинства современных электронных преобразователей. Статья предлагается вниманию всех разработчиков промышленного электропривода.

ВВЕДЕНИЕ

По различным оценкам, более половины всей вырабатываемой в мире электроэнергии потребляется системами электропривода. При этом наиболее массовым является привод малой (до 5 кВт) и средней (до 50 кВт) мощности, причем на долю первого приходится до 75% рынка электроприводов. Этот класс приводов является основным для станочных приводов подачи, для приводов промышленных роботов, других агрегатов и систем автоматизации технологических процессов, для промышленных вентиляторов, насосов и т.д., а также для бытовой техники. Темпы роста рынка приводов малой и средней мощности составляют примерно 25% в год и имеют устойчивую тенденцию дальнейшего роста. По прогнозам, объем рынка этих приводов к 2010 г. должен достичь рубежа 3 млрд. долларов.

Постоянно возрастающие требования по регулированию параметров движения, по точностным характеристикам и быстродействию для промышленных приводов, с одной стороны, и по потребительским свойствам бытовой техники, с другой стороны, обуславливают ускоренное развитие регулируемых приводов. Расчеты показывают, что простая замена нерегулируемого привода на регулируемый, позволяет экономить

до 60% электроэнергии, потребляемой бытовыми холодильниками и кондиционерами и до 64% — стиральными машинами.

Массовый характер распространения регулируемых приводов малой мощности, устойчивые темпы роста их производства и возрастающие требования по повышению их энергетической эффективности, вызывают необходимость совершенствования старых и разработки новых алгоритмов управления приводом, применения наиболее эффективных электродвигателей и схем управления ими. Реализация указанных тенденций привела к тому, что классический, наиболее распространенный ранее нерегулируемый асинхронный электропривод с питанием от общепромышленной сети 220/380 В, 50 Гц, постепенно вытесняется другими устройствами. Это асинхронный привод с частотным и векторным управлением, вентильный привод на основе индукторных двигателей и вентильный привод на основе бесконтактных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Как правило, при мощности более 100 Вт двигателя для всех типов перспективных приводов выполняются трехфазными.

International IOR Rectifier

Новый чипсет для аудиоусилителей класса D

Новое решение IR на 50% снижает площадь печатной платы в аудиоусилителях класса D мощностью до 500 Вт и вдвое снижает требуемое число силовых ключей. Чипсет ориентирован на применение в аудиоусилителях средней и высокой мощности для домашних кинотеатров, музыкальных инструментов, профессиональных усилителей и автомагнитол.

Применение драйвера ключей верхнего и нижнего уровней IRS20955(S)(TR)PBF исключает из схемы до 27 внешних компонентов. Высокий уровень защиты обеспечивается интегрированной программируемой двунаправленной токовой ОС с возможностью автоматической переустановки, что позволяет высоковольтной ИС определять точное текущее положение на диаграмме цикла переключения и оптимизировать работу контура защиты по току. Интегрированные в ИС функции защиты экономят до 11 компонентов схемы. Пауза на переключение может быть установлена на значения 15, 25, 35, 45 нс для достижения как минимального уровня коэффициента нелинейных искажений так и высокой устойчивости к помехам. IRS20955 работает на частотах до 800 кГц и может применяться не только в полумостовых схемах с двуполярным питанием, но и в мостовых схемах с однополярным питанием. ИС IRS20955 выпускается в бесвинтовых 16-выводных DIP- и SOIC-корпусах. Транзисторы серии IRFI4024x-117P в изолированных 5-выводных корпусах TO-220 FullPak представляют собой полумост, выполненный на полевых N-канальных транзисторах, нормированных на напряжения 55, 100, 150 и 200 В. Помимо низкого сопротивления канала (48 мОм для 55В IRFI4024H-117P, 58 мОм для 100 В IRFI4212H-117P и 80 мОм для 150 IRFI4019H-117P и 200 В IRFI4020H-117P) их отличает ультранизкий уровень заряда затвора (от 8,9 до 19 нК) и переключения (от 4,3 до 6,8 нК), что позволяет обеспечить чрезвычайно низкий уровень коэффициента нелинейных искажений и генерируемых помех.

Другой общей чертой этих современных приводов является то, что переменное трехфазное напряжение для электропитания обмоток электрических машин (ЭМ) вырабатывается специальным электронным преобразователем — инвертором (И), выполненным по мостовой схеме. Таким образом, вся система электропривода строится по так называемой схеме со звеном постоянного тока, при которой на вход инвертора подается постоянное напряжение U_d .

На рис. 1 представлена типовая функциональная схема электроприводов малой и средней мощности. Напряжение U_d вырабатывается блоком выпрямления В (мостовым выпрямителем или корректором коэффициента мощности). Обязательным элементом инвертора является входной фильтр Ф (в простейшем случае емкостной). Силовая часть (СЧ) инверторов выполняется в большинстве случаев на полевых транзисторах (MOSFET) или на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT). Для электроприводов с напряжением U_d в шине постоянного тока свыше 300 В, на сегодняшний день наибольшее распространение получили системы, выполненные на IGBT-транзисторах. Для электроприводов с напряжением по цепи постоянного тока до 200 В предпочтительней использование полевых транзисторов.

Обязательной функцией для всех современных электроприводов является регулирование (в простейшем случае — ограничение) тока, протекающего через силовые транзисторы и фазы ЭМ. Наиболее часто это регулирование осуществляется методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) времени открытого состояния силовых транзисторов И. Для получения информации о величине тока служат датчики тока (ДТ), устанавливаемые либо непосредственно в фазы ЭМ ($ДТ_{\Phi 1}$ и $ДТ_{\Phi 2}$) или в шину постоянного тока ($ДТ_{-}$).

В вентильных электроприводах часто необходимым функциональным элементом является датчик положения ротора (ДПР) или эн-

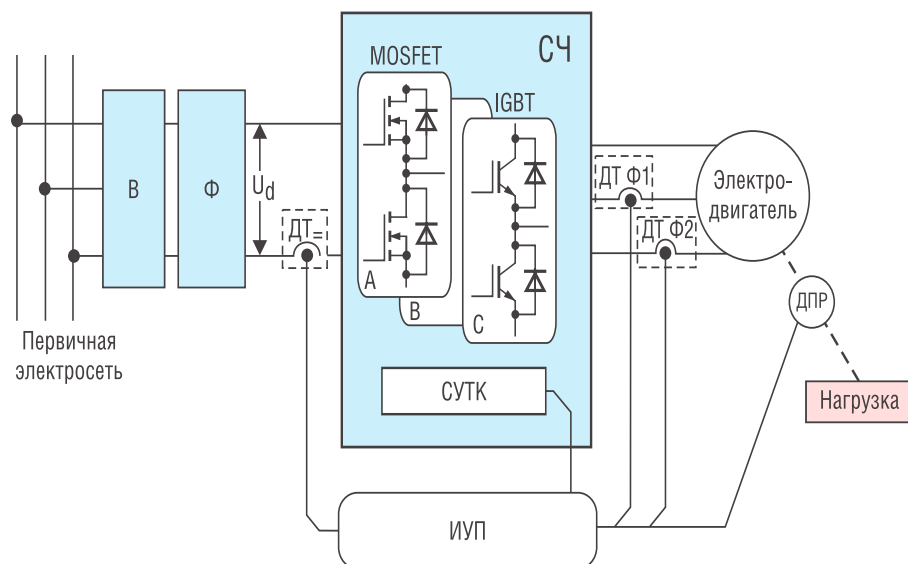


Рис. 1. Типовая функциональная схема электроприводов малой и средней мощности

кодер, устанавливаемый на валу ЭМ.

Информационно-управляющая подсистема (ИУП) предназначена для:

1. выработки сигналов управления транзисторами СЧ с целью формирования требуемых законов движения электропривода;
2. обеспечения необходимых защит, обратных связей;
3. индикации режимов и параметров работы привода;
4. сопряжения с внешними управляющими устройствами и датчиками.

Для построения ИУП могут использоваться как устройства жесткой логики и специализированные микросхемы управления приводами, так и программируемые микропроцессоры и цифровые сигнальные процессоры.

Для преобразования слабых сигналов, вырабатываемых ИУП, в сигналы управления затворами силовых транзисторов служат специальные схемы управления транзисторными ключами (СУТК), называемые в иностранной литературе драйверами.

Массовый характер производства электроприводов малой и средней мощности привел к изменению принципов проектирования электронных преобразователей. Раньше разработчики обеспечивали высокие технические характеристики устройств за счет специальных схемотехнических решений

и использования дополнительных цепей и узлов, таких, например, как формирователи траектории переключения (снабберы). Теперь многочисленные функции защит, управления переключением силовых транзисторов, контроля параметров все в большей степени возлагаются на схемы драйверов. При этом упрощаются схемные решения, сокращается число элементов вспомогательных цепей. Элементы устройства становятся более компактными и, соответственно, снижается себестоимость производства изделий. Однако для реализации указанного подхода в современных микросхемах СУТК должен обеспечиваться определенный баланс между их стоимостью с одной стороны и функциональной полнотой и надежностью — с другой.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫМИ КЛЮЧАМИ

СУТК являются необходимым функциональным элементом электронного преобразователя для привода (рис. 1), поэтому ее выбор является важным этапом разработки.

Потенциал затвора силовых транзисторных ключей «верхней группы» в промышленном и бытовом приводе определяется величиной U_d и намного превышает потенциалы сигналов управления, вырабатываемых ИУП, поэтому

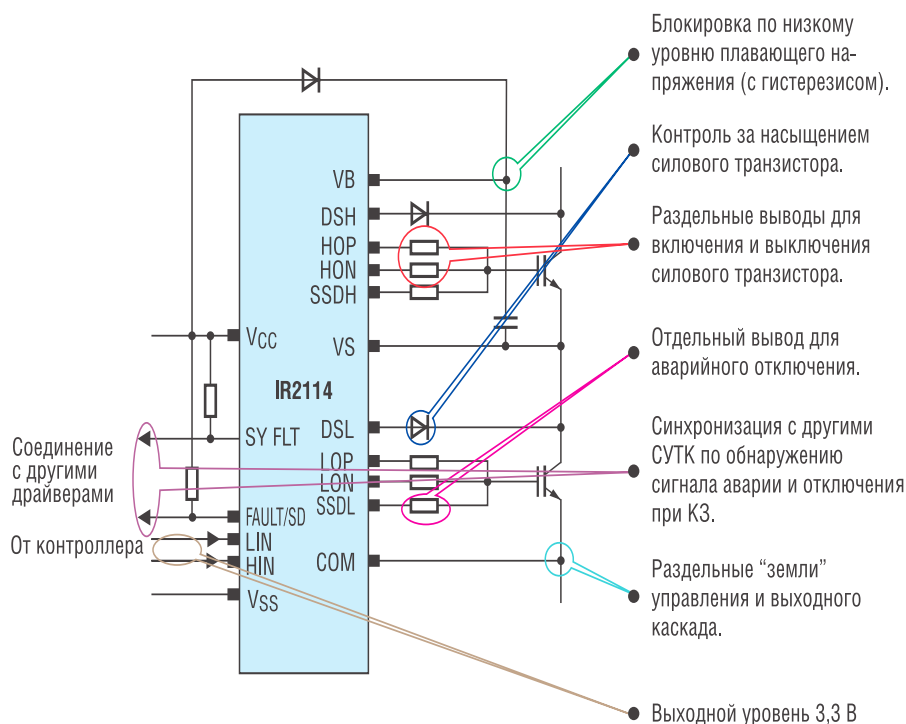


Рис. 2. Схема подключения IR2114

в СУТК должна осуществляться либо гальваническая развязка входных и выходных цепей, либо должен обеспечиваться плавающий выходной потенциал (высоковольтный сдвиг уровня) выходного сигнала. Компания International Rectifier является одной из немногих, успешно реализующей разработку СУТК с плавающим потенциалом. Образно говоря, подобные решения являются фирменным знаком компании.

В последние годы инженеры компании разработали новую технологию построения высоковольтных микросхем (HVIC), в рамках которой удалось создать СУТК высокой степени интеграции для бытовых и промышленных приводов малой и средней мощности, работающих от общепромышленных однофазной 220 В, 50 Гц и трехфазной 220/380 В, 50 Гц сетей. Типичным представителем этого семейства являются приборы IR2114 (класс 600 В) и IR2214 (1200 В). Микросхемы предназначены для управления «верхним» и «нижним» силовыми транзисторами полумостовой схемы, на рис. 2 показана типовая схема включения СУТК и отмечены ее характерные особенности.

Основные характеристики микросхемы IR2114:

- Гарантированная пауза между переключениями верхнего и нижнего транзисторов <math>< 500 \text{ нс}</math>, что позволяет работать на частотах до 100 кГц.
- Управление от логических сигналов любого уровня.
- Выходной вытекающий ток до 2 А.
- Выходной втекающий ток до 3 А, что дает возможность управлять транзисторами и высоковольтными модулями с током до 50 А без применения дополнительных буферов.
- Полная унификация 600 В и 1200 В приборов по назначению и расположению выводов.
- Компактность.
- Один источник питания для создания плавающего выходного напряжения.
- Высокая устойчивость к защелкиванию (50 В/нс).
- Время срабатывания защиты по току 1,5 мкс.

Характерными особенностями драйверов являются:

Независимое формирование процессов включения и выключения силовых транзисторов. В микросхемах IR2114/2214 пре-

дусмотрены три цепи для управления процессом включения/выключения силовых транзисторов. Включение силового транзистора осуществляется по выходам xOP (см. рис. 3) в два этапа. На первом этапе, длительностью 200 нс, перезаряд входной емкости затвора силового транзистора осуществляется через два внутренних параллельно включенных резистора сопротивлением 15 Ом и внешний резистор R_{Gon} . На втором этапе отключается один из параллельно включенных внутренних резисторов и выходной ток уменьшается. Таким образом осуществляется форсирование процесса включения силового транзистора.

Выключение силового транзистора при отсутствии перегрузки осуществляется путем замыкания цепи «затвор-исток» через внутренний резистор 5 Ом и внешний резистор R_{Goff} . Максимальная величина запирающего тока — 3 А.

Формирование «мягкого» выключения при перегрузках осуществляется посредством дополнительных выходов SSDx (рис. 2). При обнаружении перегрузки по току (см. ниже) форсированное выключение силового транзистора по цепи xON может привести к выходу траектории переключения за пределы области безопасной работы рабочей точки. Для исключения этого в IR2114/2214 осуществляется «мягкое» выключение силового транзистора путем замыкания цепи «затвор-исток» через внутренний резистор 100 Ом и внешний резистор R_{Goff} (см. рис. 3).

Защита от перегрузки по току осуществляется путем слежения за напряжением на открытом транзисторе V_{CEsat} по выходам DCx через разделительный диод (рис. 2). Указанный способ защиты хорошо известен еще со схем управления биполярными транзисторами и заключается в формировании запирающего сигнала при выходе транзистора из насыщения (desaturation). В IR2114/2214 срабатывание защиты происходит при напряжении $V_{CE} = 8 \text{ В}$, что позволяет с достаточной степенью надежности для высоковольтных IGBT выявлять перегрузку по току, вызванную коротким



Сергей Пичугин

IR1167 – ЛЕГКИЙ ПУТЬ К УВЕЛИЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ АС/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Необходимо повысить КПД и уменьшить габариты однотактного обратногоходового или двухтактного преобразователя? Хотите уменьшить потери на выпрямителе? В этом Вам поможет новый контроллер синхронного выпрямителя IR1167 от компании International Rectifier.

Синхронное или, как его еще называют, активное выпрямление — это один из способов повысить эффективность источника питания — вариант, при котором в выходном выпрямителе вместо диода Шоттки применяется синхронно управляемый MOSFET-транзистор. Благодаря низкому сопротивлению открытого канала современного MOSFET-транзистора, удастся снизить прямое падение напряжения на выпрямителе, что, соответственно, приводит к уменьшению потерь в этом узле. При существующей на сегодняшний день элементной базе данное утверждение справедливо для источников питания с выходным напряжением до 12, максимум 18 вольт. Немаловажная задача — правильно управлять «синхронным» транзистором.

Аналоговый контроллер IR1167 относится к серии ИС «Smart Rectifier» («интеллектуальный выпрямитель») и позволяет управлять одним N-канальным транзистором (или несколькими, параллельно включенными) в синхронном выпрямителе. Типовая схема включения отображена на рисунке 1. Особенность принципа работы — измерение дифференциального напряжения между стоком и истоком силового MOSFET-транзистора, включенного вместо выпрямительного диода, и дальнейшая обработка этой информации с помощью компараторов с гистерезисом и специальными цепями задержек.

Рассмотрим работу контроллера IR1167 на примере обратногоходового преобразователя. Сразу после закрытия силового транзистора

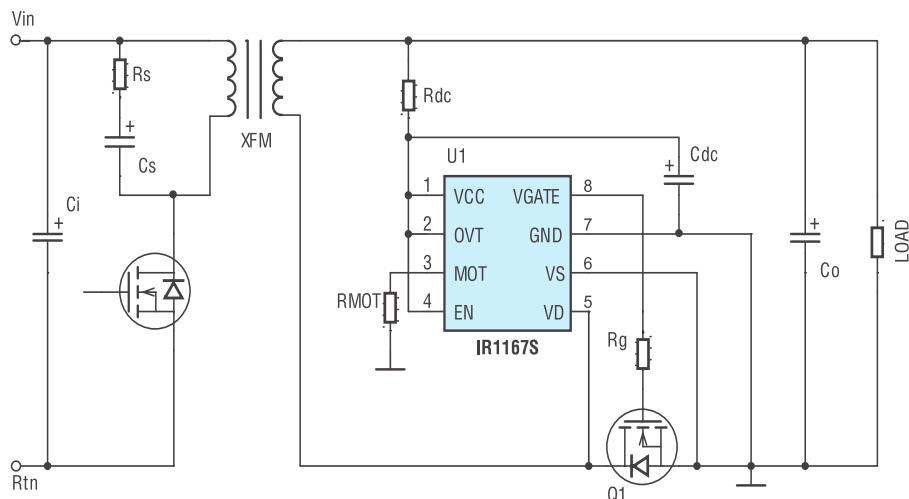


Рис. 1. Типовая схема включения IR1167

International IR Rectifier

Корпорация International Rectifier объявила о серийном производстве новых твердотельных реле

По отношению к аналогам и предшественникам семейство PVN012A обладает вдвое меньшим сопротивлением по переменному току в открытом состоянии ($R_{dd(on)}$) и на 37,5% более высокой нагрузочной способностью на переменном токе при 100% скважности. Новая серия реле также нормирована на максимальный импульсный (перегрузочный) ток.

Благодаря низкому сопротивлению канала и высокой нагрузочной способности по току в сочетании с компактным корпусом реле PVN012A превосходят возможности традиционных электромеханических реле. Они занимают меньшую площадь, нормированы на высокое напряжение изоляции между входом и выходом, имеют стабильное сопротивление в открытом состоянии в течение всего срока эксплуатации, высокую чувствительность и высокую надежность, свободны от дребезга контактов. Новые реле нормированы на напряжение 20 В, сопротивление в открытом состоянии 50 мОм на переменном и 15 мОм на постоянном токе. Нагрузочная способность по току составляет 4 А на переменном и 6 А на постоянном токе. Испытательное напряжение при проверке изоляции между входом и выходом равно 4000 В. Новые реле выпускаются в бессвинцовых 6-выводных DIP- и SOIC-корпусах и на ленте.

на первичной стороне (рис. 1) начинает протекать ток через внутренний диод закрытого (на тот момент) MOSFET-транзистора Q1. На рисунке 2 представлена зависимость напряжения на затворе «синхронного» транзистора Q1 от дифференциального напряжения сток-исток на этом же транзисторе (гистерезис работы).

По графику справа налево: при открытии внутреннего диода транзистора Q1 под воздействием протекающего тока дифферен-

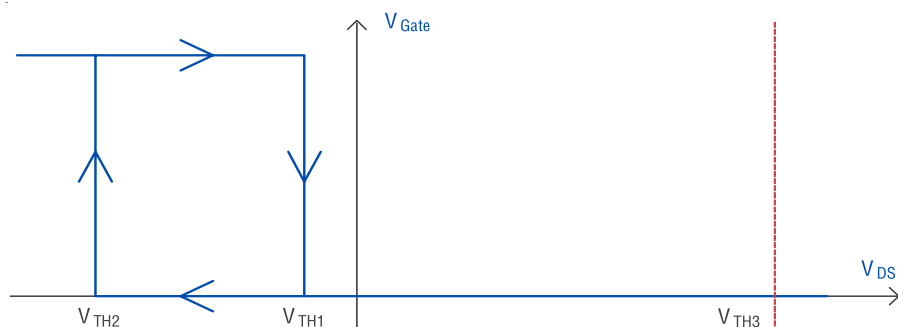


Рис. 2. Гистерезис работы IR1167

циальное напряжение V_{DS} уходит в отрицательную сторону (относительно уровня общего провода). Это напряжение стремится к значению напряжения, равному прямому падению напряжения на диоде (примерно -700 мВ), но в точке V_{TH2} в работу вмешивается IR1167 и подает напряжение V_{Gate} на затвор «синхронного» транзистора Q1 (по графику вверх), тем самым открывая его. Открывшись, MOSFET-транзистор шунтирует свой внутренний диод и, учитывая очень низкое сопротивление открытого канала, уменьшает падение напряжения исток-сток (анод-катод внутреннего диода). Таким образом, дифференциальное напряжение V_{DS} оказывается в области между точками V_{TH2} и V_{TH1} (по графику вверх и вправо от точки V_{TH2}).

В дальнейшем ток постепенно (при режиме прерывистых токов) или стремительно (при режиме непрерывных токов) уменьшается

(красная линия на рисунке 3), что приводит к уменьшению падения напряжения сток-исток V_{DS} (зеленая линия на рисунке 3). Контроллер IR1167 продолжает контролировать дифференциальное напряжение V_{DS} и в точке V_{TH1} , убирая напряжение с затвора, закрывает «синхронный» транзистор Q1.

Для устранения влияния переходных процессов на работу компараторов при включении и выключении силового транзистора Q1 в контроллер дополнительно введены две специальные цепи задержек. Первая цепь задержки — с фиксированным значением времени, которое зависит только от номинала внешнего резистора R_{MOT} . На рисунке 3 это время показано как «MOT» — минимальное время открытого состояния ключа (Minimum On Time). На этот момент времени компаратор, который, сработав, позволил открыться транзистору Q1, блокируется и

сохраняет свое состояние. Вторая цепь задержки, наоборот, формирует минимальное время закрытого состояния транзистора Q1. Но это время не фиксировано и зависит от того, насколько быстро значение дифференциального напряжения V_{DS} достигнет значения точки V_{TH3} (рис. 2, 3). На рисунке 3 это время обозначено как «задержки».

Рассмотрим ближе значения пороговых точек V_{TH} . Примерное значение точек V_{TH1} и V_{TH2} можно определить по графикам на рисунке 4. Точка V_{TH1} для разных режимов работы преобразователя может иметь три разных значения, в зависимости от трех возможных состояний вывода OVT (вывод 2 ИС IR1167):

- 1) подключен к шине GND (общий провод);
- 2) оставлен свободным (не подключен);
- 3) подключен к шине питания (V_{CC}).

Значение точки V_{TH3} зависит от напряжения питания и примерно равно $2,5$ В при $V_{CC}=10$ В и $5,4$ В при $V_{CC}=20$ В.

Учитывая диапазон питающих напряжений ($11,3...20$ В), который, в свою очередь, оптимизирован для управления стандартными MOSFET-транзисторами, при низких значениях выходных напряжений необходимо предусмотреть вольт-добавку (как вариант — в виде дополнительной

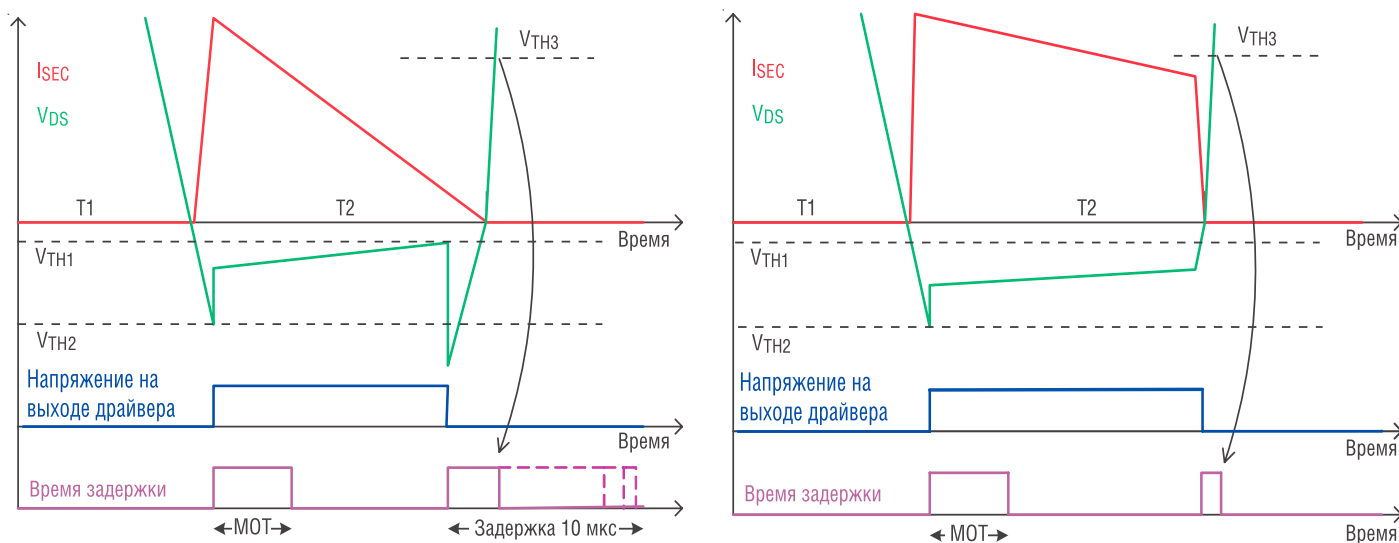


Рис. 3. График работы синхронного выпрямителя обратного преобразователя с использованием IR1167 для режима прерывистых токов (слева) и режима непрерывных токов (справа)

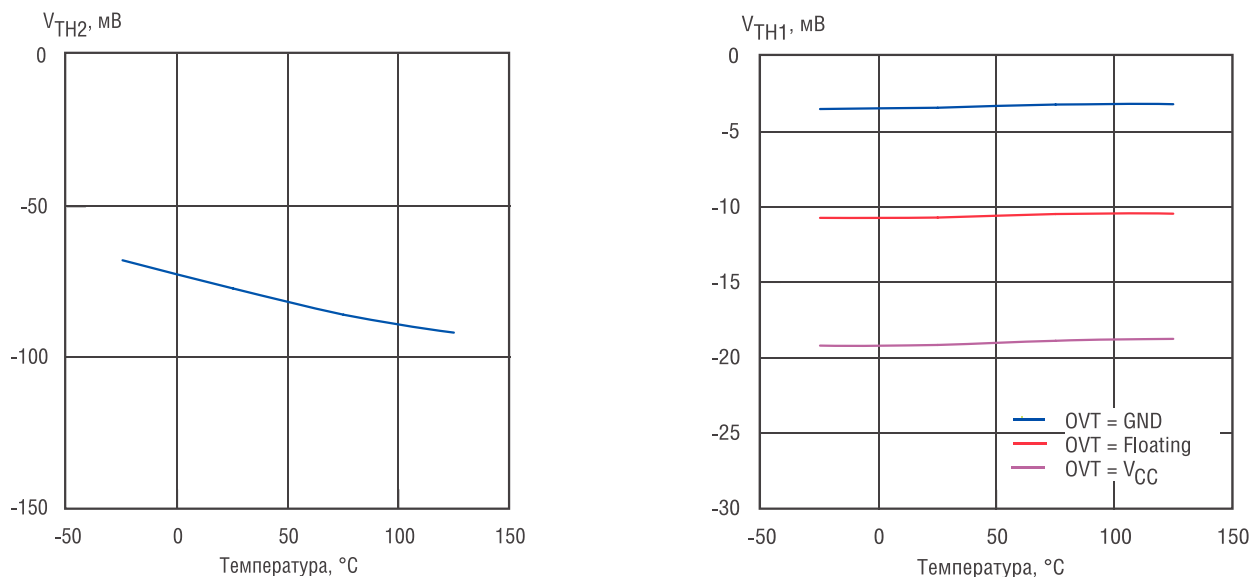


Рис. 4. Значения точек V_{TH2} (слева) и V_{TH1} (справа)

Таблица 1. Аналоговые контроллеры для синхронного выпрямителя серии Smart Rectifier

Наименование	Корпус	Диапазон питающих напряжений, В	Напряжение на стоке транзистора, В	Макс. частота коммутации, кГц	Пиковый ток драйвера нар./спад, А	Ограничение макс. напряжения драйвера, В
IR1166SPbF	SO-8	11,3...20	≤200	500	+1/-3,5	10,7
IR1167ASPbF					+2/-7	10,7
IR1167BSPbF						14,5
IR1167APbF	DIP-8					10,7
IR1167BPbF						14,5

Таблица 2. Новые MOSFET, рекомендуемые для синхронных выпрямителей

Наименование	Uси, В	Rds(on) мОм	Корпус
IRFB3307PBF	75	6,3	TO-220
IRFB3507PBF	75	8,8	TO-220
IRF7854PBF	80	13,4	SO-8
IRFB4110PBF	100	6,3	TO-220
IRFB4310PBF	100	7	TO-220
IRFB4410PBF	100	10	TO-220
IRFB4610PBF	100	14	TO-220
IRF7853PBF	100	18	SO-8
IRFB4227PBF	200	26	TO-220

обмотки трансформатора). Для управления синхронным выпрямителем в двухтактном преобразователе необходимо применение двух ИС соответственно. Более подробно о различных схемах включения IR1167 можно узнать из рекомендаций по применению AN-1087, доступных на сайте компании International Rectifier: <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1087.pdf>.

Экономические и эксплуатационные преимущества применения синхронного выпрямителя очевидны: значительное увеличение эффективности — уменьшение тепловыделения, уменьшение габаритов печатной платы и корпуса за счет уменьшения или полного отсутствия (в большинстве случаев) радиатора выпрямителя. ИС IR1167, в свою очередь, позволяет создать простой, на-

дежный и легкий для реализации синхронный выпрямитель с минимальным количеством внешних компонентов.

В настоящий момент доступны пять модификаций аналогового контроллера серии «Smart Rectifier» для синхронного выпрямителя, отличия которых отображены в таблице 1.

На сайте компании International Rectifier доступна в онлайн-режиме система расчета синхронного выпрямителя на базе IR1166/67: <http://mypower.irf.com/syncres>.

В дополнение, в таблице 2 представлены новые MOSFET-транзисторы International Rectifier, рекомендуемые для синхронных выпрямителей.

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: power.vesti@compel.ru.

Владимир Башкиров

ТРАНЗИСТОРЫ TRENCH IGBT ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Trench IGBT шестого поколения от компании International Rectifier — это существенно улучшенные технические характеристики и надежность в сочетании с привлекательной ценой.

Оцените их преимущества при производстве промышленных и бытовых проводов мощностью до нескольких киловатт, а также в промышленных источниках питания.

Особенности технологии и преимущества по отношению к предыдущим поколениям IGBT

Основные отличия в характеристиках транзисторов нового и предыдущих поколений обусловлены особенностями строения кристалла. Новые IGBT шестого поколения относятся к типу DS (Depletion Stop) Trench IGBT. Кристалл такого транзистора содержит вертикально расположенный затвор и слой, блокирующий носители (depletion stop) (рис. 1).

Лучшие тепловые характеристики транзисторов этого типа достигаются за счет минимальной толщины (70 мкм) пластин. Благодаря применению технологии trench, затвор расположен вертикально, что способствует существенному снижению площади ячейки. У транзисторов шестого

поколения площадь ячейки меньше по сравнению с предыдущими поколениями на 40%. Благодаря этому кристалл становится более компактным или существенно возрастает ток транзистора (до 60%) при равноценной площади кристалла. У вертикального затвора, в отличие от планарного, отсутствуют горизонтальные участки протекания тока. Ток течет к коллектору по кратчайшему пути, что обеспечивает снижение потерь на проводимость. В этом отношении транзисторы IR схожи с аналогами других производителей, но отличаются от них тем, что обладают более высокой комплексной эффективностью. А благодаря самому низкому уровню потерь всех видов, Trench IGBT занимают первое место и среди IGBT, производимых компаниями.

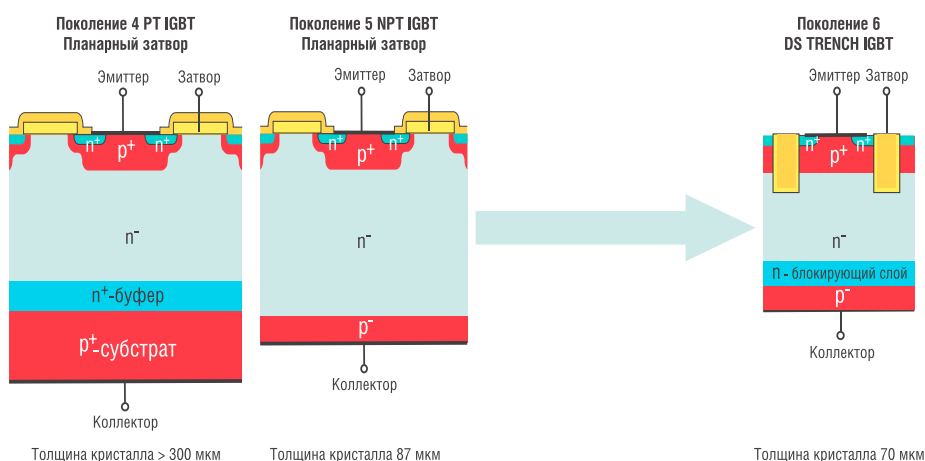


Рис. 1. Эволюция кристалла IGBT

International IR Rectifier

Высоковольтные драйверы сверхъярких светодиодов от IR Возможными приложениями для этих драйверов являются архитектурная и декоративная подсветка, цветомузыка, наружная и внутренняя сигнализация. Нормированные на напряжение 200 и 600 В ИС серии **IRS254x** содержат понижающий гистерезисный регулятор с задержкой для управления средним значением тока с погрешностью не более 5% на основе точной оценки разницы между текущим напряжением и максимально допустимым напряжением. Внешний бутстрепный контур верхнего уровня управляет работой ключевого обратногоходового каскада на частотах до 500 кГц. Драйвер нижнего уровня используется при работе синхронного выпрямителя.

ИС серии **IRS254x** компенсируют вариации параметров светодиодов для реализации устройств управления с повышенной точностью и высокой внутренней стабильностью. Новые ИС обеспечивают микромощный режим старта с потреблением менее 500 мкА и паузу на переключение 140 нс. Другими особенностями новых драйверов являются режим рестарта, выключение без защелки, возможности реализации ШИМ-димминга. Микросхемы выпускаются в компактных 8-выводных бесвинтовых DIP- и SOIC-корпусах. Возможна поставка приборов на ленте.

Самое низкое падение на транзисторе в открытом состоянии позволяет рекомендовать их в качестве наиболее эффективных приборов для приложений, где потери на проводимость являются преваляющим фактором.

Вследствие расширения диапазона рабочих частот ШИМ, учет потерь на переключение в транзисторах при проектировании современных импульсных источников питания и электропривода играет не меньшую роль, чем учет потерь на проводимость. До последнего времени предлагаемые на рынке Trench IGBT по этому показателю

уступали NPT IGBT по потерям на переключение и по их суммарной мощности. Trench IGBT 6-го поколения производства IR разрабатывались так, чтобы все составляющие потерь на переключение были лучше, чем у предшественников. Энергия включения у них до 25% ниже, чем у PT IGBT поколения 4 и NPT IGBT поколения 5 во всем диапазоне токов коллектора. Основная доля в балансе потерь на переключение, благодаря наличию так называемого «хвоста», приходится на процесс выключения IGBT. У новых Trench IGBT путем уменьшения длины «хвоста» удалось сделать траекторию переключения более плавной, чем у NPT IGBT. Благодаря этому энергия выключения стала ниже на 10...20%, чем у NPT IGBT. Благодаря перечисленным преимуществам, а также более низкому заряду затвора (потери на управление), с появлением новых Trench IGBT отпала необходимость применять широкую номенклатуру транзисторов различных частотных диапазонов, оптимизированных для узкоспециализированных задач. То есть новые транзисторы являются универсальным средством решения широкого круга проблем.

Жесткие современные ограничения мощности помех, генерируемых преобразовательными устройствами, делают это показателем одним из самых актуальных. Низкий уровень излучаемых помех позволяет применять менее дорогие и более компактные сетевые фильтры, то есть понизить стоимость изделия. Уровень помех определяется плавностью изменения тока в режиме выключения на хвостовом участке.

Благодаря более компактным размерам ячейки и пониженным потерям, нагрузочная способность по току для кристалла с площадью, равной площади кристалла с планарным затвором, может повышаться до 60%. Более высокая токовая отдача Trench IGBT позволяет помещать кристаллы в компактные и менее дорогие корпуса транзисторов.

По устойчивости к ложному переключению Trench IGBT 6-го поколения занимают промежуточное положение между PT IGBT и NPT

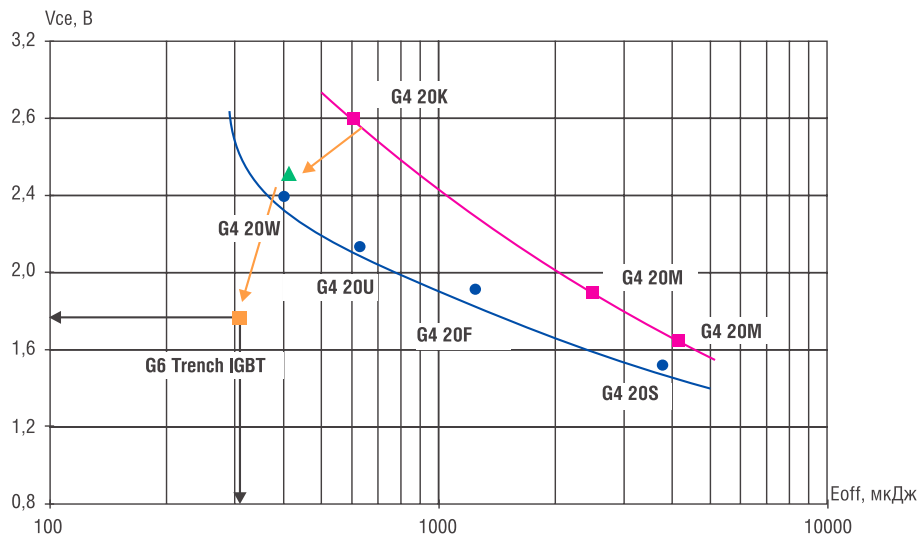


Рис. 2. Эволюция комплексной эффективности поколений IGBT

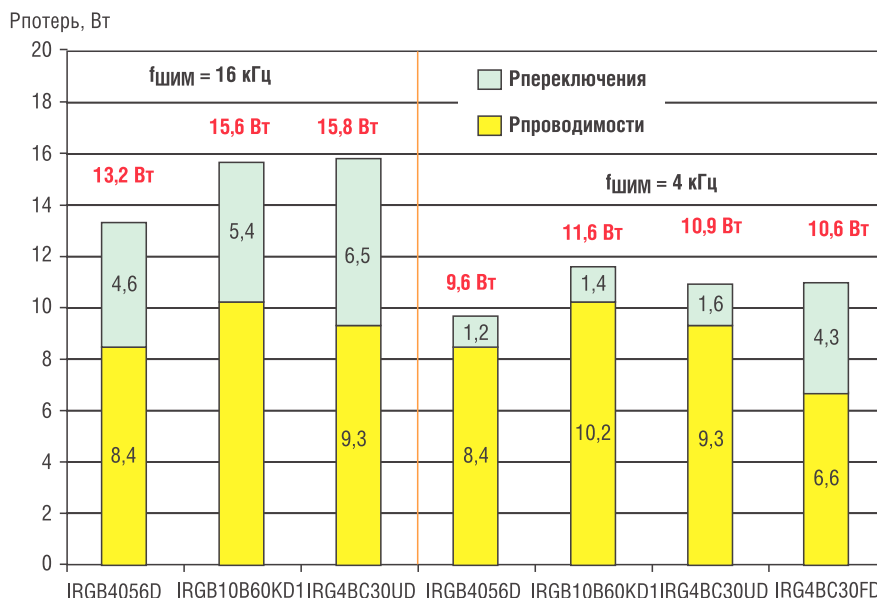


Рис. 3. Сравнение структуры потерь мощности инвертора при различных частотах ШИМ

IGBT. Паразитного включения Trench IGBT не происходит при скорости нарастания напряжения (dV/dt) 6...10 кВ/мкс в зависимости от тока коллектора, что выше, чем у NPT IGBT (4...8 кВ/мкс) но уступает PT IGBT (10...15 кВ/мкс). Аналогично новые транзисторы занимают промежуточное положение по устойчивости к паразитному выключению вследствие высокой скорости изменения тока (dI/dt). Для Trench IGBT граничная величина dI/dt равна 650 А/мкс, что близко к PT IGBT (700 А/мкс) и выше чем у NPT IGBT (350 А/мкс).

Еще одной важной особенностью IGBT является чувстви-

тельность к минимальной длительности импульса отпирания. Trench IGBT, как и PT IGBT четвертого поколения, способны полностью переключиться при длительности управляющего импульса менее 1 мкс. Для уверенного переключения NPT IGBT требуются импульсы длительностью более 1 мкс.

Все Trench IGBT способны выдерживать режим короткого замыкания до 5 мкс. Они нормируются на устойчивость к короткому замыканию в течение 5 мкс при отношении тока короткого замыкания к номинальному току, равном четырем. У NPT IGBT и PT IGBT это отношение составляет десять.

Таблица 1. Номенклатура Trench IGBT поколения 6

Типономинал	Корпус	Vces, В	Vce(on), В тип/макс	Ic, А 25°C/100°C	Icm, А	Pd, Вт 25С	Qgтип, нК	Eon, мкДж	Eoff, мкДж
IRGB4045DPBF	TO-220AB	600	1,7/2,00	12/6	20	77	13	56	122
IRGB4056DPBF	TO-220AB	600	1,55/1,85	24/12	48	140	25	75	225
IRGB4059DPBF	TO-220AB	600	1,75/2,05	8/4	16	56	9	35	75
IRGB4060DPBF	TO-220AB	600	1,55/1,85	16/8	32	99	19	70	145
IRGB4061DPBF	TO-220AB	600	1,65/1,95	36/18	72	206	35	95	350
IRGI4061DPBF	TO-220 FullPak	600	1,35/1,59	20/11	40	43	35	95	350
IRGP4062DPBF	TO-247AC	600	1,6/1,95	48/24	96	250	50	115	600
IRGP4063DPBF	TO-247AC	600	1,65/2,14	96/48	192	330	95	625	1275
IRGB4064DPBF	TO-220AB	600	1,6/1,91	20/10	40	101	21	29	200
IRGP4068D-EPBF	TO-247AC	600	1,65/2,14	96/48	192	330	95		1275
IRGP4068DPBF	TO-247AC	600	1,65/2,14	96/48	192	330	95		1275

Таблица 2. Возможные замены PT IGBT, NPT IGBT на Trench IGBT

Поколение 6		Поколение 5	Поколение 4
Trench IGBT	Ic, А Tc = 100°C	NPT IGBT	PT IGBT
IRGB4059DPBF	4,0	IRGB4B60KD1	IRG4BC10SD IRG4BC10KD
		IRGB6B60KD	IRG4BC15MD IRG4BC15UD
IRGB4060DPBF	8,0	IRGB8B60K	IRG4BC20SD IRG4BC20FD
			IRG4BC20MD IRG4BC20UD
			IRG4BC20KD
			IRG4B30SD IRG4B30FD
			IRG4B30MD IRG4BC30UD IRG4BC30KD
IRGB4056DPBF	12,0	IRGB10B60KD	IRG4B40SD IRG4B40FD
		IRGB15B60KD	IRG4BC40UD IRG4BC40KD
IRGB4061DPBF	18,0	IRGB15B60KD	IRG4PC50FD
IRGB4062DPBF	24,0	IRGP20B60KD	
IRGB4063DPBF	48,0	IRGP30B60KD-E	

Для разработчиков преобразовательной техники наибольший интерес представляет то, как все перечисленные преимущества реализуются в росте эффективности инвертора.

Структура потерь мощности инвертора, используемого в электроприводе (рис. 3), указывает на то, что с Trench IGBT могут конкурировать «быстрые» IGBT четвертого поколения, но только на стандартной промышленной частоте ШИМ 4 кГц и ниже, и только по потерям на проводимость. При этом они проигрывают по балансу потерь мощности за счет более высоких потерь на переключение.

Номенклатура Trench IGBT IR и рекомендации по замене транзисторов предыдущих поколений

Семейство DS Trench IGBT производства IR (поколения 6) поставляется в настоящее время в виде кристаллов и в стандартных корпусах. Характеристики транзисторов специфицированы при температурах кристалла вплоть до 175°C. Транзисторы нормированы на максимальное напряжение «коллектор-эмиттер» 600 В и выпускаются для диапазона токов коллектора Ic от 4 А до 48 А при температуре корпуса 100°C. Все транзисторы специфицированы на устойчивость к короткому замыканию в течение 5 мкс. Все корпусированные приборы выполнены по схеме Co-Pack (имеют встроенный антипараллельный ультрабыстрый диод). Новые транзисторы отличает низкая полная энергия потерь Ets и низкое падение напряжения. Пороговое напряжение отпираания затвора находится в

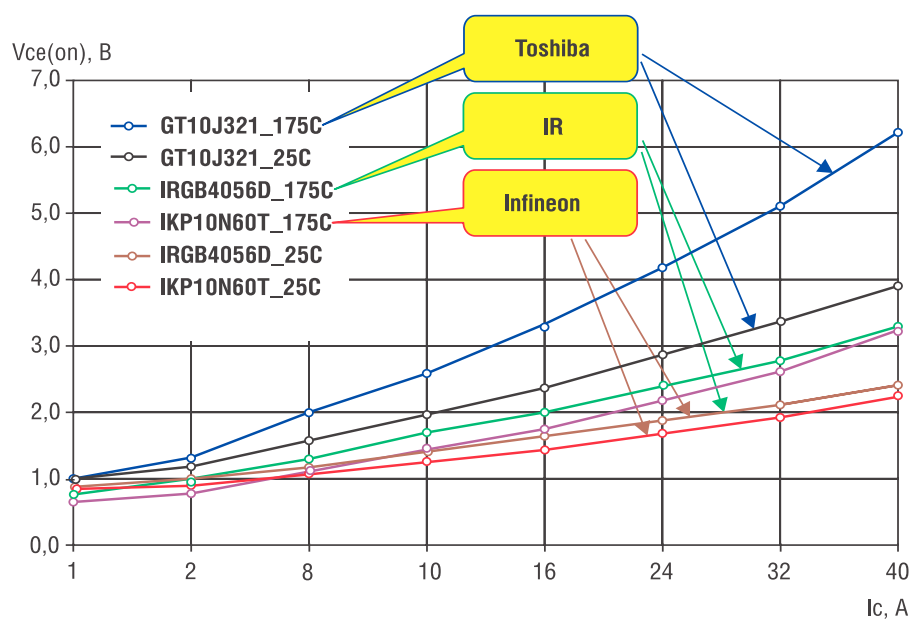


Рис. 4. Сравнение падения напряжения насыщения IGBT различных производителей

Таблица 3. Возможные замены PT IGBT, NPT IGBT на Trench IGBT

Производитель	Ic, А Tc = 100°C	Vdc = 400 В, Ic = 10 А, Rg = 68 Ом, Tj = 150°C							
		Типономинал	Td(on), нс	Tg, нс	Eon, мкДж	Tdoff, нс	Tf, нс	Eoff, мкДж	Ets, мкДж
Infineon	10,0	IKP10N60T	30	22	224	393	31	350	574
IR	12,0	IRGB4056D	41	26	265	170	20	255	520
Toshiba	10,0	GT10J321	64	45	368	355	20	306	674

Таблица 4. Сравнение параметров затвора Trench IGBT

Vdc = 400 В, Ic = 10 А, Tj = 25°C					
Производитель	Типономинал	Qgs, нК	Qgd, нК	Qgs/Qgd	Qg, нК
Infineon	IKP10N60T	2	35	0,06	62
IR	IRGB4056D	6	11	0,54	30

Таблица 5. Номенклатура PDP Trench IGBT

Типономинал	Корпус	Vces, В	Vce(on), В typ/max	Ic, А 25°C/100°C	Pd, Вт 25°C	Qg, нК typ	Epulse, мкДж	Irp, А
IRGP4050	TO-247AC	250	1,64/1,90	104/56	330	230		
IRGI4055PBF	TO-220 FullPak	300	1,25/1,45	28/14	39	62	975	205
IRGI4065PBF	TO-220 FullPak	300	1,10/1,35	36/18	46	62	975	205
IRGB4065PBF	TO-220AB	300	1,75/2,10	70/40	178	62	975	205
IRGP4065DPBF	TO-247AC	300	1,75/2,10	70/40	160	62	975	205
IRGP4065PBF	TO-247AC	300	1,75/2,10	70/40	178	62	975	205
IRGS4065PBF	D2-Pak	300	1,75/2,10	70/40	178	62	965	205
IRGB4055PBF	TO-220AB	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270
IRGP4055DPBF	TO-247AC	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270
IRGP4055PBF	TO-247AC	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270
IRGS4055PBF	D2-Pak	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270

диапазоне 4...6,5 В. Все транзисторы выпускаются в бессвинцовом исполнении. Краткие технические характеристики устройств даны в таблице 1.

Trench IGBT 6 поколения, как и NPT IGBT, имеют прямоугольную зону безопасной работы. Антипараллельный сверхбыстрый диод специфицирован на токи, равноценные токам транзистора, что важно при использовании транзисторов в инверторах электропривода. Благодаря более низким потерям на переключение, они могут работать в более широком диапазоне частот ШИМ, чем транзисторы предыдущих поколений (до 30 кГц). Почти все перечисленные в таблице транзисторы универсальны. Они являются эффективной альтернативой в электроприводе и источниках питания как приборам NPT IGBT, так и приборам PT IGBT любого частотного диапазона — от низкочастотных до WARP. Характеристики транзисторов IRGP4068DPBF и IRGP4068D-EPBF оптимизирова-

ны для применения в резонансных источниках питания устройств индукционного нагрева (промышленных и бытовых). Возможные варианты замен транзисторов предыдущих поколений представлены в таблице 2.

Сравнение Trench IGBT IR с аналогами других производителей

При проектировании нового поколения транзисторов компанией IR был учтен опыт других производителей с целью создания конкурентоспособной продукции.

По потерям на проводимость (пропорциональным Vce(on)) транзисторы IR уступают Infineon на 10-15%, но превосходят транзисторы Toshiba почти на 50% (рис. 4).

Что касается динамических потерь, то за счет большего времени задержки при включении Td и времени нарастания при включении Tg у транзисторов IR потери мощности на включение Eon примерно на 15% выше, чем у тран-

зисторов Infineon. Однако транзистор IR имеет в 2,3 раза более короткое время задержки при выключении Tdoff и на 50% более короткий «хвост» Tf, вследствие чего потери на выключение Eoff на 37% ниже. Поэтому полные потери на переключение Ets у транзисторов IR примерно на 10% ниже, чем у Infineon. По отношению к транзисторам Toshiba транзистор IR имеет преимущество как по всем составляющим потерь на переключение, так и по суммарной мощности потерь (до 30%).

Импульсный ток транзисторов Infineon ниже, чем у IR (кратность 3 и 4 соответственно).

Еще одной немаловажной характеристикой транзистора являются параметры затвора. От них зависят и мощность потерь на управление транзистором (стоимость реализации драйвера затвора), и опасность паразитного включения (усложнение схемы драйвера и повышение его стоимости). Результаты сравнения этих параметров приведены в таблице 4.

Транзисторы IR имеют вдвое более низкую мощность управления, отношение заряда «затвор-исток» Q_{gs} к заряду «затвор-сток» Q_{gd} у них несоизмеримо выше. Со снижением этого отношения вероятность паразитного включения (возможного отказа схемы) возрастает. Таким образом, транзисторы IR являются эффективной заменой продукции Toshiba во всех типах приложений, а транзисторы Infineon они могут заменить в приложениях, где важен, в первую очередь, полный баланс потерь или уровень потерь на переключение.

PDP Trench IGBT IR

Транзисторы этого типа оптимизированы для применения в устройствах управления плазменными панелями. В силу особенностей плазменных панелей, представляющих собой с точки зрения управления емкостную нагрузку, ключевые приборы для таких устройств должны быстро включаться, обеспечивать высокие импульсные токи и иметь низкое падение

напряжения в открытом состоянии. Они могут быть нормированы на напряжение не выше 300 В. Номенклатура этого семейства IGBT представлена в таблице 5.

Параметр $V_{ce(on)}$ в таблице представлен для максимального тока коллектора. В справочных листах он приведен для различных токов, и величина $V_{ce(on)}$ может быть существенно ниже. Особенностью работы PDP IGBT объясняется появление в таблице и справочных листах специфических параметров E_{pulse} и I_{gr} .

E_{pulse} характеризует энергию импульса тока, суммирующую потери проводимости и потери на включение. В справочных листах приведена ее зависимость от пикового тока коллектора. Умножив ее на количество импульсов в секунду, можно вычислить мощность, рассеиваемую в ключе. Например, у транзистора IRGB4055PBF энергия E_{pulse} равна 380 мкДж при токе 160 А. При частоте 10000 импульсов в секунду потери мощности на транзисторе составят 3,8 Вт. PDP IGBT оптимизированы

так, что E_{pulse} у них минимальна (в первую очередь благодаря очень низкому $V_{ce(on)}$). Другой важной особенностью оптимизированных транзисторов является возможность обеспечивать высокие повторяющиеся пиковые токи коллектора (параметр I_{gr}). Для этого в справочные листы введена зависимость I_{gr} от температуры корпуса. И, наконец, важной особенностью новых транзисторов является их устойчивость к паразитному включению, что обеспечивает низкую вероятность сквозных токов в стойке. Хотя транзисторы этого семейства оптимизированы для применения в плазменных панелях, но благодаря низким потерям проводимости и высоким импульсным токам они могут быть использованы в различных преобразовательных устройствах (источниках питания, электроприводе и т.д.).

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.
E-mail: power.vesti@compel.ru.

International IOR Rectifier Trench IGBT 6-го поколения

Компания International Rectifier представляет новое поколение IGBT для импульсных источников питания и электроприводов для промышленных и бытовых приложений.

Основные характеристики:

- максимальное напряжение коллектор-эмиттер – 600 В
- непрерывный ток коллектора при температуре кристалла 100°C: 4...48 А
- $V_{ce(on)}$ от 1,35 В
- частоты ШИМ до 30 кГц
- прямоугольная зона безопасной работы
- устойчивость к короткому замыканию (4-кратный макс. ток в течение 5 мкс)
- типы корпусов – TO-220, TO-247

Преимущества:

- лучший баланс потерь, а также более низкая мощность потерь на переключение и управление
- импульсный ток коллектора выше на 30%
- высокая устойчивость к паразитному включению



Компэл
www.compel.ru

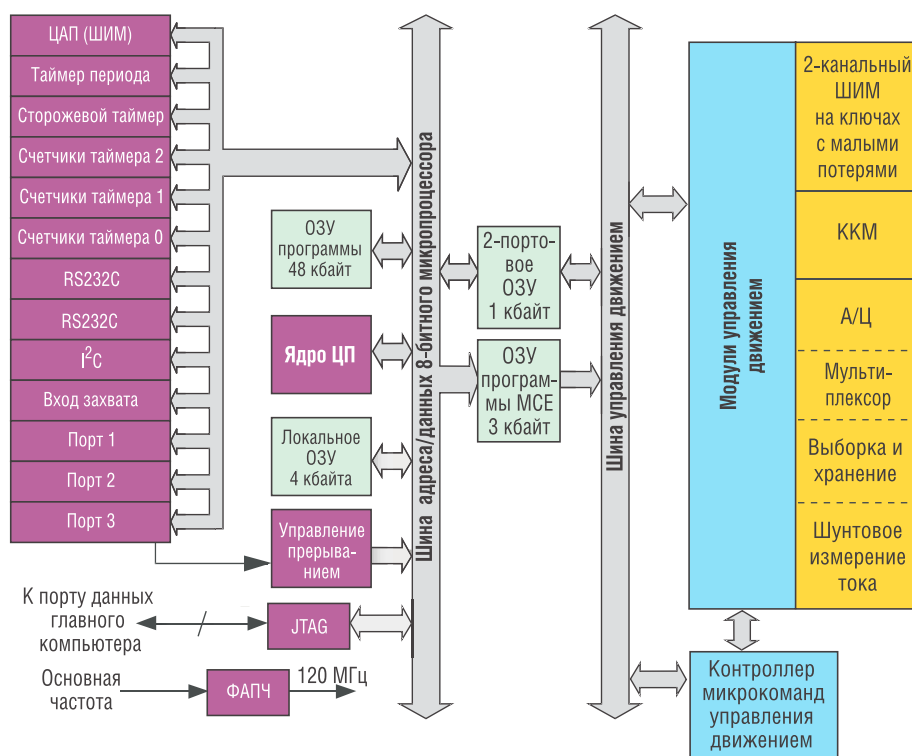


Рис. 2. Микросхема совмещенного управления двумя двигателями, включающая 8-разрядный микроконтроллер

ИС, реализующая алгоритм ВУ, что сводит к минимуму время на проектирование и делает возможным быстрое освоение таких приводов производителями бытовых электроприборов.

Управление двигателями без использования датчиков

В системах промышленных приводов с измерением положения ротора датчиками положения или вращающимися трансформаторами (резольверами), ВУ является широко распространенным методом. Чтобы достичь максимального момента вращения, алгоритм токового управления с обратной связью по скорости использует положение угла ротора для синхронизации токов двигателя с потоком ротора. Усовершенствованные алгоритмы оценки положения ротора [1] (рис.1) в системах управления приборами исключают необходимость применения прецизионных датчиков положения.

Алгоритм оценки определяет положение потока ротора с ПМ, основываясь на модели двигателя, используя значения напряжения и тока обмотки. Применение такого метода целесообразно, так

как магниты ротора однозначно определяют положение потока. Ток обмотки измеряется в звене постоянного тока. Значения тока фиксируются соответствующей схемой аналого-цифрового преобразования с заданным интервалом времени, основываясь на знании состояния преобразователя.

Блок-диаграмма системы на рис. 1 показывает, что входными сигналами для модели потока ротора, на основе которой вычисляются угловое положение ротора и скорость, являются значения тока и выходные напряжения обмоток привода. Контуры управления потоком и моментом максимизируют момент в нижнем диапазоне скоростей, а также обеспечивают высокое быстродействие посредством ослабления поля.

В первом поколении электроприводов с ВУ эти функции обеспечивались набором аналоговых и цифровых компонентов. В наши дни в большинстве таких систем используются высокоскоростные сигнальные или RISC-процессоры, которые реализуют данный алгоритм на одном кристалле. Переход к программной реализации обеспечил преимущество в гиб-

кости и аппаратной простоте, но, с другой стороны, поставил перед проектировщиками систем электроприводов важную задачу разработки программного обеспечения.

Генерация программного кода рассматриваемого алгоритма управления осуществляется на нескольких этапах. Сначала системный инженер переводит описание схемы управления в набор дифференциальных уравнений, отображающих каждую из функций управления. На следующем этапе инженер-программист переводит дифференциальные уравнения в код языка Си, который определяет инструкции, выполняемые процессором. Данный процесс подвержен ошибкам, что увеличивает время разработки и, если код недостаточно структурирован и документирован, длительность отладки программного обеспечения.

Поставщики сигнальных и RISC-процессоров обеспечивают поддержку производителей приводов, предоставляя полный комплект программ ВУ, что помогает сократить время проектирования. Это стало возможным благодаря достаточно развитой технологии векторного управления, и поэтому структура алгоритма четко определена. Тем не менее, особых улучшений в реализации программного обеспечения в данный момент нет, так как больше нет необходимости в гибкости структуры алгоритма.

Проектировщики систем управления могут реализовывать алгоритм ВУ аппаратно, применяя цифровые заказные схемы и программируемые вентильные матрицы.

На первом этапе процесс проектирования не очень отличается от программной реализации. Вместо использования кода на языке Си, разработчик аппаратуры переводит дифференциальные уравнения в код языка описания аппаратуры Verilog, определяющий связи между логическими элементами.

Для обеспечения гибкости такой проект определяет и хранит параметры управления системой в управляющих регистрах, но структура алгоритма реализуется аппаратно в цифровых заказных интегральных схемах. Такой подход распространен в системах переда-

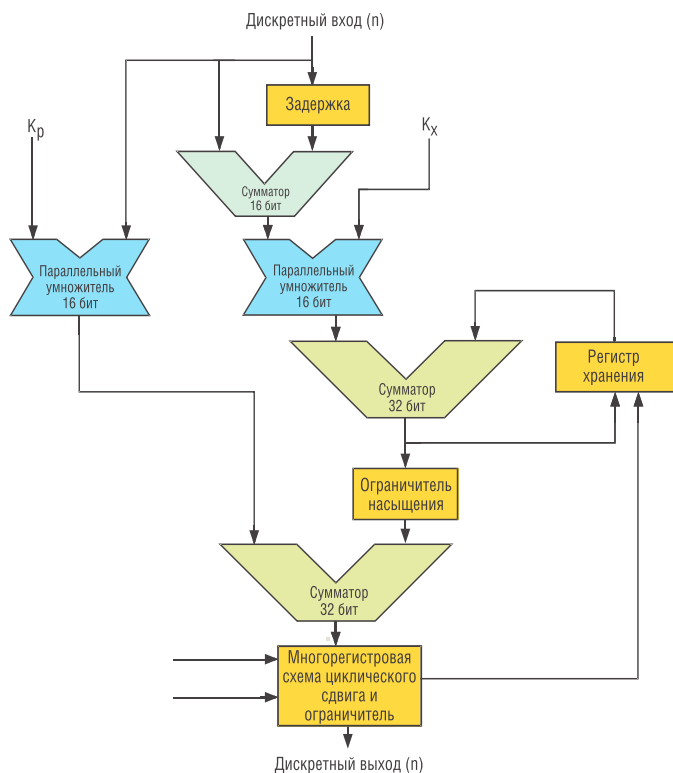


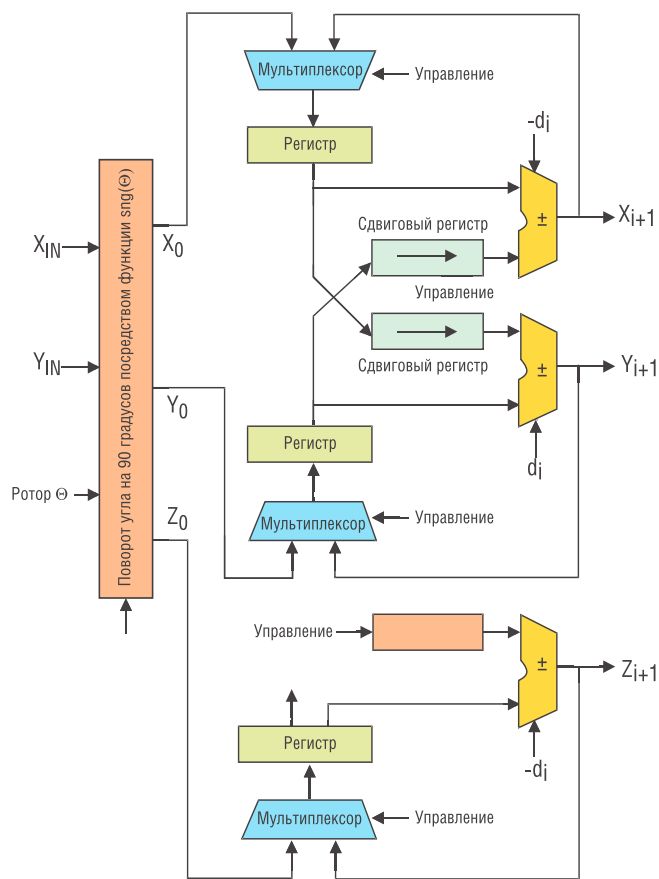
Рис. 3. Программная реализация ПИ-компенсатора

чи данных, где требуется высокая скорость обработки информации. Существует целый ряд заказных ИС управления двигателями, реализующих алгоритм ВУ и другие функции управления движением. Преимущество такого решения не только в увеличении скорости выполнения, но также в значительном снижении времени проектирования системы.

Альтернативный метод, который обеспечивает процессор управления движением МСЕ (motion-control engine), объединяет высокую производительность специализированных схем и гибкость программируемого процессора. [2] Этот метод особенно эффективен, так как алгоритм ВУ использует ряд стандартных функций, встречающихся многократно в описании схем управления, таких как усилители ошибок, пропорционально-интегральные (ПИ) компенсаторы и вращатели вектора. МСЕ состоит из библиотеки функций аппаратного управления

двигателем, которые контроллер последовательности команд эффективно соединяет посредством назначения адресов памяти ввода-вывода для соответствующих периферийных систем.

Инженеру в области систем управления нет необходимости переводить описание схемы управления в набор дифференциальных уравнений, потому что в библиотеке МСЕ имеется полностью оптимизированная реализация заказных схем. Вместо этого он использует средства редактирования схем, чтобы графически обозначить описание схемы управления, указывая связи стандартных функций библиотеки управления движением. Графический компилятор переводит описание схемы управления в команды контроллера последовательности МСЕ, который устанавливает связи между функциями аппаратного управления. Компилятор назначает адрес в области ОЗУ, выделенной МСЕ для хранения переменных пара-



Примечание: функция sng возвращает цифровое значение, определяемое полярностью + или -. Ноль считается плюсом

Рис. 4. Программная реализация алгоритма CORDIC

метров алгоритма, определяемых узлами управления. Команды контроллера последовательности МСЕ определяют каждый блок функции управления наряду с адресами памяти для входных и выходных переменных. Так как МСЕ хранит эти команды в памяти, он обладает такой же гибкостью, как и сигнальный или RISC-процессор.

Частота коммутации ШИМ определяет время выполнения алгоритма, частоту выборки АЦП и скорость обновления выходного напряжения. Библиотека компонентов МСЕ содержит сведения о модуляторе пространственного вектора и входах АЦП, но эти элементы появляются в схеме управления только однажды, потому что они соответствуют физическим выводам входа и выхода.

С другой стороны, такие управляющие функции библиотеки МСЕ, как вращатель вектора или ПИ-компенсатор, могут применяться в алгоритме управления многократно, так как МСЕ хранит

их входные и выходные параметры в памяти данных. Каждая реализация функции библиотеки занимает пространство памяти данных, размещая в ней переменные и команды МСЕ, поэтому размер памяти ограничивает сложность алгоритма. Каждая реализация функции требует определенного количества тактов системы при каждом ее выполнении, поэтому общее количество тактов, потребляемое контуром управления, должно быть меньше, чем количество тактов в периоде ШИМ.

Вычислитель угла ротора и контуры управления по току занимают около 1400 тактов задающего генератора системы, что соответствует циклу 11 мкс при максимальной частоте генератора 128 МГц. В данном случае допустимо управлять двумя двигателями одновременно с периодом ШИМ 50 мкс, что соответствует частоте коммутации 20 кГц. Конечно, чтобы управлять двумя двигателями, ИС должна содержать два ШИМ-модулятора пространственного вектора и дополнительный аналоговый вход для выборки тока еще одного контура обратной связи по постоянному току. На рис. 2 показана ИС управления двумя двигателями со встроенным

МСЕ и ядро блока микропрограммного управления кодом прикладного уровня. Преимущество такого решения в том, что оно отделяет выполнение медленных системных функций микроконтроллера от исполнения процессором МСЕ высокоскоростных алгоритмов управления двигателем.

Функции библиотеки МСЕ

Ключевым фактором в обеспечении высокой скорости выполнения управляющего алгоритма является эффективность реализации функций библиотеки МСЕ. Два важных элемента управления обратной связью – ПИ-компенсатор и блок вращения вектора – служат примером функций библиотеки. Чтобы оптимизировать полезную площадь кристалла, а также повысить эффективность использования периода тактовых импульсов без ухудшения надежности и безотказности, требуется реализация на заказных ИС.

Реализация популярного ПИ-компенсатора (рис. 3) на заказных ИС основывается на передаточной функции в непрерывном временном интервале:

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_I}{s}$$

Преобразование данного выражения для дискретной системы отсчета приводит к системе дифференциальных уравнений, которые определяют реализацию специализированных ИС:

$$\begin{aligned} P(n) &= K_p \times \text{Вход}(n) \\ I(n) &= I(n-1) + K_I \times (\text{Вход}(n) + \text{Вход}(n-1)) \\ \text{Выход}(n) &= P(n) + I(n) \end{aligned}$$

Сумматор интегрального элемента имеет 32-разрядное разрешение, обеспечивающее требуемую точность обработки низкоуровневых входных сигналов, но на выходе результат масштабируется в 16-разрядную переменную. Блоки защиты от переполнения предотвращают насыщение интегратора, когда сигнал на выходе достигает физических ограничений системы.

Блок вращения вектора является функцией двумерной матрицы, которая преобразует напряжения между вращающейся и стационарными системами отсчета. Правое вращение имеет синусоидальную и косинусоидальную составляющие:

$$\text{Вращение прав.}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

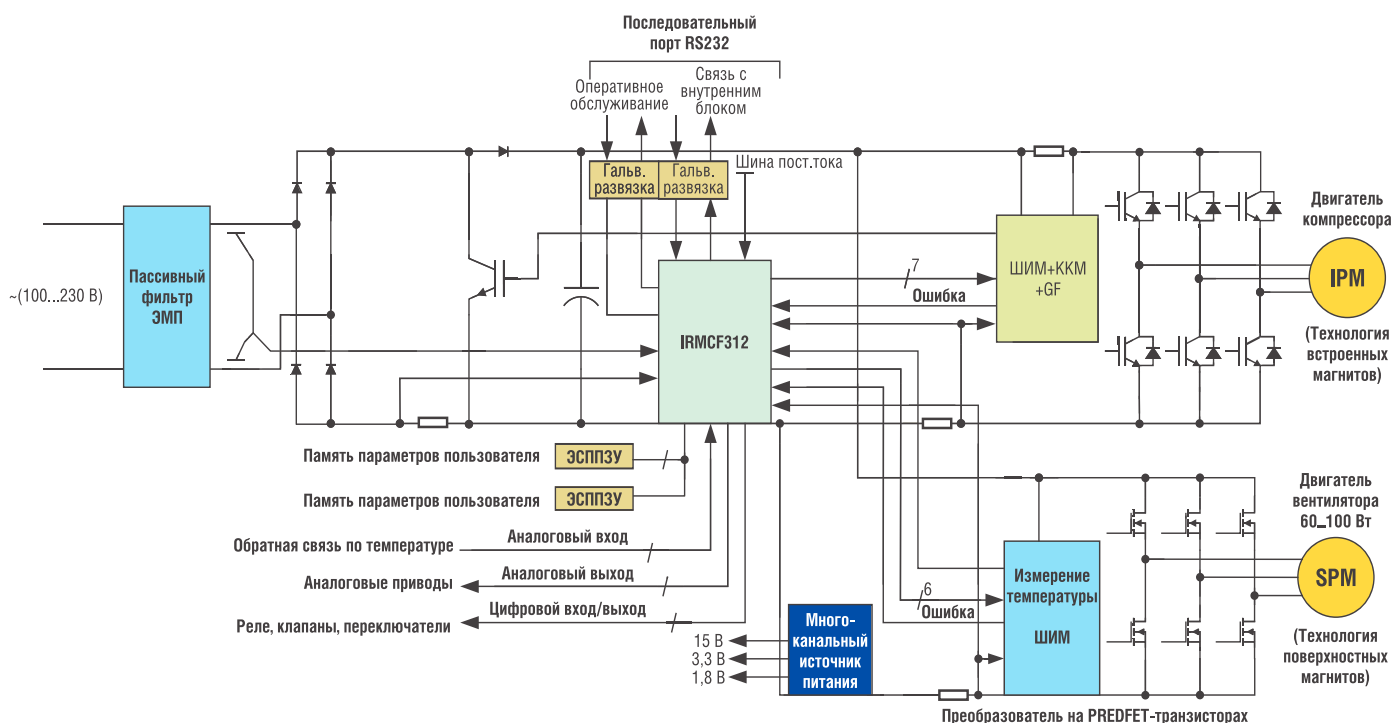


Рис. 5. Практическая реализация управления двумя двигателями с помощью одной микросхемы

Различные тригонометрические тождества могут упростить расчеты элементов матрицы, сведя их к решению простой синусоидальной функции в диапазоне от 0 до 90 градусов. Тем не менее, вычисление этого элемента будет сильно зависеть от аппаратной реализации. В некоторых решениях на микроконтроллерах отсутствие функции быстрого перемножения вынуждает разработчиков программного обеспечения использовать простые таблицы соответствия. В случае применения сигнальных или RISC-процессоров, реализующих одноканальную команду умножения, синусоидальная функция вычисляется посредством разложения в ряд Тейлора.

Функция вращения вектора, известная как алгоритм CORDIC, разработана специально для реализации на специализированных ИС. Метод заключается в сведении вычисления к последовательности простых операций сложения, вычитания и сдвига, обеспечивая 12-разрядную точность за 13 тактов (рис. 4). [3] Такой метод вычислений в 10 раз быстрее, чем раз-

ложение в ряд Тейлора на 32-разрядном RISC-процессоре.

Упрощение управления двигателем

Несмотря на то, что возможно использование множества конфигураций, рис. 5 демонстрирует выгоду, которая возможна при управлении двухдвигательной системой с помощью одиночной ИС управления. Кроме избавления от ненужной избыточной мощности еще одной ИС, предназначенной для управления вторым двигателем, возможно сложное согласование между двумя двигателями. Например, в случае неисправности одного двигателя, в частности, короткого замыкания или блокировки, второй двигатель мог бы быть почти мгновенно обесточен системой защиты, которая предотвратила бы задержки, связанные с интерфейсом связи с централизованной системой управления.

Другой пример: для оптимизации работы систем кондиционирования скорости двигателя компрессора и вентилятора испарителя

должны быть согласованы. Система управления задает скорости двигателей посредством прямой записи в регистры МСЭ, не прибегая к сложному взаимодействию между множеством ИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murray, Aengus, «Sensorless Motor Control Simplifies Washer Drives,» Power Electronics Technology, June 2006, pp. 14-16, 18, 20-21.

2. Takahashi, Toshio, «Motion Control Engine for Advanced Motion Control Application – A New Architecture Microcontroller Proposal».

3. Andranka, R., «A Survey of CORDIC Algorithms for FPGA Based Computers», proceedings of ACM/SIGDA 6th International Symposium on FPGAs, 1998, Monterey, Calif. [5]

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: power.vesti@compel.ru.

International IR Rectifier **Надежные 1200-вольтовые ИС для электроприводов**

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ЗАЩИТА

ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ

?

Какими типами двигателей позволяют управлять микроконтроллеры International Rectifier?

Отвечает инженер по применению силовых компонентов
Виталий Берелидзе

Микроконтроллеры International Rectifier ориентированы на управление трехфазным синхронным мотором с постоянными магнитами синусоидальным током. Только микроконтроллер IRMCK201 может управлять как трехфазным синхронным мотором с постоянными магнитами и

синусоидальным током, так и асинхронным мотором в замкнутой системе. То есть, требуется наличие энкодера на валу двигателя. Во всех микроконтроллерах реализован векторный алгоритм управления приводом.

?

В техническом описании на IGBT-транзистор IRGP50B60PD1 производства компании International Rectifier указана рабочая частота до 150 кГц. Это для «жесткого» или резонансного режима переключения? Чем отличается более дорогая модификация IRGP50B60PD (без «1» в окончании)? Можно ли соединять такие транзисторы параллельно?

Отвечает инженер по применению компонентов Power Management
Сергей Пичугин

Этот IGBT-транзистор относится к новому поколению WARP-2. Максимальная частота переключения 150 кГц, указанная в техническом описании, справедлива для «жесткого» режима переключения. В резонансном режиме такой транзистор способен работать на еще более высоких частотах! Также, важная особенность — WARP-2 транзисторы относятся к так называемым «бесхвостовым», т.е. при закрытии такого транзистора токовый «хвост» будет практически незаметен. Модификация «...PD» от «...PD1» отличается наличием более мощного внутреннего диода. Если требуется получить рабочий ток более 45...50 А, то такие транзисторы можно соединять параллельно. Токи будут выравниваться автоматически, ведь у всех IGBT-транзисторов серии WARP-2 положительный температур-

ный коэффициент, как и у MOSFET-транзисторов. Из опыта наших клиентов могу вспомнить вариант решения, при котором соединялось 4 транзистора IRGP50B60PD1 (корпус TO-247) в параллель. В итоге получался мощный модуль с огромным выигрышем по параметрам и стоимости.



Вниманию читателей!

В шестом номере журнала «Новости электроники» были допущены опечатки. В материале «Микроконтроллеры ARM компании STMicroelectronics» на стр. 10 в предпоследнем абзаце вместо «104 циклов» и «105 перезаписей» следует читать «10⁴ циклов» и «10⁵ перезаписей» соответственно. В заголовке материала на стр. 16 название навигационного устройства следует читать «TrimTrac». Приносим наши извинения.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ «НОВОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ» НА 2007 ГОД

Уважаемые читатели!

Редакция информационно-технического журнала компании КОМПЭЛ «Новости электроники» продолжает **бесплатную подписку на 2007 год.**

Наш журнал предназначен для разработчиков электронной техники и призван информировать их о новых электронных компонентах и изделиях ведущих мировых производителей, их применении и схмотехнических решениях на их основе, о событиях на мировом рынке электроники.

Журнал выходит с мая 2005 года.

Если вы разработчик электроники, руководитель конструкторского или проектного отдела, и хотите два раза в месяц бесплатно получать полезную и нужную вам информацию — подписывайтесь на нашей странице в Интернете по адресу: www.compel.ru/subscribe.

Обращаем Ваше внимание на то, что материалы предыдущих номеров журнала, начиная с первого номера за 2005 год, доступны в электронном виде по адресу: www.compel.ru/enews, раздел «Архив».