

№7 (87), 2010 г.

Информационно-технический  
журнал

Учредитель — ЗАО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:  
ПИ № ФС77-19835

**Редактор:**

Геннадий Каневский  
[vesti@compel.ru](mailto:vesti@compel.ru)

**Выпускающий редактор:**

Анна Заславская

**Редакционная коллегия:**

Андрей Агеноров  
Евгений Звонарев  
Сергей Кривандин  
Александр Маргелов  
Николай Паничкин  
Борис Рудяк  
Илья Фурман

**Дизайн, графика, верстка:**

Елена Георгадзе  
Владимир Писанко  
Евгений Торочков

**Распространение:**

Анна Заславская

**Электронная подписка:**

[www.compeljournal.ru](http://www.compeljournal.ru)

**Отпечатано:**

«Гран При»  
г. Рыбинск

Тираж — 1500 экз.

© «Новости электроники»

**Подписано в печать:**

6 июля 2010 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

## БРЕНД НОМЕРА: *INTERNATIONAL RECTIFIER*

• Когда рынок восстановился, компания была готова к серьезному росту <i>Бертольд Дюкер</i> .....	3
• International Rectifier – лидер в управлении питанием и мощностью <i>Евгений Звонарев</i> .....	5
• DC/DC-преобразователи SupIRBuck поколения Gen2 в распределенных системах электропитания <i>Андрей Никитин</i> .....	8
• Универсальный электронный балласт газоразрядных ламп высокой интенсивности <i>Юрий Новиков</i> .....	12
• Продукция класса HiRel компании International Rectifier <i>Константин Староверов</i> .....	15
• Новинки MOSFET в стандартных корпусах <i>Максим Соломатин</i> .....	22
• Преимущества транзисторов в корпусах DirectFET <i>Андрей Никитин</i> .....	25
• Преимущества силовых приборов на базе GaN от International Rectifier <i>Тим Макдональд</i> .....	29

# International IOR Rectifier

## В СЛЕДУЮЩИХ НОМЕРАХ

- Современные приемопередатчики интерфейсов
- Электропитание светодиодных осветительных систем
- Компоненты OMRON для промавтоматики

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес [vesti@compel.ru](mailto:vesti@compel.ru) с пометкой «Тема в номер».

## ОТ РЕДАКТОРА



### Уважаемые читатели!

По итогам третьего квартала 2010 финансового года (этот квартал в IR заканчивается 31 марта) прибыль компании **International Rectifier** увеличилась по сравнению с предыдущим кварталом на 15,1%, а с третьим кварталом предшествующего года — на 65%. Далеко не всем компаниям в электронной сфере удалось к началу 2010 календарного года выйти на прибыльность. Президент компании Олег Хайкин прогнозирует дальнейший рост, в первую очередь — за счёт потребителей в сфере автоэлектроники и систем распределённого питания для вычислительных комплексов и серверных устройств.

Выстоять в кризис компании удалось во многом благодаря приходу к руководству уроженца Минска Олега Хайкина. Он смог за короткий срок настолько обновить стратегию IR, что с полным правом можно сказать: **«название прежнее — компания**

**новая»**. От широко декларируемой политики приоритета аналоговых решений компания возвращается к сочетанию аналога и инновационных дискретных компонентов, прославивших в свое время International Rectifier. Сложный период, связанный с покупкой и продажей бизнесов, закончен. Сейчас политику компании определяют несколько ключевых слов:

- **Дискреты** — IR придает большое значение расширению номенклатуры MOSFET- и IGBT-модулей, но уже на иных основах. Разрабатываются новые технологии корпусирования, все большее внимание уделяется приборам на основе GaN. Отсюда — ещё два ключевых слова:

- **Корпусирование и**
- **Нитрид галлия**
- **Аналог** — важность аналоговых ИС для силовой электроники остается большой. Но и здесь приоритеты IR несколько сместились: теперь серьезное внимание уделяется компонентам для

высоконадежных применений. (Что относится и к дискретным компонентам). Это не только изделия для обороны и космоса. Высокая надёжность востребована в добывающих отраслях, химических и пищевых производствах, на транспорте, в условиях тропиков и крайнего севера. Соответственно, еще одно ключевое слово, это

- **HiRel (Высокая надёжность)**.

В номере журнала, посвященном продукции IR, освещены все перечисленные темы.

КОМПЭЛ является дистрибьютором продукции IR с 1996 года. Наши инженеры готовы ответить на все возникающие у вас вопросы.

С уважением,  
Геннадий Каневский

Бертольд Дюкер

## КОГДА РЫНОК ВОССТАНОВИЛСЯ, КОМПАНИЯ БЫЛА ГОТОВА К СЕРЬЕЗНОМУ РОСТУ



Редактор «Новостей электроники» беседует с вице-президентом компании International Rectifier по продажам в Восточной Европе Бертольдом Дюкером о новых перспективах IR, рынке MOSFETs, модулях на базе нитрида галлия и о высоконадежной продукции HiRel.

**Геннадий Каневский:** Сказался ли мировой экономический кризис на бизнесе компании International Rectifier, и повлиял ли он на стратегию развития IR?

**Бертольд Дюкер:** Как и многие производители полупроводников, IR столкнулась с серьезным падением рыночного спроса во время последнего мирового финансового кризиса. Однако в этот сложный период компания приняла ряд мер для оптимизации линейки своих продуктов, а также контролировала оперативные расходы, продолжая инвестировать в новые разработки. Все это позволило подготовить компанию к серьезному росту, когда рынок восстановился.

**Г.К.:** Какие рынки в мире Вы видите наиболее перспективными в ближайшем будущем для реализации своей продукции? Считаете ли Вы таковым российский рынок?

**Б.Д.:** Помимо китайского, многообещающий рост демонстрируют рынки Индии, Бразилии, России и Восточной Европы в целом. У российского рынка — огромный потенциал. Компания IR представлена в России с 1996 года, и за последние несколько лет российский рынок дистрибуции существенно вырос.

**Г.К.:** В России большую долю рынка составляют добывающие отрасли (нефте- и газодобыча), атомная энергетика, связь и транспорт (в том числе морской и речной флот). Здесь большим спросом пользуется высоконадежная HiRel-продукция, в производстве которой компания IR традиционно сильна. Каковы перспективы этого направления на российском рынке?

**Б.Д.:** Я бы добавил к списку отраслей, где управление электропитанием требует особой надежности и функциональности в жестких условиях эксплуатации, еще и производство космической и авиационной техники, а также медицинского оборудования. Покупатели в

этих отраслях нуждаются в высокопроизводительных решениях от надежного и стабильного поставщика. В соответствии с этими требованиями IR предлагает широкий диапазон продукции от дискретных полупроводников и ИС до гибридных изделий и полностью интегрированных систем электропитания.

У России в этом сегменте рынка — многообещающий потенциал для динамичного роста. Растущий поток инвестиций Российского правительства и частного бизнеса способствует нарастанию спроса на высоконадежные компоненты.

**Г.К.:** Будет ли IR восстанавливать производство высоковольтных MOSFETs и возвращать себе утраченные позиции по этим транзисторам? Способна ли компания опередить конкурентов в этой области?

**Б.Д.:** Высоковольтные MOSFETs дают менее 30% мирового рынка, а с точки зрения прибыли они гораздо менее привлекательны по сравнению с низко- и средневольтными FETs. К тому же, разработчики и технологи достигли предела физических возможностей кремния. Таким образом, дальнейшее повышение производительности высоковольтных MOSFET не оправдывает затрат и технически становится все более сложным.

Чтобы преодолеть ограничения кремния, в сентябре 2008 года компанией IR была запущена технологическая платформа собственной разработки для силовых устройств на базе нитрида галлия «GaNrowIR», основанная на 150-мкм эпитаксиальной технологии «нитрид галлия на кремнии» (GaN-on-Si). Платформа GaNrowIR предоставляет потребителям существенно лучшие ключевые показатели (до десяти раз) по сравнению с современными технологическими платформами на базе кремния, что значительно повышает производитель-

ность и снижает энергопотребление применений в различных секторах рынка, таких, как компьютеры и оборудование связи, автомобильная электроника и потребительская техника.

В феврале 2010 года мы начали серийное производство первых продуктов на базе GaN-on-Si. Это силовые модули iP2010 и iP2011, предназначенные для мультифазных и POL-применений, включая серверы, роутеры и POL DC/DC-преобразователи общего применения.

**Г.К.:** Очевидно, что у IR главным фокусным направлением является производство MOSFETs напряжением от 20 до 250 В, примерно половина продаж приходится именно на них. Что нового следует ожидать в их линейке?

**Б.Д.:** Мы предлагаем покупателям большую линейку силовых MOSFETs с использованием новейших кремниевых технологий IR, обеспечивающих эталонную производительность в широком диапазоне напряжений. У этих изделий — различные уровни RDS(on) и заряда затвора, и покупатель может выбрать оптимальное сочетание производительности и цены для своей разработки.

Что касается новых продуктов — мы будем продолжать повышать их производительность. К примеру, мы продолжим улучшать критические параметры эталонных MOSFETs в корпусах Small Can, Medium Can и Large Can DirectFET®. К примеру, мы недавно запустили в производство транзистор IRF6798MPbF в корпусе Medium Can DirectFET, и он имеет показатель Rds(on) менее 1 мОм, что обеспечивает очень высокий КПД во всем диапазоне нагрузки.

Мы также представили MOSFETs в корпусах PQFN с использованием технологии Copper Clip. Эти изделия высотой всего 0,9 мм со стандартной индустриальной распиновкой характеризуются высоким значением тока и низким RDS(on), результатом чего являются более высокие по сравнению с альтернативными дискретными решениями КПД, плотность мощности и надежность. Это позволяет применять новые изделия там, где существенно ограничено свободное место на плате. 

# Продукция International Rectifier

Применение	Функциональная группа										
	Телекоммуникационные источники питания	Промышленные источники питания, сварочные аппараты	Источники питания для компьютерной техники	Телеком	Промавтоматика	Электронные балласты люминесцентных, галогеновых, натриевых, ксеноновых ламп и сверхярких светодиодов	Аудиоусилители	Автоэлектроника	Промышленный привод	Привод бытовой техники	Высококачественные применения (аэрокосмические приложения, связь, атомная техника)
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											●

■ – этим продуктам IR в настоящее время уделяет особое внимание.

Евгений Звонарев (КОМПЭЛ)

# INTERNATIONAL RECTIFIER – ЛИДЕР В УПРАВЛЕНИИ ПИТАНИЕМ И МОЩНОСТЬЮ



В статье приведен краткий обзор продукции компании **International Rectifier**, которая находит применение в устройствах преобразования электрической энергии, например, в **синхронных выпрямителях, мощных инверторах постоянного и переменного тока, импульсных источниках питания, электроприводе и бытовой технике.**

Компания International Rectifier (IR) успешно сочетает как разработку и производство новейших изделий и компонентов, так и проектирование платформ и создание новых направлений для внедрения своих достижений. Многие инженерные и технологические решения IR стали промышленными стандартами в силовой электронике. Компания производит самую широкую гамму устройств для всего цикла преобразования электрической энергии. Продукция IR применяется везде, где требуется производительность и надежность электрического оборудования: в бытовой технике, промышленных электроприводах, автомобильных системах, зарядных устройствах и устройствах передачи данных. В данной статье мы остановимся на следующих группах продукции:

- Контроллеры синхронных выпрямителей (SmartRectifier);
- OR'ing (силовое ИЛИ = логическое ИЛИ по питанию) контроллеры для оптимальной реализации суммирования мощности от нескольких источников питания;
- Транзисторы MOSFET и IGBT (Warp Speed и Warp 2);
- Микросхемы высоковольтных драйверов MOSFET и IGBT;
- Миниатюрные модули для однофазных (iPowIR) и многофазных (xPhase) DC/DC-преобразователей;
- Микросхемы SupIRBuck для DC/DC-преобразователей;
- ШИМ-контроллеры для DC/DC-преобразователей.

На рисунке 1 показаны рекомендуемые производителем компоненты для изолированных AC/DC-преобразователей.

На вторичной стороне AC/DC-преобразователя IR предлагает исполь-

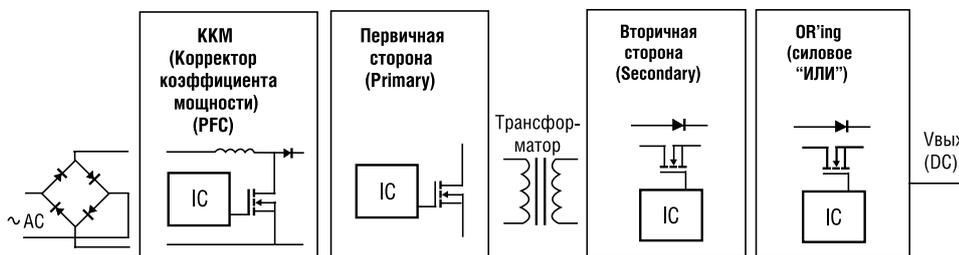
зовать аналоговый контроллер синхронного выпрямителя **IR1167**. Он относится к серии ИС «SmartRectifier» («интеллектуальный выпрямитель») и позволяет управлять n-канальным транзистором (или несколькими параллельно включенными транзисторами) в синхронном выпрямителе. Особенность принципа работы – измерение дифференциально-го напряжения между стоком и истоком силового MOSFET-транзистора, включенного вместо выпрямительного диода, и дальнейшая обработка этой информации с помощью компараторов с гистерезисом и специальных цепей задержек.

Экономические и эксплуатационные преимущества применения синхронного выпрямителя очевидны: существенное увеличение КПД преобразования – снижение тепловыделения, уменьшение габаритов печатной платы и корпуса

прибора за счет уменьшения или полного отсутствия радиатора выпрямителя. Микросхема IR1167 позволяет создать простой, надежный и легко реализуемый синхронный выпрямитель с минимальным количеством внешних компонентов.

Благодаря новым разработкам компания занимает лидирующие позиции в производстве и разработке MOSFET напряжением до 250 В. Гордостью компании является производство транзисторов по технологии TrenchFET, которая позволяет одновременно снизить как сопротивление открытого канала транзистора, так и уменьшить значение заряда затвора. Таким образом, применение MOSFET International Rectifier позволяет существенно повысить КПД преобразования энергии и значительно сократить потери проводимости, уменьшить размеры теплоотвода и габариты устройства в целом. Транзисторы выпускаются в самых разнообразных корпусах и находят применение во многих областях: синхронных выпрямителях телекоммуникационных и промышленных преобразователей энергии, инверторах постоянного и переменного тока,

### ИЗОЛИРОВАННЫЙ AC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ



- AC/DC:**
- µPFC™ IC
  - SmartRectifier™
  - Synchronous Rectification IC
  - Synchronous Rectification MOSFET
  - WARP Speed и WARP2 IGBT
  - High Voltage IC Gate Drivers



Рис. 1. Компоненты IR для изолированных AC/DC-преобразователей

ИЗОЛИРОВАННЫЙ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

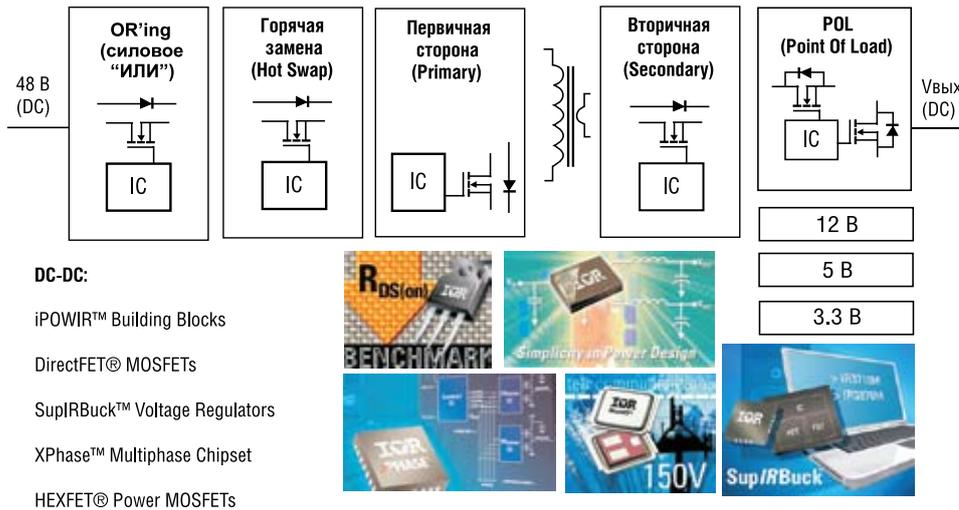


Рис. 2. Структура изолированного DC/DC-преобразователя и рекомендуемые серии компонентов IR

источниках бесперебойного питания, силовых OR'ing узлах, электронных балластах ламп и светодиодов, приводе электроинструмента, силовой автоэлектронике, инверторах солнечных батарей и многих других.

В выходных каскадах источников питания все чаще применяются мощные полевые транзисторы в корпусе DirectFET. Эти транзисторы имеют столько преимуществ, что в настоящее время они доминируют в устройствах питания компьютерного оборудования и получили широкое распространение в источниках питания телекоммуникационного оборудования. Низкая паразитная индуктивность обеспечивает высокое качество переходных процессов в режимах переключения транзистора и возможность работы на высоких частотах ШИМ. Номенклатура выпускающихся транзисторов в корпусах DirectFET покрывают диапазон напряжений 20...200 В, что позволяет применять их, например, в

преобразовательных устройствах со всеми номиналами напряжения батарейного питания и напряжений телекоммуникационных шин.

Нельзя не отметить легендарные транзисторы IGBT серий Warp Speed и особенно Warp 2 с высоким быстродействием и низким напряжением насыщения в открытом состоянии, что позволяет заменять ими дорогие высоковольтные MOSFET. Эти транзисторы уже несколько лет пользуются заслуженной популярностью у разработчиков силовой техники.

Особого внимания заслуживают транзисторы Trench IGBT последних поколений. Trench IGBT шестого поколения (на 600 В) и седьмого поколения (на 1200 В) компании International Rectifier – это более высокие технические характеристики в сочетании с привлекательными ценами. Основные преимущества этих IGBT достигнуты благодаря технологии Trench (вер-

тикальный затвор), что позволяет на 40% уменьшить площадь кристалла по сравнению с предыдущими поколениями. Это привело к существенному сокращению пути протекания тока и снижению потерь на проводимость. Благодаря улучшению технологии и резкому уменьшению размеров кристалла удалось снизить динамические и статические потери, обеспечив более высокие температурные характеристики. Транзисторы шестого поколения (Gen 6) производятся по технологии DS (Depletion Stop) Trench IGBT. Кристалл этих транзисторов имеет вертикальный затвор с еще меньшей толщиной (70 мкм) и блокирующий носители слой (depletion stop). Благодаря более низким потерям на переключение Trench IGBT могут работать на более высоких частотах по сравнению с транзисторами предыдущих поколений (до 30 кГц). Кроме того, Trench IGBT характеризуются прямоугольной областью безопасной работы и низким уровнем излучаемых электромагнитных помех. Универсальные Trench IGBT позволяют заменить широкую номенклатуру транзисторов разных частотных диапазонов, которые оптимизированы только для узкоспециальных приложений. Trench IGBT могут эффективно работать в широком диапазоне рабочих частот ШИМ. Они предназначены для применения в импульсных источниках питания до нескольких кВт, электроприводе, в бытовой технике (компрессоры, индукционный нагрев) и других преобразователях электрической энергии.

Этапы развития силовой электроники определяются достижениями в технологиях силовых ключей и схем управления. Динамические и статические параметры силовых приборов постоянно улучшаются, но мощными ключами необходимо эффективно управлять. Для сбалансированного взаимодействия между управляющей схемой и выходными каскадами и предназначены мощные драйверы MOSFET и IGBT. 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. Производство высоковольтных микросхем управления HVIC (High Voltage IC) вообрало в себя все достижения высоковольтных технологий, их развитие происходит все более быстрыми темпами, появляются дополнительные функциональные возможности, возрастает степень интеграции при уменьшении площади кристалла



Рис. 3. Однофазные и многофазные модули для неизолированных DC/DC-преобразователей

и стоимости. Воплощением всех этих достижений стали высоковольтные силовые микросхемы управления пятого поколения G5 HVIC.

На рисунке 2 приведена структура изолированного DC/DC-преобразователя и рекомендуемые серии компонентов IR для реализации.

Для достижения высокой плотности энергии в DC/DC-преобразователях IR предлагает широкий выбор модулей серии iPowIR со встроенными транзисторами MOSFET. На их основе разрабатывают источники питания с несколькими выходными напряжениями или с очень высоким выходным током путем сложения фаз от нескольких модулей iPowIR.

Для реализации многофазных модульных DC/DC-преобразователей International Rectifier предлагает распределенную архитектуру xPhase, которая состоит из микросхем управления несколькими фазами. Каналы в многофазной системе питания работают с оптимальными сдвигами по частоте для снижения пульсаций входных напряжений и импульсных помех по цепям питания. Фазы можно добавлять или убирать из системы без внесения существенных изменений. Предназначенная

для этих целей микросхема **IR3082** имеет пятиразрядный вход задания выходного напряжения, обеспечивая точность выходного напряжения 1%. Программируемая частота преобразования (от 150 кГц до 1 МГц) обеспечивает дополнительную гибкость для оптимизации эффективности системы и улучшения ее работы при резких изменениях параметров нагрузки.

Для создания POL (Point of Load) конвертеров IR выпускает семейство силовых микросхем SupIRBuck™ — синхронных импульсных понижающих DC/DC-преобразователей с широким диапазоном входных напряжений. Микросхемы SupIRBuck объединяют в своем составе высококачественную ИС управления синхронным выпрямителем и силовые Trench МОП-транзисторы HEXFET® последнего поколения. Это позволяет на 70% сократить площадь по сравнению с вариантом на дискретных компонентах и на 10% повысить КПД при полной загрузке по сравнению с конкурирующими микросхемами. Применение SupIRBuck значительно сокращает сроки и снижает риски новых разработок. Они являются эффективным дополнением к чипсетам ИС и МОП-транзисторам DirectFET

для реализации многофазных преобразователей с архитектурой XPhase, самой эффективной архитектурой питания современных серверов и банков данных. Семейство микросхем разработано на диапазон входных напряжений 1,5...21 В и обеспечивает выходное напряжение от 0,6 до 14,5 В. Частота ШИМ может регулироваться от 250 до 1500 кГц. Низкий профиль корпуса (высота всего 0,9 мм) позволяет монтировать микросхемы на обратной стороне печатных плат, что идеально удовлетворяет требованиям высокой плотности монтажа.

Для реализации понижающих DC/DC-преобразователей с синхронным выпрямлением целесообразно применять силовые миниблоки из семейства iPowIR. Для достижения высокой объемной плотности миниблоков iPowIR в них содержится полноценный ШИМ-контроллер и оптимизированный силовой каскад на современных полупроводниковых приборах. Эти блоки часто используют совместно с многофазными чипсетам xPhase или с многофазными контроллерами.

Для облегчения расчета характеристик разрабатываемых приборов International Rectifier предлагает пакет программных продуктов. Предлагаются версии программ как для on-line расчета, так и версии для установки на компьютере разработчика:

- Power Factor Correction — on-line расчет и моделирование корректора коэффициента мощности;
- Point of Load — on-line расчет и моделирование источников питания iPowIR;
- Synchronous Rectification — on-line расчет и моделирование синхронных выпрямителей;
- Bus Converter — on-line расчет и моделирование DC/DC-преобразователей.
- Motor Control — on-line компилятор для конфигурирования цифрового контроллера управления электроприводом для платформы iMotion.

Конечно, компонентами, рассмотренными в этом обзоре, не исчерпывается все разнообразие продукции для управления питанием и регулирования мощности, поэтому дополнительную и более подробную информацию читатель может найти на сайте производителя [www.irf.com](http://www.irf.com).

БИЗНЕС-ГРУППА КОМПЭЛ  
ПО ПРОДУКЦИИ  
INTERNATIONAL RECTIFIER

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО  
INTERNATIONAL RECTIFIER  
В РОССИИ



Максим Соломатин —  
бренд менеджер



Людмила Горева —  
менеджер по продукции



Борис Омаров —  
руководитель представительства



Владимир Башкиров —  
менеджер по продукции  
Aerospace&Defence

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка —  
e-mail: [power.vesti@compel.ru](mailto:power.vesti@compel.ru)

Андрей Никитин (г. Минск)

## DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ SUPIRBUCK ПОКОЛЕНИЯ GEN2 В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ



В статье рассматриваются вопросы применения синхронных понижающих DC/DC-преобразователей компании International Rectifier в распределенных системах электропитания. Особое внимание уделяется новым микросхемам поколения Gen2: сериям IR383x, IR384x и IR387x, которые позволяют значительно уменьшить площадь, занимаемую на печатной плате.

Одна из основных тенденций развития рынка источников вторичных ИП заключается в росте популярности распределенных систем электропитания, которые могут быть построены двумя способами: по централизованному (сосредоточенному) или по децентрализованному (распределенному) принципу.

Сосредоточенная архитектура предполагает использование AC/DC-конвертера, преобразовывающего сетевое напряжение переменного тока в первичное напряжение постоянного тока, которое затем подается на изоли-

рованные DC/DC-конвертеры для получения более низких (вторичных) напряжений, обеспечивающих питание функциональных плат необходимыми номиналами напряжений и токов. Подобная архитектура электропитания используется при компактном размещении крупных конструктивных единиц (стоек, блоков и т.п.), образующих систему.

Если же система электропитания размещена в пространстве, то имеет место распределенная архитектура электропитания. Вторичные DC/DC-конвертеры, устанавливаемые в непосредственной близости от нагрузки, получили назва-

ние PoL DC/DC-конвертеры (Point of Load – точка нагрузки). Варианты современных архитектур распределенного электропитания, использующих PoL-конвертеры, представлены на рисунке 1.

Распределенные системы электропитания дают возможность устанавливать DC/DC-преобразователи вместе с другими компонентами на печатных платах.

Централизованная система, как правило, предполагает использование заказных источников питания, что увеличивает время разработки конечного изделия. Любые изменения технических требований влекут за собой изменения в конструкции изделия. После каждой доработки (переработки) необходимо вновь получить все необходимые сертификаты (по безопасности, по помехам и др.) от соответствующих организаций. Распределенные системы позволяют уменьшить время разработки конечного изделия.

Распределенная система, как правило, более эффективна, так как можно выбрать DC/DC-преобразователь с оптимальными параметрами для каждой печатной платы на этапе ее разработки.

Поскольку распределенные системы минимизируют связи между ИП и нагрузкой, в том числе и паразитные, то обеспечивается более высокое качество переходных процессов, чем в централизованной системе электропитания.

Модернизация систем распределенного питания осуществляется заменой локальных DC/DC-преобразователей. Расширение или перестройка централизованной системы таким же образом могут оказаться физически невозможными, так как трассировка печатных плат, расположение и число компонентов могут быть недостаточными для увеличения мощности или числа номиналов выходных напряжений.

**Семейство SupIRBuck DC/DC-преобразователей Point-of-Load компании IR**

Строго говоря, термин «Point-of-Load» определяет описанный выше способ применения DC/DC-

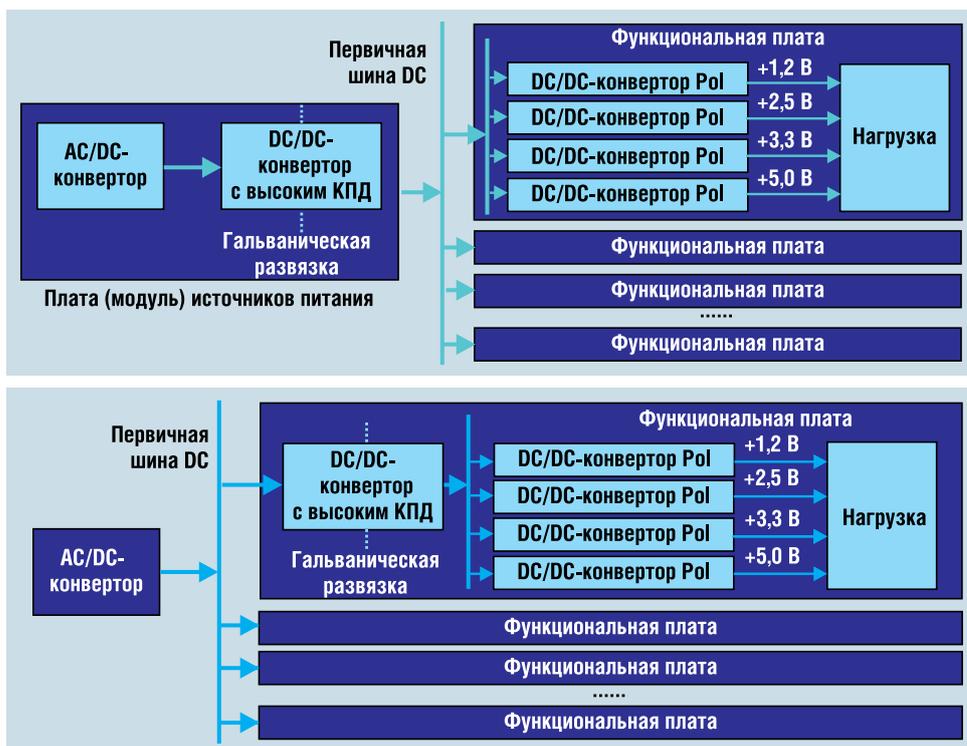


Рис. 1. Распределенные архитектуры систем электропитания, использующие DC/DC-конвертеры Point-of-Load

Таблица 1. Технические характеристики DC/DC-преобразователей семейства SupIRBuck

Изделие	Входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		Выходной ток, А	Частота коммутации, кГц		Функции						
	мин.	макс.	мин.	макс.		мин.	макс.	ОСР	ОТР	Pre-Bias	Soft Start	EN	Tracking	Pgood
IR3800M	2,5	21	0,6	12	12	600		Есть	Есть	Есть	Есть			
IR3801M	2,5	21	0,6	12	7	600		Есть	Есть	Есть	Есть			
IR3802M	2,5	21	0,6	12	4	600		Есть	Есть	Есть	Есть			
IR3800AM	2,5	21	0,6	12	14	300		Есть	Есть	Есть	Есть			
IR3801AM	2,5	21	0,6	12	9	300		Есть	Есть	Есть	Есть			
IR3802AM	2,5	21	0,6	12	6	300		Есть	Есть	Есть	Есть			
IR3810M	2,5	21	0,6	12	12	600		Есть	Есть	Есть	Есть		Есть	
IR3811M	2,5	21	0,6	12	7	600		Есть	Есть	Есть	Есть		Есть	
IR3812M	2,5	21	0,6	12	4	600		Есть	Есть	Есть	Есть		Есть	
IR3820M	2,5	21	0,6	12	12	600		Есть	Есть	Есть	Есть			Есть
IR3821M	2,5	21	0,6	12	7	600		Есть	Есть	Есть	Есть			Есть
IR3822M	2,5	21	0,6	12	4	600		Есть	Есть	Есть	Есть			Есть
IR3820AM	2,5	21	0,6	12	14	300		Есть	Есть	Есть	Есть			Есть
IR3821AM	2,5	21	0,6	12	9	300		Есть	Есть	Есть	Есть			Есть
IR3822AM	2,5	21	0,6	12	6	300		Есть	Есть	Есть	Есть			Есть
IR3831M	1,5	16	0,7	0,9*Vin	8	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
IR3831WM	1,5	16	0,7	0,9*Vin	8	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
IR3832WM	1,5	16	0,7	0,9*Vin	4	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
IR3840AM	1,5	21	0,7	0,9*Vin	14	250	1000	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3840M	1,5	16	0,7	0,9*Vin	12	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3840WM	1,5	16	0,7	0,9*Vin	12	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3841M	1,5	16	0,7	0,9*Vin	8	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3841WM	1,5	16	0,7	0,9*Vin	8	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3842AM	1,5	21	0,7	0,9*Vin	6	250	1200	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3842M	1,5	16	0,7	0,9*Vin	4	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3842WM	1,5	16	0,7	0,9*Vin	4	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3843AM	1,5	21	0,7	0,9*Vin	3	250	1200	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3843WM	1,5	16	0,7	0,9*Vin	2	250	1500	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3870M	3,0	26	0,5	12	10		1000	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть
IR3876M	3,0	21	0,5	12	12		1000	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть		Есть

преобразователей, а не их конкретный класс. Однако многие производители выделяют из своей продукции линейки устройств, максимально соответствующие требованиям данных приложений.

Компания International Rectifier предлагает следующие компоненты для построения преобразователей PoL:

- Интегрированные модули для DC/DC-конверторов семейства iPowIR;
- Микросхемы импульсных синхронных понижающих DC/DC-преобразователей со встроенным ключом семейства SupIRBuck;
- Микросхемы импульсных синхронных ШИМ-контроллеров (для построения DC/DC-преобразователей с внешним ключом).

В статье [1] уже рассматривались микросхемы семейства SupIRBuck, поэтому имеет смысл уделить внимание новинкам компании IR в этом классе электронных приборов – микросхемам поколения Gen2, которые были анонсированы в текущем году.

В таблице 1 представлены микросхемы этого семейства. Причем серии

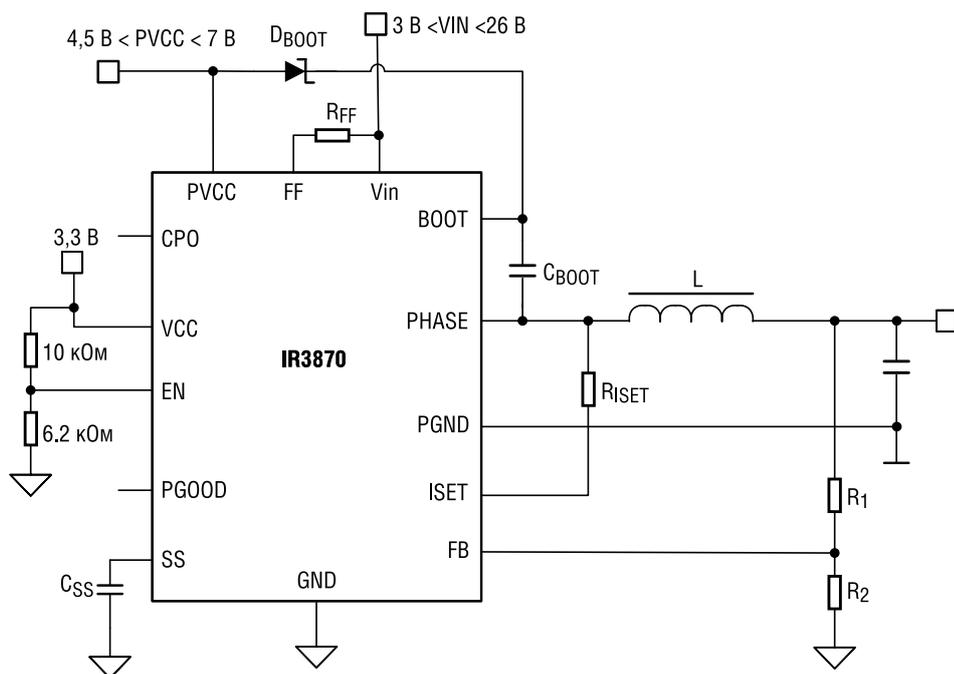


Рис. 2. Схема подключения IR3870M

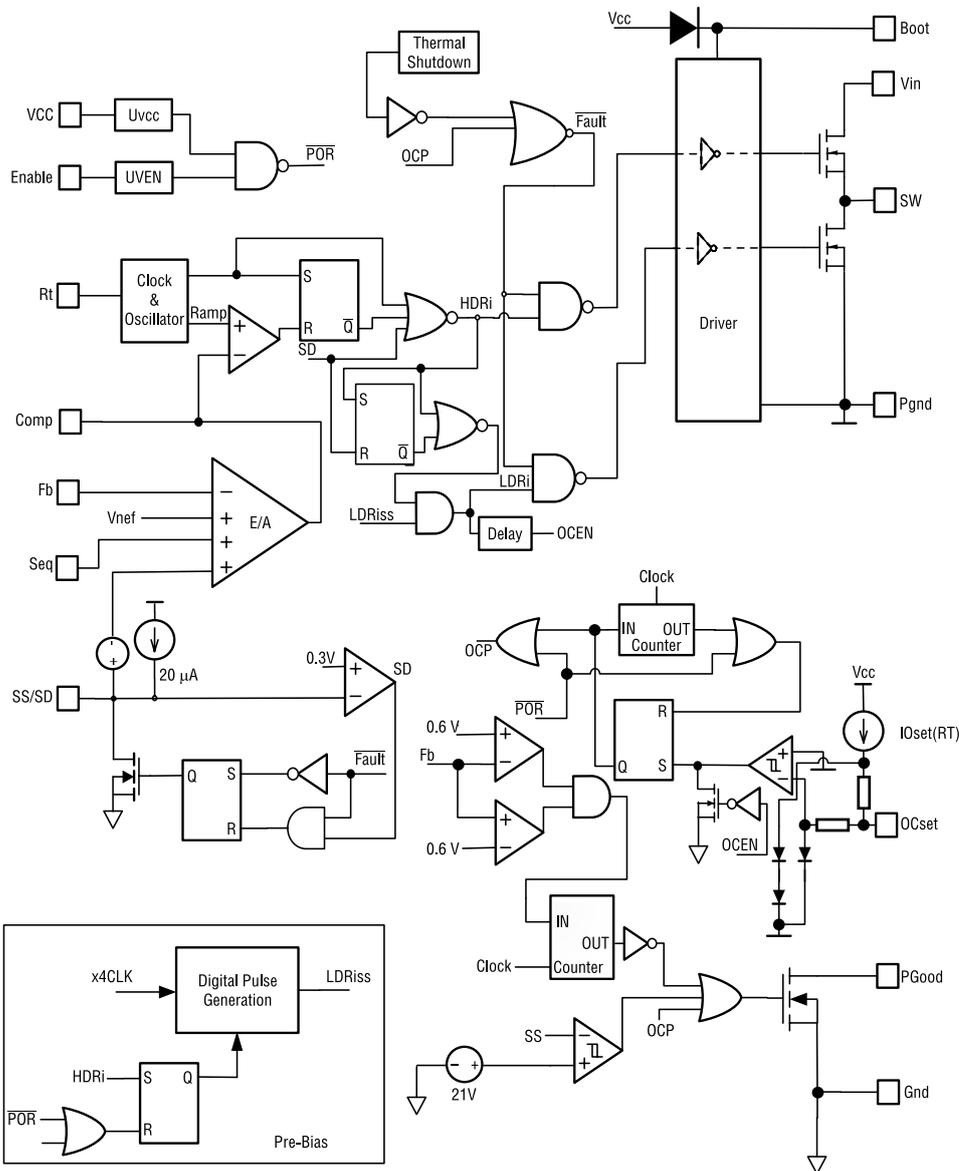


Рис. 3. Блок-диаграмма IR3840AM

**IR380x, IR381x и IR382x** относятся к первому поколению преобразователей SupIRBuck (поколение Gen1), а семейства **IR383x, IR384x и IR387x** — к Gen2.

Все рассматриваемые микросхемы имеют средства защиты (блокировки) при превышении максимально допустимого тока в нагрузке (OCP) и при перегревании кристалла (OTP). Кроме того, в них реализована функция плавного старта (*Soft Start*) с возможностью задания его продолжительности, а также возможность монотонного запуска в условиях предварительно-смещенной нагрузки (*Pre-Bias*).

Помимо этого, в микросхемах IR381x и IR383x реализована дополнительная функция следящего управления выходным напряжением (*Tracking*), а в микросхемах IR382x, IR383x и IR384x — функция мониторинга выходного напряжения (*PGood*). Микросхемы IR383x и IR384x имеют также вход разрешения работы микросхемы (*En*).

Микросхемы IR383x следует рассматривать как дальнейшее развитие IR381x, а микросхемы IR384x — как дальнейшее развитие IR382x. Рассмотрим основные различия микросхем поколения Gen2 от микросхем поколения Gen1:

- Минимальное входное напряжение снижено до 1,5 В. Однако максимальное входное напряжение (за исключением изделий с суффиксом AM) также снижено с 21 до 16 В. Тем не менее, более высокий коэффициент заполнения рабочего цикла позволил расширить диапазон выходного напряжения с 12 до 14,5 В. Как и изделия первого поколения, микросхемы Gen2 являются преобразователями с регулируемым выходным напряжением — значение выходного напряжения определяется резистивным делителем в цепи обратной связи.

- Микросхемы первого поколения имели фиксированную частоту коммутации (300 кГц у микросхем с суффик-

сом AM и 600 кГц — у микросхем с суффиксом M). В микросхемах второго поколения частота коммутации регулируется в пределах 250...1500 кГц (у микросхем AM несколько меньше). Большая частота коммутации дает возможность применять катушки индуктивности и конденсаторы меньших номиналов и, соответственно, меньших габаритов, что позволяет снизить площадь, занимаемую преобразователем на печатной плате.

- При прочих равных условиях коэффициент полезного действия в микросхемах второго поколения увеличен на 2...5%, а потери мощности снижены примерно на 30%. Это снижает нагрев корпуса микросхемы и позволяет упростить решения по отводу тепла с платы.

- Бутстрепный диод интегрирован в корпус микросхемы (в отличие от конверторов первого поколения), что уменьшает число внешних компонентов, упрощает схему и, как следствие, минимизирует площадь на печатной плате.

- Расширены функциональные возможности. Практически все микросхемы второго поколения имеют дополнительные входы Enable и Sequence, что позволяет строить системы электропитания со сложной циклограммой включения (выключения).

Рассмотрим отличия микросхем с различными суффиксами. Микросхемы **IR38xxAM** являются изделиями с повышенным максимальным входным напряжением и более высоким максимальным током нагрузки (по сравнению с аналогичными микросхемами **IR38xxM** и **IR38xxWM**). Максимальная частота коммутации (как уже отмечалось) несколько ниже, чем у остальных изделий. Микросхемы IR38xxM и IR38xxWM являются базовыми изделиями. Обладая функциональными возможностями, аналогичными IR38xxAM, они рассчитаны на меньшие токи нагрузки и меньший диапазон входных напряжений, но имеют более высокую частоту коммутации. Различия между микросхемами IR38xxM и IR38xxWM — в значении ряда электрических параметров (при прочих равных условиях потери мощности в IR38xxWM несколько ниже).

Микросхемы **IR3843AM** и **IR3843WM** прототипов в первом поколении не имеют. Они дополняют линейку преобразователей SupIRBuck в части микросхем с относительно небольшими токами нагрузки, повышая коэффициент полезного действия и снижая потери мощности по сравнению с другими микросхемами в аналогичных условиях.

Микросхемы **IR3870M** (рис. 2) и **IR3876M** также не имеют прототипов в изделиях поколения Gen1. Данные микросхемы предназначены для работы в более широком диапазоне вход-

ных напряжений с большими токами в нагрузке.

Рассмотрим более подробно внутреннюю схему и функциональное оснащение микросхем IR383x, IR384x, IR387x на примере устройства **IR3840A** (рис. 3). Микросхема использует схему ШИМ-контроллера с управлением по напряжению для обеспечения помехоустойчивости и облегчения выбора номиналов внешних индуктивностей и конденсаторов. В качестве токосъемного резистора устройство использует сопротивление открытого канала нижнего транзистора, что позволяет повысить КПД преобразователя и уменьшить число внешних элементов обвязки микросхемы. Также IR3840A содержит два MOSFET-транзистора, выполненных по технологии HEXFET с низким значением сопротивления открытого канала.

### Плавный старт (Soft Start)

IR3840A имеет регулируемый режим плавного старта для контроля скорости нарастания выходного напряжения и ограничения пускового тока во время старта. Последовательность плавного старта запускается после того, как значения напряжений на выводах Vcc и Enable превышают свои пороговые значения и генерируют сигнал POR (*Power On Ready*).

### Управление включением/отключением (Shutdown)

IR3840A может быть принудительно выключен, если подать напряжение ниже 1 В на вывод Enable или ниже 0,3 В на вывод SS. Режим Shutdown включает верхний и нижний драйверы.

### Защита от перегрузки по току (OCP)

Значение тока нагрузки определяется падением напряжения на сопротивлении открытого канала нижнего транзистора. Порог срабатывания защиты по току задается значением внешнего резистора, подключенного между выводом OCset и SW. Через этот резистор течет ток внутреннего источника тока (IOCset). Когда нижний транзистор включен, и через него течет ток нагрузки IL, напряжение на выводе OCset будет равно:

$$V_{OCset} = (I_{OCset} \times R_{OCset}) - (R_{DS(on)} \times I_L)$$

IR3840A определяет режим перегрузки по току, когда напряжение VOCset падает ниже значения 0 В.

### Защита от перегрева (OTP)

Защита от перегрева реализована внутри микросхемы. Типовое значение

верхней границы температуры равно 140°C. При достижении температурой этого порога, внутренняя схема выключает оба транзистора понижающего преобразователя и разряжает внешний конденсатор, подключенный к выводу SS. Микросхема автоматически перезапускается после того, как температура станет на 20°C ниже уровня срабатывания.

### Мониторинг выходного напряжения (PGOOD)

IR3840A непрерывно контролирует напряжение на выводе Fb. Это напряжение подается на компаратор с верхним и нижним уровнем срабатывания равными 0,805 и 0,595 В, соответственно. В результате, напряжение на выводе PGood установлено, когда напряжение на выводе Fb находится между этими значениями. Вывод PGood – вывод с открытым коллектором, поэтому его необходимо дополнительно подтягивать к питанию.

### Запуск в условиях предварительно-смещенной нагрузки (Pre-Bias)

Синхронный выпрямитель работает в противофазе коммутатору, и при подаче питания он шунтирует остаточное напряжение на нагрузке через дроссель выходного LC-фильтра. Поэтому выходное напряжение будет иметь рывки. Чтобы этого не допустить, осуществляется блокировка работы синхронного выпрямителя до включения в работу коммутатора. Это происходит с учетом временной диаграммы плавного старта.

### Заключение

Импульсные DC/DC-преобразователи SupIRBuck являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений в номенклатуре компании IR – первые микросхемы этого семейства были анонсированы в ноябре 2007 года, а в настоящее время линейка этих преобразователей насчитывает 30 изделий (в том числе 15 микросхем второго поколения, выпущенных на рынок в течение последнего года). Необходимо отметить, что помимо микросхем компания IR предлагает широкий спектр демонстрационных плат, способствующих ускорению освоения конкретной модели преобразователя и определенной области их применения. 

Первый GaN силовой модуль  
0,6...5,5 В, 30 А, 3 МГц от IR

Компания **International Rectifier** объявила о серийном выпуске силовых модулей **IP2010** и **IP2011**, предназначенных для универсальных высокоэффективных многофазных синхронных понижающих преобразователей. Каждый мини-блок выполнен в корпусе LGA размерами 7,7x6,5 мм по технологии многокристального корпусирования на базе новой платформы GaNPower и содержит все необходимые элементы (силовые транзисторы, драйвер и пассивные компоненты) для построения одной фазы многофазных конвертеров. Новая платформа стала результатом опытно-конструкторских работ компании IR в течение последних пяти лет по созданию эпитаксиальных технологий GaN-on-Si. Преимуществами реализации преобразователей на базе IP20xx являются низкое выходное напряжение, программируемая частота переключения, возможность параллельного подключения, высокий КПД, а также широкая область безопасной работы. Областью применения данных силовых модулей являются понижающие преобразователи для питания центральных процессоров в серверах и рабочих станциях, сетевое оборудование хранения и обработки данных, маршрутизаторы и коммутаторы. Мини-модули **IP201x** имеют частоту переключения до 5 МГц, что более чем в два раза больше частоты переключения обычных кремниевых приборов. Таким образом, это позволяет разработчикам существенным образом уменьшить габариты конденсаторов и дросселей на выходе. Эти приборы также можно настроить на меньшую частоту для схем, где требуется получить максимально возможный КПД. IP2010 имеет напряжение на входе 7...13,2 В и на выходе – 0,6...5,5 В при выходном токе до 30 А и частоте переключения 250...3000 кГц. IP2011 имеет те же самые входные и выходные напряжения, но может работать на частоте от 250 кГц до 5 МГц при выходном токе до 20 А. Приборы имеют очень малые потери мощности и двустороннее охлаждение.

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: power.vesti@compel.ru

Юрий Новиков (КОМПЭЛ)

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ БАЛЛАСТ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ



В статье рассматривается новинка компании **International Rectifier** в области управления газоразрядными лампами высокой эффективности (HID) – электронный балласт **IRS2573D**, а также описываются основные функции и режимы работы микросхемы. Новое изделие совмещает в одном корпусе управление понижающим и мостовым преобразователями.

Принцип работы газоразрядных ламп высокой интенсивности (HID) основан на образовании электрической дуги между вольфрамовыми электродами, помещенными в стеклянную колбу. Колба заполнена газом с малым содержанием ртути или другого металла, в зависимости от типа лампы. Газ обеспечивает первоначальное образование электрической дуги, которая в свою очередь разогревает и испаряет металл, образуя плазму. Плазма резко увеличивает интенсивность светового излучения дуги и снижает мощность, потребляемую лампой. В сравнении с люминесцентными лампами и лампами накаливания, HID-лампы имеют большую эффективность светового излучения на 1 Вт потребляемой мощности. В зависимости от химического состава вещества, заполняющего колбу, HID-лампы делятся на следующие основные типы:

- Ртутные лампы (Mercury Vapor Lamps);
- Металлогалоидные лампы (Metal Halide Lamps);
- Натриевые лампы (Sodium Vapor Lamps);
- Ксеноновые лампы (Xenon Arc Lamps).

HID-лампы имеют уникальные электрические характеристики и требуют специального метода управления. Обычно для поджига газоразрядной лампы используется напряжение порядка 3...4 кВ, также лампа требует ограничения тока во время подогрева и постоянного контроля мощности во время работы. Это важно для обеспечения повторения цветового излучения и яркости одинаковых ламп. В качестве управляющего напряжения лампы высокой интенсивности следует использо-

вать переменное напряжение, что исключает миграцию ионов ртути. Также лампы должны работать на низкой частоте, обычно менее 200 Гц, что исключает акустический резонанс, который может повредить или разрушить колбу. Всем перечисленным требованиям отвечает новая микросхема **IRS2573D**, представленная компанией International Rectifier.

IRS2573D представляет собой микросхему электронного балласта с напряжением смещения драйверов до 600 В, разработанную специально для управления всеми типами газоразрядных ламп высокой интенсивности. Микросхема имеет большой набор полезных функций с возможностью регулировки. Она включает в себя контроллер понижающего преобразователя, контроллер мостового преобразователя, схему управления поджигом лампы и шесть драйверов силовых транзисторов. Внутренняя схема

Рассмотрим более подробно основные режимы работы и функционал основных блоков микросхемы.

### Режим блокировки при пониженном напряжении питания

Когда напряжение питания IRS2573D еще не достигло или падает ниже минимального уровня включения, микросхема входит в режим блокировки при пониженном напряжении питания (UVLO). В этом режиме выключены понижающий и мостовой преобразователи, остановлены таймер поджига и тактовый генератор, сброшены все счетчики. В режиме UVLO внутренняя схема обеспечивает минимальный ток потребления микросхемы равный 150 мкА и гарантирует полную работоспособность IRS2573D перед включением драйверов понижающего и мостового преобразователей. Как только напряжение питания достигает минимального уровня включения 10,5 В (при этом напряжение на выводе 16 (VSENSE) выше заданного порога на выводе 19 (OV), и напряжение на выводе 15 (RST) выше 1,5 В) микросхема включается, запускается тактовый генератор, и драйвер мостового преобразователя начинает выдавать сигналы на выходы 22, 24, 25, 27 (HO2, LO2, LO1, HO1).

Микросхема электронного балласта для HID-ламп **IRS2573D** включает в себя контроллер понижающего преобразователя, контроллер мостового преобразователя, схему управления поджигом лампы и шесть драйверов силовых транзисторов.

### Режим поджига

При первом включении микросхемы, если не срабатывает условие блокировки при пониженном напряжении питания (UVLO), IRS2573D запускает режим поджига (*Ignition Mode*), при этом включается таймер поджига. Частота таймера поджига задается величиной внешнего конденсатора, подключенного к выводу 13 (TIGN). Этот конденсатор линейно заряжается/разряжается выходным током вывода TIGN в фиксированном окне от 2 до 4 В (рис. 2). Частота перезаряда кон-

обеспечивает контроль работы лампы в режимах поджига, разогрева, нормальной работы и отказа, а также имеет перемножитель, служащий для точного измерения и контроля мощности лампы. Помимо этого IRS2573D обеспечивает комплексное обнаружение отказов и диагностику разомкнутой цепи, короткого замыкания, сбоя при зажигании и нагреве, а также условий окончания срока службы лампы. Блок-схема внутреннего устройства микросхемы представлена на рис. 1.

денсатора тактирует таймер поджига (типичное значение 660 мс), который далее используется для управления драйвером поджига. Типовое время включенного/выключенного состояния драйвера составляет 21/64 секунд, соответственно. Логическая «1» на выходе драйвера (вывод IGN) включает MOSFET-транзистор, который, в свою очередь, запускает внешнюю цепь поджига. Цепь поджига будет постоянно пытаться зажечь лампу в течение 787 секунд. Если по прошествии этого времени лампа не загорается, IRS2573D переходит в режим ошибки (*Fault Mode*). Если лампа успешно зажглась, напряжение на выводе 16 (VSENSE) падает ниже порогового значения ( $VOV(2/5) = 1$  В) вследствие низкого сопротивления лампы во включенном состоянии, и таймер поджига выключается.

### Режим нормальной работы

Во время режима нормальной работы (General Mode) IRS2573D отслеживает различные изменения нагрузки:

- Холостой ход;
- Короткое замыкание;
- Работа на постоянной мощности;
- Критическое снижение/повышение напряжения на лампе.

Микросхема реагирует на различные ошибки путем включения/выключения понижающего преобразователя, изменением длительности включенного состояния управляющего транзистора понижающего преобразователя или, учитывая частоту появления различных ошибок, полным выключением микросхемы. IRS2573D определяет текущий режим работы, сравнивая напряжения на выводах VSENSE и ISENSE с заданными порогами на выводах OV и OC.

### Контроллер мостового преобразователя

IRS2573D имеет полноценный драйвер верхнего и нижнего плеча для управления мостовым преобразователем, который, в свою очередь, обеспечивает питание HID-лампы переменным напряжением прямоугольной формы. Максимально допустимое напряжение смещения драйвера верхнего плеча составляет 600 В.

Полный мост начинает работать на заданной частоте сразу же после выхода из режима блокировки (UVLO) и включения микросхемы. Полный мост обычно работает на пониженной частоте (до 200 Гц), чтобы избежать повреждения лампы от акустического резонанса. Частота генератора задается внешним конденсатором, подключенным к выводу 12 (CT). Когда напряжение на конденсаторе достигает порогового значения 4 В, выходы драйвера (LO1, HO1, LO2, HO2) переключаются на противоположные значения. «Мертвое время» между переключениями транзисторов — фиксиро-

ванное и равно 1 мкс. Чтобы исключить влияние импульса поджига лампы на средние точки моста (VS1 и VS2) в течение «мертвого времени», внутренняя логика подает «0» на вывод IGN, выключая внешний транзистор поджига. Полный мост прекращает работу только в случае, если микросхема находится в режиме ошибки или режиме UVLO.

### Контроллер понижающего преобразователя

Контроллер понижающего преобразователя может работать в режиме непрерывного или прерывистого тока дросселя в зависимости от времени выключенного состояния управляющего транзистора или от величины протекающего через него пикового тока.

Во время нормальной работы лампы преобразователь работает в режиме прерывистого тока.

Управляющий транзистор включается каждый раз, когда ток дросселя достигает нуля. Время проводящего состояния транзистора задается уровнем напряжения на выводе 10 микросхемы (PCOMP), а продолжительность выключенного состояния зависит от времени, необходимого, чтобы ток дросселя достиг нуля, о чем свидетельствует спадающий фронт сигнала на выводе 7 (ZX). При этом форма тока, протекающего через дроссель, имеет вид треугольника с пиковым значением, зависящим от величины индуктивности и времени включенного состояния.

Во время разогрева лампы или короткого замыкания преобразователь работает в режиме непрерывного тока дросселя. В этом режиме ток дросселя имеет постоянную составляющую с пульсациями, ограниченными сверху — заданным

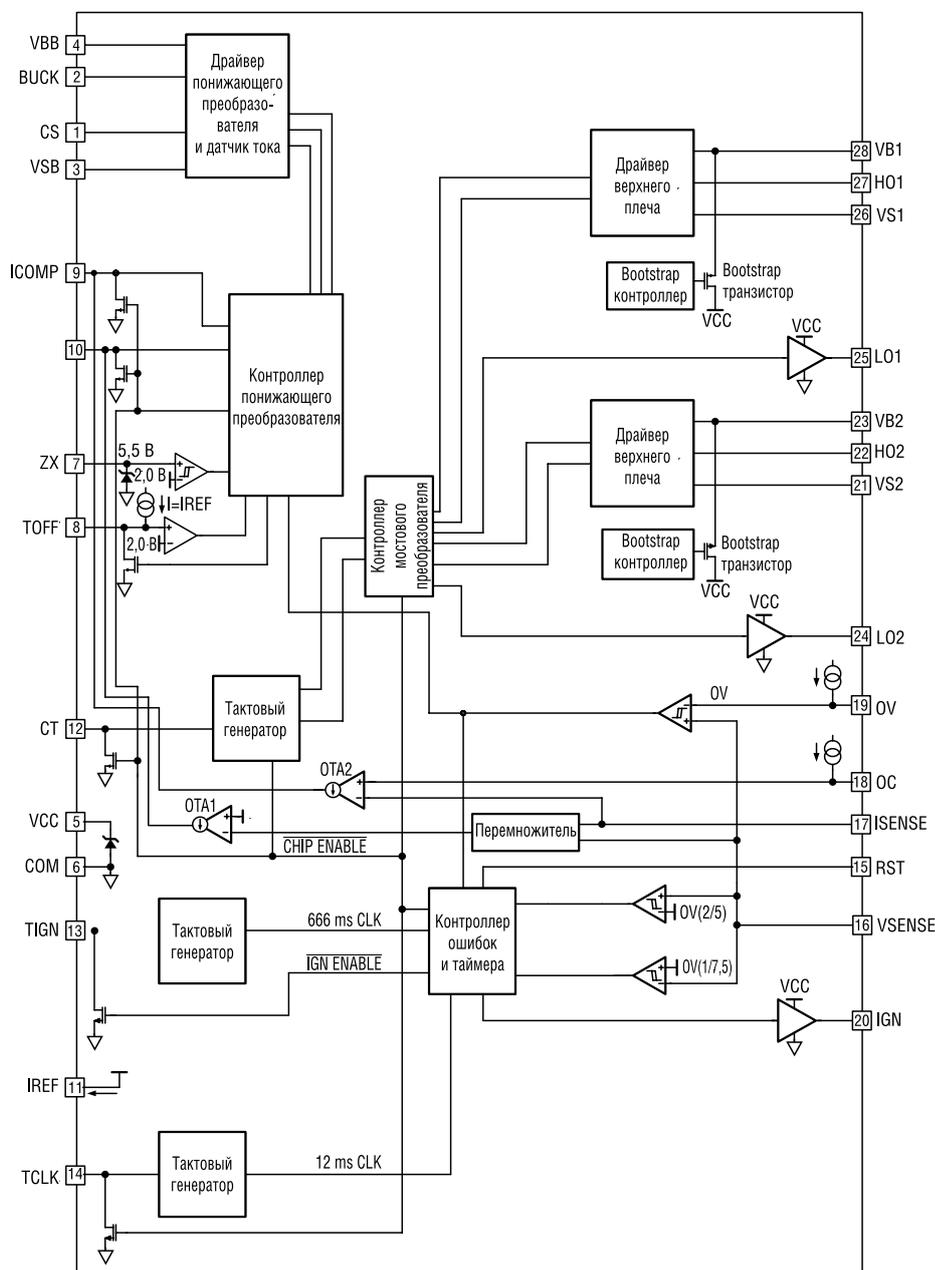


Рис. 1. Функциональная блок-схема IRS2573D

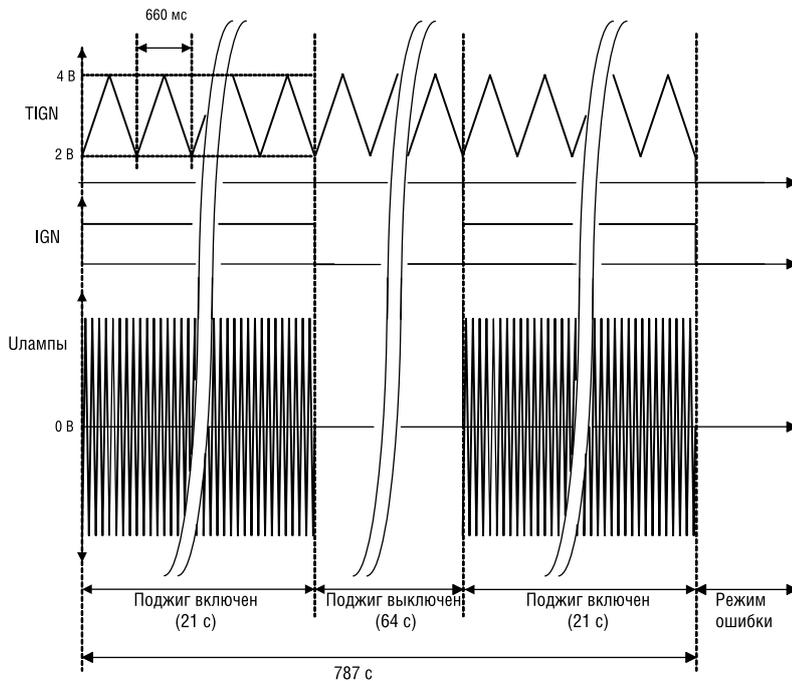


Рис. 2. Временная диаграмма таймера поджига IRS2573D

может превысить максимально допустимое значение, заявленное производителем для конкретного типа HID-лампы. Для предотвращения такой ситуации в IRS2573D была дополнительно добавлена цепь ограничения тока лампы заданным значением.

### Демонстрационная плата IRPLHID2 для электронного балласта IRS2573D

IRPLHID2 представляет собой законченное решение для балласта HID-лампы мощностью до 70 Вт. Плата включает в себя ЭМИ фильтр, активный ККМ, понижающий преобразователь и схему электронного балласта на основе IRS2573D (рис. 3). Устройство наглядно демонстрирует технику трассировки печатной платы с использованием IRS2573D и позволяет в короткие сроки освоить применение микросхемы. Основные особенности устройства:

- Входное переменное напряжение 185...265 В;
- Высокий коэффициент мощности 0,98 при ~220 В;
- Контролируемый поджиг лампы;
- Пониженная рабочая частота 149 Гц;
- Контроль напряжения и тока лампы;
- Защита от холостого хода;
- Защита от короткого замыкания и перегрева лампы;
- Контроль срока службы лампы.

### Заключение

Ранее, решая задачи в области управления газоразрядными лампами высокой эффективности, разработчикам приходилось использовать как минимум две микросхемы для раздельного управления понижающим преобразователем и мостовым преобразователем, при этом невозможно было контролировать все режимы работы лампы и отслеживать сбои во время ее эксплуатации. Новый электронный балласт IRS2573D от компании International Rectifier совместил в себе все необходимые устройства, необходимые для управления HID-лампами. В состав микросхемы входят контроллер понижающего преобразователя, контроллер мостового преобразователя, устройство обеспечивает режим поджига лампы, ее работу на постоянной мощности, отслеживает критические режимы: холостого хода, короткого замыкания, перегрева и выхода лампы из строя. Таким образом, с применением электронного балласта IRS2573D в несколько раз упрощается процесс разработки устройства для управления любыми типами HID-ламп.

Все материалы взяты с сайта производителя <http://www.irf.com>.

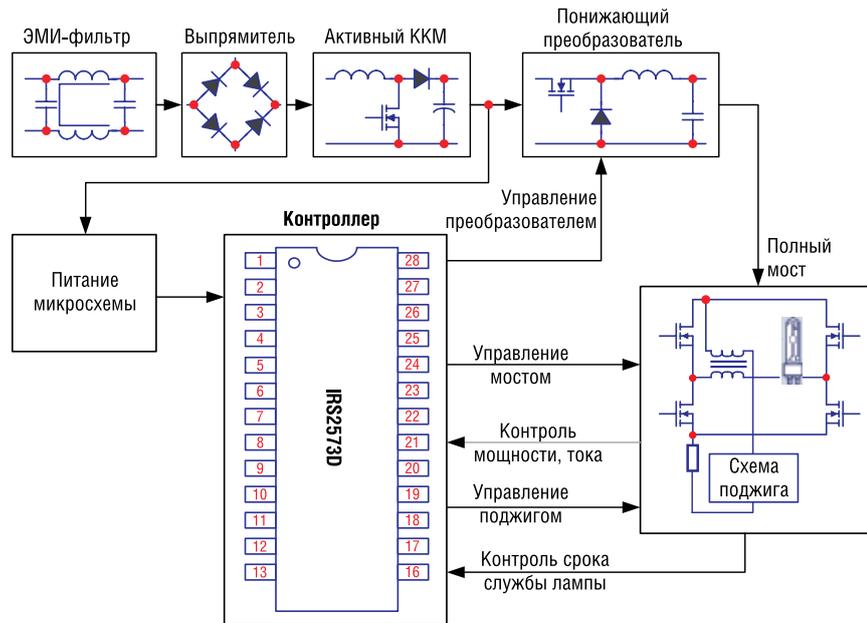


Рис. 3. Функциональная блок-схема демонстрационной платы IRPLHID2

максимально допустимым значением тока, а снизу — максимальным временем выключенного состояния. В отличие от режима прерывистого тока, режим непрерывного тока позволяет пропускать через дроссель большее среднее значение тока, не вызывая его насыщения.

### Контроль постоянной мощности лампы

После поджига лампы в режиме нормальной работы IRS2573D поддерживает мощность лампы на постоянном уровне. Для реализации этой функции напряжения с выводов VSENSE и ISENSE (соответствующих напряжению на лампе и току через нее) подаются на встроенный перемножитель напряжений. Получен-

ное на выходе напряжение (пропорциональное мощности) сравнивается с опорным напряжением и при необходимости регулируется посредством изменения длительности проводящего состояния транзистора понижающего преобразователя. Таким образом осуществляется стабилизация мощности лампы.

### Ограничение тока лампы

В режиме разогрева лампы напряжение на ней может быть очень малым (порядка 20 В) и схема контроля мощности будет пытаться увеличить ток лампы до нескольких ампер, чтобы обеспечить условие постоянной мощности. Таким образом, значение тока лампы

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка —  
e-mail: [power.vesti@compel.ru](mailto:power.vesti@compel.ru)

Константин Староверов (г. Донецк)

## ПРОДУКЦИЯ КЛАССА HiREL КОМПАНИИ INTERNATIONAL RECTIFIER



В статье рассказывается о преимуществах **HiRel-продукции компании International Rectifier**. В ее состав входят **дискретные приборы, интегральные микросхемы и модули**, использующиеся в **коммерческих, военных, аэрокосмических и других применениях, требующих высокой функциональной надежности**.

Специально для применений, где предъявляются особые требования к надежности, безопасности и стойкости к воздействиям окружающей среды, выпускается специальный класс высоконадежных (HiRel) электронных компонентов. Компания International Rectifier (IR) предлагает одну из самых больших на рынке линеек HiRel-продукции, которую составляют дискретные приборы, интегральные микросхемы и модули в разнообразных исполнениях, включая стандартное HiRel-исполнение, высокотемпературное и стойкое к воздействию радиации. Продукция IR находит применение в военной технике, ракетно-космическом оборудовании (например, спутники), авиации, медицинской технике и промышленной электронике для сложных условий эксплуатации (например, атомные электростанции или нефтяные буровые платформы). Качество HiRel-продукции подтверждено ее применением в разнообразных проектах: спутниках системы GPS; гражданских авиалайнерах (напри-

мер, Airbus 380 и Boeing 777); военных истребителях (F16, F18, F22 «Raptor») и вертолетах (AH-64, WAH64); подводных коммуникационных кабельных системах Trans-Pacific Express; нефтяных платформах Mirage и других. Производственные предприятия IR имеют возможности выпуска HiRel-продукции в соответствии со следующими стандартами:

- MIL-PRF-19500 «Общие технические требования к полупроводниковым приборам»;
- MIL-STD-750 «Методы испытаний полупроводниковых приборов»;
- MIL-PRF-38534 «Общие технические требования к гибридным микросхемам»;
- MIL-PRF-38535 «Общие технические условия к производству интегральных схем (микросхем)»;
- MIL-STD-883 «Методы испытаний микросхем».

Данные стандарты описывают уровень надежности для тех или иных применений. В ассортименте IR есть продукция с уровнями надежности класса

B и S согласно стандарту MIL-STD-883, а также JANX/JANXV и JANS согласно MIL-PRF-19500, что позволяет достичь классов надежности H (военные применения) и K (космические применения), соответственно. В США соответствие данным стандартам устанавливает центр военного снабжения в Колумбусе (DSCC, [www.dsc.dla.mil](http://www.dsc.dla.mil)). Часть HiRel продукции IR официально входит в список сертифицированной продукции (QPL) этой организации.

Рассмотрим группы HiRel-продукции в соответствии с классификацией, представленной в таблице 1.

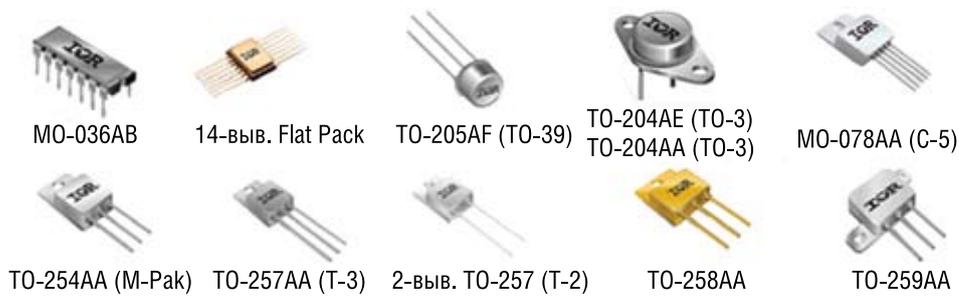
### Дискретные полупроводниковые приборы

Дискретные приборы предлагаются в корпусах для сквозного и поверхностного монтажа (рис. 1). Линейка дискретных диодов Шоттки (таблица 2) разделена на одиночные и сдвоенные приборы. Каждый из сдвоенных диодов доступен в трех исполнениях с различной схемой включения (ОА, ОК, УН). Часть диодов Шоттки доступна в исполнениях JANS, JANTX, JANTXV (имеется сертификат DSCC). Специально для высоковольтных и высокочастотных (свыше 100 кГц) импульсных силовых схем IR предлагает ультрабыстрые выпрямительные диоды (таблица 3). Благодаря свойственным им ма-

Таблица 1. Классификация HiRel-продукции IR

Дискретные приборы	Интегральные микросхемы и модули
<p><b>Диоды Шоттки:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– однокристалльные;</li> <li>– двухкристалльные, включенные по схеме с общим анодом (ОА), с общим катодом (ОК) или удвоителя напряжения (УН).</li> </ul> <p><b>Ультрабыстрые выпрямительные диоды:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– однокристалльные;</li> <li>– однокристалльные с мягким восстановлением;</li> <li>– двухкристалльные (схемы ОК; под заказ ОА и УН; два независимых диода);</li> <li>– двухкристалльные с мягким восстановлением (схемы ОА, ОК, УН и два независимых диода).</li> </ul> <p><b>Мощные MOSFET-транзисторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– для каскадов синхронного выпрямления;</li> <li>– однокристалльные радиационно-устойчивые;</li> <li>– многокристалльные радиационно-устойчивые;</li> <li>– стандартные герметичные однокристалльные;</li> <li>– стандартные герметичные многокристалльные.</li> </ul> <p><b>IGBT-транзисторы</b></p>	<p><b>Твердотельные реле</b></p> <p><b>Модули для управления электродвигателями:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– IGBT-модули высокой мощности;</li> <li>– драйверы затворов IGBT-транзисторов;</li> <li>– контроллеры вентильных двигателей;</li> <li>– полнофункциональные модули управления электродвигателями;</li> <li>– радиационно-стойкие драйверы двигателей.</li> </ul> <p><b>DC/DC-преобразователи</b></p> <p><b>Фильтры ЭМИ</b></p> <p><b>Стабилизаторы напряжения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– стандартные (регулируемые, предустановленные, одно-/двухканальные);</li> <li>– LDO-типа (регулируемые, предустановленные);</li> <li>– ULDO-типа (только регулируемые);</li> <li>– радиационно-стойкого ULDO-типа (регулируемые, предустановленные).</li> </ul> <p><b>Драйверы затворов</b></p>

Корпуса для сквозного монтажа



Корпуса для поверхностного монтажа



Рис. 1. Корпуса дискретных HiRel-приборов

лым потерям появляется возможность снизить размеры теплоотводов и улучшить КПД силового преобразователя. Дальнейшие меры по снижению габаритов и, следовательно, повышению плотности мощности предоставляют двух-

кристальные приборы и диоды с мягким восстановлением. Последние, благодаря «плавности» процесса обратного восстановления, позволяют избавиться от демпфирующих цепей в большинстве применений. Диоды с префиксом OM

доступны в исполнениях JANS, JANTX и JANTXV.

Ассортимент HiRel MOSFET-транзисторов более представлен и насчитывает порядка полутысячи дискретных приборов, классифицируемых по ряду признаков. Ознакомиться с этим ассортиментом поможет таблица 4. Приборы для каскадов с синхронным выпрямлением отличаются от прочих дополнительным встроенным диодом Шоттки, который включен встречно-параллельно транзистору. Помимо показанных в таблице 4 признаков классификации можно выделить доступность радиационно-стойких транзисторов, совместимых по управлению с логическими уровнями. Такие транзисторы доступны с разнообразной внутренней структурой, в т.ч. однокристалльные (n- или p-канальные) и многокристалльные (4n, 4p, 2n+2p) на напряжения 60...250 В и токи до 56 А. Эти приборы помимо прочего обладают стойкостью к воздействию высокоэнергетических частиц (SEE, до 82 МэВ).

Линейку дискретных HiRel приборов замыкают несколько IGBT-транзисторов (см. таблицу 5).

Таблица 2. Диоды Шоттки

Наименование	Обратное напряжение, В	Средний прямой ток, А	Корпус	Сертификат DSCC
<b>Однокристалльные диоды Шоттки</b>				
16SYJQ045C	45	16	D2	
15LJQ100 30LJQxxx 30SLJQ0xx	30...150	15...30	SMD-0.5	15LJQ100
120LQxxx 60LQxxx 75LQ150 75SLQ0xx	30...150	60...120	SMD-1	
22GQ100 25GQ045 35GQ1xx 35SGQ0xx	30...150	30/35	TO-254AA	
10YQ045/C 16SYQ0xxC 16YQxxxC	30...150	10...16	TO-257AA	10YQ045C
5EQ100 8EQ045	100/45	8/10	18-выв. LCC	
OM400xST	45...100	10/15	T-2	
<b>Двухкристалльные диоды Шоттки</b>				
35SCGJQ060	60	35	D2	
8CLJQ045 30SCLJQ0xx 30CLJQxxx	45 30...60 45...150	8,5 30 30	SMD-0.5	30CLJQ100 30CLJQ150
yyCLQxxx 80SCLQ0xx	30...150	15...90	SMD-1	12CLQ150 15CLQ100 20CLQ045
yyCGQxxx 35SCGQ0xx 35CGQxxx	30...150	35	TO-254AA	22CGQ045 15CGQ100 12CGQ150
16JYQ100C 16SCYQ0xxC 16CYQxxxC	30...150	16	TO-257AA	16CYQ150C
45CKQ100/45CIQ100 60CKQ045/60CIQ045	100 45	45	TO-258AA/TO-259AA TO-258AA/TO-259AA	

Таблица 3. Ультрабыстрые выпрямительные диоды

Наименование	Обратное напряжение, В	Средний прямой ток, А	Корпус	Сертификат DSCC
<b>Однокристалльные диоды</b>				
OM5004/5/6/7ST	200/300/400/600	15	T-2	Есть
<b>Двухкристалльные диоды (ОК, ОА, УН)</b>				
OM5233/34/61ST	400/600/1000	16	TO-257AA	Есть
OM5262SW/SA	1000	24	D3/TO-254AA	Есть
<b>Двухкристалльные диоды (два независимых диода)</b>				
OM5209/10/11/12/13SC	50/100/150/200/400	15	MO-078AA	Есть
<b>Однокристалльные диоды с мягким восстановлением</b>				
HFB25HJ20	200	25	SMD-0.5	Нет
HFB60HF20 HFA40HF60/120	200 600/1200	60 22/11	SMD-1	Нет
OM5008/09/10/11ST	400/600/800/1000	14/14/12/12	T-2	Есть
HFB35HB20/60/120	200/600/1200	35/22/11	TO-254AA	Нет
HFB50HC20/НI20	200	50	TO-258AA/TO-259AA	Нет
<b>Двухкристалльные диоды с мягким восстановлением (ОК, ОА, УН)</b>				
HFB20HJ20C	200	20	SMD-0.5	Нет
HFB60HF20C HFA40HF60/120C	200 600/1200	60 30/15	SMD-1	Нет
HFB35HB20C HFA35HB60/120C	200 600/1200	35 30/15	TO-254AA	Нет
HFB16HY20C/CC	200	16	TO-257AA	Нет
HFB50HC20C/НI20C HFA45HC60/120C HFA45HI60/120C	200 600/1200 600/1200	50 45/28 45/28	TO-258AA/TO-259AA TO-258AA TO-259AA	Нет

**Твердотельные реле**

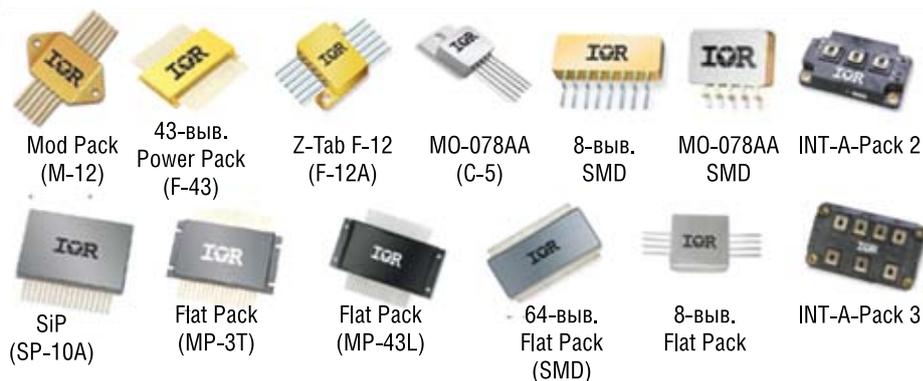
Специально для высоконадежных применений IR предлагает несколько радиационно-стойких и герметичных твердотельных реле (таблица 6), предназначенных для замены электромеханических в схемах коммутации силовых цепей, зарядных устройствах и прочих HiRel-применениях. Радиационная стойкость реле составляет свыше 100 крад, стойкость к SSE при линейной передаче энергии не менее 37 МэВ/(мг·см²), напряжение изоляции 1 кВ. Реле доступны в неэкранированном (класс Р) и экранированном (классы Н и К) исполнениях.

**IGBT-модули высокой мощности**

В ассортименте IR имеется три IGBT-модуля в HiRel-исполнении (таблица 7). Трехфазный модуль G150HNSK12P2 во входном каскаде дополнительно содержит схему ограничения пускового тока на основе тиристора и повышающий преобразователь. Данный модуль идеален для создания высоконадежных регулируемых электроприводов с функцией коррекции коэффициента мощности. Экранирование модулей выполнено в соответствии со стандартом MIL-PRF-38534 и, следовательно, они могут использоваться в военной технике и гражданской авиации. К числу их прочих особенностей, как HiRel-продукции, относятся:

- Прочный и при этом легкий корпус, обладающий стойкостью к действию жидкостей даже при повышенных

**Корпуса гибридных микросхем и модулей**



**Корпуса DC/DC-преобразователей и фильтров**



Рис. 2. Корпуса интегральных микросхем и модулей HiRel

температурах и очень малым тепловым сопротивлением;

- Затворы транзисторов защищены стабилитроном от перенапряжений;

• Рабочий температурный диапазон составляет -55...125°C;

- Имеют стойкость к токам короткого замыкания;

Таблица 4. MOSFET-транзисторы

Структура	V <sub>ds</sub> , В	ID, А	R <sub>DS(on)</sub> , Ом	Корпус	Примечания
<b>Для каскадов синхронного выпрямления</b>					
<b>n + диод Шоттки</b>	30/60	75	3,5...6,1 мОм	SMD-2	Радиационно-стойкие (100...1000 кРад), с пониженной индуктивностью (суффикс 'L')
<b>Однокристалльные радиационностойкие (100...1000 кРад)</b>					
<b>n</b>	30...500	0,8...75	0,0035...1,65	18-выводной LCC, SMD-0.5, SMD-1, SMD-2, TO-205AF, TO-254AA, TO-257AA, UB, UBC	Сертифицированы DSCC
<b>p</b>	60...200	0,33...30	0,045...1,3		
<b>n</b>	130...500	1,6...62	0,0135...1,65	18-выводной LCC, SMD-0.5, SMD-2, TO-205AF, TO-254AA, TO-257AA	Устойчивы к SEE
<b>n</b>	30...600	1,6...75	0,0045...3	18-выводной LCC, SMD-0.2, SMD-0.5, SMD-1, SMD-2, SMD-3, TO-204AA, TO-204AE, TO-205AF, TO-254AA, TO-257AA	Прочие
<b>p</b>	30...200	2,3...75	0,013...1,2	18-выводной LCC, SMD-0.2, SMD-0.5, SMD-1, SMD-2, TO-204AA, TO-204AE, TO-205AF, TO-254AA, TO-257AA	
<b>Многокристалльные радиационно-стойкие (100...1000 кРад)</b>					
<b>2n+2p</b>	60	0,8...1,7 0,56...0,71	0,6	14-выводной Flat Pack, MO-036AB	Сертифицированы DSCC
	100	0,29...4,6	0,27...0,7	28-выводной LCC, MO-036AB	Прочие
<b>4n</b>	60...250	0,8...2,6	0,22...1	14-выв. Flat Pack, MO-036AB, 28-выв. LCC	Сертифицированы DSCC
	250	1,9	1,5	28-выводной LCC	Устойчивы к SEE
	100	1...4,6	0,27...0,6	MO-036AB, 28-выводной LCC	Прочие
<b>4p</b>	60	0,56...0,71	1,25...1,36	14-выводной Flat Pack, MO-036AB	Сертифицированы DSCC
	100	0,75...2,8	0,96...1,2	MO-036AB, 28-выводной LCC	Прочие
<b>Однокристалльные стандартные герметичные</b>					
<b>n</b>	100...500	1,25...38	0,055...3,6	18-выводной LCC, SMD-1, TO-204AA, TO-204AE, TO-205AF, TO-254AA	Сертифицированы DSCC
<b>p</b>	100...200	2,1...18	0,2...1,5	18-выводной LCC, SMD-1, TO-204AA, TO-205AF, TO-254AA	
<b>n</b>	20...1000	2,3...75	0,0045...3,5	18/28-выводной LCC, D2, D3, SM-0.5, SMD-1, TO-204AA, TO-204AE, TO-205AF, TO-254AA, TO-257AA, TO-258AA, TO-259AA	Прочие
<b>p</b>	20...200	1,5...55	0,024...3	18-выводной LCC, SMD-0.5, SMD-1, TO-204AA, TO-205AF, TO-254AA, TO-257AA	
<b>Многокристалльные стандартные герметичные</b>					
<b>2n+2p</b>	100	1/0,75	0,7/1,4	MO-036AB	Сертифицированы DSCC
<b>4n</b>	100	1	0,7		
<b>4p</b>	100	0,75	1,4		
<b>2n</b>	100...500	13...25	0,065...0,4	S-6	Прочие
<b>2n+2p</b>	100...200	0,68...1	0,7...1,6	MO-036AB	
<b>4n</b>	100...500	11...25	0,08...0,43	M-12	

Таблица 5. IGBT-транзисторы

Наименование	V <sub>CE</sub> , В	IC, А	V <sub>CE(ON)MAX</sub> , В	Корпус	Сертификация DSCC
<b>IRG4MC30F/40U/50U/50F</b>	600	28/35/35/35	1,7/2,1/2,25/2	TO-254AA	Нет
<b>OM6516SC/17SA/17SW/20SC</b>	1200	25/20/20/25	4	TO-258AA/TO-254AA/TO-258AA/D3	Есть (TX, TXV, S)

• Имеют возможность работы на высоте свыше 25 км над уровнем моря.

### Драйверы затворов

Специально для управления HiRel IGBT-модулями (600/1200 В, 150...600 А) IR выпускает драйверы затворов. В настоящий момент предлагается два одноканальных модуля: **OM9402SP** в пластиковом промышленном корпусе SP-10A (10-выводной SIP) и **OM9401SF** в герметичном и прочном

корпусе F-12A (рис. 2). КМОП/ТТЛ-совместимый вход этих драйверов изолирован от выходного каскада оптопарой (напряжение изоляции 2 кВ). Выходной каскад драйверов защищен от токов короткого замыкания.

Помимо вышеперечисленных драйверов компания IR выпускает микросхемы драйверов в металлокерамических корпусах MO-036AB, MO-038AB и Flat Pack, а также в корпусах LCC для поверхностного монтажа. К числу стан-

дартных драйверов относятся драйверы силовых транзисторов нижнего и верхнего плеча (**IR2110E4/L4**, **IR2113E6/L6**), драйвер трехфазного инвертора (**IR2130D**), автогенераторный драйвер (**IR2153Z**), а также драйвер для управления одиночным транзистором с функцией ограничения тока (**IR2125Z**).

Радиационно-стойкие интегральные драйверы представлены высоковольтными драйверами транзисторов верхнего и нижнего плеча **RIC7113E4/L4** с

Таблица 6. Твердотельные реле

Наименование	Корпус	Ном. ток, А	Конфигурация контакта*	Тип входа	Управление ЭМИ/РЧИ**
RDHA710SE10A2Q	8-выв. SMD	10	2 x НО	пятивольтовый буферизованный вход	Управляемое время переключения
RDHA701FP10A8Q	64-выв. SMD	1,5	8 x НО	пятивольтовый буферизованный вход	Управляемое время переключения
RDHA701FP10A8C	64-выв. SMD	1,5	8 x НО	Небуферизованный вход	Умеренное быстродействие переключения
RDHA720SF06A1N	5-выв. SMD	20	1 x НО	Небуферизованный вход	Быстрое переключение

\* НО – нормально-открытый контакт.

\*\* ЭМИ/РЧИ – электромагнитные/радиочастотные излучения.

Таблица 7. IGBT-модули высокой мощности

Наименование	Конфигурация схемы	Напряжение коллектор-эмиттер $V_{CE}$ , В	Ток коллектора $I_c$ , А	Напряжение насыщения $V_{CE(SAT)}$ , В	Корпус
G450HNSK12P2	Полный трехфазный мост	600	150	2,3	HiRel INT-A-Pak 3
G300HNSK12P2	Полумост	1200	300	1,8	HiRel INT-A-Pak 2
G450HNBK06P2	Полумост	600	450	1,8	HiRel INT-A-Pak 2

Таблица 8. Аналоговые контроллеры ВД

Наименование	Тип силового транзистора	Максимальное напряжение, В	Номинальное напряжение шины, В	Длительный ток, А	Рабочий температурный диапазон, °С	Корпус
OM9369SF	IGBT	300	270	25	-55...125	F-43
OM9369SP	IGBT	300	270	25	-40...85	MP3-43L
OM9371SF	MOSFET	60	28	25	-55...125	F-43
OM9371SP	MOSFET	60	28	25	-40...85	MP3-43L
OM9373SF	MOSFET	100	48	25	-55...125	F-43
OM9373SP	MOSFET	100	48	25	-40...85	MP3-43L
OM9375SF	MOSFET	200	74	25	-55...125	F-43
OM9375SP	MOSFET	200	74	25	-40...85	MP3-43L

выходным током до 2 А. Драйверы этой серии нормированы на устойчивость к воздействию ионизирующего излучения с допустимой дозой до 100 крад.

#### Аналоговые контроллеры вентильных двигателей

Вентильный двигатель (ВД) благодаря отсутствию коллекторного узла является идеальным вариантом для построения высоконадежных исполнительных механизмов. Для управления такими двигателями IR предлагает ряд решений – в частности, серию аналоговых контроллеров **OM9300** (таблица 8). Данные контроллеры выпускаются в 43-выводных пластиковых (MP3-43L) или герметичных (F-43) корпусах типа Flat Pack и содержат трехфазный силовой каскад управления ВД на основе IGBT/MOSFET-транзисторов и диодов с мягким восстановлением, драйверов затворов, прецизионного датчика тока и логики управления и защиты.

#### Полнофункциональные модули управления электродвигателями

В данной категории HiRel-продукции пока имеется только один представитель – модуль **IRMCT3UF1**. Также как и модули OM9300, IRMCT3UF1 предназначен для управления ВД, но

отличается от них повышенной степенью интеграции и улучшенной архитектурой, что позволяет создавать более компактные и дешевые электроприводы. В дополнение к трехфазному силовому каскаду и драйверам затворов, IRMCT3UF1 содержит цифровой блок векторного управления (поддержка технологии iMOTION™), который не требует, как в случае OM9300, использования датчиков положения и превращает модуль в автономное устройство управления ВД (исключает необходимость разработки программ управления двигателем). Для взаимодействия с внешней системой у модуля предусмотрены командно-диагностический цифровой интерфейс RS232C, дискретные входы/выходы управления и сигнализации, а также аналоговый вход регулировки частоты вращения. Модуль способен обеспечить высокий пусковой момент и диапазон регулировки скорости 20:1 при частоте вращения до 25000 об/мин. Основой силовых каскадов являются MOSFET-транзисторы с малым  $R_{DS(ON)}$ , установленные на металлическое основание пластикового корпуса MP-3T (тепловое сопротивление 1,5°C/Вт). Модуль рассчитан на работу с токами нагрузки до 15 А при напряжении шины питания 28...48 В и окружаю-

щей температуре -40...85°C. Экранирование модуля выполнено по методам, изложенным в MIL-STD-883. Характеристики вибрационной устойчивости отвечают требованиям авиационного стандарта DO-160 «Окружающие условия и методика испытаний авиационного бортового оборудования».

#### Радиационно-стойкие драйверы двигателей

Для управления ВД в космических условиях IR предлагает специальные радиационно-стойкие модули драйверов. Они полностью интегрируют трехфазный силовой каскад ВД (напряжение питания до 160 В, продолжительный ток до 3,2 А/фаза) и драйверы затворов. Модули размещаются в 32-выводном герметичном корпусе типа Flat Pack. Экранирование обеспечивает общий уровень радиационной стойкости до 100 крад (Si).

#### DC/DC-преобразователи

Hi-Rel DC/DC-преобразователи компании IR подтвердили свою исключительную надежность успешным применением в разнообразных проектах военного и гражданского назначений. Ассортимент DC/DC-преобразователей чрезвычайно широк (охватывает диапа-

Таблица 9. Обзор серий DC/DC-преобразователей

Выходная мощность, Вт	HiRel, герметичные			Радиационно-устойчивые TID: 25...30 крад SEE: 37...60 МэВ			Радиационно-стойкие TID: 0,1...1 Мрад SEE: 37...83 МэВ			
	1 вых.	2 вых.	3 вых.	1 вых.	2 вых.	3 вых.	1 вых.	2 вых.	3 вых.	4 вых.
5	ASA	ASA	—	AMA	AMA	—	—	MA	MA	—
6	ASAP	ASAP	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	S	S	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	MAH	MAH	MAH
12	AHF	AHF	—	AMF	AMF	—	—	—	—	—
15	AHV	AHV	AHV, ATO	—	—	—	—	MB	MB	—
15	AHE	AHE	AHFP	—	—	—	—	—	—	—
20	HTA*	HTA*	—	—	—	—	—	MBH	MBH	—
20	AHFP, AHE	AHFP, AHE	—	—	—	—	—	—	—	—
25	ATS	ATS	—	M3L	M3L	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	SBB**	—	—	—
30	ATR	ATR	ATR	AMR	AMR	—	LS	LS	ART	ART
30	ATW	ATW	ATRP	—	—	—	ARH	—	ARM	—
40	ATRP	ATRP	HM	M3H	M3H	M3H	M3G	M3G	M3G	—
50	—	—	—	—	—	—	GH	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	ZA	—	EA	—
66	AFL, AHP	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	AFL, AHP	AFL, AHP	—	—	—	—	ZA	—	—	—
90	AFL, AHP	—	—	—	—	—	—	—	—	—
96	—	AFL, AHP	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	AFL, AHP	—	—	—	—	ZA	—	—	—
108	AFL, AHP	—	—	—	—	—	—	—	—	—
112	AFL, AHP	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	AFL, AHP	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	—	—	—	—	—	—	—	—	EB	—
250	—	—	—	—	—	—	ZB	—	—	—
350	—	—	—	—	—	—	—	—	EC	—

\* — высокотемпературные преобразователи 185°C

\*\* — преобразователи типа POL (локализованные к нагрузке стабилизаторы).

Таблица 10. Фильтры ЭМИ

Наименование	Сертификат DSCC	Корпус	Области применения	Совместимость	Максимальное входное напряжение, В
AME50461		AME	Коммерческие, военные и аэрокосмические	AFL50XX	100
AME270461	Есть	AME	Коммерческие, военные и аэрокосмические	AFL270XX, AFL120XX	400
AMH461		AMH	Коммерческие, военные и аэрокосмические	AHF, ASA, AMA, AMF	40
ASF461		ASF	Коммерческие, военные и аэрокосмические	ASA, AHF, AMA, AMF	50
AFV461	Есть	AFV	Коммерческие, военные и аэрокосмические	AHV, ATW, AHF, ATR, ATO, AHE, AMF, AMR	80
AFH461		AFH	Космические	AMF	80
AFC461	Есть	AFC	Коммерческие, военные и аэрокосмические	ATW, AHF, AHV, ATR, ATO, AHE, AMF, AMR	40
AME28461	Есть	AME	Коммерческие, военные и аэрокосмические	AFL28XX	50
ARF461		ARF	Космические	ART, ARH	80
AFM704A	Есть	AFM	Военные	все, кроме AFL	40

зон входных напряжений 11...500 В и выходных — 1,5...200 В) и может быть классифицирован по ряду признаков. В частности, как показано в таблице 9, они различаются по уровню экранирования (стандартное, радиационно-устойчивое и радиационно-стойкое) и выходной мощности. Некоторые преобразователи доступны в специальном высокотемпературном исполнении (-35...185°C), что актуально для оборудования нефтяных платформ и прочих устройств для разведки полезных ископаемых. Этот тип преобразователей выпускается на входное напряжение 150...250 В, мощность до 20 Вт, с одним (3,3/5/12/15 В) или двумя ( $\pm 5/\pm 12/\pm 15$  В) выходами. У многих преобразователей (например, серий AFL и ANP) учтена возможность синхронизированной работы нескольких подключенных к общей шине питания преобразователей, что снижает пульсации входного тока. Также у этих изделий предусмотрен электрический интерфейс для параллельного включения выходов нескольких конверторов с автоматическим равномерным распределением тока нагрузки, что важно для систем, где таким включением достигается бесперебойность электропитания даже при выходе из строя одного из преобразователей. Продукция IR обладает множеством других особенностей, направленных на достижение высокой

функциональной надежности: активное ограничение входного тока, плавный запуск, защита от короткого замыкания и токовой перегрузки, блокировка при недопустимом снижении входного напряжения и защита от перенапряжения на выходе. Конструктивно преобразователи выполнены в герметичных корпусах; они соответствуют требованиям к ЭМИ стандарта MIL-STD-461 и имеют уровни надежности H и K по стандарту MIL-PRF-38534. Малые размеры преобразователей являются следствием их работы на высоких частотах (0,5...0,7 МГц). КПД преобразования лежит в пределах 68...87%. Более подробно об этой категории продукции можно узнать в другой публикации НЭ [1].

#### Фильтры ЭМИ

Некоторые DC/DC-преобразователи имеют недостаточный уровень подавления ЭМИ и в ряде случаев могут потребовать дальнейшего их ослабления. Для этих целей IR предлагает модули фильтров ЭМИ, размещенные в идентичных DC/DC-преобразователям герметичных корпусах. Основные сведения по ним приведены в таблице 10.

#### Стабилизаторы напряжения

Ассортимент HiRel-стабилизаторов включает примерно 350 позиций. Помимо представленной в таблице 1 клас-

сификации стабилизаторов, их также можно различать по минимальному перепаду напряжения (VDO). Выпускаются следующие стабилизаторы: стандартные (VDO около 1 В), с малым минимальным перепадом или LDO-типа (VDO = 0,5...1 В) и со сверхмалым минимальным перепадом или ULDO-типа (VDO = 0,3...0,6 В). Доступно несколько радиационно-стойких стабилизаторов (14 типонаименований, 200 и 1000 крад) с регулируемым (1,265...6,1 В) и предустановленным (1,8/2,5/3,3 В) выходным напряжением на ток нагрузки до 3 А и в корпусах MO-078AA и 8-выводных Flat Pack. Большинство этих стабилизаторов относятся к ULDO-типу (VDO = 0,4 В).

Детальная информация по HiRel-продукции IR может быть получена на сайте компании — <http://www.irf.com/product-info/hi-rel/>.

#### Литература

1. Звонарев Е. HI-REL DC/DC-преобразователи и сетевые фильтры International Rectifier // Новости электроники, №15, 2008 — С. 9-14. 

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка —  
e-mail: [power.vesti@compel.ru](mailto:power.vesti@compel.ru)

International  
IR Rectifier

DC/DC-модули  
для ответственных применений

#### Свойства:

- Диапазоны рабочих температур:  
-55...125°C;  
-35...185°C  
(для высокотемпературной серии)
- Три типа:  
герметичные  
радиационноустойчивые  
радиационностойкие
- С одним, двумя  
и тремя выходами



Москва  
Тел: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург  
Тел: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403

Компэл  
[www.compel.ru](http://www.compel.ru)

Максим Соломатин (КОМПЭЛ)

## НОВИНКИ MOSFET В СТАНДАРТНЫХ КОРПУСАХ



В течение последнего десятилетия внедрение компанией **International Rectifier TrenchFET-технологии** изготовления **полевых транзисторов** привело к появлению MOSFET, сочетающих в себе как ультранизкое сопротивление открытого канала, так и улучшенные динамические характеристики. В статье рассказывается о новых изделиях, пополнивших линейку MOSFET компании International Rectifier в самое последнее время.

Компания International Rectifier исторически является мировым лидером по производству MOSFET. А в последние несколько лет, особенно после продажи части номенклатуры Vishay, компания уделяет огромное внимание развитию инновационных технологий, среди которых производству новых MOSFET уделяется особое внимание. В нынешней ситуации, когда рост эффективности кремниевого кристалла замедляется, на первое место выходит комплексный показатель работы всей системы «кристалл-корпус». Постоянное совершенствование технологии изготовления кристаллов транзистора и их корпуси-

рования позволяет изделиям компании отвечать современным жестким требованиям эффективности, энергопотребления, условий эксплуатации приборов, а также их цены.

В процессе эволюции технологии изготовления MOSFET происходит постоянное повышение удельной мощности транзисторов, снижение удельного сопротивления канала, а также уменьшение комплексного показателя потерь, учитывающего одновременно потери на проводимость и переключение. Однако устойчивая работа транзисторов зависит и от ряда других важных параметров в зависимости от конкретного их применения в разных устройствах. Линейка

MOSFET International Rectifier отличается тем, что можно выбрать транзисторы, предназначенные для работы только в определенных устройствах, например, в синхронных выпрямителях, DC/DC-преобразователях или приводах двигателей постоянного тока.

Например, совсем недавно IR объявила о выпуске целой линейки новых MOSFET, предназначенных для применения в различных устройствах автомобильной электроники, таких как переключатели, DC/DC-преобразователи, элементы управления двигателем и другие. Эти приборы отличаются высокой надежностью и малым сопротивлением канала  $R_{ds(on)}$ . Данные транзисторы сертифицированы согласно автомобильному стандарту AEQ-101. К примеру, этот стандарт требует, чтобы сопротивление канала транзистора изменялось не более чем на 20% после тысячи температурных циклов тестирования. Однако при расширенном тестировании приборы серии AU демонстрируют мак-

Таблица 1. Новые автомобильные MOSFET в различных корпусах

Наименование	Корпус	V <sub>ds</sub> , В	R <sub>ds(on)</sub> , мОм	Q <sub>g</sub> , нК	I <sub>d</sub> (T <sub>c</sub> = 25°C), А
AUIRF1324S-7P	D2Pak-7P	24	1	180	429
AUIRF1324S	D2Pak	24	1,65	160	340
AUIRF1324	TO-220	24	1,5	160	353
AUIRF2804S-7P	D2Pak-7P	40	1,6	170	320
AUIRF2804S	D2Pak	40	2	160	270
AUIRF2804L	TO-262	40	2	160	270
AUIRF2804	TO-220	40	2	160	270
AUIRF1404ZS	D2Pak	40	3,7	100	180
AUIRF1404ZL	TO-262	40	3,7	100	180
AUIRF1404Z	TO-220	40	3,7	100	180
AUIRF4104S	D2Pak	40	5,5	68	120
AUIRFR4104	DPak	40	5,5	59	119
AUIRFU4104	I-Pak	40	5,5	59	119
AUIRF4104	TO-220	40	5,5	68	120
AUIRF1010ZS	D2Pak	55	7,5	63	94
AUIRF1010ZL	TO-262	55	7,5	63	94
AUIRF1010Z	TO-220	55	7,5	63	94
AUIRF1010EVS	D2Pak	60	8,5	58	84
AUIRF1010EZ	TO-220	60	8,5	58	84
AUIRF3710ZS	D2Pak	100	18	82	59
AUIRFR3710Z	DPak	100	18	69	56
AUIRF3710Z	TO-220	100	18	82	59

Таблица 2. Новые транзисторы в корпусе DirectFET и DirectFET2

Наименование	Корпус	Vds, В	Rds(on), мОм	Qg, нК	Id (Tc = 25°C), А
AUIRF7739L2	DirectFET2 L-Can	40	1	220	270
AUIRF7665S2	DirectFET2 S-Can	100	62	8,3	14,4
IRF7739L2	DirectFET2 L-Can	40	1	220	270
IRF7749L2	DirectFET2 L-Can	60	1,5	200	203
IRF6706S2	DirectFET S-Can	25	5,3	12	17
IRF6798M	DirectFET M-Can	25	1,6	50	37

Таблица 3. Транзисторы в корпусе PQFN с медной клипсой

Наименование	Корпус	Vds, В	Rds(on), мОм	Qg, нК
IRFH6200TRPbF	PQFN 5×6mm	20	1,2	155
IRFH5250TRPbF	PQFN 5×6mm	25	1,15	52
IRFH5300TRPbF	PQFN 5×6mm	30	1,4	50
IRFH5301TRPbF	PQFN 5×6mm	30	1,85	37
IRFH5302TRPbF	PQFN 5×6mm	30	2,1	29
IRFH5303TRPbF	PQFN 5×6mm	30	6,8	15
IRFH5304TRPbF	PQFN 5×6mm	30	6,8	16
IRFH5306TRPbF	PQFN 5×6mm	30	13,3	7,8
IRFH5004TRPbF	PQFN 5×6mm	40	2,6	73
IRLH5034TRPbF	PQFN 5×6mm	40	3,2	82
IRFH5006TRPbF	PQFN 5×6mm	60	4,1	74
IRLH5036TRPbF	PQFN 5×6mm	60	5,5	44
IRFH5007TRPbF	PQFN 5×6mm	75	6,1	72
IRFH5010TRPbF	PQFN 5×6mm	100	9	65
IRFH5053TRPbF	PQFN 5×6mm	100	18	24
IRLH5030TRPbF	PQFN 5×6mm	100	9,9	44
IRFH5015TRPbF	PQFN 5×6mm	150	31	33
IRFH5020TRPbF	PQFN 5×6mm	200	55	36

симальное изменение сопротивления менее 10% после 5000 температурных циклов, тем самым подтверждая свое высокое качество и надежность. Эта серия новых транзисторов имеет диапазон напряжений от 24 до 100 В, а минимальное сопротивление открытого канала в этой линейке MOSFET (у транзистора AUIRF1324S-7P) составляет оно всего 1 мОм (см. таблицу 1).

размера (Large Can) имеет сопротивление канала всего 0,7 мОм и демонстрирует исключительно большую плотность мощности и КПД, а заряд затвора транзистора AUIRF7665S2 (в малом корпусе Small Can) составляет всего 8,3 нКл, что позволяет ему иметь прекрасные динамические характеристики.

Стоит также отметить, что уже сейчас доступны для заказа транзисторы

В апреле 2010 года компания **International Rectifier** объявила о выпуске двух новых 25 В DirectFET MOSFET **IRF6706S2PBF** и **IRF6798MPBF** с максимальным КПД для высокочастотных DC/DC-преобразователей. Эти транзисторы сочетают в себе ультранизкие значения заряда затвора и сопротивления открытого канала Rds(on) одновременно, что приводит к значительному уменьшению потерь на проводимость и переключение.

Отдельно необходимо выделить новые автомобильные MOSFET AUIRF7739L2 и AUIRF7665S2 в корпусе DirectFET2. Концепция Direct-корпусирования идеально подходит для автомобильных применений, где требуются высокая эффективность, качество, повышенная конструктивная прочность и надежность. AUIRF7739L2, выполненный в корпусе DirectFET2 большого

IRF7739L2 и IRF7749L2 в корпусе Large Can DirectFET2 для универсального применения, выгодно отличающиеся от автомобильных DirectFET2 MOSFET по цене. Эти транзисторы имеют малое сопротивление канала и рассчитаны на напряжения 40 и 60 В соответственно. Столь малое значение сопротивления открытого канала транзистора достигается за счет того, что в корпус Large

Can DirectFET2 можно упаковать кристалл размером на 30% больше, чем в корпус D2PAK. И это при том, что площадь корпуса L-Can на 58% меньше, чем площадь D2PAK.

Первые транзисторы в корпусе DirectFET были выпущены в 2002 году, и их линейка продолжает расширяться ускоренными темпами. И это неудивительно, ведь спрос на эти транзисторы продолжает неуклонно расти, а качество упаковки кристалла является самым лучшим среди всех транзисторов IR. В апреле этого года компания объявила о выпуске двух новых 25 В DirectFET MOSFET **IRF6706S2PBF** и **IRF6798MPBF** с максимальным КПД для высокочастотных DC/DC-преобразователей. Эти транзисторы сочетают в себе ультранизкие значения заряда затвора и сопротивления открытого канала RDS(on) одновременно, что приводит к значительному уменьшению потерь на проводимость и переключение. Транзистор IRF6798MPBF в корпусе DirectFET среднего размера (Medium Can) с сопротивлением канала в открытом состоянии 0,95 мОм демонстрирует очень высокий КПД во всем диапазоне нагрузки. Он имеет монолитно встроенный диод Шоттки, что приводит к уменьшению потерь, связанных с проводимостью диода «сток-база», и потерь на обратное восстановление. Помимо этого, малое значение сопротивления затвора (0,25 мОм) способствует значительному уменьшению паразитных эффектов. Транзистор **IRF6706SPBF** выполнен в малом DirectFET корпусе (Small Can) и также имеет превосходные динамические и статические характеристики.

Быстрыми темпами начинают завоевывать не только мировой, но и российский рынок производителей электроники транзисторы MOSFET в корпусе PQFN, выполненные по уникальной технологии корпусирования с применением медной клипсы. На поверхность кристалла помещается — «защелкивается» — медная пластина (клипса), обеспечивающая очень плотное прилегание к кристаллу. Контакт позволяет получить сопротивление перехода «кристалл-медная клипса» менее, чем 1 мОм. Эффективность этих транзисторов больше, чем у транзисторов в других корпусах, за исключением DirectFET. Помимо бо-

Таблица 4. HEXFET Trench MOSFET в различных корпусах

Наименование	Корпус	Vds, В	Rds(on), мОм	Qg, нК	Id (Tc = 25°C), А
IRFS3004-7PPBF	D2PAK-7	40	1,25	160	400
IRFP4004PBF	TO-247AC	40	1,7	220	350
IRFB3004PBF	TO-220AB	40	1,75	160	340
IRFS3004PBF	D2PAK	40	1,75	160	340
IRFS3006-7PPBF	D2PAK-7	60	2,1	200	293
IRFB3006PBF	TO-220	60	2,5	200	270
IRFS3006PBF	D2PAK	60	2,5	200	270
IRFS3107-7PPBF	D2PAK-7	75	2,6	160	260
IRFS3107PBF	D2PAK	75	3	160	240
IRFS4010-7PPBF	D2PAK-7	100	4	150	190
IRFS4010PBF	D2PAK	100	4,7	143	180
IRFS4115-7PPBF	D2PAK-7	150	11,8	73	105
IRFS4115PBF	D2PAK	150	12,1	77	99
IRLS3034-7PPBF	D2PAK-7	40	1,7	108	240
IRLB3034PBF	TO-220	40	2	108	195
IRLS3034PBF	D2PAK	40	2	108	195
IRLS3036-7PPBF	D2PAK-7	60	2,2	91	240
IRLB3036PBF	TO-220	60	2,8	91	195
IRLS3036PBF	D2PAK	60	2,8	91	195
IRLS4030-7PPBF	D2PAK-7	100	4,1	87	190
IRLB4030PBF	TO-220	100	4,5	87	180
IRLS4030PBF	D2PAK	100	4,5	87	180

Таблица 5. Новые HEXFET MOSFET в корпусе SOT-23

Наименование	Корпус	Vds, В	Rds(on), мОм	Qg, нК	Id (Tc = 25°C), А
IRLML0030TRPBF	Micro 3/SOT-23	30	27	2,6	5,3
IRLML2030TRPBF	Micro 3/SOT-23	30	100	1	2,7
IRLML0060TRPBF	Micro 3/SOT-23	60	92	2,5	2,7
IRLML2030TRPBF	Micro 3/SOT-23	60	480	0,67	1,2
IRLML0100TRPBF	Micro 3/SOT-23	100	220	2,5	1,6

лее низкого активного сопротивления выводов, данный корпус обладает улучшенными тепловыми характеристиками. Таким образом, можно существенно повысить плотность мощности или снизить температуру транзистора при его работе. Например, при использовании данных транзисторов в качестве синхронных выпрямителей можно снизить температуру корпуса на 28°C, а при их использовании в качестве силового ШИМ-коммутатора – примерно на 9°C. За последнее полугодие IR представила довольно широкую линейку данных транзисторов, рассчитанных на напряжения от 20 до 250 В (таблица 3) и предназначенных для применения в устройствах синхронного выпрямления, приложениях типа OR'ING (силовая схема «ИЛИ» соединения источников питания), электроприводах постоянного тока и многих других. Файл с рекомендуемыми заменами транзисторов других компаний на новые MOSFET в корпусе PQFN с медной клипсой от International Rectifier находится на сайте компании КОМПЭЛ по адресу: [http://catalog.compel.ru/\\_media/brands/ir\\_mosfet\\_crossref.pdf](http://catalog.compel.ru/_media/brands/ir_mosfet_crossref.pdf).

Компания постоянно расширяет также и номенклатуру HEXFET Trench

MOSFET (таблица 4), производимых в корпусах, уже давно ставших популярными, которые еще долго будут востребованы рынком – TO-220, D2PAK, D2PAK-7, TO-247 и других. Эти транзисторы имеют наименьшее в отрасли сопротивление открытого канала и обеспечивают токи стока до 400 А. Среди них стоит выделить, например, транзистор в корпусе D2PAK-7 с семью выводами, который имеет Rds(on) на 16% ниже по сравнению с аналогом в корпусе D2PAK. Помимо потерь на проводимость, всегда следует учитывать потери на переключение. Часто транзисторы из этой линейки (IRL) имеют логический уровень управления затвором и соответствуют требованиям скоростного включения и выключения современных устройств, например, тех, в которых требуется максимальная эффективность в режиме небольших нагрузок и питание которых осуществляется от микроконтроллеров или маломощных аккумуляторов.

Наконец, несколько слов о новых HEXFET MOSFET в корпусах SOT-23 (Micro3). Эти транзисторы характеризуются очень малым зарядом затвора Qg и малой паразитной миллеровской емкостью, благодаря чему имеют сверхбыстрое время переключения.

## Закключение

Компания International Rectifier сосредоточила свои основные усилия именно на тех направлениях, где она имеет преимущества перед другими производителями. Это внедрение новых технологий корпусирования и изготовления кристалла (например, TrenchFET). Кроме того, в линейке МОП-транзисторов особым образом выделены Benchmark MOSFET – транзисторы с эталонными характеристиками, то есть лучшими в отрасли по соотношению цена/качество. Полный обновленный список Benchmark MOSFET вы можете найти на странице: [http://catalog.compel.ru/\\_media/brands/benchmarkmosfets.pdf](http://catalog.compel.ru/_media/brands/benchmarkmosfets.pdf). Все новинки выделены красным цветом.

International Rectifier объявила о появлении в текущем 2010 году на рынке более 150 новых MOSFET в стандартных корпусах, что еще раз подтверждает мировое лидерство компании в производстве компонентов силовой электроники. 

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: [power.vesti@compel.ru](mailto:power.vesti@compel.ru)

Андрей Никитин (г. Минск)

## ПРЕИМУЩЕСТВА ТРАНЗИСТОРОВ В КОРПУСАХ DIRECTFET



Большой объем исследований в области корпусирования мощных полупроводниковых приборов ведется компанией **International Rectifier**, которая в настоящее время выпускает лучшие в отрасли по соотношению «цена-качество» **MOSFET-транзисторы**. В статье рассматривается **технология корпусирования DirectFET**, которая обеспечивает рекордную для отрасли эффективность корпуса транзисторов.

В настоящее время MOSFET-транзисторы являются одними из самых широко применяемых силовых приборов. Они используются в системах электропитания серверов, рабочих станций и универсальных ЭВМ (в качестве силовых коммутирующих элементов синхронных понижающих преобразователей), блоках питания ноутбуков, в шинных преобразователях телекоммуникационного оборудования и систем передачи данных, в электроприводах различного назначения, в аудиотехнике (силовые каскады усилителей класса D).

Условия жесткой конкурентной борьбы требуют от конструкторов, с одной стороны, обеспечить высокую эффективность разрабатываемых изделий, с другой — минимально возможные энергопотребление и габариты, и при этом — максимально снизить себестоимость конечных изделий. Силовые ключи, основная ниша использования MOSFET-транзисторов, безусловно — весьма чувствительная к названным факторам часть изделия.

Изначально основные усилия разработчиков мощных MOSFET-транзисторов были направлены на совершенствование структуры ячеек, повышение плотности их упаковки, оптимизацию технологических процессов с тем, чтобы:

- Минимизировать значение сопротивления открытого канала транзистора RDS(ON), поскольку этот параметр непосредственно влияет на количество энергии, уходящей в рассеиваемое прибором тепло;
- Минимизировать значение заряда затвора QG, поскольку этот фактор определяет максимальную частоту коммутации ключа (и, как следствие, его эффективность).

Эти усилия привели к ощутимым положительным результатам. Однако в какой-то момент стал очевиден следующий факт — вклад конструкции корпуса (сопротивление выводов, адгезивных материалов, используемых для присоединения кристалла к основанию корпуса, золотых проволочных соединений) в сопротивление RDS(ON) оказывается сопоставимым с вкладом кремния. Кроме того, выводы и герметики стандартных корпусов, таких как TSSOP и SOIC, приводят к увеличению площади, объема и массы транзистора. Поэтому сегодня значительные усилия разработчиков направлены именно на совершенствование корпусов MOSFET-транзисторов.

Высокая эффективность корпуса обеспечивается рядом параметров: малым активным сопротивлением выводов, малым температурным сопротивлением, низким уровнем паразитных факторов. Сюда надо добавить следующие факторы: максимальную площадь теплового и электрического контакта с печатной платой, удобную топологию выводов (для параллельного соединения транзисторов) и, конечно, минимальные габариты корпуса.

До определенного времени работы по повышению эффективности корпусов мощных MOSFET-транзисторов шли в двух направлениях:

- Разработка различных вариантов корпусов на базе корпуса SO-8;
- Разработка вариантов приборов с многорядным расположением шариковых контактов в корпусах типа BGA или бескорпусных FlipChip.

Однако к кардинальным изменениям в повышении эффективности корпусов эти направления не привели. И только предложенная компанией International Rectifier технология DirectFET обеспе-

чила прорыв на пути достижения рекордно высоких показателей эффективности корпуса. На рисунке 1 представлена структура MOSFET-транзистора в корпусе DirectFET.

На рисунке 2 приведен внешний вид и модификации корпусов DirectFET. В этой технологии используется специфический кристалл транзистора с двусторонним расположением выводов: площадка затвора и, как правило, несколько площадок истока с одной стороны и сток — с другой. Соединение стока с печатной платой обеспечивается с помощью медной крышки-зажима, на которой и размещен кристалл транзистора. В зависимости от размеров крышки существуют три группы корпусов: small (малые), medium (средние) и large (большие). В каждой из групп существуют различные модификации в зависимости от размера кристалла, позиционирования на крышке и числа контактных площадок. Маркировка, размеры, расположение выводов и рекомендуемая топология печатной платы приведены в [1].

В корпусах DirectFET отсутствует разварка кристалла (соединение проводниками площадок транзистора с внешними выводами). Основными преимуществами DirectFET являются:

- Оптимальные размеры корпуса;
- Ультранизкое электрическое сопротивление выводов;
- Низкое температурное сопротивление, высокая рассеивающая способность корпуса;
- Низкая паразитная индуктивность корпуса.

**Оптимальные размеры корпуса.** Начнем с «малой группы». По площади корпус DirectFET «S» сравним с

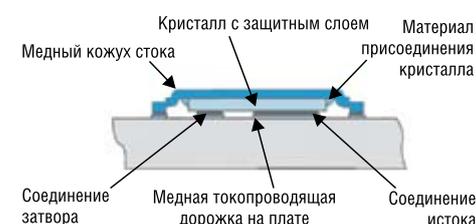


Рис. 1. Структура транзистора в корпусе DirectFET

Таблица 1, MOSFET-транзисторы в корпусах DirectFET

Модель	Корпус	V <sub>DS</sub> , В	V <sub>gs</sub> max, В	R <sub>DS(on)</sub> max 10 В, mOhms	ID @ TA=25°C, А	Qg Typ, нС	Qgd Typ, нС
IRF6714M	DirectFET MX	25	20	2,1	29,0	29,0	8,3
IRF6716M	DirectFET MX	25	20	1,6	39,0	39,0	12,0
IRF6711S	DirectFET SQ	25	20	3,8	19,0	13,0	4,4
IRF6674	DirectFET MZ	60	20	11,0	13,4	24,0	8,3
IRF7779L2	DirectFET L8	150	20	11,0	11,0	97,0	33,0
IRF7759L2	DirectFET L8	75	20	2,3	26,0	200,0	62,0
IRF7749L2	DirectFET L8	60	20	1,5	33,0	200,0	71,0
IRF6775M	DirectFET MZ	150	20	56,0	4,9	25,0	6,6
IRF6795M	DirectFET MX	25	20	1,8	32,0	35,0	10,0
IRF6645	DirectFET SJ	100	20	35,0	5,7	14,0	4,8
IRF6785	DirectFET MZ	200	20	100,0	3,4	26,0	6,9
IRF6712S	DirectFET SQ	25	20	4,9	17,0	13,0	4,4
IRF7665S2	DirectFET SB	100	20	62,0	4,1	8,3	3,2
IRF6722S	DirectFET ST	30	20	7,7	13,0	11,0	4,1
IRF7769L2	DirectFET L8	100	20	3,5	20,0	200,0	110,0
IRF6722M	DirectFET MP	30	20	7,7	13,0	11,0	4,3
IRF6643	DirectFET MZ	150	20	34,5	6,2	39,0	11,0
IRF6721S	DirectFET SQ	30	20	7,3	14,0	11,0	3,7
IRF6718L2	DirectFET L2	25	20	0,70	61,0		64,0
IRF6646	DirectFET MN	80	20	9,5	12,0	36,0	12,0
IRF6616	DirectFET MX	40	20	5,0	19,0	29,0	9,4
IRF6613	DirectFET MT	40	20	3,4	23,0	42,0	12,7
IRF6691	DirectFET MT	20	12	1,8	32,0	47,0	15,0
IRF6668	DirectFET MZ	80	20	15,0		22,0	7,8
IRF6797M	DirectFET MX	25	20	1,4	36,0	45,0	13,0
IRF6725M	DirectFET MX	30	20	2,2	28,0	36,0	11,0
IRF6648	DirectFET MN	60	20	7,0		36,0	14,0
IRF6715M	DirectFET MX	25	20	1,6	34,0	40,0	12,0
IRF6726M	DirectFET MT	30	20	1,7	32,0	51,0	16,0
IRF6710S2	DirectFET S1	25	20	5,9	12,0	8,8	3,0
IRF6709S2	DirectFET S1	25	20	7,8	12,0	8,1	2,8
IRF6798M	DirectFET MX	25	20	1,3	37,0	50,0	16,0
IRF6662	DirectFET MZ	100	20	22,0	8,3	22,0	6,8
IRF6717M	DirectFET MX	25	20	1,25	38,0	46,0	14,0
IRF7799L2	DirectFET L8	250	30		6,6	110,0	39,0
IRF6729M	DirectFET MX	30	20	1,8	31,0	42,0	14,0
IRF7739	DirectFET L8	40	20	1,0	46,0	220,0	81,0
IRF6665	DirectFET SH	100	20	62,0	4,2	8,7	2,8
IRF6727M	DirectFET MX	30	20	1,7	32,0	49,0	16,0
IRF6720S2	DirectFET S1	30	20	8,0	11,0	7,9	2,8
IRF6614	DirectFET ST	40	20	8,3	12,7	19,0	6,0
IRF6644	DirectFET MN	100	20	13,0	10,3	35,0	11,5
IRF6655	DirectFET SH	100	20	62,0	4,2	8,7	2,8
IRF6724M	DirectFET MX	30	20	2,5	27,0	33,0	10,0
IRF6641	DirectFET MZ	200	20	59,9	4,6	34,0	9,5
IRF6794M	DirectFET MX	25	20	3,0	32,0	31,0	11,0
IRF6713S	DirectFET SQ	25	20	3,0	22,0	21,0	6,3

TSSOP-8, но за счет низкого профиля объем меньше на 44%. По сравнению с SO-8 площадь меньше на 40%. «Средняя» группа по площади сравнима с SO-8, но объем меньше на 60%. По сравне-

нию с D-Пак площадь меньше на 54%. «Большая» группа: по площади выгрыш у D-Пак – 10%, у D2Пак – 63%. Для всех групп минимальная высота равна 0,7 мм.

**Электрическое сопротивление выводов.** В транзисторах DirectFET электрический ток протекает по кратчайшему расстоянию – через кристалл и крышку корпуса, что иллюстрируется

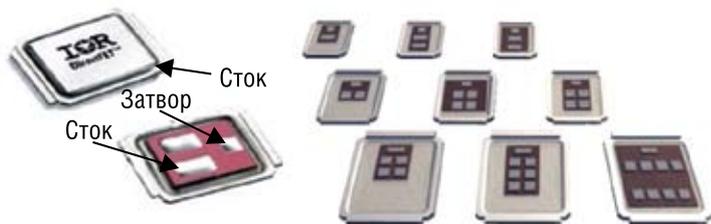


Рис. 2. Внешний вид и модификации корпусов DirectFET

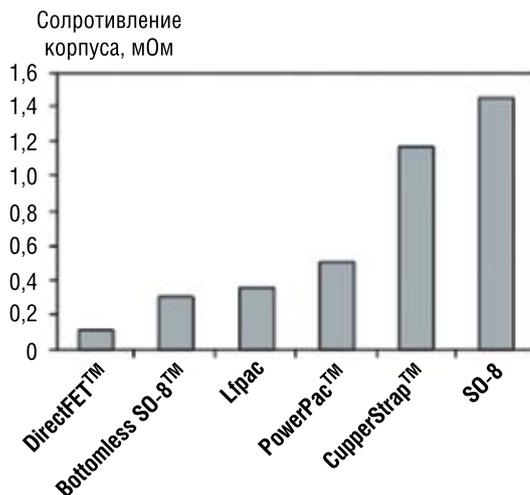
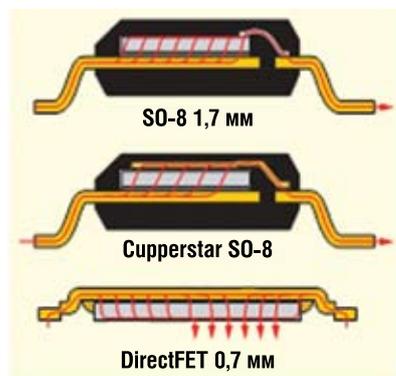


Рис. 3. Сравнение электрического сопротивления выводов для различных корпусов транзисторов

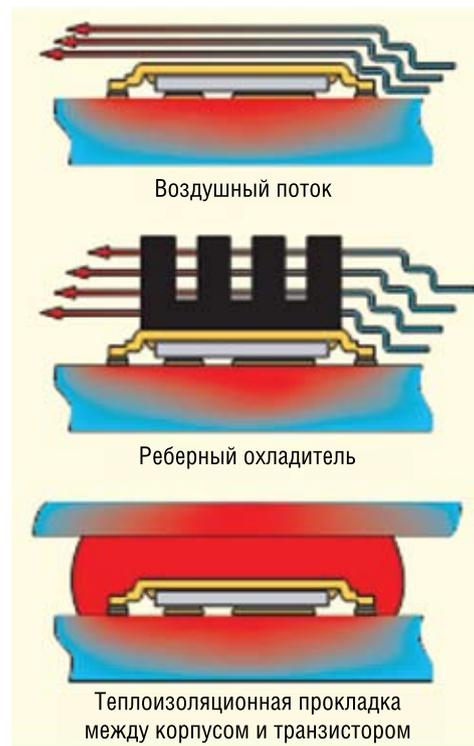


Рис. 4. Способы отвода тепла с корпусов DirectFET

рисунком 3. У транзисторов в корпусах SO-8, D-Pak и их разновидностях ток, кроме того, протекает через проводники разварки кристалла и выводы корпуса.

Электрическое сопротивление корпуса DirectFET менее 0,1 мОм, что более чем в 14 раз ниже, чем у классического корпуса SO-8. По сравнению с другими корпусами – выигрыш в 3,5...12 раз. Отметим, что у DirectFET сопротивление выводов гораздо ниже электрического сопротивления открытого канала RDS(ON).

**Низкое температурное сопротивление.** У транзисторов в пластмассовых корпусах отвод тепла от кристалла осуществляется только через выводы корпуса. Так, для корпусов SO-8 температурное сопротивление между кристаллом и печатной платой составляет 20°C/Вт. Для корпусов DirectFET аналогичный параметр составляет 1°C/Вт, поскольку площадь отвода тепла существенно выше. Аналогично, температурное сопротивление между кристаллом и верхней поверхностью корпуса для SO-8 составляет 55°C/Вт, а для DirectFET 3°C/Вт. Уже только из этих соображений температура корпуса DirectFET работающего транзистора может быть ниже (вплоть до разницы в 50°C), чем у корпуса SO-8. Рисунок 4 иллюстрирует возможности отвода тепла с корпусов DirectFET: обдувом, радиатором и теплопроводящей пленкой.

**Низкая паразитная индуктивность корпуса.** Из-за отсутствия проводников

разварки кристалла корпуса DirectFET имеют самую низкую среди корпусов паразитную индуктивность. Она не превышает 5 нГн на частотах до 5 МГц, что втрое ниже, чем у корпуса SO-8, в пять раз ниже, чем у корпуса D-Pak и в 10 раз ниже, чем у D2Pak. Низкая паразитная индуктивность обеспечивает высокое качество переходных процессов в режимах переключения транзистора и возможность работы на высоких частотах ШИМ. На рисунке 5 представлены осциллограммы, иллюстрирующие влияние паразитной индуктивности на качество переходных процессов для корпусов DirectFET и SO-8.

Ультранизкое сопротивление открытого канала и низкий заряд затвора обеспечивают достижение КПД преобразования выше 90% в одно- и многофазных DC/DC-конверторах, применяемых в компьютерной технике.

**Удобство монтажа на печатную плату.** Монтаж корпусов DirectFET на печатную плату иллюстрируется рисунком 6. В отличие от разработанных ранее типов корпусов для поверхностного монтажа взаимное расположение выводов DirectFET позволяет выполнить конструкцию проводников на печатной плате в виде трех параллельных шин, на которые удобно монтируются корпуса при параллельном соединении.

Достаточные (для всех модификаций) размеры контактных площадок истока, стока и затвора, расстояния между ними и допуска на посадку дают возможность использовать все материалы и технологии производства и монтажа печатных плат. За счет большой площади контакта и взаимного расположения контактных площадок достигается высокая механическая прочность соединения корпуса с платой, улучшенная

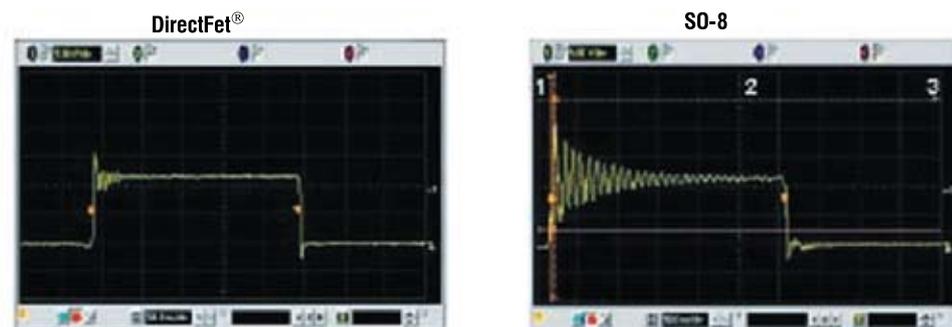


Рис. 5. Влияние паразитной индуктивности на качество переходных процессов

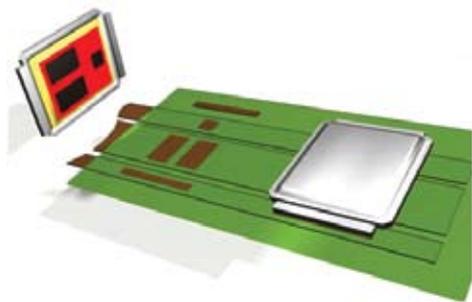


Рис. 6. Монтаж корпусов DirectFET на печатную плату

электрическая и тепловая проводимость с корпуса на плату.

**Номенклатура изделий.** Номенклатура транзисторов в корпусах DirectFET перекрывает диапазон напряжений 20...200 В. Это позволяет применять их в преобразовательных устройствах со всеми номиналами напряжения батарейного питания и напряжений телекоммуникационных шин. Параметры транзисторов DirectFET представлены в таблице 1.

Объединив преимущества технологии корпусирования DirectFET и технологии TrenchFET Gen10.59, компания IR приступила к началу производства нового поколения МОП-транзисторов DirectFET-2. Обновление номенклатуры коснулось диапазона напряжений «сток-исток» 25...30 В. Транзисторы но-

вого поколения производятся в тех же корпусах, что позволяет произвести модернизацию и поднять КПД преобразования без изменения печатной платы.

#### Заключение

Многофазные DC/DC-конвертеры, применяемые в вычислительной технике, телекоммуникации, управлении приводами стали в последние годы тем объектом, где выясняется подлинная эффективность современных мощных MOSFET-транзисторов. Для их создания привлекаются все новейшие достижения как в технологиях производства кристаллов и корпусирования, так и в схемотехнике. Стремительное приближение потребления (современными устройствами новейших поколений) тока к отметке 100 А непрерывно повышает сложность решаемых задач при проектировании конвертеров.

Подведем итоги:

- Транзисторы DirectFET совместимы с требованиями RoHs: корпуса не содержат свинца или бромидов;
- Низкое температурное сопротивление «кристалл-корпус» позволяет обеспечить эффективный теплоотвод с верхней поверхности корпуса;
- Низкое температурное сопротивление «кристалл-печатная плата» позволяет обеспечить теплоотвод с площади на печатной плате не более чем у корпусов SO-8;

- Конструктивное исполнение транзисторов позволяет снизить сопротивление контактов на 90% по сравнению с корпусами SO-8;

- Низкий профиль по высоте (0,7 мм) обеспечивает минимальный объем корпуса;

- Транзисторы обладают низкой индуктивностью корпуса на высоких частотах;

- Транзисторы совместимы с традиционным технологическим оборудованием и производственными процессами монтажа печатной платы.

Именно эти достоинства технологии корпусирования DirectFET, разработанной и запатентованной компанией International Rectifier, позволяют создавать изделия, в полной мере соответствующие требованиям настоящего времени.

#### Литература

1. DirectFET® Technology Board Mounting Application Note// документ an-1035.pdf компании International Rectifier.

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: [power.vesti@compel.ru](mailto:power.vesti@compel.ru)

International IOR Rectifier DirectFET – САМЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ MOSFET!

**ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА КОРПУСА:**

- Низкая паразитная индуктивность
- Высокая рассеивающая способность
- Ультранизкое сопротивление выводов
- Конкурентная цена

Large Can DirectFET®: 60% ЭКОНОМИИ места на плате

Medium Can DirectFET®: 54% ЭКОНОМИИ места на плате

Small Can DirectFET®: 40% ЭКОНОМИИ места на плате

D-PAK, SO-8

IRF66xx, IRF67xx, IRF77xx

Москва Тел.: (495) 995-0901 Факс: (495) 995-0902 E-mail: [mск@compel.ru](mailto:mск@compel.ru)

Санкт-Петербург Тел.: (812) 327-9404 Факс: (812) 327-9403 E-mail: [spb@compel.ru](mailto:spb@compel.ru)

**Компэл**  
[www.compel.ru](http://www.compel.ru)

Тим Макдональд (International Rectifier)

# ПРЕИМУЩЕСТВА СИЛОВЫХ ПРИБОРОВ НА БАЗЕ GaN ОТ INTERNATIONAL RECTIFIER



Размер готового решения можно уменьшить в два раза благодаря сокращению количества пассивных компонентов и использованию меньших индуктивностей. Стремясь к инновациям, сотрудники **International Rectifier** разработали принципиально новую технологию производства **силовых приборов** на основе **нитрида галлия (GaN)**, комплексный показатель качества (FOM) которых в несколько раз превосходит современные кремниевые MOSFET. Рентабельные устройства на основе GaN помогут создавать готовые решения, которые сделают прорыв в увеличении КПД силовых устройств. О новой технологии и изделиях на ее базе рассказывает вице-президент Emerging Technologies Group компании IR.

Перед появлением MOSFET биполярные транзисторы играли доминирующую роль в силовой электронике. Однако запуск в серийное производство первых кремниевых MOSFET (включая NEXFET от International Rectifier) около 30 лет назад привел к появлению нового направления. Применение силовых MOSFET способствовало быстрому развитию импульсных ИП, которые стали меньше, легче и эффективнее. С тех пор MOSFET стали использовать в качестве силовых приборов для многих применений. В течение прошедших десятилетий МОП-транзисторы продолжали совершенствоваться. Пройдя путь от планарных HEXFET до TrenchFET и superjunction FET, кремниевые MOSFET сделали большой качественный шаг вперед (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, к настоящему моменту времени транзисторы на основе кремниевой технологии производства почти достигли предела своего развития. Последующее совершенствование кремниевых MOSFET потребует гораздо больших затрат при меньшем извлечении прибыли.

Чтобы удовлетворить возрастающие потребности рынка в силовых MOSFET, компания International Rectifier разработала GaNpowIR™ — принципиально новую технологию производства силовых приборов на основе нитрида галлия. Ее использование позволяет более чем в 10 раз увеличить комплексный показатель качества (FOM) по сравнению с современной кремниевой технологией и значительно расширить границы

их применения. Подобно тому, как 30 лет назад кремниевые MOSFET совершили технологический скачок, появление нового запатентованного компанией International Rectifier эпитаксиального процесса GaN-on-Si и основанной на нем технологии изготовления приборов знаменует новую эру для высокочастотных силовых устройств с большой степенью интеграции и конкурентной ценой.

## Технология GaNpowIR: серийный выпуск платформы.

Для использования GaN в силовых полупроводниковых приборах требуется правильно выбрать материал подложки. Применение GaN, SiC и сапфировых

подложек имеет ряд больших недостатков, одним из которых является их высокая стоимость. Несмотря на то, что кремний — это очень доступный и дешевый материал, его использование долгое время оставалось затруднительным из-за дефектообразования и наличия сил поверхностного натяжения. Из-за несоответствия параметров кристаллических решеток и ТКР между материалом подложки и эпитаксиальной пленкой разработка надежного и качественного гетеро-эпитаксиального процесса GaN-on-Si оказалась очень сложным делом. Для успешного решения этих проблем были приложены значительные инженерные усилия специалистов IR. В результате была получена эпитаксиальная пленка с низким содержанием дефектов, высокой степенью однородности и эксплуатационной надежности. Платформа GaNpowIR компании IR представляет собой слой арсенида галлия, нанесенный на дешевые кремниевые подложки диаметром 150 мм.

Затраты на изготовление подложки являются еще одним препятствием для внедрения GaN в серийное производство. Предыдущие попытки, связанные с напылением золота или автоматизации

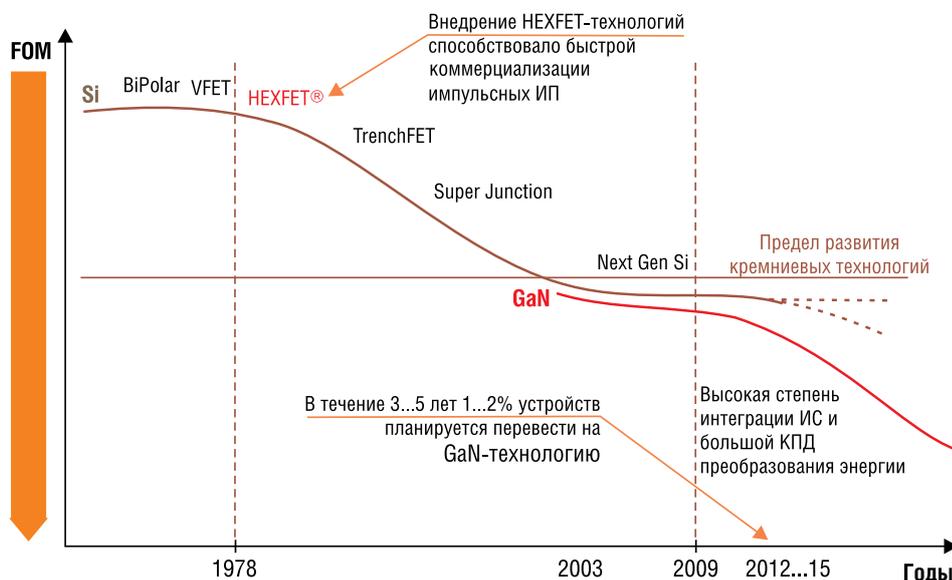


Рис. 1. Этапы развития кремниевых технологий

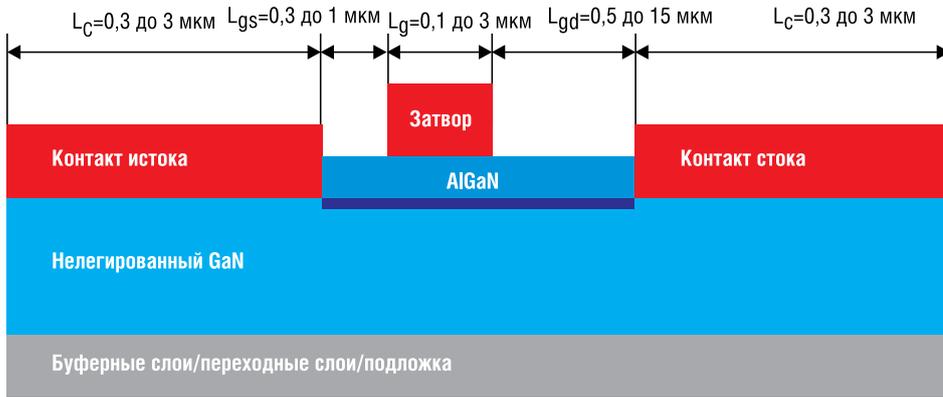


Рис. 2. Поперечное сечение HEMT-транзистора на основе GaN на Si

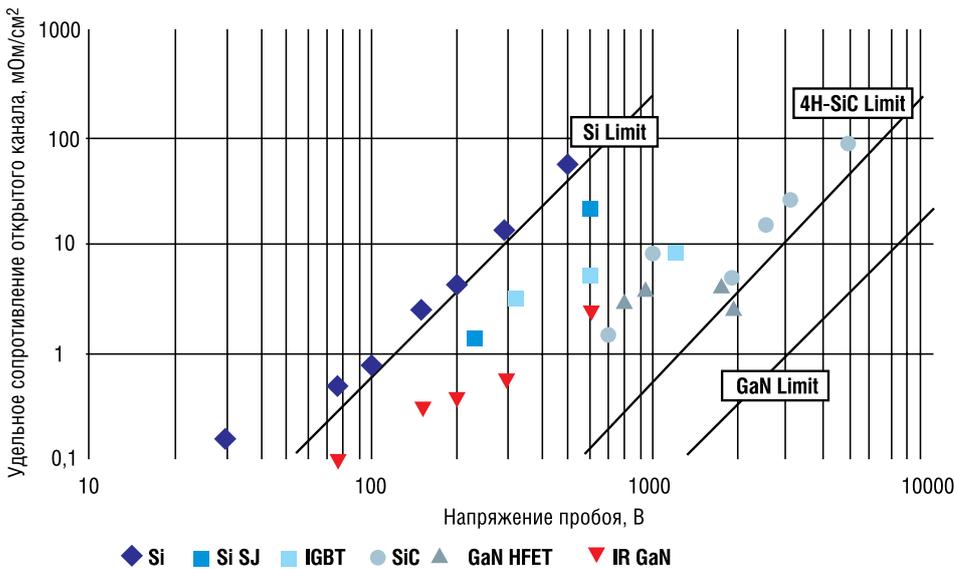


Рис. 3. Предельные характеристики структур на Si, SiC и GaN

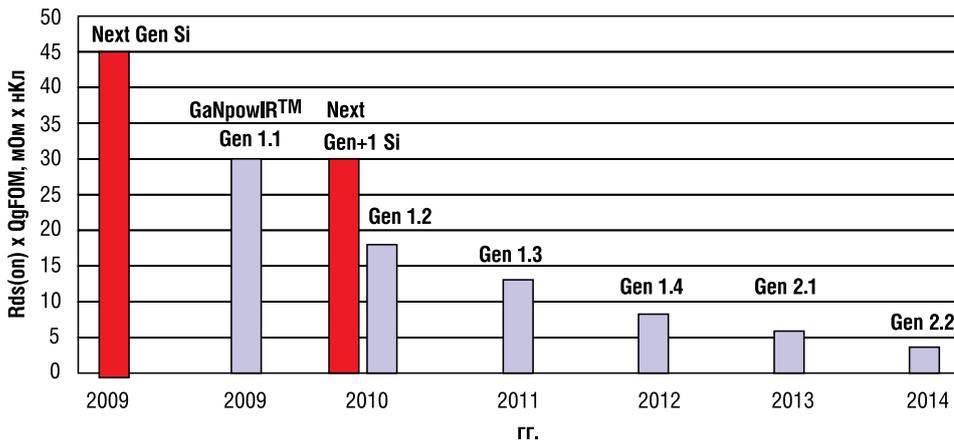


Рис. 4. Прогнозируемое уменьшение величины  $R_{ds(on)} \times Q_g$  в течение последующих 5 лет

ей технологического процесса, не привели к успеху. Платформа GaNpowIR специально разработана так, чтобы можно было использовать стандартную КМОП-технологии производства. Для максимального снижения затрат технологический процесс должен быть полностью настроен на серийное производство. Помимо получения лучшего со-

отношения цена/качество при серийном производстве, платформа GaNpowIR полностью отвечает всем отраслевым требованиям стандартов качества и эксплуатационной надежности. Было проведено и проводится огромное количество испытаний на надежность для выявления недостатков и характера нарушения работы устройств на арсениде

галлия. Наряду с традиционным тестированием качества продукта проведенные испытания доказывают, что приборы GaNpowIR от International Rectifier будут исправно работать в течение всего предусмотренного срока службы.

Выпуск новой продукции был запланирован на конец 2009 года. Первым выпущенным продуктом стал силовой модуль (IP2010 и IP2011) для понижающих синхронных DC/DC-преобразователей, который включает в себя 30 В транзисторы на арсениде галлия и рассчитан на напряжение на входе 12 В и выходное напряжение 1 В или ниже. Приборы, работающие с более высокими напряжениями, будут выпущены в 2010 году и позже.

Как показано на рис. 2, основой структуры прибора GaN-on-Si является транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT), у которого между тонким слоем AlGaN и слоем GaN формируется область двумерного электронного газа. Так как эта структура – полевой транзистор с гетеропереходом (HFET) и сформированным каналом электронов с высокой подвижностью, который находится в открытом состоянии при нулевом смещении затвора, транзисторы на арсениде галлия работают в режиме обеднения.

#### Преимущества GaN-on-Si

Сочетание высокой плотности электронов проводимости, их высокой подвижности и большой ширины запрещенной зоны позволяет арсенид-галлиевым транзисторам значительно снизить сопротивление открытого канала. Из рисунка 3, где показаны предельные характеристики для Si, SiC и GaN структур, видно, что величина сопротивления открытого канала для арсенида галлия на порядок меньше, чем для кремния и карбида кремния. После 30 лет разработок кремниевые MOSFET уже почти достигли предела своих возможностей, за исключением Superjunction FET или IGBT, которые пока находят компромисс между своими динамическими характеристиками и сложностью процесса изготовления (затратами). Недавно в литературе были опубликованы характеристики полевых транзисторов на базе SiC. По сравнению с кремниевыми транзисторами сопротивление открытого канала оказалось меньше, и виден потенциал для дальнейшего улучшения их характеристик. Параметры полевых транзисторов на арсениде галлия аналогичным образом превосходят кремниевые транзисторы, и имеется солидный запас для их улучшения в будущем, прежде чем они достигнут своего предела. Если затраты на их производство снизятся, то станет приемлемым соотношение качество/цена, что ознаменует их победу над кремниевыми MOSFET.

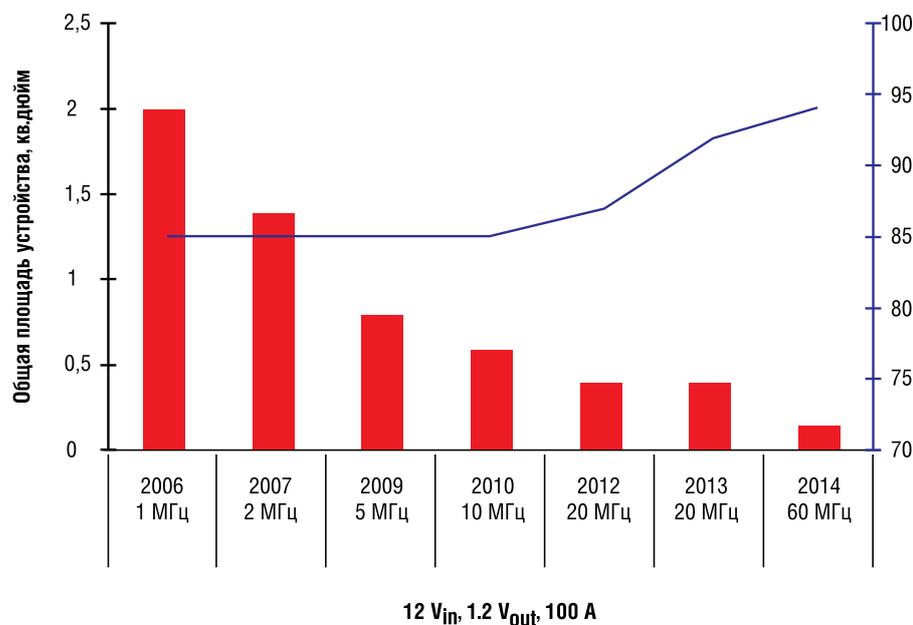


Рис. 5. Изменение размеров, КПД и частоты 100 А, 12:1,2 В DC/DC-преобразователя

Именно для этого и была разработана платформа GaNpowIR от IR. Параметры приборов могут быть подобраны в зависимости от их применения в каждом конкретном устройстве.

#### Оценка преимуществ

Ценность простого силового модуля может быть определена как КПД·размеры/стоимость. Необходимо найти компромисс между этими тремя величинами. В любом случае, эта формула является лучшим показателем для правильного выбора силового устройства. Новые приборы на основе платформы GaNpowIR показали существенное улучшение показателя  $R_{ds(on)} \cdot Q_g$  и лишь совсем незначительное увеличение стоимости, что привело к прекрасному соотношению этих трех величин. Рассмотрим это более подробно.

Как уже упоминалось, в силовых приборах на основе GaN удалось достичь значительного снижения величины заряда затвора,  $Q_g$ . Показатель  $R_{ds(on)} \cdot Q_g$  гораздо меньше по сравнению с кремниевыми приборами. Рисунок 4 наглядно показывает это, а также прогнозируемое постоянное улучшение упомянутого показателя для низковольтных (30 В) силовых приборов на основе GaN. Первое поколение HEMT на базе GaN-on-Si уже демонстрирует улучшение  $R_{ds(on)} \cdot Q_g$  на 33% по сравнению с кремниевыми MOSFET самого последнего поколения. К 2014 году ожидаемое значение этого показателя составит менее 5 мОм·нКл, что будет на порядок лучше, чем у кремниевых MOSFET.

Каким образом это отразится на размерах устройства для конкретного применения? Рисунок 5 иллюстрирует влияние изменений, изображенных на рисунке 4, на общие размеры

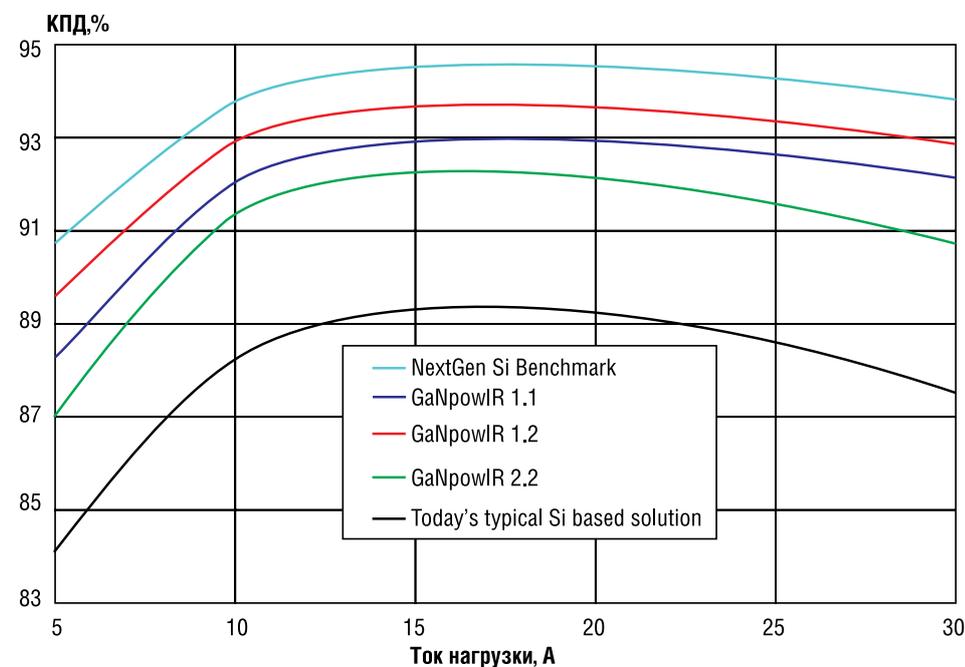


Рис. 7. Зависимость КПД от тока нагрузки для преобразователей на базе GaN и Si

и КПД многофазного 100 А, 12:1,2 В DC/DC-преобразователя. В 2007 году самое лучшее на тот момент решение на кремнии имело размер 3,5 см<sup>2</sup> при КПД 85%. Возможности силового модуля GaNpowIR позволили поднять частоту до 5 МГц, при этом сохранив значение КПД на том же уровне. Это значит, что размер готового изделия можно уменьшить в два раза благодаря сокращению количества пассивных компонентов и использованию меньших индуктивностей из-за увеличения рабочей частоты. К 2011 году дальнейшая модернизация GaN технологии позволит еще более сократить размеры без потерь в КПД. Начиная с 2012 года удастся повысить частоту настолько, что станет возможным

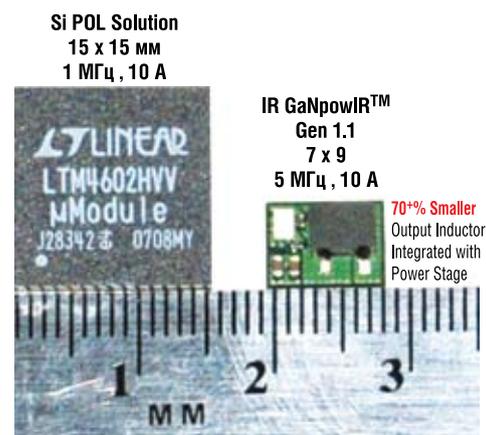


Рис. 6. Сравнение размеров Si и нового понижающего преобразователя на базе платформы GaNpowIR

максимально приблизить устройство к нагрузке, и к 2014 году, например, можно будет упаковать микропроцессор и понижающий преобразователь в один корпус. Близкое расположение преобразователя и нагрузки позволит значительно уменьшить паразитные потери всей системы. В результате совершенствования платформы GaNpowIR прогнозируется уменьшить размер готового решения почти в 10 раз.

International Rectifier разработала и продемонстрировала прототип 5 МГц POL DC/DC-преобразователя на базе силового модуля на GaN (IP2010 и IP2011). Этот преобразователь имеет входное напряжение 12 В и выходное 1,8 В (типичные значения) при токе

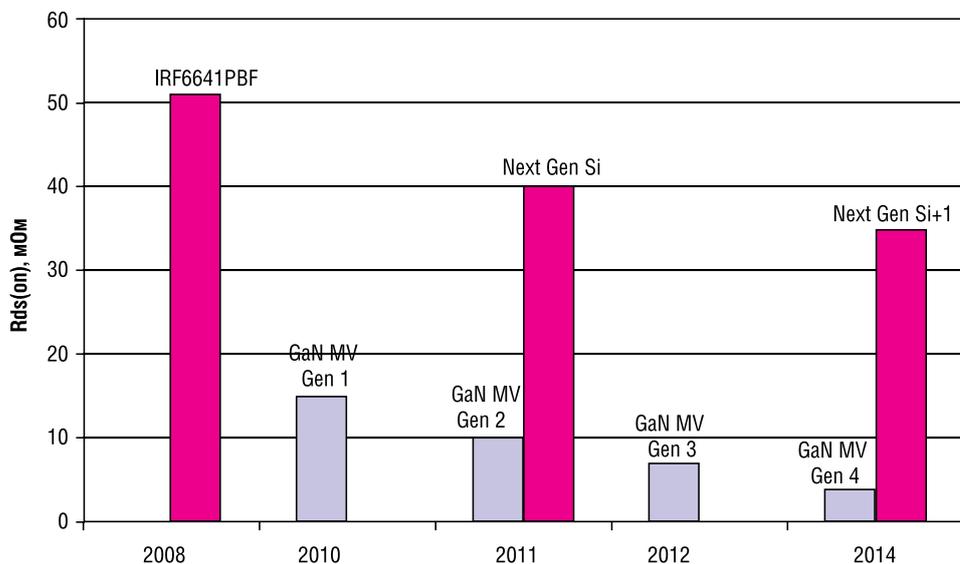


Рис. 8. Прогноз значений Rds(on) для 200 В транзисторов в корпусах 5x6 мм

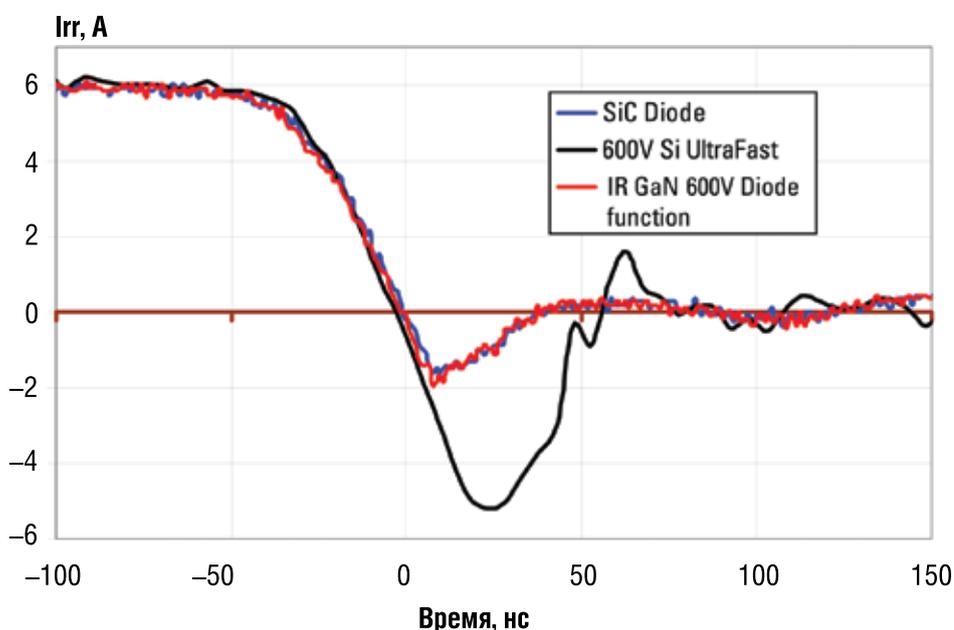


Рис. 9. Режим обратного восстановления для SiC- и GaN-диодов

нагрузки 10 А. При работе на частоте 5 МГц его КПД превышает значения современных устройств и имеет более чем в три раза меньший размер. Занимая площадку размером 7x9 мм, этот многофункциональный 5 МГц модуль на основе GaN при токе нагрузки 10 А демонстрирует 85% КПД.

Как было отмечено выше, с помощью платформы GaNrowIR можно получить высокие значения КПД преобразования. Рисунок 7 иллюстрирует улучшение КПД понижающих преобразователей на базе GaN по сравнению с существующими на сегодняшний день решениями на обычном кремнии. Для однофазного понижающего преобразователя уменьшение величины Rds(on)·Qg для

GaNrowIR (рисунок 4) уже в 2009 году привело к увеличению его максимального КПД более чем на 3%. Согласно прогнозам, GaNrowIR достигнет КПД 94,5% в течение ближайших пяти лет, превзойдя на 5% современные решения. Пример использования платформы GaNrowIR компанией Enterprise Power показал, что можно существенно снизить стоимость эксплуатации системы (благодаря меньшему энергопотреблению и охлаждению) и значительно уменьшить габариты конечного изделия.

Платформа GaNrowIR также будет эффективна при работе с более высокими напряжениями. Практические и теоретические результаты для 200 В GaN устройств в корпусе 5x6 мм показыва-

ют уменьшение Rds(on) в три раза по сравнению с кремниевыми аналогами, а дальнейшее улучшение GaN-технологии в ближайшие 5 лет позволит получить значения, лучшие на целый порядок. Из рисунка 8 видно, что этих результатов планируется достигнуть к 2014 году. Сопротивление открытого канала для 200 В транзисторов на арсениде галлия в корпусе размером 5x6 мм будет менее 5 мОм; для сравнения – величина сопротивления сегодняшних кремниевых MOSFET в корпусе примерно такого же размера составляет 50 мОм.

Для еще более высоких напряжений IR продемонстрировала диоды на базе арсенида галлия, которые соперничают с карбид-кремниевыми диодами. Рисунок 9 показывает, что характеристики тока (Irr) в режиме обратного восстановления для GaN и SiC диодов одинаковы и гораздо лучше, чем у кремниевых 600 В диодов с накоплением заряда. Небольшой ток в режиме восстановления обусловлен отсутствием неосновных носителей заряда. Результатом является быстрое и без помех переключение GaN диода, которое снижает необходимость в дополнительных схемах фильтрации. Стоимость диодов на базе GaN гораздо меньше, чем диодов на SiC благодаря оптимизации затрат на производство GaN-on-Si GaNrowIR платформы.

#### Закключение

Полевые GaN транзисторы, полученные на базе платформы GaNrowIR от International Rectifier, уже на данный момент значительно превосходят характеристики своих кремниевых аналогов, и виден огромный потенциал для их улучшения (подобный тому, какого ожидали от кремниевых MOSFET в 80е и 90е годы). Результатом явилось значительное уменьшение габаритов конечных изделий, увеличение КПД и рентабельности. Платформа GaNrowIR была разработана специально для запуска серийного производства приборов на арсениде галлия, которые превосходят существующие сегодня по показателям качества, надежности, КПД и другим. Были разработаны прототипы устройств на базе первых приборов на основе арсенида галлия и показаны их преимущества. Первым выпущенным на рынок устройством на базе GaN стал силовой модуль (IP2010 и IP2011) от IR, предназначенный для понижающих DC/DC-преобразователей. 

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: power.vesti@compel.ru