

Интеграция GaN в контроллеры АС/DC-преобразователей —

путь к повышению эффективности

В 2019 году компания Power Integrations анонсировала пополнение своих популярных семейств InnoSwitch3 — квазирезонансных микросхем-контроллеров, объединяющих первичную и вторичную цепь и цепь обратной связи в монолитном компактном корпусе InSOP-24D для поверхностного монтажа. Новые микросхемы обеспечивают КПД до 95% в полном диапазоне нагрузок вплоть до 100 Вт, работая в составе закрытых адаптеров со стабилизацией напряжения или тока без использования радиатора. Это революционное увеличение производительности было достигнуто с помощью разработанной в компании технологии высоковольтного ключа на основе нитрида галлия (PowiGaN). Статья представлена в виде авторского перевода [1] с рядом дополнений.

Владимир Рентюк

Александр Жеухин

power@macrogroup.ru

Введение

Серьезный успех интегральных микросхем семейств InnoSwitch3 и LYTSwitch-6 (далее — InnoSwitch) [2] на рынке преобразователей мощности вызван тем, что они предлагают чрезвычайно эффективные решения и исключают необходимость использования радиаторов в таких приложениях, как компактные или герметичные с незначительным потоком воздуха источники питания, зарядные устройства, адаптеры, светодиодные балласты и т. п. Высокие технические характеристики всех контроллеров семейств InnoSwitch обусловлены применением уникальной системы обратной связи FluxLink [11] от компании Power Integrations, гарантирующей высокую точность стабилизации напряжения или тока, быструю ответную реакцию на переходные процессы, а также полный набор функций защиты линии питания, нагрузки и внутренних схем.

Целевыми областями применения InnoSwitch3 являются высокоэффективные обратноточные преобразователи типа USB-PD (USB Power Delivery, последняя модификация стандарта USB, обновления в которой касаются в основном количества передаваемой энергии), зарядные устройства мобильных устройств, телевизионные приставки, дисплеи, бытовая техника, сетевые устройства и игровые консоли, системы освещения, измерительные приборы и промышленные приложения. Новые микросхемы обеспечивают точную стабилизацию в режимах CV (стабилизация напряжения), CC (стабилизация тока) и CP (стабилизация мощности) вне зависимости от внешних компонентов и имеют поддержку протоколов быстрых зарядных устройств. В настоящее время от компании Power Integrations доступны

пять базовых вариантов контроллеров InnoSwitch3, которые имеют свои семейства. Параметры контроллеров InnoSwitch3-CP, InnoSwitch3-CE, InnoSwitch3-EP и InnoSwitch3-MX (этот продукт должен быть в паре с контроллером InnoMux IC) конфигурируются на предприятии-изготовителе, а InnoSwitch3-Pro позволяет конфигурировать параметры программно через интерфейс I²C. Микросхемы InnoSwitch3 оптимальны для тех областей применения, где решающее значение для конечного продукта имеют высокая эффективность, надежность и стойкость в сочетании малым числом внешних элементов и компактное размещение.

Усовершенствованный низкопрофильный корпус InSOP-24C (рис. 1) с размерами всего лишь



Рис. 1. Запатентованный компанией Power Integrations корпус для микросхем питания InSOP-24C для поверхностного монтажа, используемый для продуктов преобразования напряжения семейств InnoSwitch3 и LYTSwitch-6

9,4×10,8×1,45 мм, используемый для этих устройств, в зависимости от диапазона входного напряжения и форм-фактора источника питания способен без радиатора обеспечить мощность до 65 Вт, а с теплоотводом — до 100 Вт. И все это достижимо благодаря применению запатентованной компанией Power Integrations кремниевой технологии МОП-технологии и силового ключа, выполненного на основе нитрида галлия (GaN). Кроме того, увеличенный путь утечки в 11,5 мм и зазор между первичной и вторичной сторонами обеспечивают необходимый уровень электрической прочности изоляции, превышающий 4000 В (АС), импульсы до 6000 В, а также высокую надежность.

Почему GaN

Для обеспечения мощности, необходимой для быстрой зарядки большими токами, подключенных к сети «Интернета вещей» (Internet of Things, далее — IoT) приборов, светодиодного освещения и промышленного оборудования, а также для дальнейшего уменьшения размера преобразователя на первичной стороне преобразователя напряжения требуется ключ с максимально низким сопротивлением канала в открытом состоянии $R_{DS(ON)}$ и максимально высокой эффективностью самого преобразования. То есть нужно одновременно иметь и низкие потери проводимости, и переключения. Такое низкое удельное $R_{DS(ON)}$ (сопротивление на единицу площади) и значительное снижение потерь на переключение обеспечивают полупроводниковые приборы на материалах с широкой запрещенной, одним из них и является нитрид галлия (GaN), что делает его оптимальным для современного рынка малогабаритных устройств питания. Силовой ключ на GaN МОП-транзисторе используется в следующих семействах InnoSwitch3 — это InnoSwitch3-CP, InnoSwitch3-EP и InnoSwitch3-Pro.

Поскольку нитрид галлия представляет собой широкозонный полупроводниковый материал, то по сравнению со своим кремниевым конкурентом он позволяет изготавливать ключи с очень низкими потерями на переключение, как при включении, так и при выключении. Фактически в отличие от кремниевых МОП-транзисторов GaN-ключи уже в силу своей природы имеют почти нулевые потери на отключение. Что же касается потерь на включение, в GaN-ключах они почти полностью связаны с внутренними емкостями, которые у GaN полевых транзисторов намного ниже по сравнению с кремниевыми МОП-транзисторами. Это связано с тем, что как включение, так и отключение в GaN происходят практически мгновенно, а эквивалентное удельное $R_{DS(ON)}$ GaN транзисторов ниже, поскольку они имеют меньший размер кристалла по сравнению с кремниевым (рис. 2), что обеспечивает сокращение потерь проводимости.

Преимущества в производительности PowiGaN

Для того чтобы как можно полнее использовать свойства такого широкозонного полупроводникового материала, как GaN, компания Power Integrations разработала на его основе передовую технологию ключей — PowiGaN [3] и оптимизировала характеристики ключа для его использования в комплексных решениях питания. Применение ключей PowiGaN в микросхеме в корпусе InSOP-24C на первичной стороне обратноходового преобразователя позволяют обеспечивать без радиатора гораздо более высокие уровни мощности, а также существенно повышать общую эффективность источника питания.

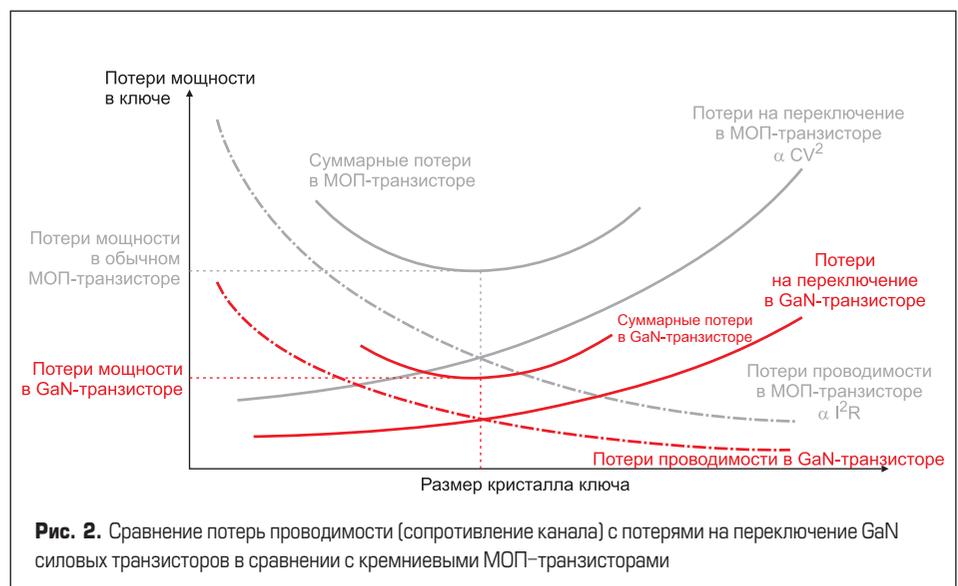
Основной проблемой для дискретных решений на основе GaN-транзисторов является сложность их управления транзисторами и защиты. Дело в том, что GaN настолько быстрее, чем кремний, что даже небольшие паразитные индуктивности и емкости, вносимые корпусами дискретных GaN-транзисторов и распределенные параметры трасс подключения на печатных платах, затрудняют их управление. Распространенные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики, — высокие значения скорости нарастания напряжения dv/dt и переходные процессы во время переключения с высокочастотными колебаниями. Это создает электромагнитные помехи (ЭМП), что сказывается на выполнении требований по электромагнитной совместимости (ЭМС), а также снижает эффективность, что в некоторых случаях может привести к разрушению транзистора и выходу из строя всего конечного приложения. Высокая скорость переключения GaN-транзисторов также весьма затрудняет их защиту в условиях неисправности, поскольку может привести к тому, что ток сквозной ток ключа достигнет критического уровня, прежде чем схема защиты успеет среагировать и безопасно выключить устройство.

Все перечисленные проблемы полностью решаются путем встраивания ключа PowiGaN непосредственно в микросхемы контроллера,

предлагаемые компанией Power Integrations. Такая интеграция значительно уменьшает паразитные индуктивности и емкости, что положительно отражается на переходных процессах, возникающих при коммутации. Продукты на основе PowiGaN включают драйверы, адаптированные к конкретному PowiGaN-устройству, оптимизируя его скорость переключения для минимизации ЭМП и достижения максимальной эффективности. Кроме того, в комплексном решении схема защиты способна быстро обнаруживать опасные токи и выполнить необходимые действия для безопасного отключения устройства, чтобы избежать его отказа.

Следует добавить, что указанные микросхемы контроллеров обратноходового преобразователя InnoSwitch3 с PowiGaN от компании Power Integrations содержат и схемы запуска, устраняя потребность во внешних цепях смещения. Кроме того, они используют технологию измерения тока без потерь, что полностью исключает внешние датчики тока в виде резисторов, сопротивление которых часто превышает сопротивление открытого канала самого GaN-ключа при дискретных реализациях. Перечисленные преимущества позволяют разработчикам источников питания сосредоточиться на удовлетворении требований клиентов по качеству электроэнергии (стабильность, пульсации, устойчивость к сбросу/набросу нагрузки и пр.), форм-фактору и температуре, не беспокоясь о сложностях, сопровождающих использование дискретных полупроводниковых приборов по технологии GaN.

Работа контроллеров InnoSwitch3 на основе PowiGaN неотличима от функционирования обычных (на основе кремния) устройств того же семейства. Частота коммутации, конструкция трансформатора, схема фильтрации электромагнитных помех, смещения и синхронного выпрямления для устройств на базе PowiGaN и кремния идентичны. Изменения необходимы только для обеспечения большей мощности решения, выполненного на основе транзисторов PowiGaN. Здесь в помощь разработчику доступен пакет программного обеспечения



для проектирования источников питания PI Expert, который уже поддерживает устройства на базе МОП-транзисторов и PowiGaN, ускоряя процесс проектирования и позволяя выбирать лучший компонент, выдает полную электрическую принципиальную схему, индуктивные компоненты и технические характеристики для базовых входных параметров.

На рис. 3 демонстрируется переход в рамках общего решения между нитрид-галлиевыми и кремниевыми ключами путем сравнения форм сигналов напряжения сток-исток во время переключения для устройств PowiGaN и кремниевых МОП-транзисторов в контроллерах InnoSwitch3. Обратите внимание, что формы сигналов почти идентичны, соответственно, для устройств на основе кремния и PowiGaN могут использоваться те же самые схемные решения практически без доработки.

Эффект от более быстрого характера включения ключей технологии PowiGaN можно увидеть на рис. 3в. Однако наклон в зоне перехода не отличается и дает аналогичную характеристику в части ЭМП. Более низкие $R_{DS(ON)}$ и потери при переключении увеличивают эффективность по сравнению с обычными технологиями на основе кремния. Как и другие устройства InnoSwitch3, эффективность для конечных решений на основе PowiGaN постоянна во всех диапазонах напряжения и нагрузках. Это делает их идеальными для приложений, требующих высокой средней производительности и стабилизации выходного напряжения, таких как USB-PD и внешние сетевые зарядные устройства (адаптеры).

Технические характеристики семейства продуктов Power Integrations с ключами PowiGaN

Для удобства описания контроллеров InnoSwitch3 компания Power Integrations применяет специальную систему условных обозначений. Контроллеры из перечисленных ниже семейств с номерами, заканчивающимися на 9 или 0, имеют ключи на основе

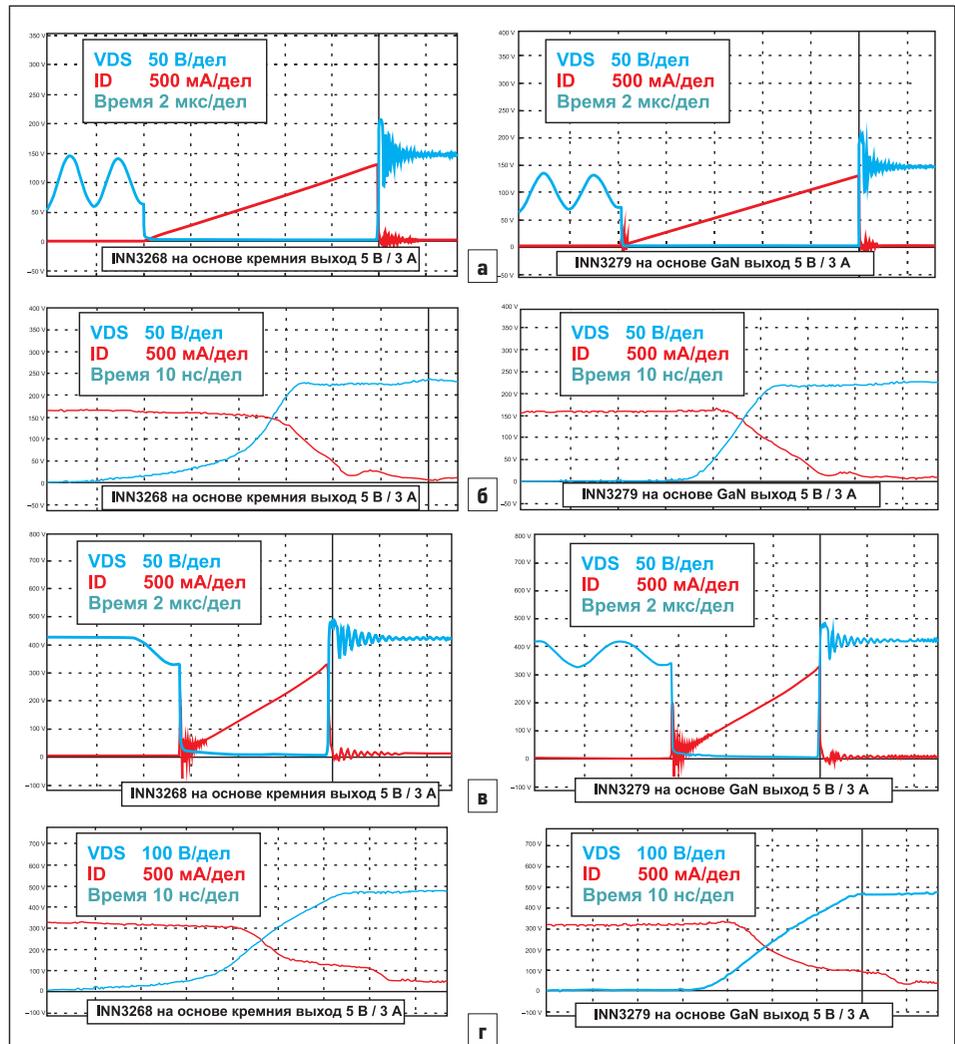


Рис. 3. Переход в рамках общего решения между нитрид-галлиевыми и кремниевыми ключами в контроллерах InnoSwitch3 в условиях минимального и максимального входного напряжения переменного тока, пересчитанного к постоянному: а) Низкое входное напряжение, режим DCM, включение, $V_{IN} = 100$ В (DC); б) Низкое входное напряжение, режим CCM, выключение, $V_{IN} = 100$ В (DC); в) Высокое входное напряжение, режим DCM, включение, $V_{IN} = 370$ В (DC); г) Высокое входное напряжение, режим CCM, выключение, $V_{IN} = 370$ В (DC).

Примечание. CCM – continuous current mode, режим неразрывного тока; DCM – discontinuous current mode, режим разрывных (прерывистых) токов.

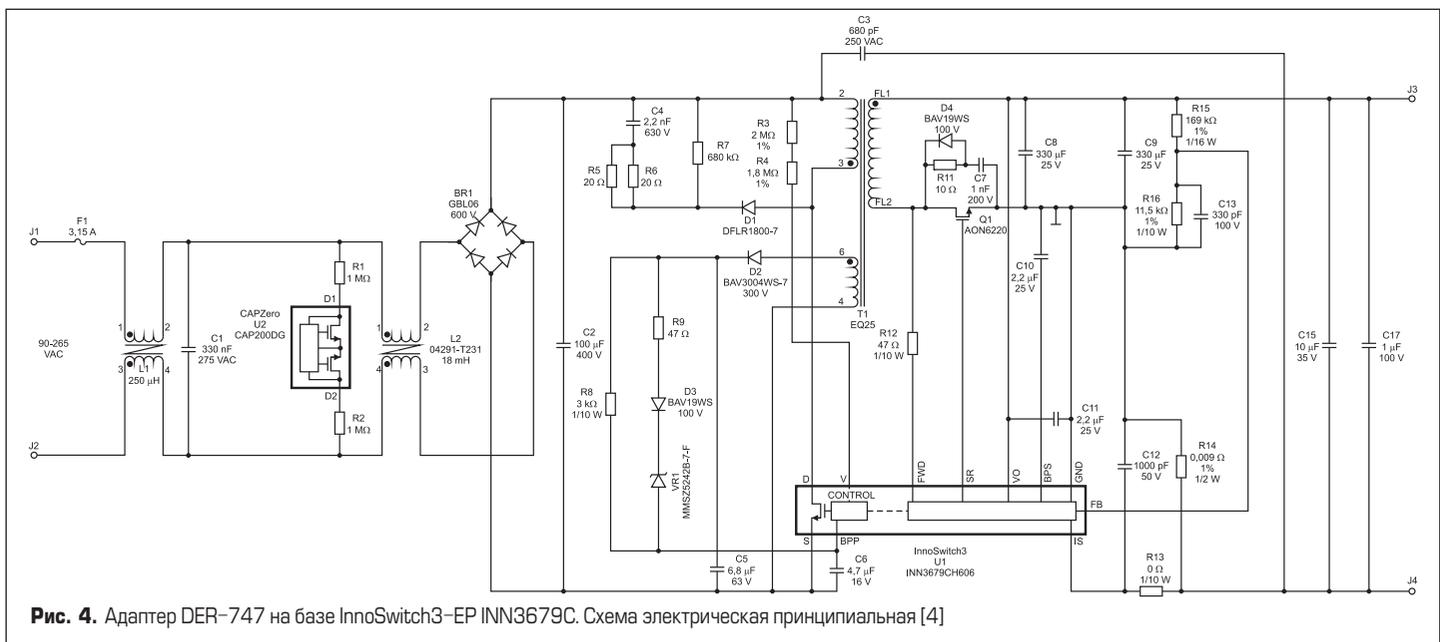
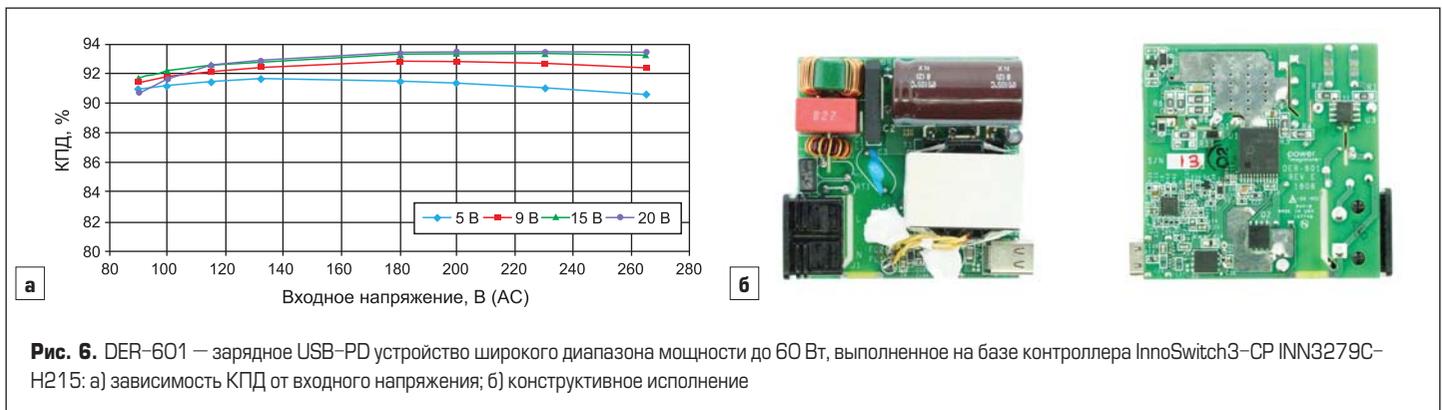
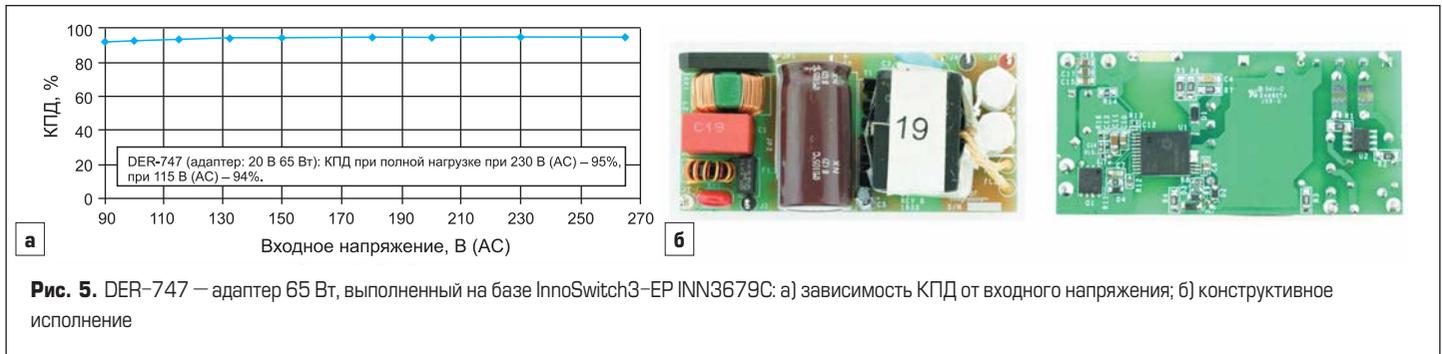


Рис. 4. Адаптер DER-747 на базе InnoSwitch3-EP INN3679C. Схема электрическая принципиальная [4]

Таблица. Семейства продуктов с на основе технологии GaN

Продукт	InnoSwitch3-Pro	InnoSwitch3-EP	InnoSwitch3-CP
Область применения	<ul style="list-style-type: none"> • Высокоэффективные адаптеры USB PD 3.0 + PPS/QCA • Многопротокольные адаптеры, включая QuickCharge, AFC, FCP, SCP • Зарядные устройства для мобильных устройств с прямым зарядом • Многофункциональный инструмент и зарядные устройства общего назначения • Регулируемый CV и CC светодиодный балласт 	<ul style="list-style-type: none"> • Зарядные устройства для мобильных устройств • Различное бытовое и промышленное оборудование 	<ul style="list-style-type: none"> • Адаптеры • Зарядные устройства для мобильных устройств с прямым зарядом • Высокоэффективные адаптеры USB PD • Устройства IoT
Рабочие напряжения силового ключа, В	650/725/750	725/750/900	650/725/750
Мощность, Вт	До 100		
Варианты исполнения	INN3379C INN3370C	INN3679C INN3670C	INN3279C INN3270C
Компенсация падения напряжения на кабеле	•	-	•
Защита от повышенного (OV) и пониженного (UV) входного напряжения	•	•	•
Защита от превышения выходного напряжения (OVP)	•	•	-
Профиль постоянной мощности	•	-	•
Интерфейс управления I ² C и режим телеметрии	•	-	-
Динамическая настройка выходных параметров и функций защиты	•	-	-



технологии PowiGaN. Устройства с номерами деталей, заканчивающимися — на 78, также используют ключи PowiGaN. Устройства, заканчивающиеся на 68, представляют собой кремниевые устройства с номинальным рабочим напряжением сток-исток $V_{DS(MAX)}$, равным 650 В. Основные характеристики семейства продуктов на основе технологии GaN InnoSwitch3 приведены в таблице.

Высокая эффективность при полной нагрузке во всем диапазоне входного напряжения позволяет конструкциям InnoSwitch3 исключать радиаторы, обеспечивая наименьший возможный размер преобразователя, что иллюстрируется рядом реализаций описанных контроллеров. На рис. 4 приведен в качестве примера адаптер мощностью 65 Вт DER-747 [4], использующий InnoSwitch3-EP INN3679C, а на рис. 5 — зависимость его КПД от входно-

го напряжения сети переменного тока и конструктивное исполнение.

На рис. 6 и 7 показан обратноходовой преобразователь USB-PD DER-601 [5] мощностью

до 60 Вт при выходном напряжении 5–20 В, с широким диапазоном входного напряжения, демонстрирующий высокую эффективность при нагрузке. Для его реализации использован



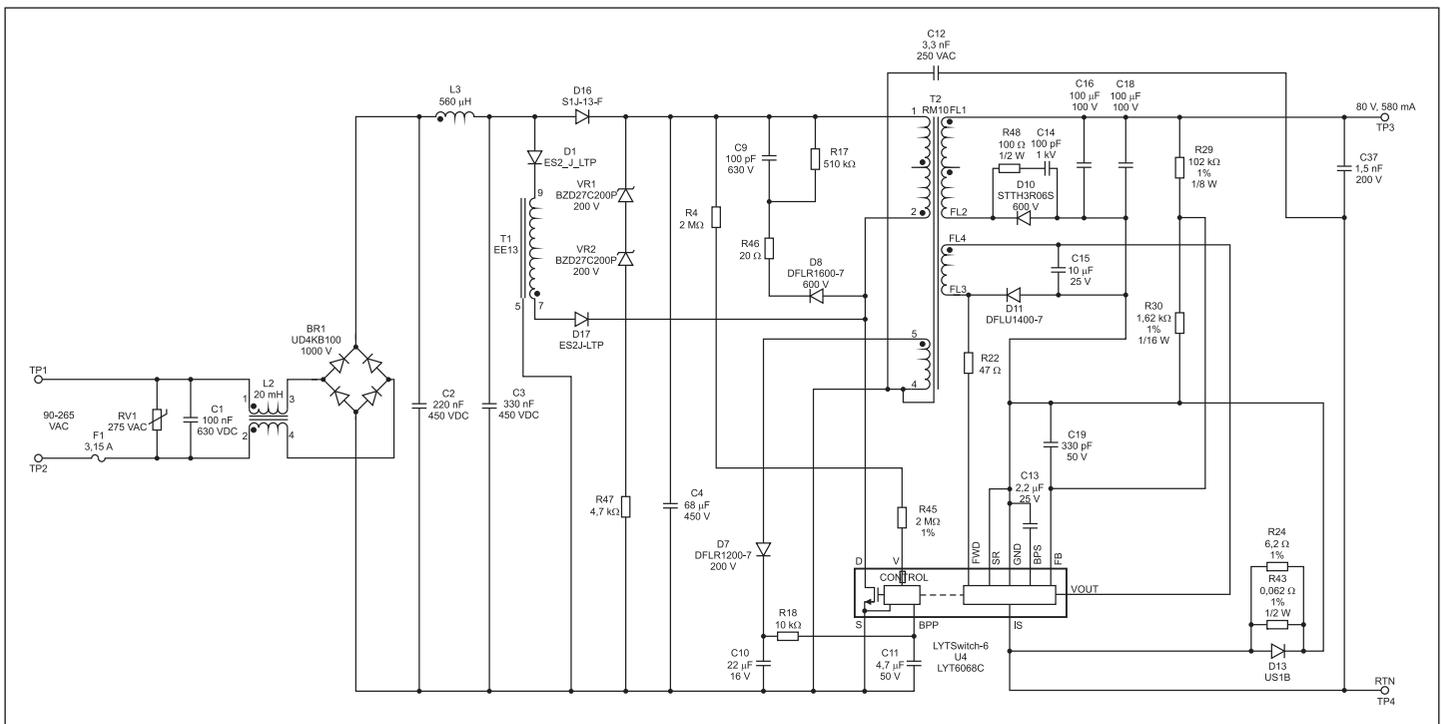


Рис. 8. Драйвер светодиодов DER-657 на базе LYTSwitch-6 LYT6068C. Схема электрическая принципиальная [8]

контроллер InnoSwitch3-CP INN3279C-H215. А на рис. 6 показано решение в виде обратноходового преобразователя USB-PD и DER-805 [6] мощностью 100 Вт (выход 5–20 В) и зарядное устройство без использования обязательного в таких случаях радиатора. В решении установлен программируемый контроллер InnoSwitch3-Pro INN3370C-H302.

Одно из самых интересных применений новой технологии, использованной в контроллерах InnoSwitch3, — это системы светодиодного освещения. Здесь компанией Power Integrations предлагается семейство микросхем LYTSwitch-6 [7], которые могут функционировать в качестве драйверов и балластов. Эти микросхемы обеспечивают свободное от мерцаний свечение светодиодов мощностью до 65 Вт при КПД, достигающем 94%, поддерживают конфигурации для двух- или однокаскадных корректоров коэффициента мощности и потребляют в режиме покоя всего 15 мВт.

Микросхемы LYTSwitch-6, предназначенные для интеллектуальной осветительной арматуры жилых и коммерческих помещений и низкопрофильных потолочных светильников, отличаются высокой скоростью реакции, гарантирующей отличную перекрестную стабилизацию в параллельных цепочках светодиодов

без использования дополнительного регулирующего оборудования и простоту реализации широтно-импульсного управления яркостью (димминг), в том числе и через Bluetooth. LYTSwitch-6 могут работать в режимах стабилизации как напряжения, так и тока, позволяя производителям осветительных приборов сократить число вариантов схемотехнических решений и в конечном счете снизить затраты на производство и логистику. Новые микросхемы защищены системой прогрессирующего теплового ограничения тока, не допускающей перегрева кристалла и обеспечивающей излучение максимального количества света, возможного в конкретных условиях и при заданных характеристиках установки.

Микросхемы серии LYTSwitch-6 радикально упрощает разработку и производство драйверов для светодиодов в компактных корпусах и/или с требованиями высокой эффективности. Архитектура микросхем LYTSwitch-6 является в своем роде революционной и объединяет контроллер первичной стороны, контроллер вторичной стороны с токовым датчиком и цепью обратной связи в одном корпусе. Схема электрическая принципиальная обратноходового изолированного драйвера светодиодов мощностью 45 Вт с корректором коэффициен-

та мощности показана на рис. 8, а пример конструктивного исполнения приведен на рис. 9.

Учитывая все большую популярность светодиодных продуктов, новые микросхемы компании Power Integrations серии LYTSwitch-6, выполненные с интегрированным PowiGaN ключом, требуют отдельного более детального рассмотрения, что выходит за рамки настоящей статьи.

А если все же необходим отвод тепла?

В данной статье неоднократно подчеркивалось, что одним из преимуществ новых контроллеров семейства InnoSwitch3 и микросхем семейства LYTSwitch-6 с их современными нитрид-галлиевыми транзисторами PowiGaN является отсутствие радиатора. Но что делать, если те или иные соображения, например, среда эксплуатации, все же требуют отвода тепла? Это возможно или категорически нет? Не проблема — для всех устройств в корпусе InSOP-24D это возможно.

Как указано в рекомендациях [9], для закрытых приложений высокой мощности, таких как адаптер для ноутбука или аналогичные приложения с высокой температурой окружающей среды, использование в качестве радиатора меди печатной платы для обеспечения работы микросхемы в корпусе InSOP-24D в пределах указанной для нее рабочей температуры может быть недостаточно. Поэтому здесь может понадобиться металлический теплоотвод, который поможет микросхеме оставаться в пределах ее рабочих характеристик. Если в качестве радиатора не используется керамический материал, необходимо отнестись к ситуации предельно внимательно и максимально ответственно, не забывая, что мы имеем дело с изолированными решениями, для которых нормируются требования по безопасности в части электрической прочности изоляции между



Рис. 9. Пример конструктивного исполнения светодиодного драйвера DER-657 на базе LYTSwitch-6 LYT6068C

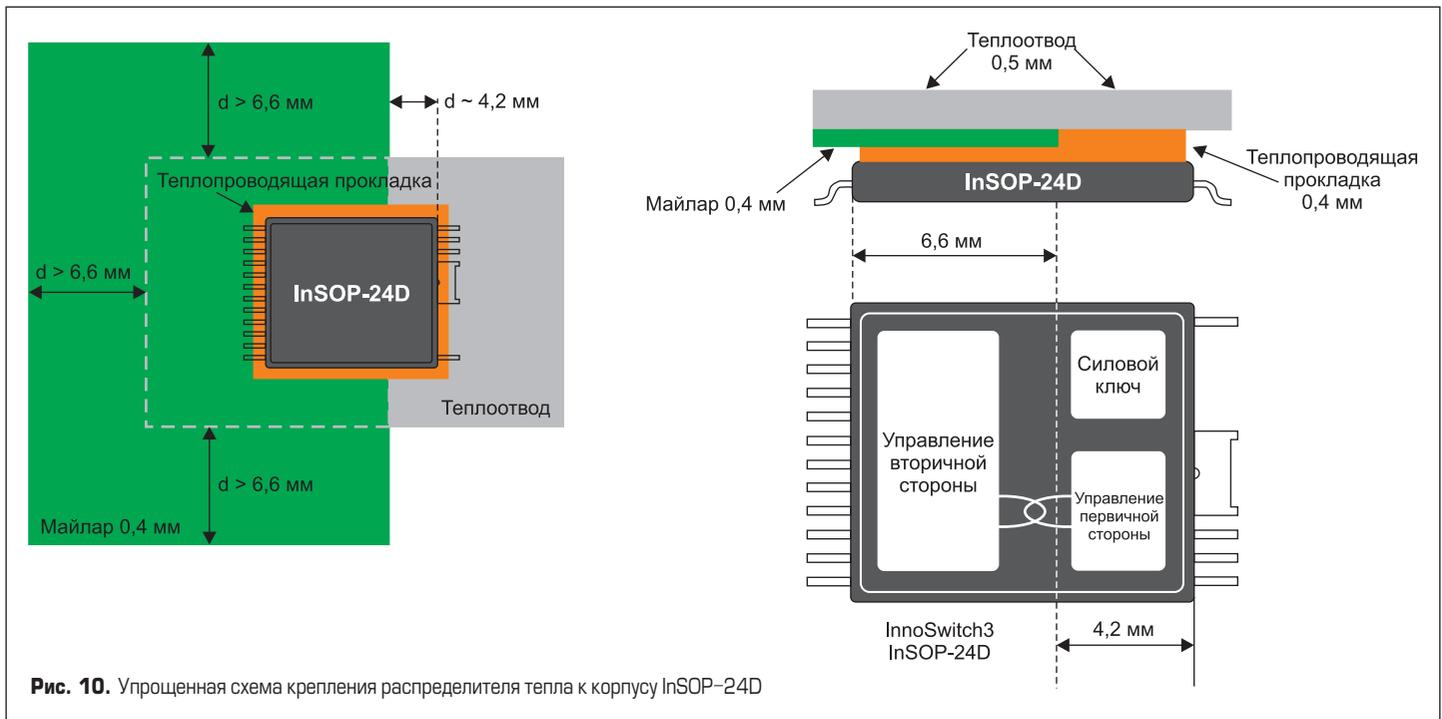


Рис. 10. Упрощенная схема крепления распределителя тепла к корпусу InSOP-24D

входом и выходом, и помня о путях токов утечки. Следовательно, если отвод тепла идет через медь или алюминий, то понадобится подложка из качественного изоляционного материала. Для усиленной изоляции компания Power Integrations рекомендует использовать майлар¹ толщиной 0,4 мм и теплопроводящую прокладку для лучшей теплопередачи между ИС и распределителем. Пример организации конструктивного решения с теплоотводом представлен на рис. 10 [9]. Однако хотя в рекомендациях [9] это не указано, я бы посоветовал не забыть здесь и о старой доброй кремнийорганической теплопроводной пасте КПТ-8, но не все прокладки допускают ее применение.

Устройства PowiGaN: гарантированно устойчивые и надежные

Устройства на базе ключей PowiGaN специально разработаны для эксплуатации при уровнях напряжения, наблюдаемых при прямом преобразовании напряжения электросети по обратноходовой топологии. Контроллеры на их основе изготавливаются на тех же самых предприятиях, что и обычные продукты компании Power Integrations, и прошли тщательное квалификационное тестирование для обеспечения гарантированно надежной работы в цепях преобразования энергии. В дополнение к обычным квалификационным испытаниям [1] микросхемы силовых ключей от компании Power Integrations проходят комплексное долгосрочное тестирование в реальных конструкциях блоков питания, что позволило добиться частоты отказов в местах эксплуатации продуктов компании, не превышающей $0,2 \times 10^{-6}$.

В дополнение к стандартным испытаниям для продукции на основе PowiGaN введены дополнительные тесты DOPL (Dynamic

Operating Life) и HALT (Highly Accelerated Life Test), что позволяет подтвердить устойчивость данных продуктов к динамическим воздействиям (DOPL) и степень живучести для этих устройств в наихудших (реальных) условиях, путем стрессовых ускоренных испытаний (HALT). Кроме того, чтобы гарантировать непрерывность и надежность устройства в рамках процесса разработки PowiGaN были созданы уникальные запатентованные тесты для уровней подложки, кристалла и окончательного тестирования при сборке GaN-продуктов.

Как известно, импульсные обратноходовые преобразователи напряжения, в том числе и рассмотренные в настоящей статье, работают в очень широком диапазоне уровней сетевого напряжения, а напряжение на первичном ключе в источнике питания с обратной связью представляет собой комбинацию выпрямленного линейного напряжения (V_{BUS}), выходного отраженного напряжения (V_{OR}) — выходного напряжения и напряжения, индуцированного индуктивностью рассеяния первичной обмотки

трансформатора (V_{LE}). В типовой конструкции такого обратноходового преобразователя наихудшее при нормальной работе напряжение возникает при максимальном напряжении в сети (264 В переменного тока для европейских систем). На рис. 11 показана приблизительная величина различных компонентов этого напряжения по сравнению с номинальным напряжением первичного ключа PowiGaN (для справки: типовая схема представлена на рис. 4).

Поскольку источники питания, подключенные к сети, также могут испытывать скачки напряжения, то для устойчивости к таким воздействиям для ключей PowiGaN в их спецификации предусмотрены два номинальных напряжения, что позволяет инженеру по питанию оптимизировать конструкцию своего конечного решения для тех или иных практических приложений. Номинальное значение напряжения $V_{MAX(non-repetitive)}$ равное 750 В, описывает максимальное выдерживаемое напряжение при переходных процессах, выбросах и скачках напряжения. Для того чтобы разработчики были полностью

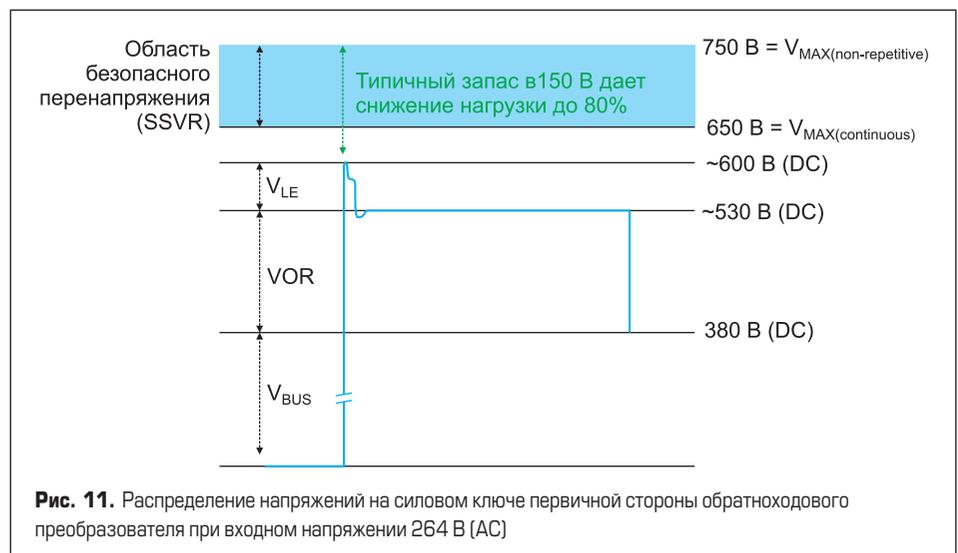


Рис. 11. Распределение напряжений на силовом ключе первичной стороны обратноходового преобразователя при входном напряжении 264 В (AC)

¹«Майлар» — торговая марка компании DuPont, полиэтиленерефталат, ПЭТФ.

уверены в обеспечении эксплуатационной надежности, все компоненты на основе PowiGaN проходят 100%-ное тестирование при напряжении, превышающем предельное значение $V_{MAX(non-repetitive)}$. Этот параметр используется для снижения номинальных характеристик в конструкции блока питания таким же образом, как и рейтинг $abs-max\ BVDss$ для традиционного МОП-транзистора. Параметр максимального постоянного напряжения $V_{MAX(continuous)}$ описывает напряжение, которое может непрерывно прикладываться к GaN-ключу. Для устройств PowiGaN этот показатель равен 750 В (725 В для InnoSwitch3-EP). Эксплуатация выше этого предела не повредит устройству, но многократное воздействие более высоких напряжений может вызвать временное смещение сопротивления канала в открытом состоянии $R_{DS(ON)}$ за пределы, указанные в спецификации.

Продукты InnoSwitch3 оснащены функцией быстрой защиты от перенапряжения — они прекращают переключение, чтобы защитить себя, если линейное напряжение превышает определенный пользователем предел, гарантируя, что все 750 В (900 В для InnoSwitch3-EP) максимального напряжения доступны во время переходных процессов.

Высокая надежность и качество рассмотренных в данной статье продуктов Power Integrations подтверждается тем фактом, что по состоянию на сентябрь 2019 года компанией продано уже более 1 млн этих компонентов [10].

Заключение

Технология, используемая в новых контроллерах InnoSwitch3 и LYTSwitch-6, выпол-

ненных на основе силового ключа PowiGaN, эффективна, надежна и проста в использовании. Нитрид галлия, выбранный в качестве полупроводникового материала для силовых ключей первичной стороны, ведет себя гораздо ближе к «идеальному переключателю», чем традиционный кремний и показывает исключительные результаты производительности устройств, выполненных на его основе. Соответственно, эта технология будет все шире распространяться в семействах продуктов компании Power Integrations.

Кроме того, целый ряд реализаций преобразователей, выполненных на основе новых серий контроллеров InnoSwitch3 и LYTSwitch-6, уже представлен на сайте www.power.com. Такие примеры будут весьма полезны в качестве отправной точки для новых инженерных проектов.

Литература

1. GaN-Based Primary-Side Power Switches Extend the Power Range of InnoSwitch3 IC Families, Power Integrations. Whitepapers. www.ac-dc.power.com/design-support/articles/powigan-based-primary-side-power-switches-extend-power-range-innoswitch3-ic-families/
2. InnoSwitch Family. www.ac-dc.power.com/products/innoswitch-family/
3. PowiGaN Technology. www.ac-dc.power.com/technologies/powigan-technology/
4. DER-747 – 65 W Power Supply Using InnoSwitch3-EP. www.ac-dc.power.com/design-support/reference-designs/design-examples/der-747-65-w-power-supply-using-innoswitch3-ep/
5. DER-601 — 60 W USB PD Type-C Power Supply Using InnoSwitch3-CP. www.ac-dc.power.com/design-support/reference-designs/design-examples/der-601-60-w-usb-pd-type-c-power-supply-using-innoswitch3-cp/
6. DER-805 — 100 W USB PD 3.0 with 3.3 V-21 V PPS Power Supply Using InnoSwitch3-Pro and VIA Labs VP302 Controller. www.ac-dc.power.com/design-support/reference-designs/design-examples/der-805-100watt-usb-pd-3-pps-power-supply-using-innoswitch3-pro/
7. LYTSwitch-6, Flyback CV/CC LED Driver IC with Integrated High-Voltage Switch and FluxLink Feedback. www.led-driver.power.com/products/lytswitch-family/lytswitch-6/
8. DER-657 — 45 W High Power Factor, Isolated Flyback with Switched Valley Fill PFC LED Driver. www.led-driver.powerint.cn/design-support/reference-designs/design-examples/der-657-45-w-high-pf-isolated-switched-valley-filled-pfc-led-driver-using-LYTSwitch-6-LYT6068C/
9. Application Note AN-72 InnoSwitch3 Family. www.ac-dc.power.com/sites/default/files/product-docs/an-72_innoswitch3_family_design_guide.pdf
10. Power Integrations Delivers One-Millionth GaN-Based InnoSwitch3 IC. www.businesswire.com/news/home/20190929005027/en/Power-Integrations-Delivers-One-Millionth-GaN-Based-InnoSwitch3-IC
11. Простое обратное преобразование — технология преобразования FluxLink от компании Power Integrations. www.macrogroupp.ru/prostoe-obratnohodovoe-preobrazovanie-tehnologiya-preobrazovaniya-fluxlink-ot-kompanii-power

AC-DC конвертеры InnoSwitch3 в SMD корпусе мощностью до 100 Вт

power integrations™

Основные особенности:

- ◆ встроенный МОП транзистор 650/725/750/900 В
- ◆ эффективность до 95% во всем диапазоне нагрузок
- ◆ до 100 Вт в корпусе без внешних радиаторов
- ◆ CV/CC/CP режимы работы
- ◆ внешнее цифровое управление по I2C (опция)

Закажите образцы

тел.: (812) 370 60 70 доб. 750
e-mail: power@macrogroup.ru



Официальный дистрибьютор Power Integrations e-mail: power@macrogroup.ru

Санкт-Петербург (812) 370 60 70

Москва (495) 988 02 72

Екатеринбург (343) 385 95 10

Ростов-на-Дону (863) 227 03 93

Чебоксары (8352) 23 79 55

Новосибирск (383) 233 34 87