

# Изолированный драйвер затвора SiC МОП-транзисторов

## компании Cree

Транзисторы с изолированным затвором, выполненные на основе такого полупроводникового материала с широкой запрещенной зоной, как карбид кремния (SiC), позволяют реализовывать широкий спектр преобразователей большой мощности для самых разных сфер индустрии. Эти транзисторы отличаются малыми потерями проводимости, низкими коммутационными потерями и могут работать на высоких частотах преобразования от высоковольтных шин постоянного напряжения. Однако чтобы реализовать уникальные возможности этих транзисторов, требуется соответствующее управление. В статье описывается практическая реализация изолированного драйвера затвора, подходящего для тестирования и оценки применения карбид-кремниевых (SiC) МОП-транзисторов в самых различных конечных приложениях.

Владимир Рентюк

Валерия Смирнова

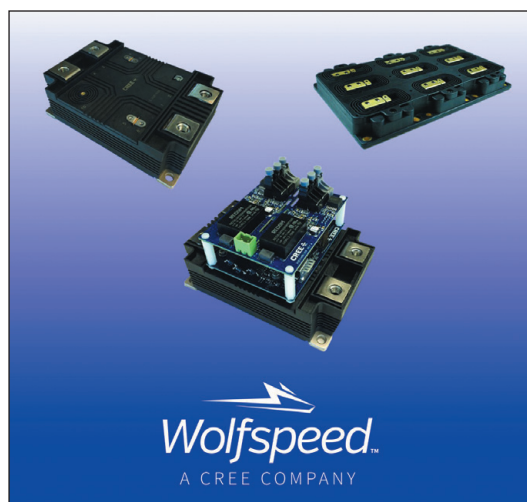
cree@macrogroup.ru

Уже много лет компания Cree занимает ведущие позиции на рынке не только светодиодов, с которых она начала свой бизнес в 1987 году, но и силовых полупроводниковых приборов. Компания первая в мире выпустила в 1991 году коммерческие SiC-пластины, начиная с двухдюймовых и заканчивая 200-мм пластинами, обеспечивая самые надежные и высококачественные материалы в отрасли для создания устройств SiC и GaN. Выделение производства силовых и радиочастотных приборов на основе карбида кремния (SiC) в отдельную компанию Wolfspeed, A Cree Company (Wolfspeed), входящую в структуру Cree Inc., дало новый импульс в этом направлении — в 2014 году Cree был представлен первый в отрасли полумостовой SiC-модуль на рабочем напряжении 1700 В, обеспечивающий высокую скорость переключения, что существенно уменьшает габариты индуктивных элементов и емкость конден-

саторов фильтров. Достигнутая при этом энергоэффективность силовых SiC МОП-транзисторов компании достаточна для современных инверторов для солнечной энергетики, зарядных устройств и тяговых преобразователей электромобилей, а также промышленных, серверных и телекоммуникационных источников питания, то есть везде, где требуется киловатты энергии в малых габаритах при высоких температурах и гарантированной длительной эксплуатационной надежности.

Основа технической политики компании — высокое качество и универсальность предлагаемых ею решений. Рассматриваемое в рамках настоящей статьи решение изолированного драйвера (оригинал доступен по ссылке [1]), подходящего для тестирования и оценки применения SiC МОП-транзисторов в самых различных приложениях, также отличается универсальностью и заменяет собой предыдущие версии аналогичных драйверов, являясь их значительно усовершенствованной версией. Улучшения, в частности, заключаются в следующем:

- Печатная плата была расширена, так что теперь можно использовать DC/DC-преобразователи мощностью 2 и 1 Вт. Это позволяет управлять как более мощными, так и менее мощными SiC МОП-транзисторами.
- Расстояния для токов утечки и воздушный зазор, обеспечивающий устойчивость к пробое, значительно увеличены.
- Для оптоизолятора добавлен отдельный стабилизатор напряжения. Это позволяет упростить обход преобразователей постоянного тока, когда требуется неизолированный вариант применения драйвера.
- Схема выходных резисторов была модифицирована дополнительным диодом для раздельной оптимизации переходных процессов при вклю-



чения и выключения силового SiC МОП-транзистора.

Новая схема для улучшенного, с повышенной гибкостью драйвера затвора для исследования поведения SiC МОП-транзисторов в разных приложениях показана на рис. 1.

Схема состоит из двух изолированных преобразователей постоянного тока (X2 и X3), оптоизолятора (U1) и интегральной схемы драйвера затвора (U2). В качестве контроллера драйвера затвора использована интегральная схема драйвера IXDN609SI [2] (8-Pin Power SOIC) Clare Inc. (дочерней компании IXYS), которая может обеспечить выходное напряжение 4,5–35 В и втекающий/вытекающий ток до 9 А при типовом выходном сопротивлении 0,8 Ом. Оптоизолятор ACPL-4800-300E [3] компании Avago (дочерняя компания Broadcom Limited) с логическим выходом обладает высокой синфазной помехоустойчивостью вплоть до  $dv/dt = 30$  кВ/мкс и может работать в пределах напряжения 4,5–20 В. Для фильтрации входного напряжения в схеме предусмотрен конденсатор (C4), который используется как опционный и может с тем или иным номиналом быть установлен при необходимости и по желанию проектировщика.

Питание обеспечивается изолированными DC/DC-преобразователями. При этом один преобразователь используется для формирования положительного смещения, а другой — для отрицательного. Оба DC/DC-преобразователя, X2 и X3, выбраны из хорошо зарекомендовавшей себя серии 1-Вт нестабилизированных изолированных DC/DC-преобразователей серии RP [4] или серии 2-Вт нестабилизированных изолирован-

ных DC/DC-преобразователей RxxP2xx [5]. Оба типа от компании RECOM [1] и имеют основную изоляцию с электрической прочностью 5,2 кВ/1 см в компактном корпусе SIP7. Кроме того, эти DC/DC-преобразователи имеют очень низкую емкость изоляции, что уменьшает ток утечки по высокой частоте. Гибкость схемы предлагаемого драйвера в зависимости от конечного приложения позволяет без проблем использовать любой вариант.

В этой конкретной конфигурации, приведенной на рис. 1, DC/DC-преобразователь X2 представляет собой преобразователь «12 в 5 В», а X3 — преобразователь «12 в ±12 В». Как показано на схеме, выходы преобразователей соединены последовательно, а общее соединение связано с истоком силового SiC МОП-транзистора (контакт SOURCE). Следовательно, напряжение шины VCC определяет положительное напряжение импульса затвора, а шина отрицательного напряжения -VEE — отрицательное напряжение импульса затвора. Эта шина также используется в качестве опорного заземления и для оптоизолятора (U1) и интегральной схемы драйвера затвора (U2). Поскольку рекомендованное максимальное рабочее напряжение оптоизолятора ACPL-4800-300E согласно [2] составляет 20 В, что может быть ниже, чем сумма напряжений между шинами VCC и -VEE, то для ограничения напряжения оптоизолятора на уровне 17,3 В в схему добавлен параметрический стабилизатор на стабилитроне D1 и эмиттерный повторитель на транзисторе Q1. Если для эмиттерного повторителя потребуется дополнительное демпфирование, то в схеме для Q1 предусмотрен последовательно включенный базовый резистор R16. По умолчанию здесь стоит нулевая перемычка, поскольку в боль-

шинстве случаев на практике резистор с нулевым сопротивлением здесь работает нормально. Резисторы R2, R4, R5, R9–R15 и диод D2 могут быть установлены для обеспечения оптимальных характеристик включения и выключения. По умолчанию резисторы установлены только на позиции R2, R4 и R5 (используются резисторы с номинальным сопротивлением 20 Ом, рассчитанные на мощность 0,3 Вт). Чтобы минимизировать паразитную индуктивность линии связи, конденсаторы C8 и C10 расположены предельно близко к выходному выводу истока (контакт SOURCE) и непосредственно к драйверу затвора (контакт GATE) внешнего силового SiC МОП-транзистора. Это необходимо для того, чтобы обеспечить самую минимальную линию подключения между выходной клеммой для подсоединения истока данного транзистора и шиной отрицательного напряжения -VEE.

Работа драйвера затвора заключается в следующем. Импульс напряжения амплитудой в пределах от +10 до +12 В, приложенный к оптрону (между контактами INPUT HIGH и INPUT LOW), приводит к тому, что на выходе управления затвором внешнего силового SiC МОП-транзистора (контакт GATE) устанавливается высокий уровень напряжения. Поскольку одна из целей этой схемы — универсальность и обеспечение максимальной гибкости, то для его формирования использованы нестабилизированные DC/DC-преобразователи. Таким образом, необходимые для управления затвором положительные и отрицательные уровни выходного импульса драйвера можно устанавливать относительно «земли». Положительный уровень напряжения на затворе регулируется изменением напряжения между контактами VCC HIGH и VCC HIGH

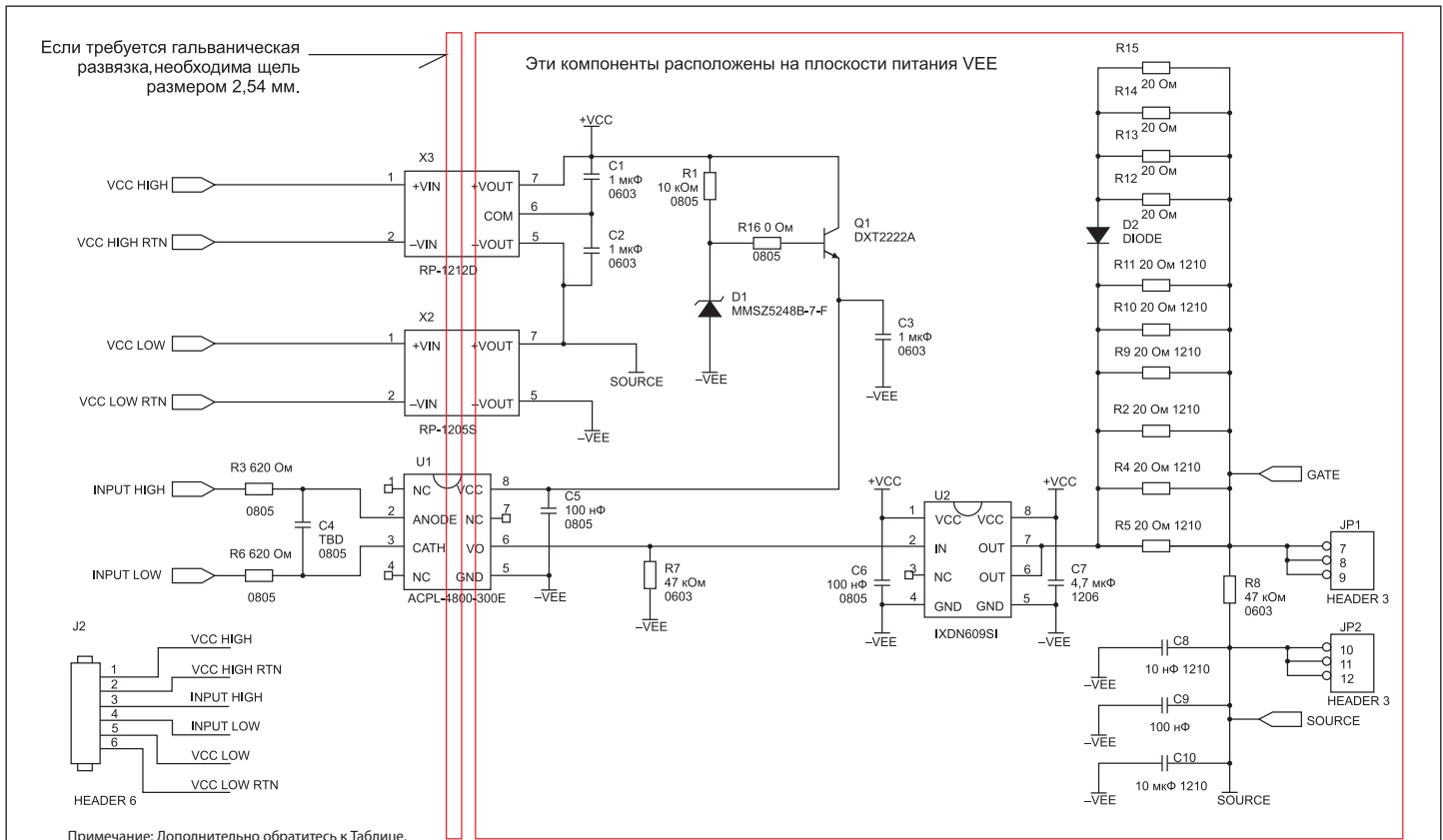


Рис. 1. Предлагаемая компанией Wolfspeed схема электрическая принципиальная изолированного драйвера затвора внешнего силового SiC МОП-транзистора

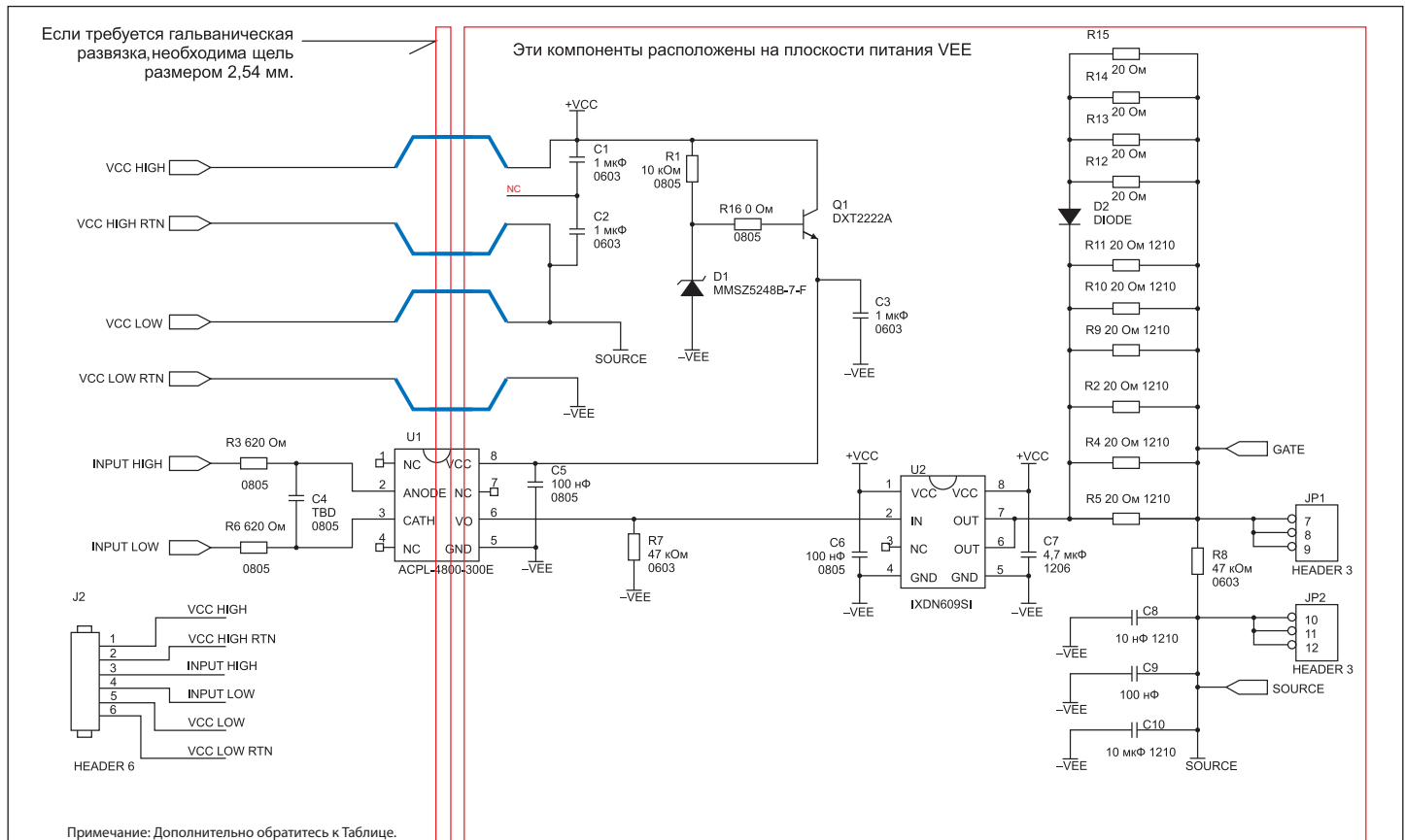


Рис. 2. Предлагаемая компанией Wolfspeed схема электрическая принципиальная драйвера затвора внешнего силового SiC МОП-транзистора с изолированным управлением и непосредственной подачей управляющих напряжений

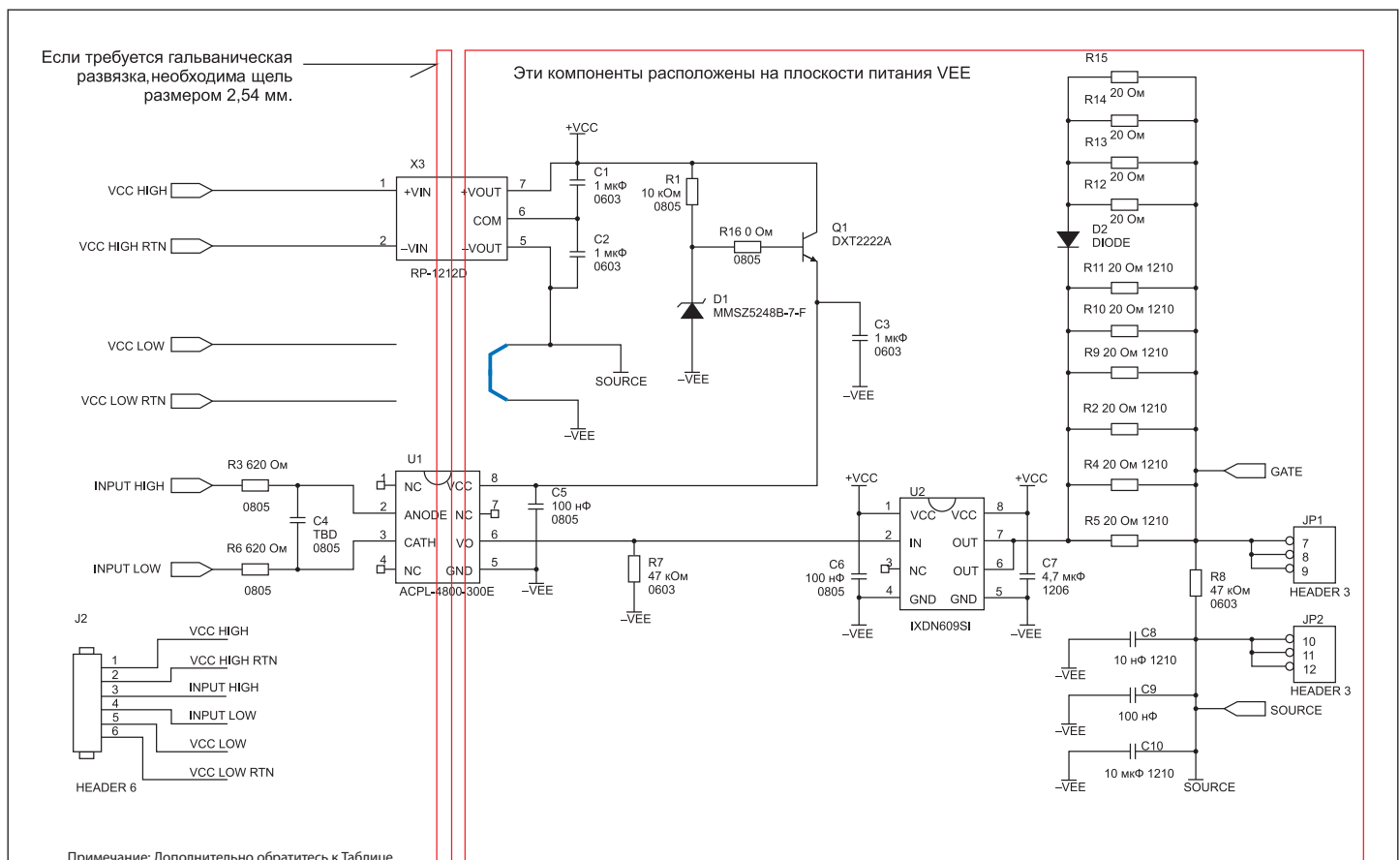


Рис. 3. Предлагаемая компанией Wolfspeed схема электрическая принципиальная драйвера затвора внешнего силового SiC МОП-транзистора с изолированным управлением и исключением отрицательного смещения

RTN, а уровень напряжения отрицательного импульса регулируется изменением напряжения между контактами VCC LOW и VCC LOW RTN. Процедура заключается в наблюдении за выходом платы драйвера затвора с помощью осциллографа и настройке входных напряжений VCC HIGH и VCC LOW до тех пор, пока импульс управления затвора не будет установлен на желаемые значения. Во время регулировки необходимо соблюдать осторожность, поскольку следует быть уверенным, что напряжение между шинами VCC и -VEE не превышает максимальные значения рабочего напряжения микросхемы драйвера U2, которое согласно [2] равно 35 В.

Гибкость предложенного решения позволяет вносить в него изменения, например для изменения схемы, чтобы реализовать подключение шин VCC и -VEE напрямую к внешним источникам питания, а изолированные DC/DC-преобразователи удалить. Удаление преобразователей выполняется путем их замены. Такая модифицированная схема показана на рис. 2. Здесь модули DC/DC-преобразователей X2 и X3 были удалены и заменены перемычками, выделенными толстыми линиями синего цвета.

Также обратите внимание, что предлагаемое решение драйвера затвора можно сконфигурировать на исключение отрицательного смещения затвора. Для этого необходимо просто исключить DC/DC-преобразователь, формирующий отрицательное смещение затвора, как показано на рис. 3, заменив его перемычкой. Здесь модуль DC/DC-преобразователя X3 удален и заменен перемычкой, также выделенной толстыми линиями синего цвета.

Перечень элементов для предлагаемого компанией Cree изолированного драйвера затвора силового SiC МОП-транзистора приведен в таблице. Обратите внимание, что это не догма, здесь могут использоваться и другие варианты DC/DC-преобразователей от компании RECOM. В перечне указаны номинальные значения и тип для элементов C4, D2 и R9-R15, поскольку их выбор и номиналы зависят от тех или иных требований конкретного приложения и, в зависимости от последнего, выбираются проектировщиком.

На рис. 4 приведена фото общего вида представление рассмотренного в рамках



Рис. 4. Изолированный драйвер затвора силового МОП-транзистора CRD-001 от компании Wolfspeed.

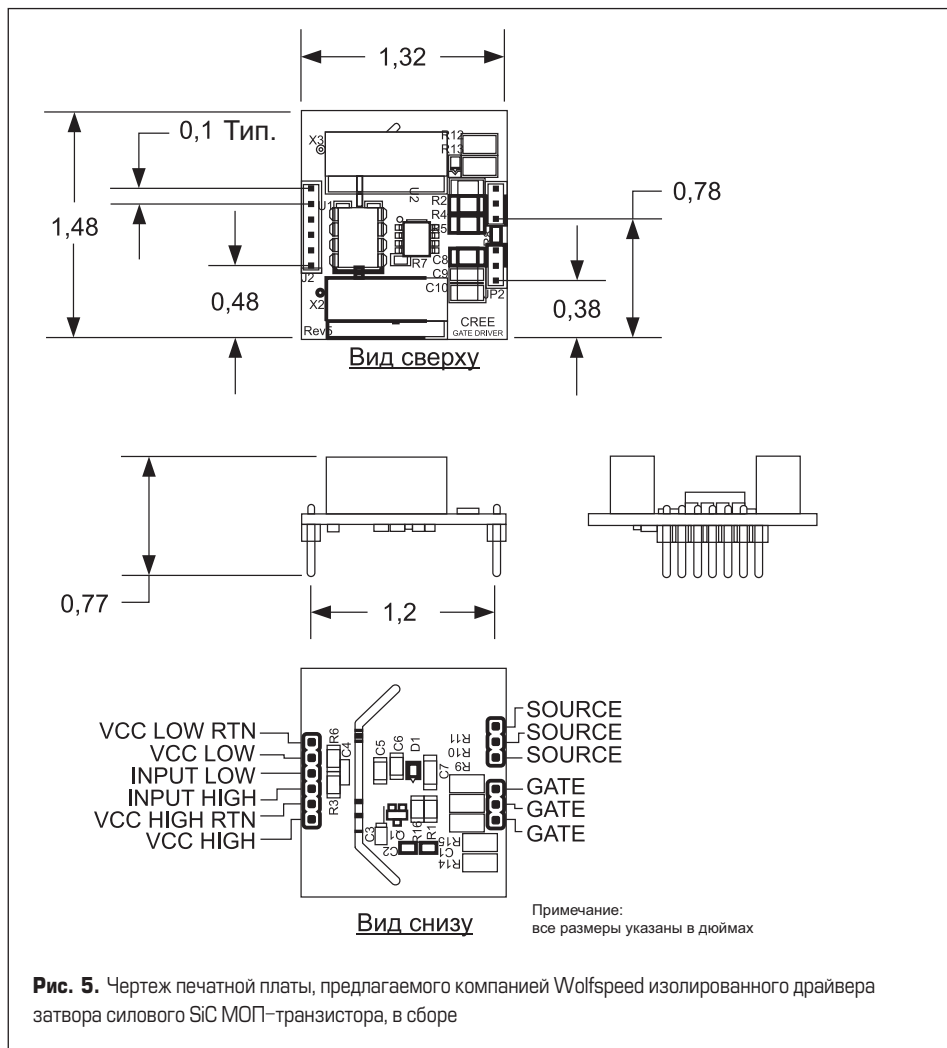


Рис. 5. Чертеж печатной платы, предлагаемого компанией Wolfspeed изолированного драйвера затвора силового SiC МОП-транзистора, в сборе

Таблица. Перечень элементов для изолированного драйвера затвора силового SiC МОП-транзистора

№ п/п	Кол-во	Поз.	Тип/номинальное значение	Рекомендованный производитель	Номер для заказа по каталогу производителя
1	3	C1, C2, C3	Керамический многослойный конденсатор X5R 0603 1 мкФ, 25 В	AVX	06033D105MAT2A
2	1	C4	Керамический многослойный конденсатор 0805 устанавливается по необходимости		
3	2	C5, C6	Керамический многослойный конденсатор X7R 0805 100 нФ, 50 В	Kemet	C0805C104K5RACTU
4	1	C7	Керамический многослойный конденсатор X5R 1206 4,7 мкФ, 50 В	Kemet	C1206C475K5PACTU
5	1	C8	Керамический многослойный конденсатор 10 нФ 50 В, NP0 1210	Kemet	C1210C103J5GACTU
6	1	C9	Керамический многослойный конденсатор 100 нФ 50В, X7R 1206	Kemet	C1206C104K5RACTU
7	1	C10	Керамический многослойный конденсатор 10 мкФ, 16В X5R 1210	Kemet	C1210C106K4PACTU
8	1	D1	Стабилитрон MMSZ5248B7-F 18 В, 500 мВт, SOD123	Diodes Inc.	MMSZ5248B-7-F
9	1	D2	Диод, SOD-123AC устанавливается по необходимости		
10	2	JP1, JP2	Трехконтактный, обрезан по длине	Sullins Connector Solutions	PBC36SAAN
11	1	J2	Шестиконтактный, обрезан по длине	Sullins Connector Solutions	PBC36SAAN
12	1	Q1	Транзистор DXT2222A	Diodes Inc.	DXT2222A-13
13	1	R1	Резистор 10 кОм, 1/8 Вт, 5% 0805	Vishay/Dale	CRCW080510K0JNEA
14	3	R2, R4, R5	Резистор, 20 Ом, 1/3 Вт, 5% 1210	Vishay/Dale	CRCW121020R0JNEA
15	7	R9-R15	Резистор 1210 устанавливается по необходимости		
16	2	R3, R6	Резистор, 620 Ом, 1/8 Вт, 5% 0805	Vishay/Dale	CRCW0805620R0JNEA
17	2	R7, R8	Резистор, 47 кОм, 1/10 Вт, 5% 0603	Vishay/Dale	CRCW060347K0JNEA
18	1	R16	Резистор, 10 кОм, 1/8 Вт, 5% 0805	Vishay/Dale	CRCW08050000Z0EA
19	1	U1	Оптрон ACPL-4800300E	Avago	ACPL-4800-300E
20	1	U2	Драйвер затвора IXDN609SI	IXYS	IXDN609SI
21	1	X2	DC/DC-преобразователь RP-1205S	Recom	RP-1205S
22	1	X3	DC/DC-преобразователь RP-1212D	Recom	RP-1212D

статьи драйвера, вариант которого поставляется компанией Wolfspeed под каталожным номером CRD-001 [6], а на рис. 5 приведены чертежи печатной платы, габариты которой составляют всего лишь 37,6×33,5×19,6 мм. Увеличение воздушного зазора достигается с помощью канавки на печатной плате. Часть компонентов это, элементы C4, D2 и R9-R15 изначально не установлены, так как они предназначены для достижения необходимой гибкости при конфигурировании выходной схемы драйвера под конкретный исследуемый силовой SiC МОП-транзистор.

**CRD-0001. Изолированный драйвер затвора SiC МОП-транзисторов, основные технические характеристики**

- Электрическая прочность изоляции — 1700 В
- Выход — шесть контактов (штыревой разъем)
- Пиковый выходной ток — 9 А
- Число каналов управления — 1
- Максимально допустимая скорость нарастания синфазной помехи  $dv/dt$  — до 30 кВ/мкс
- Габариты платы: 33,5×37,6 мм
- Доступен полный комплект конструкторской документации.

### Заключение

Достоинством предлагаемого компанией Wolfspeed решения изолированного драйвера, предназначенного для оперативной оценки поведения силовых SiC МОП-транзисторов в разных режимах управления, являются DC/DC-преобразователи без стабилизации их выходного напряжения. Это позволяет легко и просто устанавливать необходимые уровни отпирающего и запирающего силовой транзистор напряжения относительно «земли». Уровень положительного напряжения устанавливается по входу VCC HIGH относительно контакта VCC HIGH RTN, а низкого (отрицательного) — по входу VCC LOW относительно контакта VCC LOW RTN. Процедура состоит в том, чтобы наблюдать выходной сигнал платы драйвера затвора с помощью осциллографа и регулировать уровни VCC HIGH и VCC LOW, пока желаемый результат не будет достигнут.

Использование предлагаемого компанией Wolfspeed универсального изолированного драйвера силовых SiC МОП-транзисторов позволит исследовать и отладить на прототипе их управление, что откроет возможности для разработки

оптимального решения и сэкономит время и деньги при проектировании конечного продукта. ■

### Литература

1. SiC MOSFET Isolated Gate Драйвер, Cree, Inc. CPWR-AN10, REV-C. [www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/151/product/0/sic\\_mosfet\\_isolated\\_gate\\_driver.pdf](http://www.wolfspeed.com/downloads/dl/file/id/151/product/0/sic_mosfet_isolated_gate_driver.pdf)
2. IXD\_609 9-Ampere Low-Side Ultrafast MOSFET Drivers, 2017, IXYS Integrated Circuits Division. [www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/IXD\\_609.pdf/\\$file/IXD\\_609.pdf](http://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/IXD_609.pdf/$file/IXD_609.pdf)
3. ACPL-4800-000E High CMR Intelligent Power Module and Gate Drive Interface Optocoupler. [www.broadcom.com/products/optocouplers/industrial-plastic/ipm-interfaces/acpl-4800-000e](http://www.broadcom.com/products/optocouplers/industrial-plastic/ipm-interfaces/acpl-4800-000e)
4. RP 1 Watt SIP7 Single and Dual Output. REV.: 6/2019, RECOM. [www.recom-power.com/pdf/Econoline/RP.pdf](http://www.recom-power.com/pdf/Econoline/RP.pdf)
5. RxxP2xx 2 Watt SIP7 Single and Dual Output. REV.: 6/2018, RECOM. [www.recom-power.com/pdf/Econoline/RxxP2xx.pdf](http://www.recom-power.com/pdf/Econoline/RxxP2xx.pdf)
6. CRD-001 Gate Driver Board for 2nd Generation (C2M) MOSFETs. [www.wolfspeed.com/crd-001](http://www.wolfspeed.com/crd-001)