

# Управление SiC MOSFET

## с помощью драйверов затвора с оптической развязкой ACPL-W346 и ACPL-339J

**В статье описаны основные принципы использования драйверов затворов с оптической развязкой для управления MOSFET из карбида кремния.**

**Александр Зейников**

alexander.zeynikov@broadcom.com

### Введение

В последние годы силовые полупроводниковые компоненты из карбида кремния (SiC) получают все большее распространение на рынке электронных устройств. Это обусловлено в первую очередь тем, что данные компоненты обладают рядом преимуществ перед обычными полупроводниками на основе кремния. Например, использование MOSFET из SiC вместо кремниевых аналогов способно повысить общую эффективность системы более чем на 10%, а более высокая коммутационная способность данных транзисторов позволяет уменьшить общий размер решения и его стоимость. Технологические преимущества в совокупности с более низкой ценой привели к распространению SiC-полупроводников в приложениях управления двигателями, промышленных источниках питания, системах преобразования энергии от возобновляемых источников и многих других решениях.

Драйверы управления затвором с оптической развязкой компании Broadcom оптимальны для использования в совокупности с полупроводниками на основе кремния, такими как IGBT и MOSFET. Оптическая развязка позволяет обеспечить высокий уровень изоляции между высоковольтной частью и системой управления транзистором, а высокая устойчивость к синфазному шуму — предотвратить их ошибочное переключение во время работы на высоких частотах.

### Преимущества SiC MOSFET

Карбид кремния (SiC) представляет собой соединение из кремния и углерода с шириной запрещенной зоны 3,2 эВ. Транзисторы, изготовленные из этого материала, помимо способности работать при высоких значениях напряжения, частоты и температуры, имеют сопротивление на входе и заряд затвора на порядок ниже, чем у их кремниевых аналогов. Компания Cree Inc., ведущий производитель SiC-компонентов, провела сравнение характеристик транзистора MOSFET второго поколения

(1200 В/20 А) из карбида кремния и его кремниевый аналог 1200 В/40 А IGBT при использовании их в качестве переключателей в импульсном повышающем DC/DC-преобразователе 10 кВт. Результаты сравнения показали, что MOSFET на основе SiC выдавал КПД, равный 99,3% при частоте переключения 100 кГц, что на 18% больше по сравнению с лучшими показателями, выдаваемыми IGBT при работе на частоте 20 кГц.

Не так давно компания Cree выпустила новое семейство C2M MOSFET на основе карбида кремния, которое содержит решения на 1200 и 1700 В. Семейство C2M обладает высокой конкурентоспособностью и подходит для широкого спектра применений. Cree удалось значительно снизить стоимость транзисторов по сравнению с предыдущим поколением, увеличить КПД, снизить значение сопротивления сток-исток открытого канала ( $R_{ds(on)}$ ), увеличить максимальное значение частоты переключения и уменьшить размер самого транзистора. Кроме того, высокое значение КПД и низкие потери на переключение позволяют уменьшить размер радиатора охлаждения или перейти от активного охлаждения (с помощью вентиляторов) к пассивному. Меньший размер транзисторов и радиатора охлаждения помогает значительно сократить размеры конечной системы. Хотя сам по себе транзистор из карбида кремния имеет более высокую стоимость, чем его кремниевый аналог, общая стоимость спецификации конечного решения, как правило, оказывается ниже примерно на 20%.

### Рынок решений SiC MOSFET

Компоненты на основе карбида кремния получили широкое распространение в качестве замены кремниевым аналогам. Более 30 компаний по всему миру создали собственные линейки компонентов из SiC, а многие производители готовых решений — преобразователей, инверторов и других силовых модулей — нацелены на расширение использования SiC-компонентов в своих приложениях.

Одними из первых активное применение SiC-полупроводников начали изготовители солнечных инверторов и серверных источников питания, что стало во многом возможным благодаря высокому значению КПД этих компонентов. В 2013 году ведущие европейские производители солнечных инверторов REFU, SMA и Delta анонсировали новые модели устройств с использованием SiC-компонентов. В том же году научнотехнический журнал Photon провел оценку инверторов компании SMA и отметил, что КПД устройств с использованием SiC-полупроводников увеличился с 98 до 99%, а вес решений снизился на 30% по сравнению с аналогичными инверторами, имеющими в своем составе кремниевые IGBT. Производство SiC-полупроводников будет наращиваться с каждым годом, увеличивая доступность этих компонентов и повышая общий уровень напряжения в использующих их системах, а также снижая стоимость их изготовления. В итоге компоненты на основе карбида кремния найдут применение в решениях по управлению двигателями, источниках бесперебойного питания для железнодорожного транспорта, гибридных транспортных средствах и многих других приложениях.

Драйверы затвора с оптической развязкой от Broadcom отлично показали себя в качестве драйверов для управления IGBT на основе кремния. В данной же статье описывается, как проведенные улучшения драйверов позволяют использовать их для управления SiC MOSFET-транзисторами.

### Драйверы с оптической развязкой для управления SiC MOSFET

Компания Broadcom тесно сотрудничает с лидером рынка SiC Cree Inc., что позволяет ей разрабатывать драйверы затворов с оптической развязкой для управления SiC MOSFET, удовлетворяющие всем современным стандартам и требованиям. Ниже приведена оценка работы драйверов ACPL-W346 и ACPL-339J для управления SiC MOSFET поколения C2M компании Cree в DC/DC-преобразователе 8A SEPIC на частоте 100 кГц. Драйверы управления затвором показали полное соответствие требованиям по КПД от Cree, составляющим 98% (рис. 1).

Для соответствия требованиям по уровню потерь на переключение SiC MOSFET от Cree драйвер затвора должен быть способен выдавать высокий выходной ток и напряжение с высокой скоростью нарастания. На рис. 2 показаны скорость нарастания и спада сигнала с напряжением 20 В на транзисторе SiC MOSFET под управлением драйвера затвора с оптической развязкой ACPL-W346. Эффективность управления SiC MOSFET напрямую зависит от скорости нарастания сигнала.

ACPL-W346 представляет собой драйвер управления затвором с оптической развязкой для управления SiC MOSFET при высоком значении напряжения шины. Главной особенностью драйвера является скорость на-

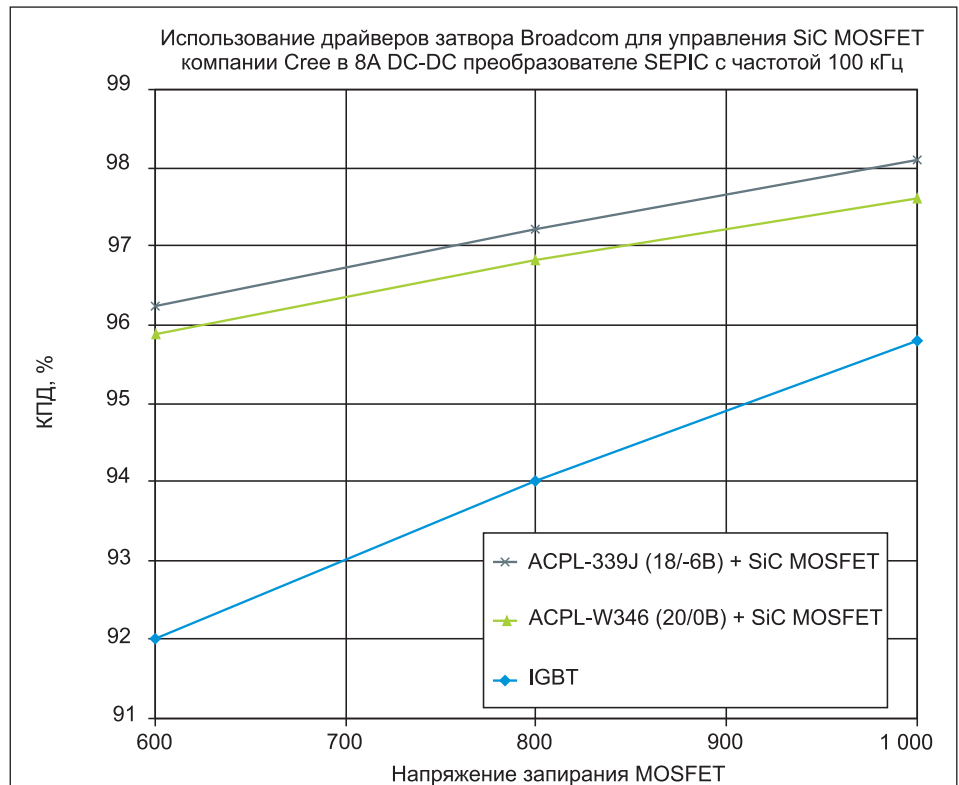


Рис. 1. Значение КПД при использовании драйверов затвора Broadcom для управления SiC MOSFET Cree в DC/DC-преобразователе 8A SEPIC с частотой 100 кГц

растания и спада сигнала: время нарастания/спада составляет около 10 нс — это самое низкое значение в классе данных устройств. Максимальная задержка распространения ACPL-W346 достигает 120 нс, а максимальный выходной ток равен 2,5 А.

Еще одна особенность драйверов ACPL-W346 — высокое значение коэффициента ослабления синфазного сигнала (CMR), равное 100 кВ/мкс, что позволяет проводить безошибочные переключения в средах с высоким уровнем шума и работе на высокой

частоте. Использование ACPL-W346 в совокупности с токовым буфером помогает организовать быстрое переключение SiC MOSFET с низкими потерями. Если в старых схемах для управления MOSFET был предусмотрен драйвер со специально разработанной для этого схемой, то решение на основе ACPL-W346 и токового буфера значительно упрощает разработку схемы и уменьшает стоимость конечного устройства. На рис. 3 приведен пример схемы управления SiC MOSFET при помощи драйвера ACPL-W346.



Рис. 2. Профиль сигнала на SiC MOSFET под управлением ACPL-W346

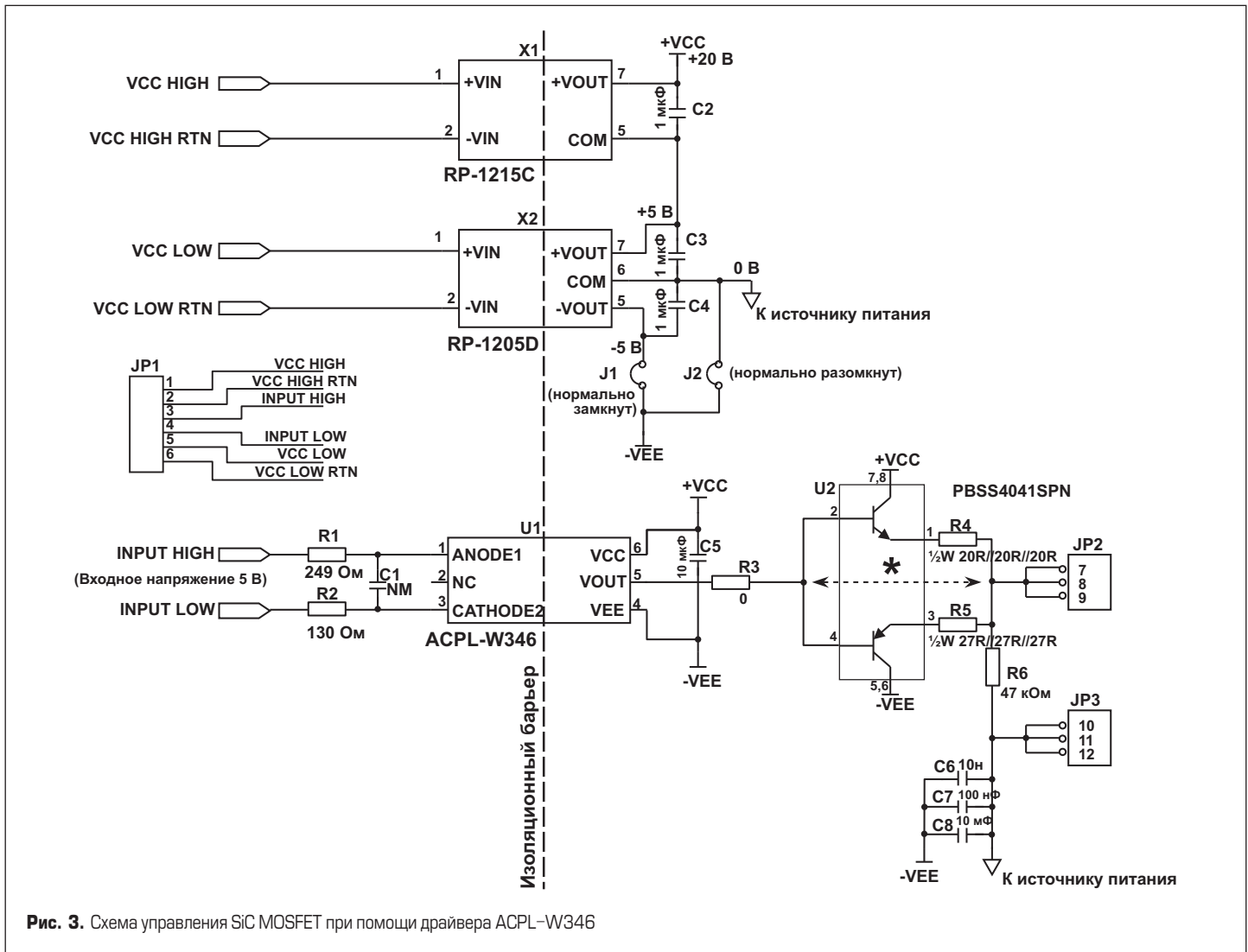


Рис. 3. Схема управления SiC MOSFET при помощи драйвера ACPL-W346

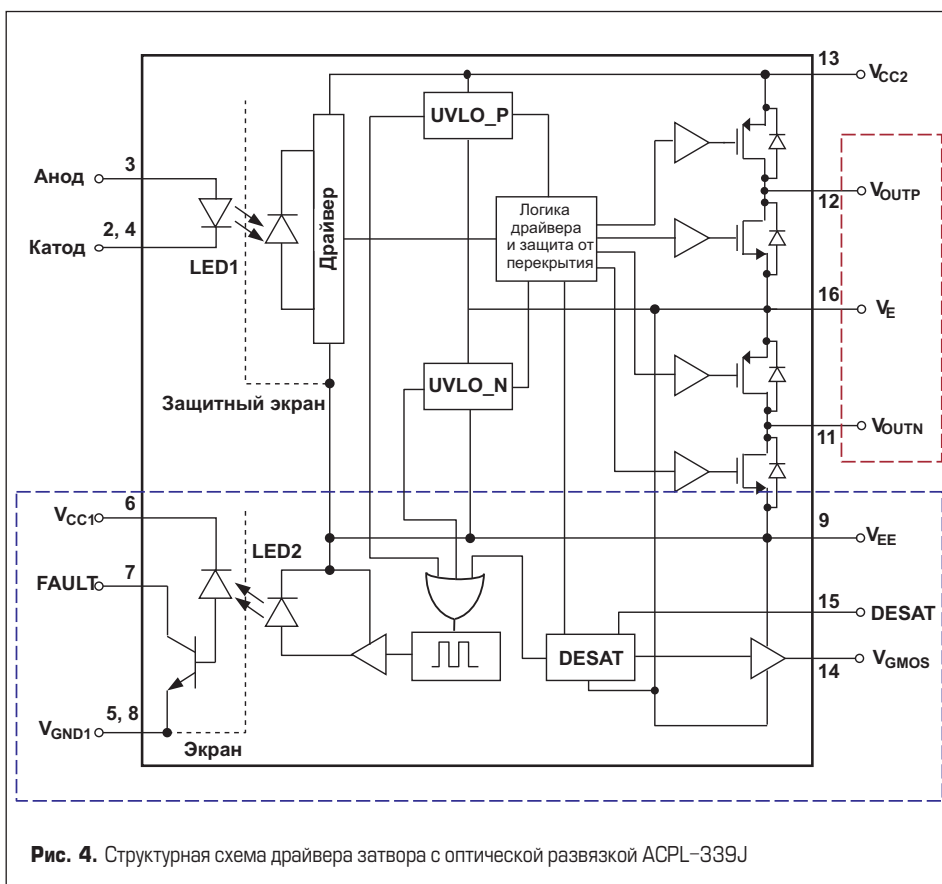


Рис. 4. Структурная схема драйвера затвора с оптической развязкой ACPL-339J

### Управление и защита SiC MOSFET

ACPL-339J — это «умная» (smart) микросхема драйвера затвора с оптической развязкой, позволяющая управлять транзисторами SiC MOSFET и обеспечивать должную защиту решениями за счет высокого уровня изоляции.

На рис. 4 показана структурная схема драйвера ACPL-339J с функцией защиты от короткого замыкания и обратной связи, область которой выделена синим цветом.

Область, выделенная красным цветом, отображает выходы микросхемы ACPL-339J, которая является первым в отрасли драйвером с поддержкой буферов MOSFET. ACPL-339J, оптимизированный для управления буферным каскадом MOSFET как через high-side, так и через low-side, имеет минимальный выходной пиковый ток 1 А. Кроме того, ACPL-339J имеет интегрированную схему управления синхронизацией, которая предотвращает перекрестную проводимость и сводит к минимуму потери на переключение буферов.

Основная причина использования буферов MOSFET (созданных на базе PMOS- и NMOS-транзисторов) заключается в том, что они представляют собой устройства с контролируемым напряжением. MOSFET способен переключаться с высокой скоростью по мере достижения номинального порогового зна-

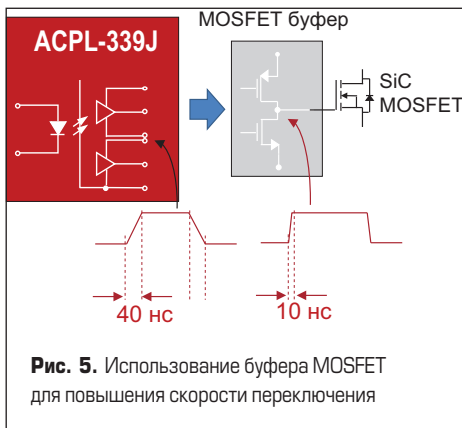


Рис. 5. Использование буфера MOSFET для повышения скорости переключения

чения напряжения (обычно 1 В), а применение буферов позволяет MOSFET не зависеть от скорости переключения драйвера затвора (рис. 5).

На рис. 6 показан сигнал на затворе SiC MOSFET под управлением ACPL-339J с двунаправленным профилем. Двунаправленный сигнал с высокой скоростью нарастания и спада необходим для эффективного переключения SiC MOSFET.

Как уже упоминалось, драйвер затвора ACPL-339J имеет встроенную функцию защиты от короткого замыкания: напряжение сток-исток SiC MOSFET контролируется на протяжении всего режима работы. При возникновении короткого

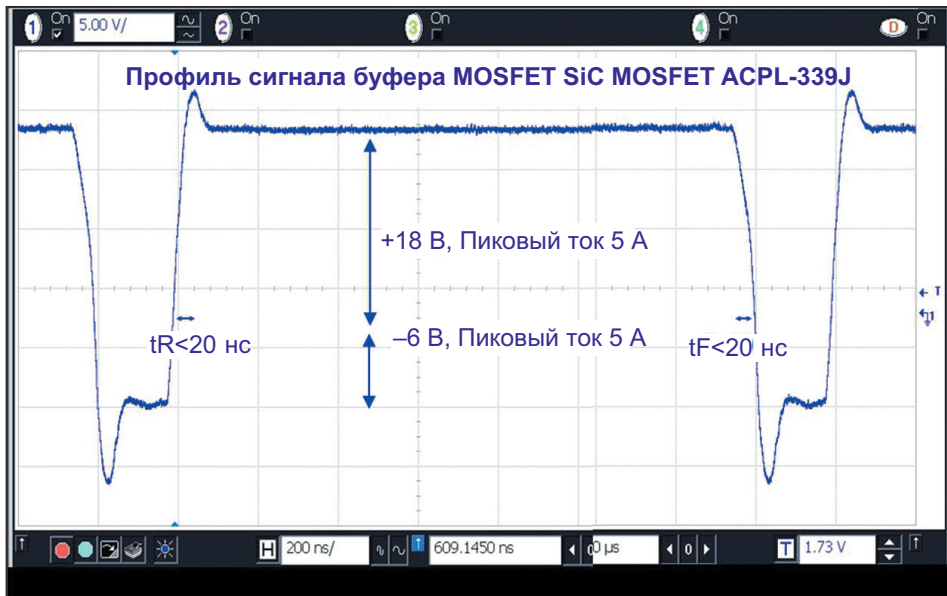
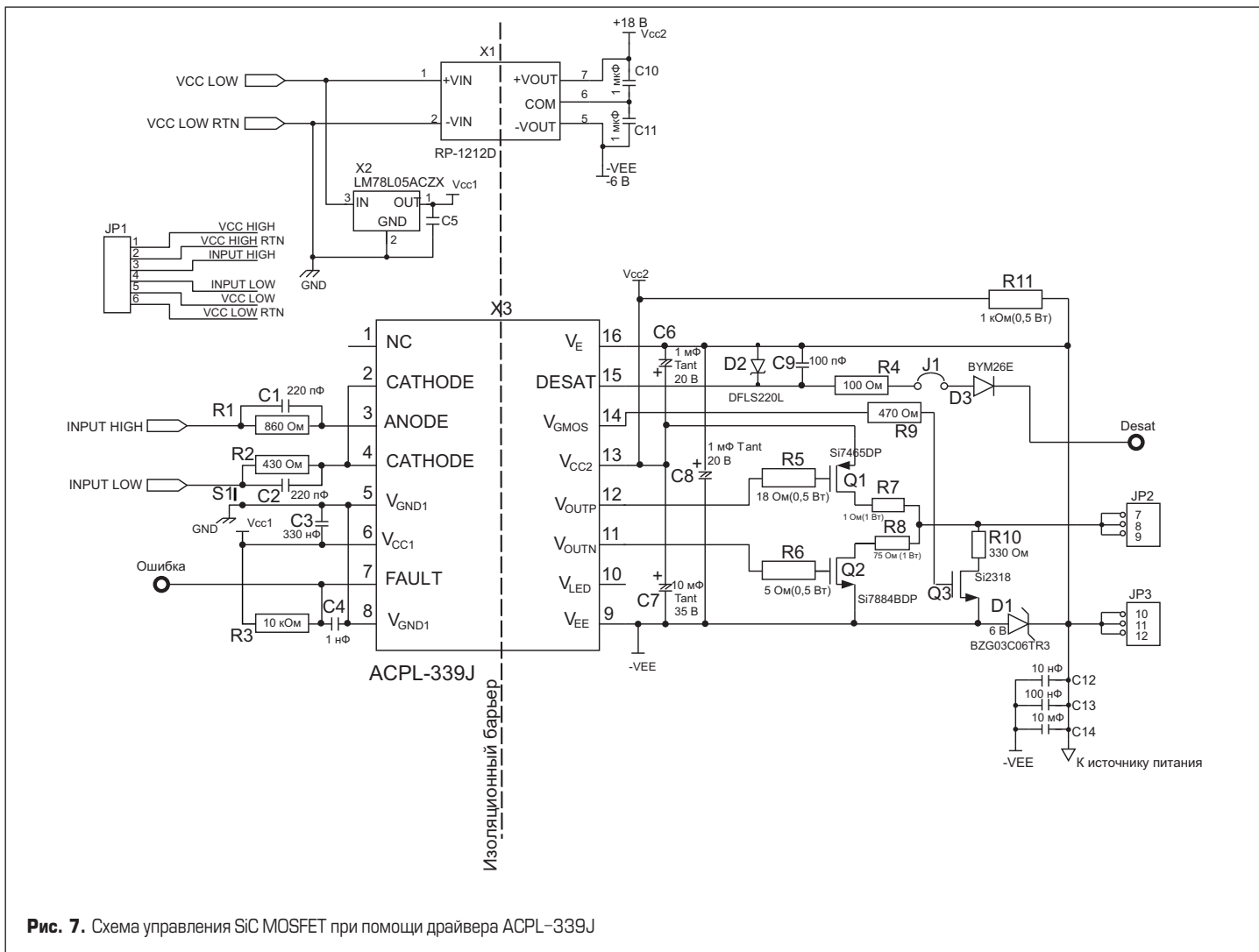
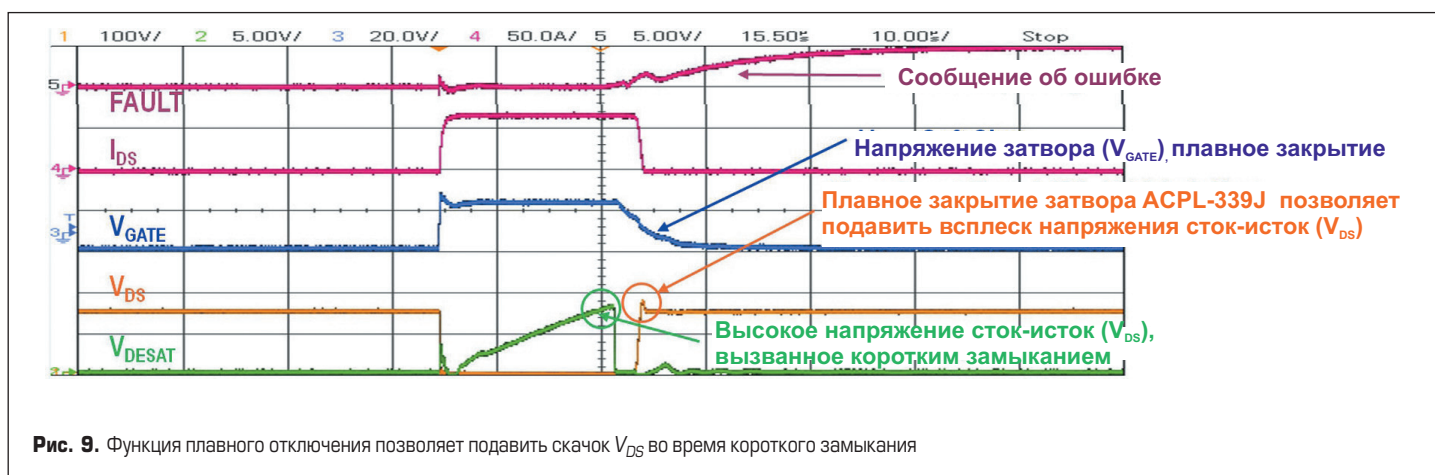
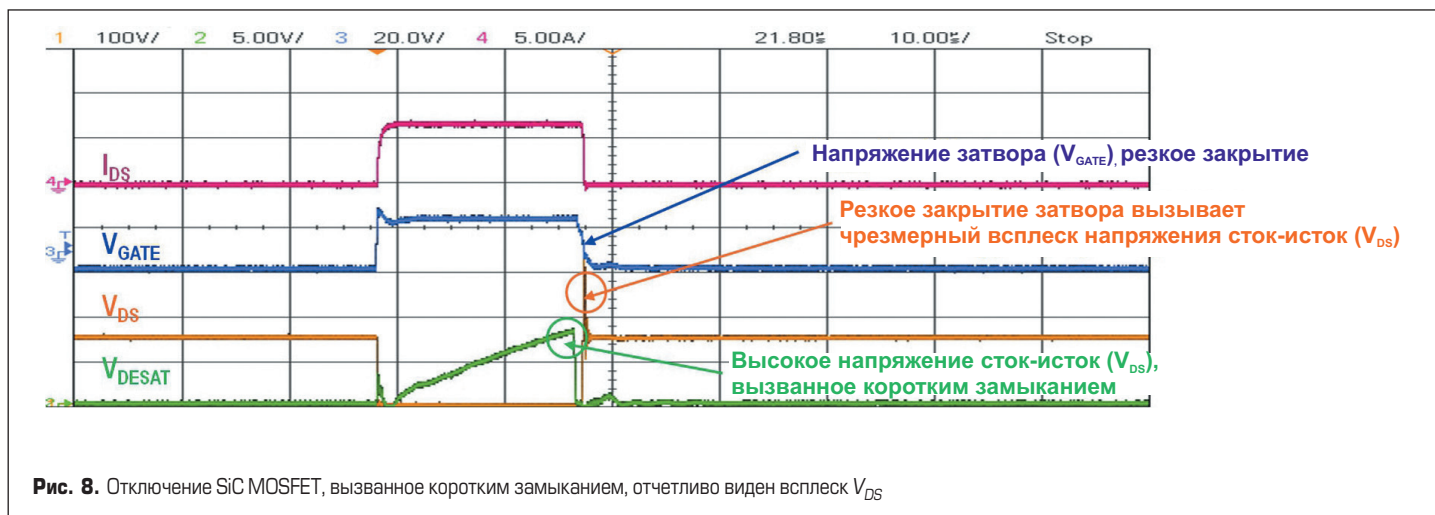


Рис. 6. Профиль сигнала буфера MOSFET SiC MOSFET под управлением ACPL-339J

замыкания через SiC MOSFET протекает большой ток, что приводит к быстрому увеличению напряжения сток-исток. Как только величина этого напряжения пересекает пороговое значение драйвера затвора ACPL-339J, равное 8 В, регистрируется ошибка короткого замыкания и запускается плавное отключение транзистора:

вывод V<sub>GMOS</sub> ACPL-339J активирует внешний транзистор, через который произойдет разрядка SiC MOSFET и его закрытие. Завершающим этапом алгоритма защиты является подача сообщения о наличии неисправности в системе через неизолированный канал обратной связи на центральный контроллер.





Опасность короткого замыкания заключается в возникновении высокого напряжения, которое может превысить напряжение пробоя SiC MOSFET и вывести его из строя, а также нанести вред другим компонентам. Применение ACPL-339J с функцией плавного отключения для управления затвором SiC MOSFET сводит к минимуму риск возникновения подобного перенапряжения. Скорость плавного отключения можно регулировать с помощью внешнего резистора и транзистора MOSFET (Q3 и R10 на рис. 7).

На рис. 8 представлен процесс возникновения перенапряжения SiC MOSFET при отключении в результате короткого замыкания. На рисунке также показано напряжение

сток-исток транзистора, напряжение шины имеет низкое значение для предотвращения чрезмерного повреждения SiC MOSFET в ходе эксперимента.

На рис. 9 видно, как можно подавить скачок напряжения на сток-исток транзистора во время короткого замыкания с помощью функции плавного отключения.

### Литература

1. Dr. Allen S. Silicon Carbide MOSFETs for High Powered Modules. Cree Inc., 19 March 2013.
2. Liu J., Wong K. L., Allen S., Mookken J. Performance Evaluations of Hard-Switching

Interleaved DC/DC Boost Converter with New Generation Silicon Carbide MOSFETs. Cree Inc., 2013.

3. SiC Market 2013. I-Micronews, 25 May, 2013.
4. Avron A. Overview of Wide Band Gap semiconductors in power electronics. YOLE Développement, 17 April 2013.
5. ACPL-P346 and ACPL-W346 2.5 Amp Output Current Power & SiC MOSFET Gate Drive Optocoupler with Rail-to-Rail Output Voltage in Stretched SO6 Package. Broadcom, AV02-4078EN.
6. ACPL-339J Dual-Output Gate Drive Optocoupler Interface with Integrated DESAT Detection, FAULT and UVLO Status Feedback. Broadcom, AV02-3784EN.