

КОМПАКТНЫЙ ИЗОЛИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДРАЙВЕРОВ ЗАТВОРОВ SiC MOSFET С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ КАНАЛОМ

ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПАНИИ WÜRTH ELEKTRONIK

В статье рассматривается оптимальная схема вспомогательного изолированного источника питания, обеспечивающего питание драйверов SiC MOSFET.

ВВЕДЕНИЕ

По мере дальнейшего распространения высоковольтных силовых полупроводниковых компонентов, построенных по карбидкремниевой (SiC) технологии и работающих на частотах переключения выше 100 кГц, ужесточаются требования к управлению их затворами. Помимо требований обеспечить биполярное, положительное и отрицательное управляющие напряжения для драйверов затвора и требований к ЭМС, необходимо учитывать дополнительные ограничения, касающиеся защитной изоляции между стороной высокого напряжения и стороной безопасного очень низкого напряжения (SELV).

Кроме того, от многих приложений требуются небольшие массогабаритные показатели при невысокой стоимости. Оптимальная конструкция изолированного вспомогательного источника питания, обеспечивающего напряжение и ток для управления SiC MOSFET, имеет решающее значение в том, чтобы полноценная система драйверов затвора удовлетворяла требованиям современных SiC-приложений.

ТРЕБОВАНИЯ К УПРАВЛЕНИЮ ЗАТВОРОМ SiC MOSFET

Для полного включения SiC MOSFET обычно требуется, чтобы напряжение на затворе равнялось 15 В и -4 В – для

надежного выключения. Эти величины могут незначительно отличаться в зависимости от производителя устройства. На рисунке 1 показана конфигурация полумоста. Каждому SiC MOSFET требуется независимый каскад драйвера затвора с собственным изолированным источником вспомогательного напряжения. Эти каскады не только обеспечивают независимое управление каждым SiC MOSFET, но и сохраняют небольшую площадь контура тока затвора, сводя к минимуму неблагоприятные эффекты паразитной индуктивности контура и помех заземления, вызванные очень высокими значениями dI/dt при коммутации. В противном случае эти нарушения могут привести к неконтролируемому включению и выключению SiC-прибора, а также к увеличению коммутационных потерь, что отрицательно скажется на рабочих характеристиках и надежности приложения.

ТРЕБОВАНИЯ К ИЗОЛИРОВАННОМУ ИСТОЧНИКУ ПИТАНИЯ ДРАЙВЕРА ЗАТВОРА ДЛЯ SiC MOSFET

В высоковольтных приложениях, использующих SiC MOSFET в режиме жесткой коммутации, гальваническая развязка является стандартным требованием из соображений безопасности и функциональности. В зависимости от области применения используется развязка базового или усиленного вида. Традиционные изолированные схемы драйвера затвора служат изолирующим барьером («мостом»), обеспечивая гальваническую развязку. У некоторых самых новых высокомошных SiC-приборов или модулей питания суммарный заряд затвора достигает 3000 нКл. При увеличении частоты коммутации или мощности нагрузки можно ожидать, что система драйвера обеспечит мощность 6–10 Вт в наиболее тре-

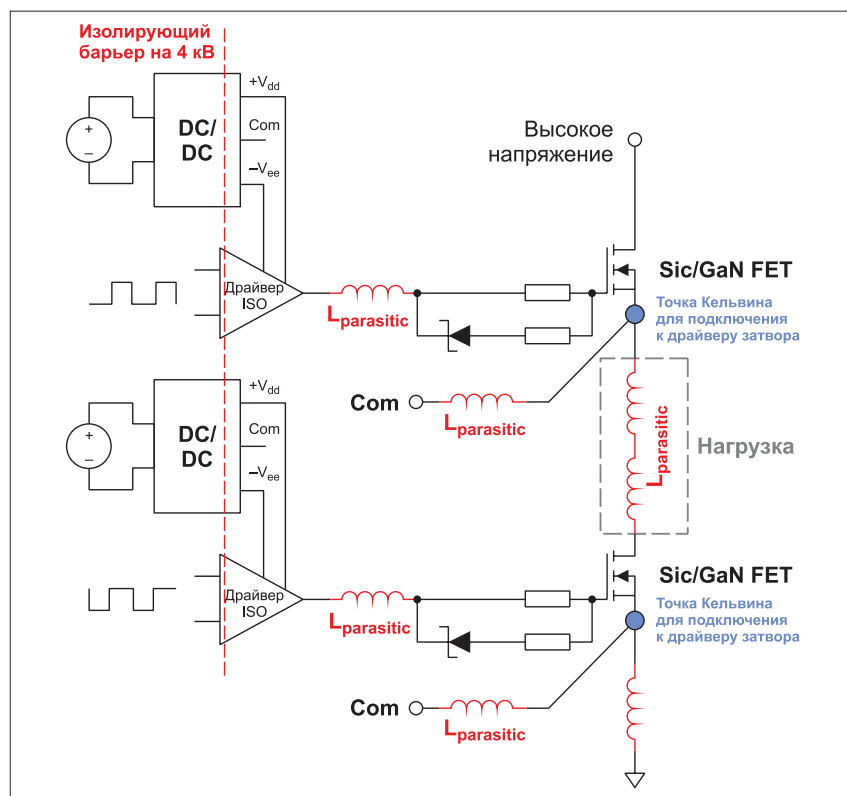


Рис. 1. Полумостовая топология SiC MOSFET с выделенными паразитными индуктивностями

бывательных современных и будущих приложениях.

Критическим параметром изолированного DC/DC-преобразователя является паразитная емкость C_p между двумя сторонами. Она возникает, главным образом, из-за изолированного драйвера затвора и вспомогательного силового трансформатора. Во вспомогательном источнике питания паразитная емкость, в основном, определяется емкостью между первичной и вторичной обмотками трансформатора (т. е. межмоточной емкостью). Поскольку при переключении самых новых SiC MOSFET скорость нарастания $\Delta U/\Delta t$ составляет 100 кВ/мкс, паразитная емкость барьера величиной 10 пФ вызывает пиковый ток смещения 1 А в соответствии с уравнением (1):

$$I_p = C_p \cdot \Delta U/\Delta t, (1)$$

где I_p – ток смещения; C_p – паразитная емкость связи.

При увеличении I_p искажения управляющих сигналов, а также синфазные токи помех, которые влияют на электромагнитную совместимость (ЭМС), могут стать значительными. Паразитную емкость изолирующего барьера минимизируют, чтобы уменьшить эти неблагоприятные эффекты, позволить SiC MOSFET быстро переключаться, повысить с его помощью эффективность, улучшить тепловые характеристики и сократить размеры решения. Рекомендуется, чтобы величина C_p в источнике вспомогательного напряжения не превышала 10 пФ.

РЕШЕНИЕ WÜRTH ELEKTRONIK МОЩНОСТЬЮ ДО 6 Вт

Исходный проект высокопроизводительного изолированного вспомогательного источника питания RD001 от Würth Elektronik (см. рис. 2) отвечает указанным выше требованиям. Перечислим его основные характеристики:

- диапазон входного напряжения: 9–18 В;
- выходное напряжение: биполярное 15 В/–4 В или униполярное 15–20 В;
- мощность: до 6 Вт;
- эффективность (пик.): до 86% (83% при 6 Вт);
- паразитная емкость связи: менее 7 пФ;
- размеры более чем на 50% меньше, чем у конкурирующих аналогов (Д×Ш×В): 27×14×14 мм;
- вес: менее 4 г;
- базовая изоляция для V_{BUS} : 800 В;
- диэлектрическая прочность изоляции первичной/вторичной обмоток: 4000 В (СКЗ).

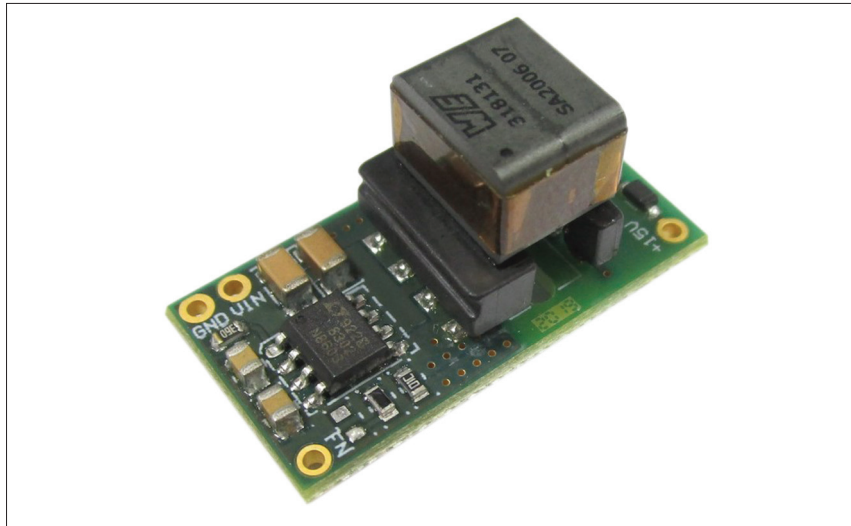


Рис. 2. Плата исходного проекта Würth Electronics для компактного изолированного DC/DC-преобразователя драйверов затворов SiC MOSFET

Помимо обратного контроллера от Analog Devices, осуществляющего регулирование по первичной стороне (PSR), ключевым компонентом этого исходного проекта является новый силовой трансформатор WE-AGDT-750318131. В нем используется компактный сердечник EP7 со специальным каркасом, оптимизированным согласно следующим требованиям:

- широкий диапазон входного напряжения: 9–36 В;
- высокий ток насыщения: 4,5 А;

- очень низкая межмоточная емкость (тип.): 6,8 пФ;
- очень низкая индуктивность рассеяния при максимальной эффективности (тип.): 270 нГн;
- готовность к SMD-монтажу Pick&Place;
- путь тока утечки и воздушный зазор (мин.): 5 мм;
- стандарты безопасности: IEC-62368-1, IEC-61558-2-16;
- диэлектрическая прочность изоляции (мин.): 4 кВ AC;

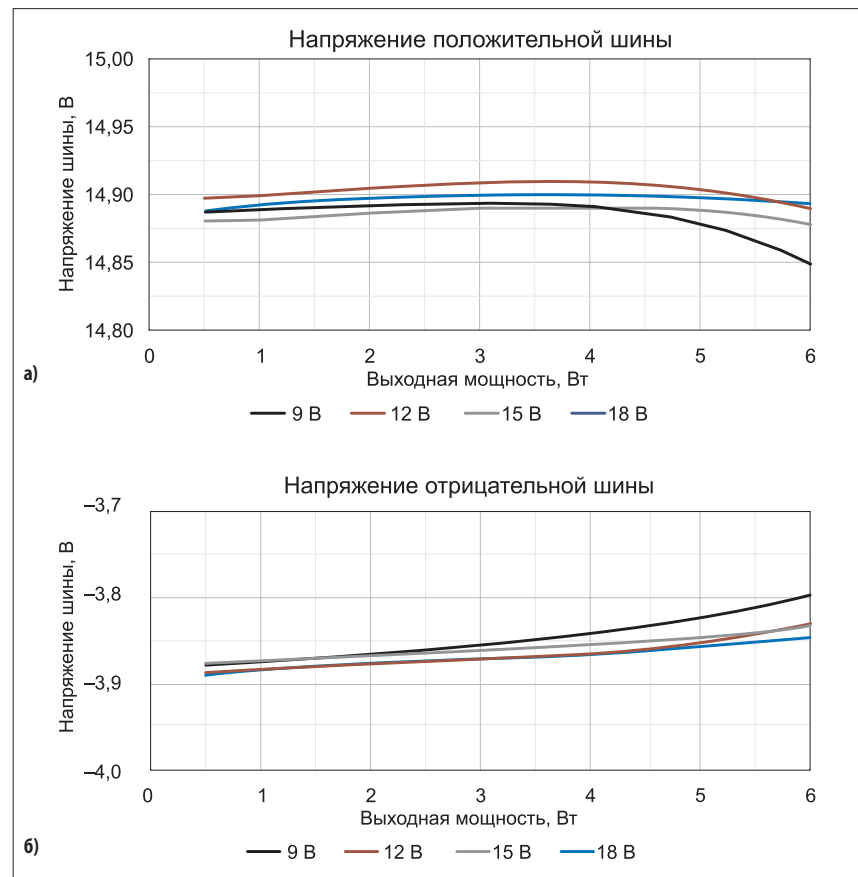


Рис. 3. Напряжение положительной и отрицательной шин в зависимости от мощности нагрузки (при $V_{in}(\text{ном.}) = 12 \text{ В}$)

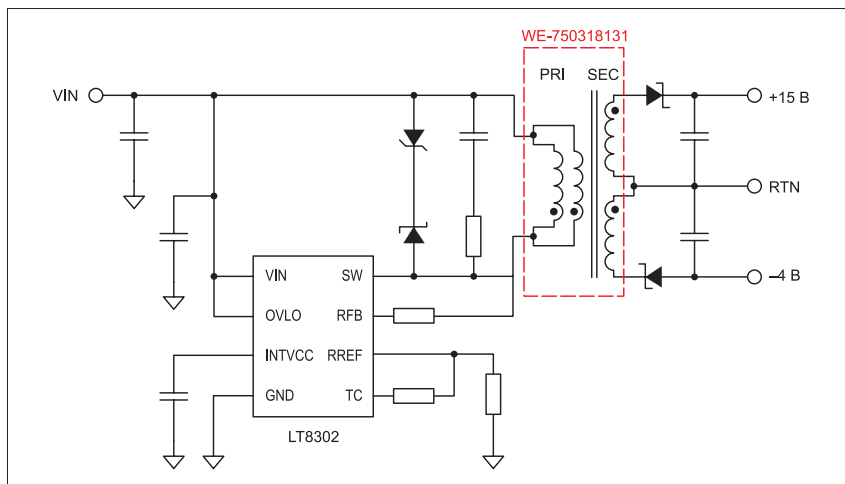


Рис. 4. Упрощенная принципиальная схема вспомогательного 6-Вт изолированного источника питания драйвера затвора SiC MOSFET

- температурный класс В: 155°C;
- квалификация: АЕС-Q200 (в процессе).

В серию WE-AGDT входят шесть трансформаторов в компактном исполнении EP7, оптимизированных под соответствующие исходные проекты. Они обеспечивают биполярное (15 В, -4 В) и однополярное напряжения (15–20 В) в диапазоне входного напряжения 9–36 В при максимальной выходной мощности до 6 Вт. Хотя они оптимизированы для SiC-приложений, эти трансформаторы можно использовать для управления IGBT и силовыми MOSFET, а также высоковольтными GaNFET при корректно реализованном стабилизирующем выходном каскаде.

На рисунке 3 показано регулирование выходного напряжения DC-DC преобразователей в зависимости от мощности нагрузки и входного

напряжения. Видно, что регулирование выходных напряжений для входного напряжения 12 В или выше очень хорошее.

Упрощенная принципиальная схема показана на рисунке 4. Поскольку в ней используется обратногоходовой преобразователь LT8302 в токовом режиме, в схеме очень мало компонентов. Выходное напряжение регулируется путем измерения отраженного вторичного напряжения на первичной стороне, благодаря чему устраняется необходимость в третьей обмотке трансформатора или оптроне для обратной связи. Контроллер обеспечивает защиту от перегрузки и короткого замыкания на выходе, что повышает надежность и устойчивость вспомогательного источника питания и минимальную мощность даже при малой нагрузке основного канала. Для поддержания требуемой точности

выходного напряжения обычно требуется менее 0,5% от полной выходной мощности, если нагрузка минимальная [1].

Трансформатор обеспечивает необходимую гальваническую развязку между низковольтной первичной стороной и высоковольтной вторичной сторонами.

ВЫВОДЫ

Новая серия трансформаторов WE-AGDT от Würth Elektronik вместе с проверенными исходными проектами позволяет легко реализовать очень компактный и эффективный вспомогательный источник питания для драйверов затворов SiC MOSFET мощностью до 6 Вт. Предлагаемая схема предусматривает два рабочих напряжения драйвера затвора, улучшенную развязку с очень низкой емкостью связи между первичной и вторичной сторонами в соответствии со строгими требованиями к ЭМС и диэлектрическую прочность изоляции не менее 4 кВ по постоянному току. Благодаря наличию биполярной и регулируемой униполярной шины выходного напряжения у разработчика имеются широкие возможности по выбору оптимального управляющего напряжения SiC MOSFET. ☺

ЛИТЕРАТУРА

1. Analog Devices data sheet. LT8302/LT8302–3. Rev. G.
2. Würth Elektronik. Reference design RD001. 6 W Isolated Auxiliary Power Supply for SiC-MOSFET Gate Driver.
3. Brander T., Gerfer A., Rall B., Zenkner H. *Trilogy of Magnetics*. 5th ed. Waldenburg, 2018.