

Изолированные DC/DC-преобразователи

для питания IGBT и полевых транзисторов на SiC

Тигран Гайказьян, к. т. н.

gt@ranet.ru

Повышение надежности транзистора в силовой электронике

Быстрые IGBT до сих пор были последним словом в области силовой электроники, сочетая в себе все лучшее от полевых и биполярных транзисторов. Сегодня полевые транзисторы на базе

карбида кремния (SiC) находят все более широкое применение в сложных условиях работы на повышенных частотах с одновременным снижением потерь на переключение и потерь проводимости. Обе технологии нуждаются в правильном управлении для обеспечения продолжительной работы без ложных срабатываний (коммутаций).

Применение IGBT- (кремниевый БТИЗ) и SiC-транзисторов (карбидокремниевый МОП-транзистор) достаточно широко распространено в силовой электронике. Это системы ветряных турбин, инверторов, систем управления электроприводом, различные системы электропитания (рис. 1).

Коммутационные потери SiC-транзистора в четыре раза ниже потерь традиционного IGBT (рис. 2). Отсутствие «хвоста» тока при отключении — ключевое преимущество SiC-транзистора, которое растет с ростом рабочей частоты переключения, что, в свою очередь, дает заметное увеличение эффективности и повышает целесообразность использования его, например, в мостовых схемах с увеличенной частотой коммутации. Так как частота работы увеличена, масса и габариты пассивных компонентов (индуктивности, конденсаторы) могут быть снижены. Поэтому, даже будучи более дорогим решением, SiC-компоненты все чаще встречаются на рынке силовой электроники.

Предотвращение ложных срабатываний

При построении схем и последующем выборе IGBT- или SiC-транзисторов разработчики зачастую слишком много времени уделяют информации из технической документации силовых ключей, пренебрегая корректной компоновкой схемы драйвера. Но, как мы знаем, «дьявол кроется в деталях» — другими словами, паразитные компоненты не показаны в документации. Для иллюстрации проблем, с которыми сталкиваются разработчики силовых схем в реальной жизни, рассмотрим следующую схему, где зеленым цветом обозначены паразитные емкости и индуктивности, оказывающие заметное влияние на режимы работы ключей (рис. 3).

Система управления силовым ключом должна быть рассчитана таким образом, чтобы избежать



Рис. 1. Высоконадежные силовые ключи компании Semelab (слева) и высокотемпературные MOSFET от компании Cissoid (справа)

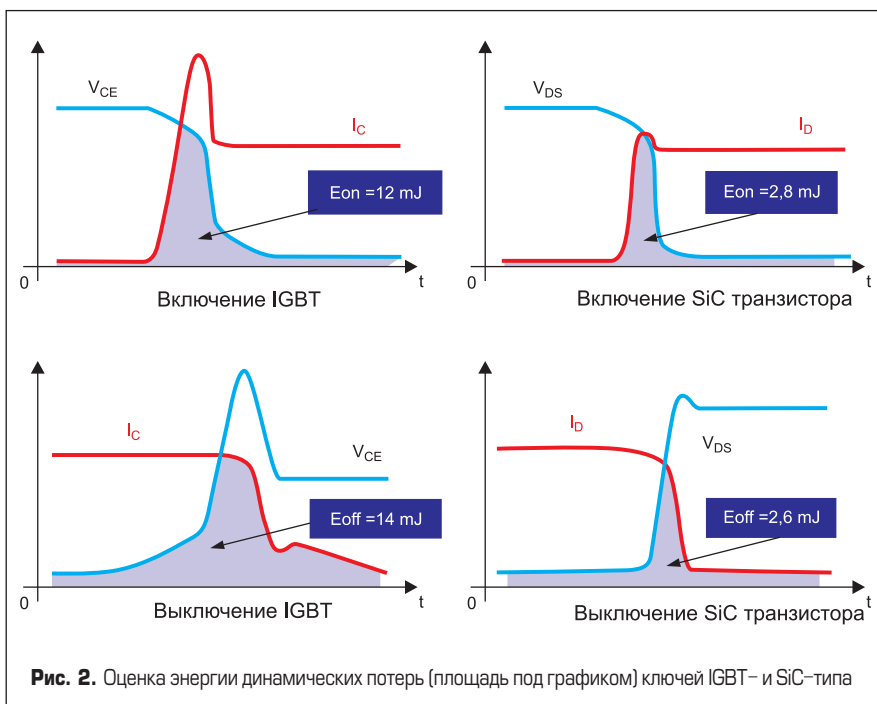


Рис. 2. Оценка энергии динамических потерь (площадь под графиком) ключей IGBT- и SiC-типа

ложных срабатываний в экстремальных ситуациях. Надо помнить, что единичные коммутации «не вовремя» могут вызывать проблемы с ЭМС, или, возможно, даже привести к выходу из строя самого силового ключа.

Основные причины возникновения ложных срабатываний силовых ключей:

- влияние входной емкости (C_{input}), а также емкости Миллера ($C_{reverse}$);
- влияние паразитной индуктивности затвора (L_{gate}) и индуктивности эмиттера ($L_{emitter}$).

Разберем первую причину. Начнем с емкости Миллера ($C_{reverse}$), которая будет заряжаться во время процесса роста напряжения коллектор–эмиттер при выключении силового ключа. Ток заряда можно оценить по следующей формуле:

$$I_{C_{reverse}} = C_{reverse} \times \frac{dU_{CE}}{dt}$$

Нюанс в том, что $C_{reverse}$ зависит не только от напряжения, но также от температуры и тока.

Зарядка $C_{reverse}$ не является проблемой до момента, пока зарядный ток емкости Миллера не начнет заряд входной емкости (C_{input}), что вызывает ложное срабатывание (рис. 4).

Ток заряда C_{input} можно рассчитать по следующей формуле:

$$I_{C_{input}} = I_{C_{reverse}} - I_{driver}$$

Ток драйвера зависит от сопротивления затвора, а также от индуктивности затвора (L_{gate}) в динамическом режиме. Последняя зависит от используемого корпуса силового ключа.

Приведем несколько приемов, призванных ограничить число ложных срабатываний, вызванных емкостью Миллера ($C_{reverse}$):

- Ограничение dU_{CE}/dt для сглаживания кривых тока I_C при включении (рис. 2).
- Побочный эффект от этого — увеличение динамических потерь на переключение.
- Уменьшение паразитной индуктивности (L_{gate}) за счет оптимизации схемы, что приводит к снижению повышения напряжения на затворе.
- Использование отрицательного напряжения затвор–эмиттер для повышения способности к отключению.

Последнее решение является самым элегантным.

Рассмотрим вторую причину: при включении ток нагрузки протекает через транзистор и, следовательно, через индуктивность эмиттера $L_{emitter}$. Процесс отключения (прерывание тока) вызовет отрицательное напряжение на $L_{emitter}$ в соответствии со следующей формулой:

$$-U = L_{emitter} \times \frac{dI}{dt}$$

Это приведет к тому, что напряжение эмиттера будет ниже значения GND, что, в свою очередь, приведет к положительному напряжению затвор–эмиттер. Превышение поро-

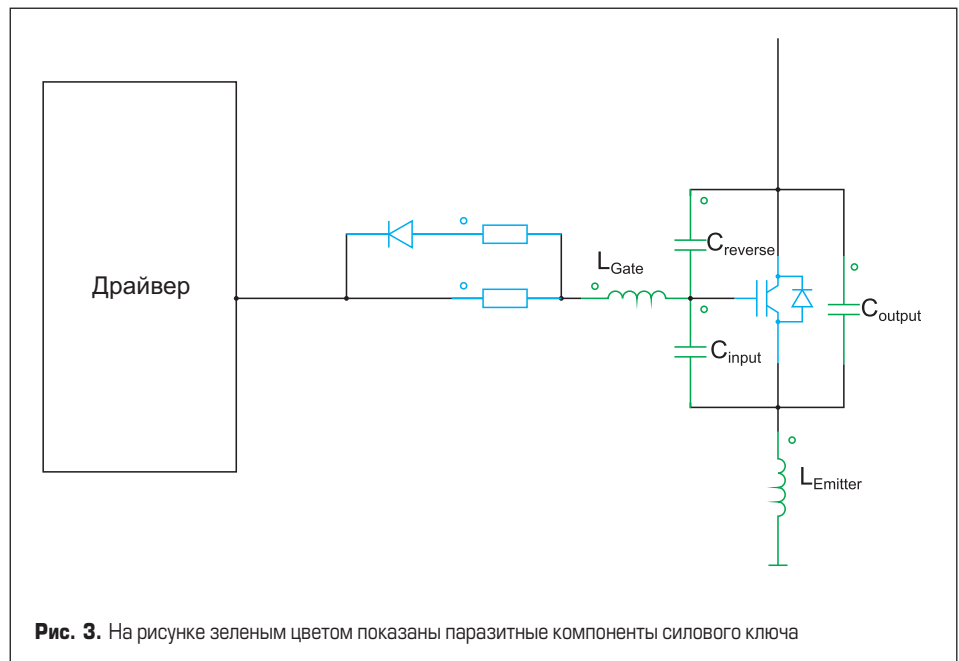


Рис. 3. На рисунке зеленым цветом показаны паразитные компоненты силового ключа

вого напряжения вызывает ложное срабатывание ключа (включение).

Некоторые решения по снижению влияния паразитных индуктивностей:

- Ограничить скорость нарастания тока, что уменьшит индуцированное напряжение между затвором и эмиттером. Но это увеличивает динамические потери.
- Уменьшить индуктивности цепи путем снижения длины дорожек (проводников).
- Использовать отрицательное напряжение затвор–эмиттер для расширения запаса прочности до порогового напряжения (затвор–эмиттер).
- Использовать изолированные драйверы и изолированные DC/DC-конвертеры. Использование драйвера, подключенного непосредственно к эмиттеру, в значительной степени снижает влияние индуктивности контура.

- Использовать драйвер с отдельными выводами для управления эмиттером (контакт Кельвина). Это может также вызвать паразитную индуктивность, но она не будет проходить через ток нагрузки и не вызовет каких-либо существенных проблем.

Изолированные DC/DC-преобразователи как лучшее решение

Как упоминалось в самом начале, динамические потери, в основном, определяются качеством управления. Поэтому драйвер требует особого внимания и расчета. Драйверы (рис. 5) непосредственно связаны с высоким потенциалом транзистора, следовательно, входные и выходные цепи должны быть тщательно изолированы. Изолированные DC/DC-преобразователи обеспечивают очень удобное решение.

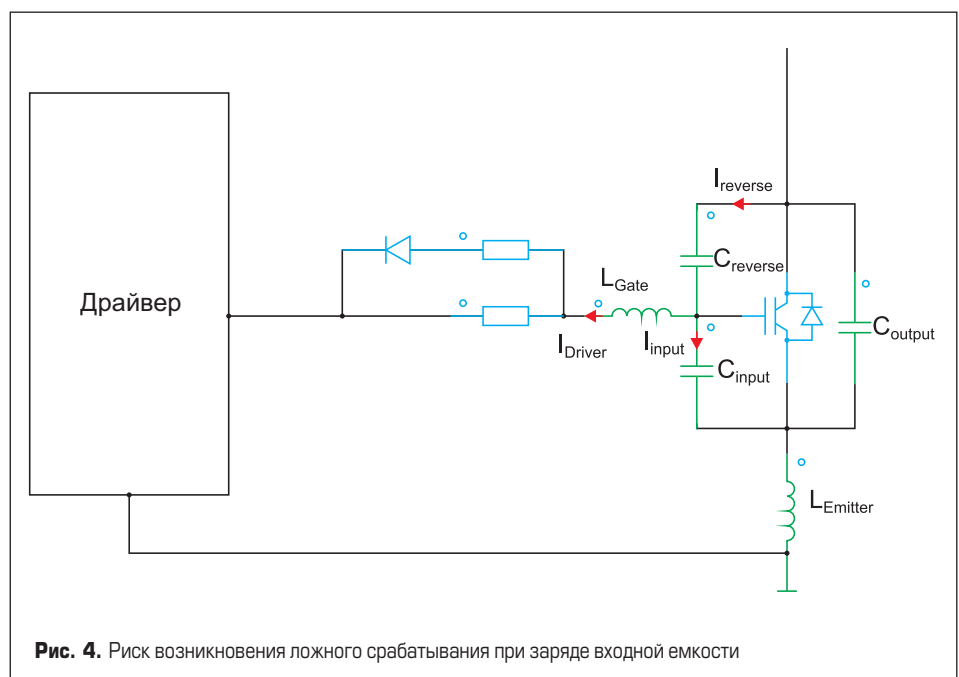


Рис. 4. Риск возникновения ложного срабатывания при заряде входной емкости

Драйверы для управления силовыми ключами должны обеспечивать положительное и отрицательное асимметричное напряжение. Так, для IGBT это пара напряжений +15 и -9 В. В технической документации к транзисторам обычно указывается напряжение между +3 и +6 В для IGBT, оно может снизиться до 1–2 В с увеличением температуры перехода. Значения +15 В созданы для более быстрого запуска в реальных приложениях.

Предотвращение ложных срабатываний, несмотря на крутые фронты во время переключения, требует отрицательного напряжения смещения на затворе, как описано выше. Значения -9 В доказали безопасность на практике. Поэтому сдвоенные изолированные DC/DC-преобразователи с асимметричными напряжениями +15 и -9 В оказались особенно пригодны в качестве драйверов IGBT (рис. 6, слева).

Уменьшение порогового напряжения за тысячи часов работы происходит на 0,2–0,3 В и остается стабильным около -5 В на затворе. Рекомендовано не использовать напряжения драйверов ниже -5 В.

Выходные характеристики SiC-транзистора показывают, что более высокие напряжения затвора (рис. 7) позволяют увеличить ток через транзистор, следовательно, исходя из вышесказанного, источник питания с напряжениями +20 и -5 В (рис. 6, справа) будет оптимальным выбором управляющего драйвера для SiC-транзистора.

Особое внимание следует уделить прочности (сопротивлению) изоляции DC/DC-преобразователя. Высокие частоты переключения, обычно от 10 до 40 кГц в IGBT и до 100 кГц для SiC, и крутые фронты (высокие скорости нарастания тока или напряжения) подвергают изоляционный барьер постоянному стрессу. Разработчики, как правило, закладывают достаточный запас прочности изоляции и используют преобразователи с максимально возможной прочностью изоляции вход/выход.

DC/AC-инверторы часто работают в условия плавающих потенциалов в несколько сотен вольт. Обычно минимальная прочность изоляции выбирается как



рис. 5. Драйверы для IGBT-ключей

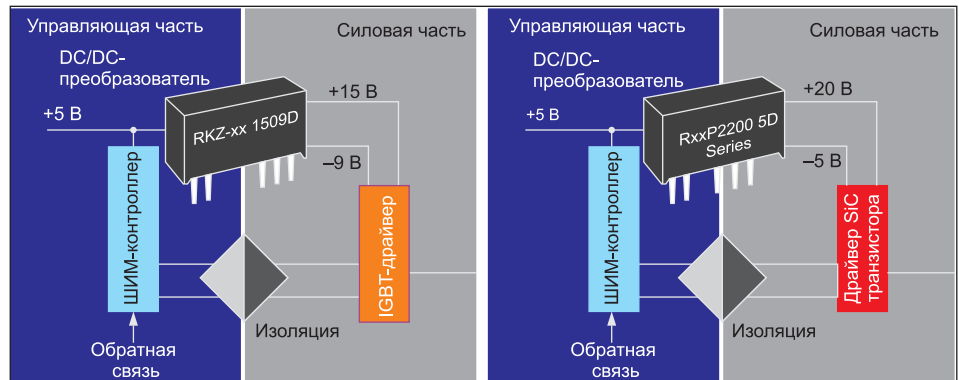


Рис. 6. Изолированные DC/DC-преобразователи +15В/-9В (RECOM RKZ1509) и +20В/-5В (RECOM RxxP22002D), разработанные для питания драйверов IGBT и SiC-FET

двойное рабочее напряжение. Принимая во внимание большую частоту переключения и высокие напряжения, требуется повышенная прочность изоляции для обе-

спечения питания драйверов. Высокая частота переключения требуется для поддержания КПД. Оптопара выступает как изолятор для управляющего сигнала, а модули



рис. 8. DC/DC-преобразователи силовых транзисторов

RECOM совмещают асимметричный выход в одном корпусе. Таким образом, модули RECOM являются простым решением для увеличения надежности и времени жизни инверторов DC/AC.

Полная линейка изолированных преобразователей для управления IGBT и SiC силовыми ключами

Компания Recom разработала семейство DC/DC-преобразователей, предназначенных для управления IGBT- и SiC-транзисторами (рис. 8).

Преобразователи обладают асимметричными выходами: для IGBT +15/-9 В и +20/-5 В для

SiC-транзисторов. Входные напряжения лежат в диапазоне 5–24 В. Мощности в 1 Вт достаточно для работы в паре с силовым ключом до частоты в 10 кГц, а если требуется работа с частотами выше 50 кГц, следует выбирать 2-Вт преобразователь. Данные преобразователи характеризуются симметричным распределением мощности по выходу. Прочность изоляции — от 3 кВ (семейство RKZ) до 5,2 кВ (семейство RxxP2xx).

Для обеспечения длительной работы в сложных условиях компания Recom в собственной лаборатории подвергает разработанные продукты тестам HALT (ускоренный тест для определения времени жизни). Гарантия на данные продукты три года. Все преобразо-

ватели изготавливаются в соответствии с директивой RoHS2 и REACH, сертифицированы в соответствии с UL 60950-1.

Компания Recom в настоящее время ведет разработку драйверов для питания транзисторов на основе нитрида галлия (GaN).

Литература

1. Recom DC/DC-Book of Knowledge.
2. www.recom-power.com/ru/emea/downloads/bok.html
3. www.recom-power.com/ru/emea/downloads/application-notes-whitepapers.html
4. ST Microelectronics SCT30N120. Datasheet.
5. Infineon IKW20N60H3. Datasheet.