

Советы по управлению затвором мощного полевого транзистора

Рэй РИДЛИ (Ray RIDLEY)
Перевод: Дмитрий ИОФФЕ
dsioffe@yandex.ru

В этой статье мы возвращаемся к основам разработки преобразователя — как включить и как выключить мощный полевой транзистор (ПТ) в современном источнике питания с DC/DC-преобразователем. На эту тему уже написано множество статей и руководств по применению, и читатель может найти их, например, в списке литературы к статье [1].

Непосредственное управление от контроллера ШИМ

В большинство современных микросхем контроллеров встроен выходной управляющий каскад. Обычно он содержит двухтактную схему на двух транзисторах. Этот выход можно использовать для непосредственного управления затвором мощного полевого транзистора, как показано на рис. 1.

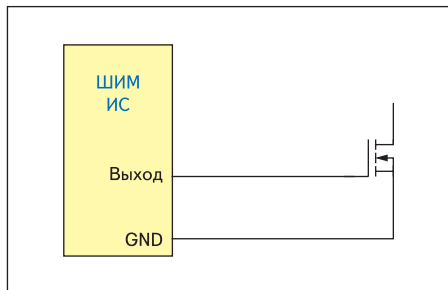


Рис. 1. Мощный ПТ управляется непосредственно от выхода контроллера ШИМ

Непосредственное подключение можно использовать в тех случаях, когда управляющая схема подключена к той же самой «земле», что и силовая часть, и уровень мощности относительно невелик.

Судя по справочным данным, ток в несколько ампер можно получить прямо с выхода контроллера ШИМ. Этого вполне достаточно для управления маломощными устройствами. Однако вход полевого транзистора имеет большую емкость. Кроме того, пытаться полностью использовать весь выходной ток контроллера, как правило, — плохая идея. Это может привести к увеличению электромагнитных помех из-за быстрого включения и выключения, непомерным потерям на обратное восстановление в выпрямителе и шумам в самом контроллере ШИМ. В результате могут возникать случайные сбои в работе и дрожание тактовой частоты.

Лучшее решение — ограничить выходной ток контроллера ШИМ при помощи схемы,

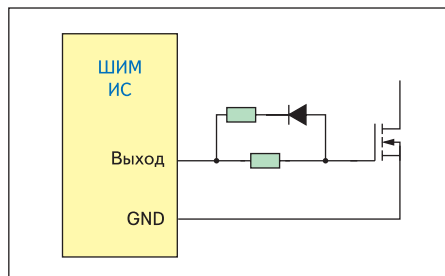


Рис. 2. Схема, с помощью которой можно ограничить выходной ток контроллера ШИМ

показанной на рис. 2. В ней используются два резистора: один для управления временем включения, а другой — для управления временем выключения. (Обычно мы выключаем устройство быстрее, чем включаем, для защиты от коротких импульсов тока.) Диод служит для разделения этих двух функций, но в некоторых случаях, когда критично быстродействии схемы, можно обходиться без него.

В маломощных преобразователях мы обычно включаем ПТ медленно. Не надо бояться экспериментов с величиной сопротивления резистора R_{on} . Автор использует в своих проектах значения от 1 Ом до 1 кОм. Сформулированное им правило разработки заключается в том, чтобы увеличивать сопротивление, одновременно наблюдая за осциллограммами переключения и рассеиваемой мощностью ПТ. Если температура начинает заметно возрастать, нужно уменьшить величину сопротивления вдвое. Вы будете удивлены, увидев, как медленно можно включать ПТ в обратноточном преобразователе, работающем в режиме прерывистых токов, без значительных потерь на переключение.

Выключение должно быть быстрым, чтобы обеспечить быстрый спад импульса тока. Экспериментируйте с разными значениями сопротивления, вместо того, чтобы просто использовать величины, приведенные в руководствах по применению. Более подробную информацию о том, насколько быстро можно управлять ПТ, можно найти в работе [3].

Специализированные драйверы затворов

При увеличении мощности преобразователя становится ясно, что сопротивления резисторов в затворе ПТ необходимо уменьшить, чтобы минимизировать потери на переключение. Для схем большой мощности в промышленности, как правило, используют микросхемы драйверов с большими выходными токами. При этом уменьшается влияние помех на контроллер ШИМ, и, кроме того, получается более удачная разводка печатной платы. В продаже имеется множество хороших драйверов. Можно даже создать собственный мощный двухтактный драйвер, если необходимо увеличить производительность при снижении цены. Для устройств большой мощности используют отдельную схему драйвера затвора для достижения быстрого переключения (рис. 3). Резисторы в затворе также имеются.

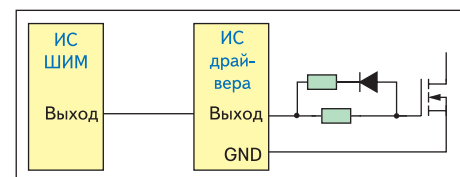


Рис. 3. Отдельная схема драйвера затвора для быстрого переключения

Изолированные драйверы затворов

Для получения очень высоких мощностей разработчики начинают использовать такие топологии, как двухключевой прямоходовый преобразователь, полумостовой или мостовой преобразователи. Во всех этих топологиях необходимо применять плавающий ключ.

Существуют решения этой задачи с использованием полупроводниковых компонентов, но только для низковольтных применений. Интегральные драйверы верхне-

го плеча не предоставляют разработчику достаточной гибкости, а также не обеспечивают такого уровня защиты, изоляции, устойчивости к переходным процессам и подавления синфазных помех, который дает хорошо спроектированный и изготовленный трансформатор для управления затвором.

На рис. 4 показан самый примитивный способ получения плавающего управления затвором. Выход микросхемы драйвера подключен через разделительный конденсатор к небольшому трансформатору (обычно тороидальному для лучшей производительности). Вторичная обмотка подключена непосредственно к затвору ПТ, и любые замедляющие резисторы должны располагаться со стороны первичной обмотки трансформатора. Обратите внимание на стабилитроны в затворе для защиты от переходных процессов. На выходе драйвера необходимо использовать ограничительные диоды, ими нельзя пренебрегать, даже если при первых испытаниях не возникли проблемы с реактивными токами в трансформаторе.

В простейшей изолированной схеме для управления затвором используется трансформатор, как показано на рис. 4. Ограничительные диоды необходимы для защиты от реактивных токов, а разделительный конденсатор предотвращает насыщение трансформатора. Конденсатор дает сдвиг уровня выходного напряжения драйвера, который зависит от относительной длительности управляющих импульсов.

Схема, представленная на рис. 4, обеспечивает отрицательное напряжение на вторичной обмотке на интервалах времени, когда ПТ выключен. Это значительно увеличивает

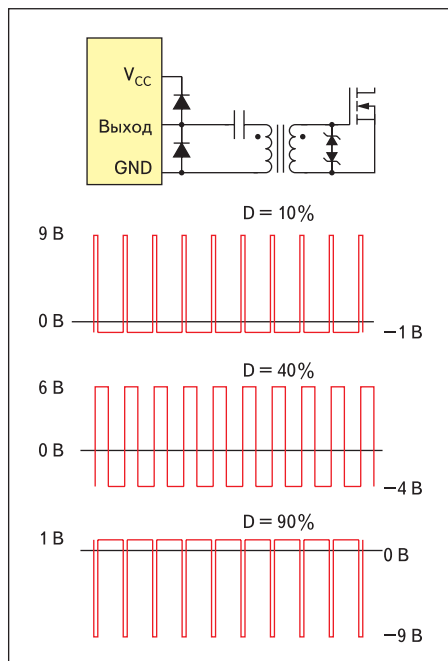


Рис. 4. Простейшая изолированная схема для управления затвором

устойчивость к синфазным помехам, что особенно важно для мостовых схем.

Однако недостаток отрицательного смещения — это уменьшение положительного напряжения, открывающего ПТ. При небольшой относительной длительности импульсов положительный импульс большой. При относительной длительности, равной 50%, половина имеющегося напряжения драйвера теряется. При большой относительной длительности положительного напряжения может не хватить для полного открывания ПТ.

Схемы с трансформаторной развязкой наиболее эффективны при относительной длительности от 0 до 50%. К счастью, именно это и нужно для прямоходовых, мостовых и полумостовых преобразователей.

Обратите внимание: на рис. 5 показано, как напряжение на разделительном конденсаторе смещается под действием низкочастотных колебаний, наложенных на выходные импульсы драйвера. Эти колебания должны тщательно подавляться для обеспечения безопасной работы. Обычно для борьбы с этим явлением увеличивают емкость конденсатора, что уменьшает Q для низкочастотных составляющих. Необходимо проверить работу схемы при всех возможных переходных процессах, особенно при старте, когда конденсатор разряжен.

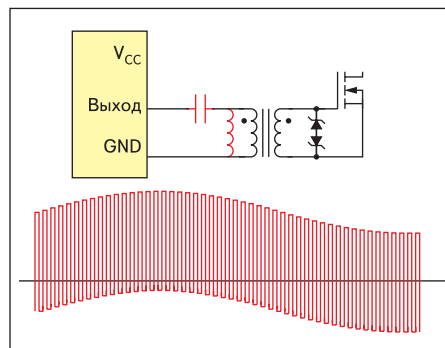


Рис. 5. Колебания, возникающие в разделительном конденсаторе и влияющие на работу трансформатора

Осторожно: схема восстановления постоянной составляющей!

Иногда разработчик может столкнуться с высоковольтной схемой, в которой требуется изолированное управление затвором при относительной длительности импульсов около 100%. Раньше для таких применений рекомендовали схему, показанную на рис. 6. Но ее применение может приводить к повреждению источника питания при выключении.

Диод и конденсатор на стороне вторичной обмотки восстанавливают постоянную составляющую на затворе и обеспечивают управление затвором при значениях относительной длительности до 90% и более. Однако у этой схемы есть серьезный недостаток,

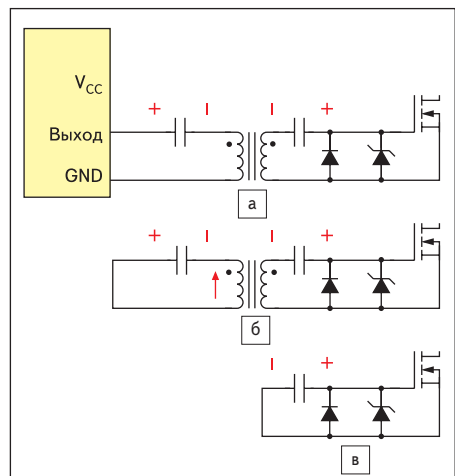


Рис. 6. Высоковольтная схема с восстановлением постоянной составляющей

и использовать ее без очень тщательного анализа не рекомендуется.

Эта схема хорошо работает в установившемся режиме (рекомендуется нагрузочный резистор в затворе), но когда контроллер ШИМ выключается, разделительный конденсатор остается подключенным через трансформатор на неопределенный период времени. Это может привести к насыщению трансформатора, как показано на рис. 6б. Когда трансформатор насыщается, вторичная обмотка замыкается накоротко, и конденсатор на стороне вторичной обмотки может включить ПТ. Насыщение можно предотвратить, если использовать сердечник с зазором и конденсатор небольшой емкости, но при этом увеличится реактивный ток, необходимый для управления затвором, а это вызывает другие проблемы.

Изолированное управление затвором для мостовых преобразователей

Мостовые и полумостовые преобразователи — это устройства, в которых требуется очень надежная изолированная схема управления. В то время как один из ключей закрыт, ключ на другой стороне моста будет открыт. В результате на выключенном устройстве будет присутствовать большое синфазное напряжение.

На рис. 7 показана схема, рекомендуемая для полумостового преобразователя. В ней управлять затворами должны два трансформатора. Не пытайтесь использовать только один трансформатор и схему с тремя состояниями, как советуют в некоторых руководствах по применению!

В мостовом преобразователе, показанном на рис. 8, также требуются два трансформатора для управления затворами. Двойные вторичные обмотки в каждом трансформаторе используются для управления парами ПТ в диагонально противоположных плечах

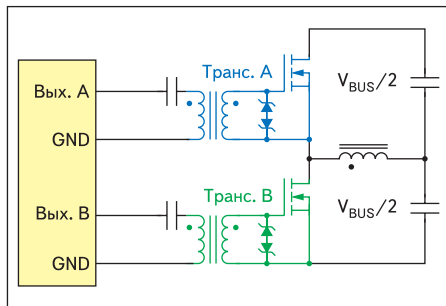


Рис. 7. Для управления затворами в полумостовых преобразователях рекомендуются два отдельных трансформатора

моста. Для обоих типов мостов схемы управления затворами должны тщательно тестироваться во время переходного процесса при включении, когда возникают большие пиковые токи, и отрицательные напряжения на затворах невелики.

В схеме моста с фазовым сдвигом (рис. 9) для управления затворами также используются два трансформатора. Но обратите внимание на отличие: каждая сторона моста работает с фиксированной относительной длительностью 50%, что позволяет использовать один трансформатор с двумя вторичными обмотками противоположной полярности. Это одна из немногих схем, где можно применять биполярную схему управления затвором без снижения надежности. Но выбросы, возникающие во время переходных процессов при выключении, не должны приводить к открытию транзисторов. Обратите внимание на полярность вторичных обмоток.

Заключение

Схема управления затвором — критически важная часть проекта преобразователя. Убедитесь в том, что вы используете правильную схему, и не копируйте вслепую схемы из руководства по применению. Трансформаторы в цепях управления затворами придадут вашему проекту такую степень надежности, которую невозможно получить при использовании полупроводниковых решений.

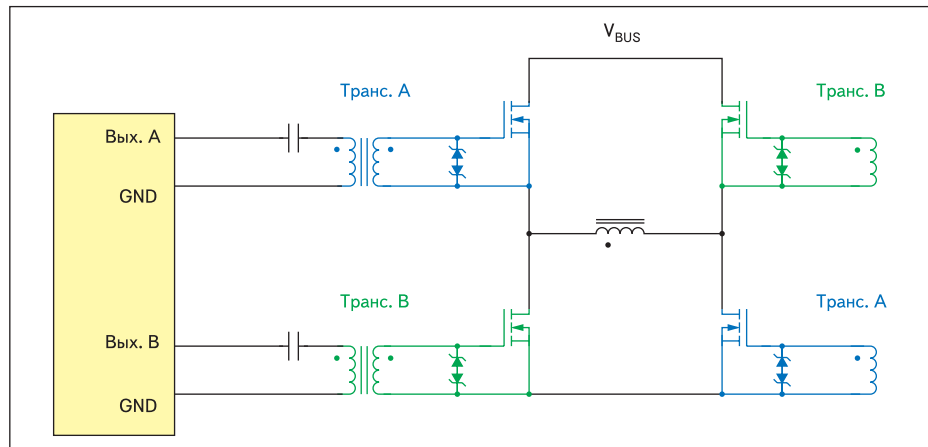


Рис. 8. Схема мостового преобразователя с двумя трансформаторами для повышения надежности

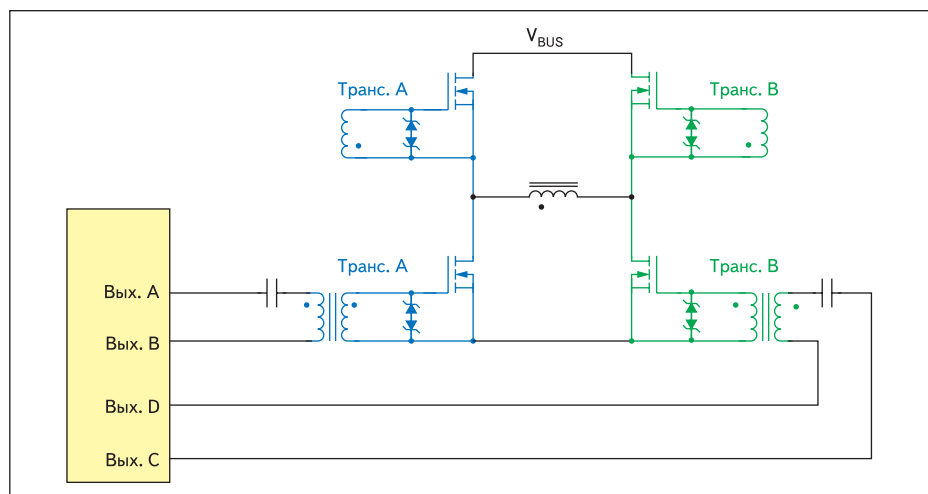


Рис. 9. Мост с фазовым сдвигом с двунаправленными трансформаторами в каждом плече

Если вы разрабатываете очень мощное устройство, то это важнейшая составляющая. Добавление активных элементов для того, чтобы, согласно общепринятому мнению, увеличить скорость переключения, обычно не дает улучшения общей производительности, но вносит новые возможности для потенциальных отказов. Делайте вашу схему управления затвором как можно более простой. ■

Литература

1. Balogh L. Design and Application Guide for High Speed MOSFET Gate Drive Circuits. Texas Instruments Application Note.
2. Ridley R. Six Reasons for Power Supply Instability. www.switchingpowermagazine.com
3. Ridley R. Power Supply Stress Testing. www.switchingpowermagazine.com
4. www.ridleyengineering.com