

# Улучшение характеристик импульсных источников питания

## путем измерения тока по $R_{DS(on)}$

Том Рибарич  
(Tom Ribarich)

Перевод:  
Артем Вахитов

Как правило, в состав современных импульсных преобразователей энергии входит цепь, отслеживающая ток через мощный коммутирующий транзистор (MOSFET или IGBT) для стабилизации или ограничения пикового тока. Это необходимо, чтобы защитить транзисторный ключ от чрезмерных пиковых токов, способных повредить компоненты или вывести дроссели в режим насыщения. Обычно для измерения тока между истоком MOSFET или эмиттером IGBT и «землей» включается низкоомный резистор. Но на этом резисторе может тратиться значительная мощность, а себестоимость и габариты системы при таком конструктивном решении могут существенно возрастать, особенно если коммутируются большие токи и необходим отвод тепла. В настоящей статье описывается новая схема, в которой измерение тока выполняется непосредственно по сопротивлению открытого канала MOSFET —  $R_{DS(on)}$ . Такой подход позволяет избавиться от традиционных токоизмерительных резисторов (трансформаторов) и вносимых ими потерь.

### Традиционная схема измерения тока

В наиболее распространенной схеме измерения тока через транзисторный ключ используется низкоомный резистор, включенный между нижним выводом ключа и «землей» (рис. 1). Когда ключ открыт, ток течет через ключ и измерительный резистор в «землю». При этом на измерительном резисторе образуется падение напряжения  $V_{CS}$ , которое служит

входным сигналом для цепи, отслеживающей или регистрирующей ток через ключ.

Обычно последовательно с ключом включается дроссель, обеспечивающий линейное возрастание тока в открытом состоянии ключа. При открытии ключа возникает бросок тока через исток и измерительный резистор, обусловленный протеканием тока через затвор на протяжении длительности фронта управляющего напряжения затвора. Когда ключ закрыт, ток не течет и напряжение на измерительном резисторе быстро падает до нуля. Бросок тока может возникать и при закрытии ключа из-за токов, кратковременно протекающих через емкости ключа, когда напряжение на нем снова возрастает. Для подавления этих бросков и предотвращения ложных срабатываний измерительной цепи между верхним выводом измерительного резистора и «землей» включают небольшой RC-фильтр нижних частот.

Любое падение напряжения на измерительном резисторе в открытом состоянии уменьшает фактическое напряжение между затвором и истоком ключа. За счет этого могут повыситься сопротивление открытого канала и потери на проводимость, а если токи достаточно велики и на измерительном резисторе образуется значительное падение напряжения, то ключ может перейти в линейный режим. Любая паразитная индуктивность между ключом и токоизмерительным резистором, обусловленная разводкой печатной платы, вызовет сильные броски напряжения на индуктивности, которые могут создавать электромагнитные помехи и даже способны повредить ключ или цепь управления затвором. Наконец, в зависимости от сопротивления измерительного резистора и протекающего через него тока потеря мощности на резисторе снижает КПД системы и приводит к выделению тепла, которое, возможно, придется отводить.

### Схема измерения тока по $R_{DS(on)}$

В отличие от традиционной схемы новая схема измерения тока по сопротивлению открытого ключа  $R_{DS(on)}$  не содержит последовательно включенного измерительного резистора и включается параллельно ключу. Эта схема непосредственно измеряет сопротивление открытого канала MOSFET ( $R_{DS(on)}$ ) или напряжение между коллектором и эмиттером IGBT ( $V_{CE(on)}$ ). Измерительная цепь имеет четыре внешние точки подключения (VS, GATE, CS, COM)

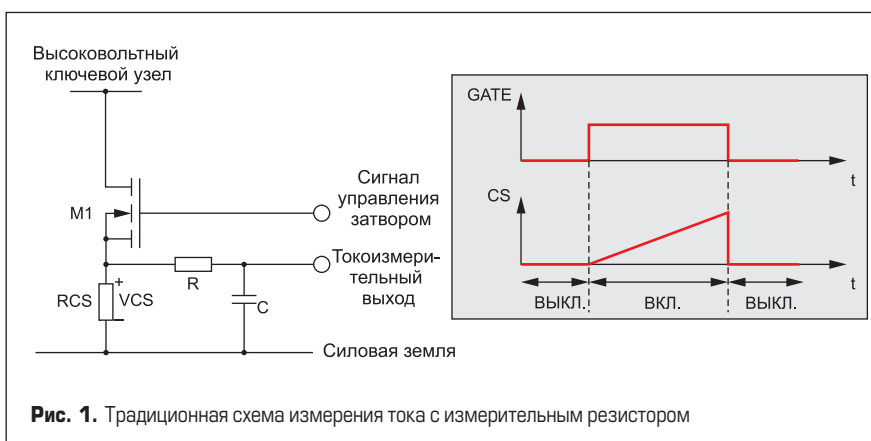
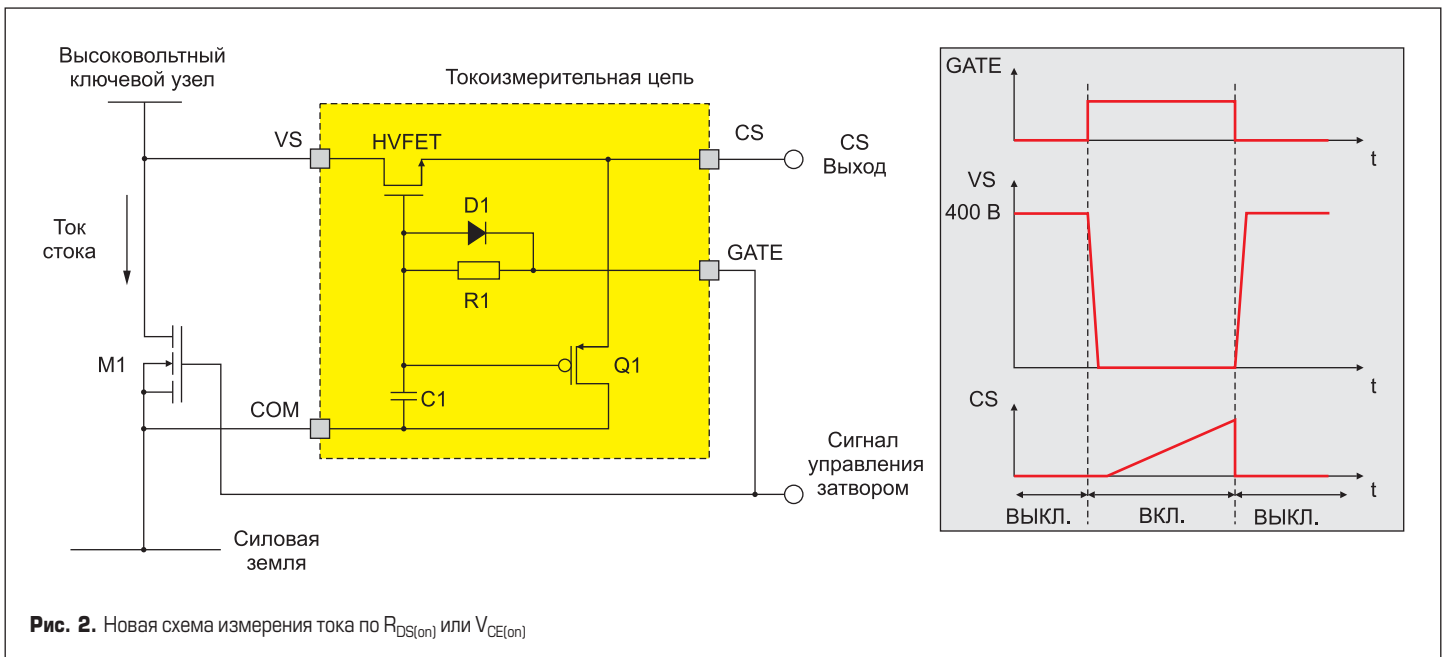


Рис. 1. Традиционная схема измерения тока с измерительным резистором



и состоит из следующих элементов (рис. 2): транзистор типа MOSFET на номинальное напряжение 600 В (HVFET); линия задержки на RC-цепочке (R1, C1, D1) и удерживающий транзистор типа PMOS (Q1). Подключение к источнику питания VCC не требуется: для питания, включения и выключения цепи используется имеющийся сигнал управления затвором. В закрытом состоянии транзистора M1 на затворе присутствует потенциал «земли», HVFET закрыт, Q1 открыт, точка CS также удерживается под потенциалом «земли».

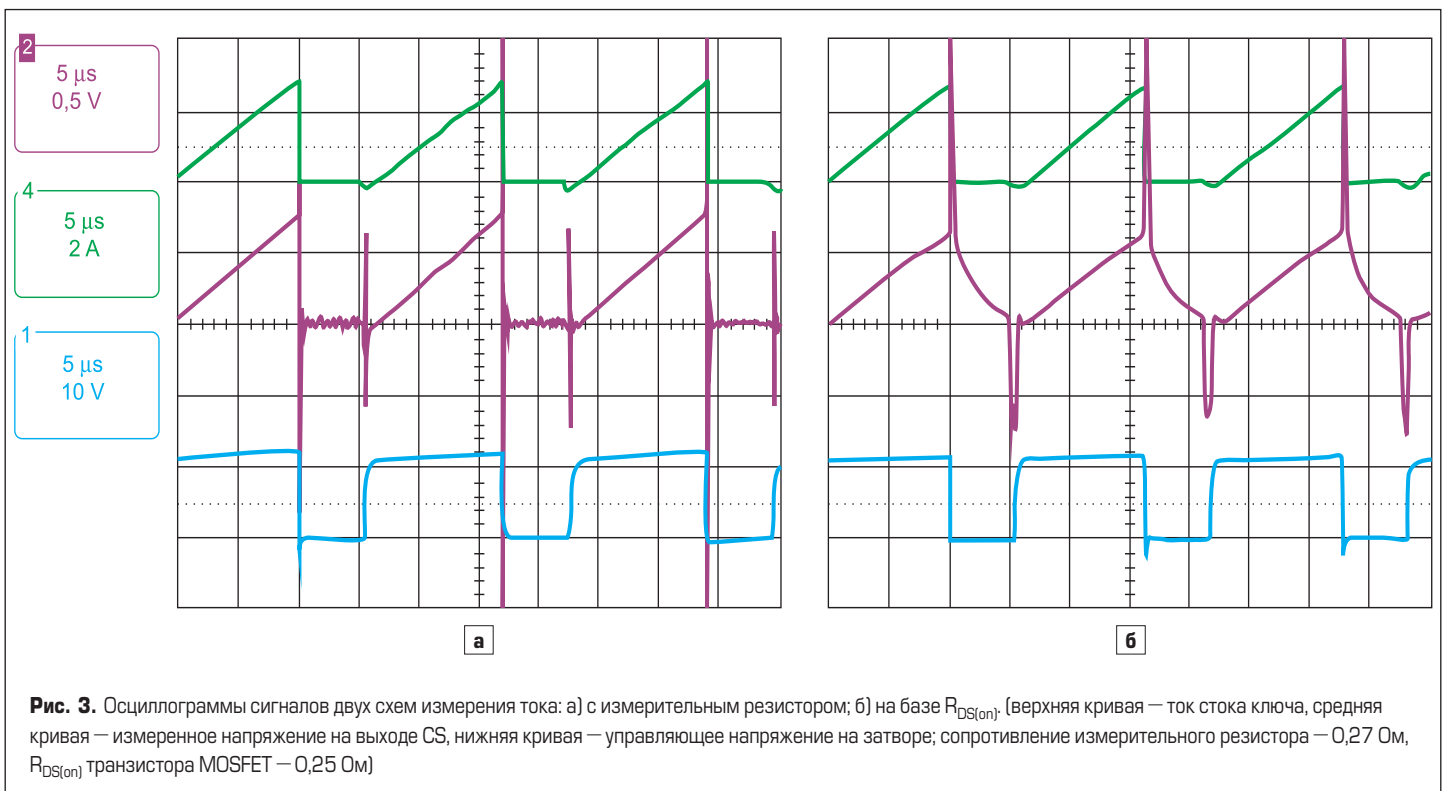
Поскольку транзистор HVFET закрыт, он будет надежно защищать остальные низковольтные элементы цепи от высокого напряжения на стоке силового MOSFET. Когда транзистор M1 открывается управляющим сигналом

на затворе, напряжение на стоке M1 снижается до уровня, задаваемого произведением тока через M1 на сопротивление его открытого канала ( $R_{DS(on)}$ ). По истечении короткой задержки, задаваемой RC-цепочкой, напряжение на затворе транзистора HVFET возрастает, открывая его. Транзистор Q1 закрывается и тем самым прекращает удерживать выход CS под потенциалом «земли». На выход CS через транзистор HVFET поступает напряжение со стока M1. Результирующее напряжение на выходе CS и есть токоизмерительный сигнал, определяемый  $R_{DS(on)}$  или  $V_{CE(on)}$  транзистора M1.

Когда управляющее напряжение на затворе транзистора M1 снова падает, M1 закрывается. Затвор транзистора HVFET быстро разряжается через диод D1, и HVFET закрывается,

снова защищая схему от высокого напряжения на стоке M1. На выходе CS удерживается потенциал «земли» за счет открытого состояния транзистора Q1. Если предположить, что сток транзистора M1 представляет собой типичный высоковольтный ключевой узел с последовательно включенным дросселем, сигнал напряжения на выходе CS будет иметь ту же пилообразную форму, что и при использовании традиционного токоизмерительного резистора у истока M1. Сигнал с выхода CS можно подать на компаратор или другие функциональные блоки ШИМ-контроллера или микроконтроллера, ответственные за измерение тока.

Экспериментальные осциллограммы сигналов (рис. 3) демонстрируют работу новой схемы и требуемый токоизмерительный



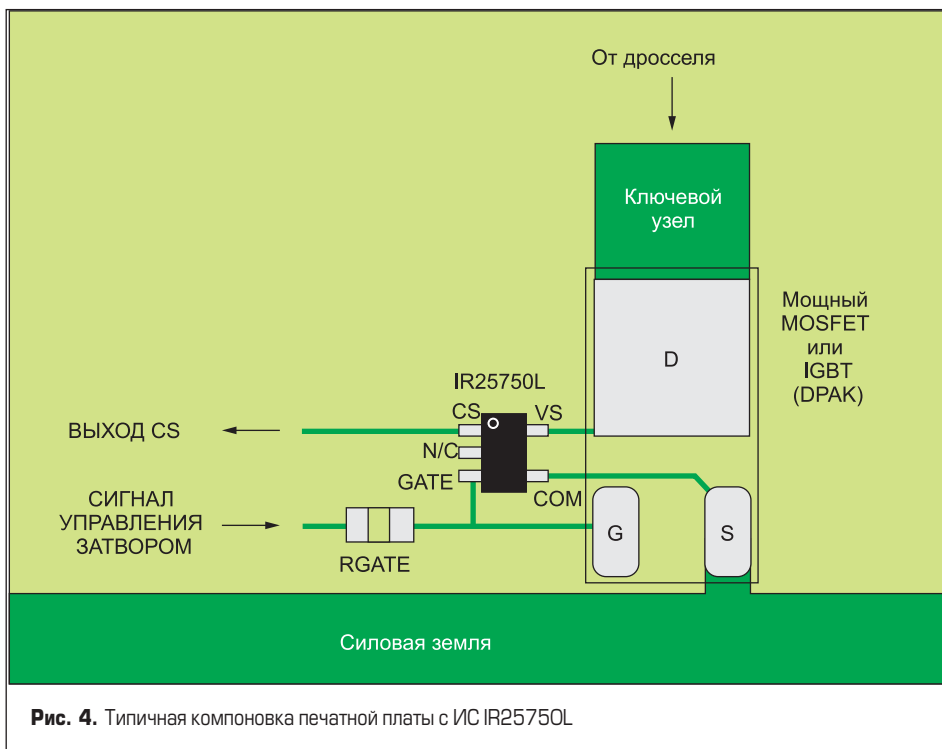


Рис. 4. Типичная компоновка печатной платы с ИС IR25750L

сигнал на выходе CS при комнатной температуре. В обоих методах — как в новом, так и в традиционном с измерительным резистором — воспроизводится фактическая форма тока и присутствуют шумовые броски, обусловленные переключением. Соответствующая фильтрация или цифровая блокировка в токоизмерительной цепи

ШИМ-контроллера или микроконтроллера позволит легко подавлять эти броски, избегая ложных срабатываний. Хорошо известно, что  $R_{DS(on)}$  силового MOSFET увеличивается с ростом окружающей температуры, за счет чего образуется погрешность при измерении тока. В связи с этим сейчас ведутся прикладные исследования, направленные

на поиск методов температурной компенсации с помощью дополнительных схемотехнических элементов.

Поскольку схема не требует подключения к источнику питания VCC, упрощается компоновка печатной платы (рис. 4). Новая схема измерения тока реализована в интегральной схеме IR25750L, выпускаемой в миниатюрном корпусе типа SOT-23. ИС IR25750L можно удобно расположить рядом с мощным MOSFET или IGBT и легко соединить с дорожками печатной платы, которые уже используются силовым ключом (GATE, DRAIN, COM). Остается лишь добавить дорожку от выхода CS к основному ШИМ-контроллеру или микроконтроллеру источника питания.

### Заключение

В основе ИС IR25750L лежит новый метод измерения тока, позволяющий избавиться от традиционных последовательно включаемых токоизмерительных резисторов и трансформаторов тока. Эта ИС в миниатюрном корпусе типа SOT-23 с параллельным включением упрощает компоновку и разводку печатной платы, особенно когда стоит задача контролировать ток нескольких ключей. Новое токоизмерительное устройство может найти применение во всех видах импульсной силовой электроники и обеспечивает значительные преимущества: сокращение издержек, уменьшение площади печатной платы, снижение потерь и повышение общего КПД.