

Устранение паразитных колебаний, возникающих при параллельном соединении транзисторов MOSFET

Основная проблема при параллельном включении MOSFET-транзисторов — возникновение паразитных колебаний. В статье рассмотрены причины возникновения паразитных колебаний в транзисторах компании Advanced Power Technology, исследованы методы их устранения и доказано, что добавление к базе транзистора индуктивности типа ферритового цилиндра (Ferrite bead) является наиболее оптимальным решением. Полученные результаты справедливы и для транзисторов типа IGBT.

Александр Слабухин

alex@icquest.ru

Природа паразитных колебаний

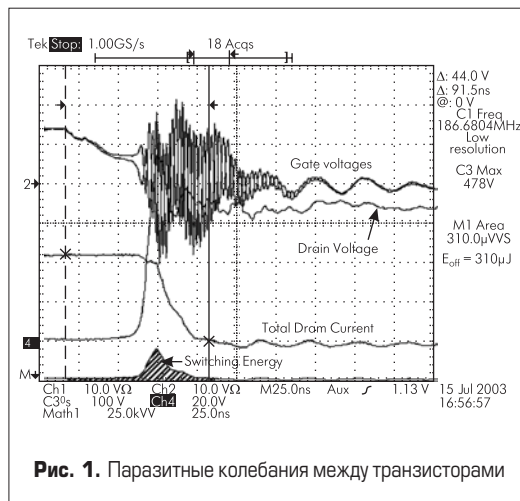


Рис. 1. Паразитные колебания между транзисторами

Колебания возникают при скачке напряжения стока в момент переключения транзисторов. Рис. 1 показывает колебания, возникающие у двух параллельно соединенных транзисторов APT5024BLL (номинальное напряжение 500 В и ток 22 А). Каждый транзистор в своем составе имеет резистор сопротивлением 10 Ом. Он располагается между затвором и драйвером управления затвором. Результаты эксперимента получены при напряжении сток-исток 333 В, токе 44 А и температуре среды 25 °С. Напряжение драйвера управления затвором составляло 15 В. В качестве драйвера использовалось устройство Micrel MIC4452 с симметричной разводкой контактов затвора. Как видно из рис. 1, на затворе возникают колебания достаточно высокой частоты. Диапазон частот колебаний лежит в пределах от 50 до 250 МГц. Такие высокочастотные колебания не-

допустимы, так как это может стать причиной скачков напряжения на затворе, излучения радиочастотных помех, высоких потерь на переключение, способных вывести из строя конечное изделие.

Добавление индуктивности типа Ferrite bead¹

Данный тип индуктивности представляет собой ферритовый цилиндр с отверстием в оси для проводника. Находит широкое применение для подавления радиочастотных помех.

Добавление индуктивного элемента Ferrite bead с резистором на затворе транзистора (рис. 2) устранило паразитные колебания при минимизировании потерь на переключение. Фактически добавление индуктивности более эффективно, чем использование резистора на затворе, так как ее импеданс прямо пропорционален частоте. Ширина полосы пропускания сигнала, поступающего с драйвера управления затвором, около 2 МГц, тогда как частота, на которой возникают паразитные колебания, составляет 50–250 МГц.

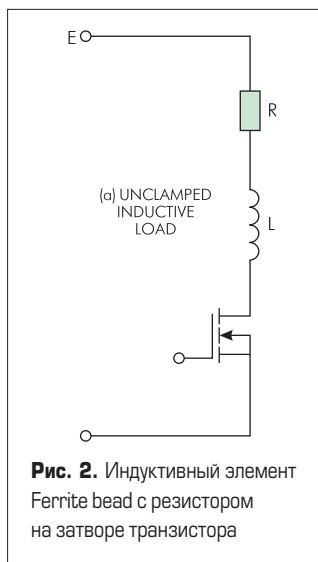


Рис. 2. Индуктивный элемент Ferrite bead с резистором на затворе транзистора

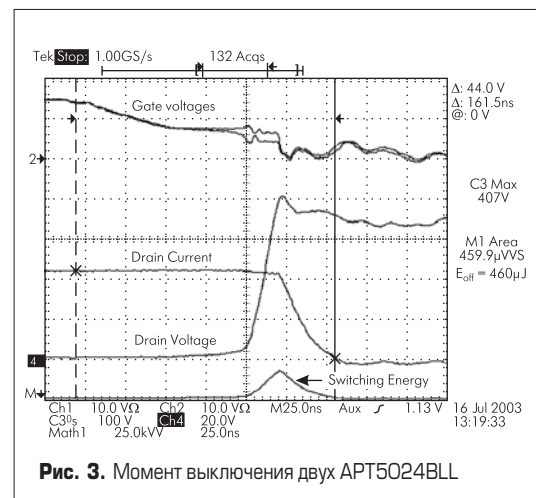


Рис. 3. Момент выключения двух APT5024BLL

¹ Ferrite bead — индуктивный элемент, который на малых частотах обладает свойствами индуктивности, а при повышении рабочей частоты перенимает свойства резистора, рассеивая шум в форме теплового излучения

Поэтому импеданс индуктивного элемента по отношению к частоте шумовых колебаний в 25–125 раз выше, чем по отношению к сигналу с драйвера. Высокое сопротивление индуктивности достаточно эффективно блокирует помехи, вызванные протеканием тока от истока к затвору. Более надежно паразитные колебания могут быть устранены при использовании индуктивности достаточной величины и, наравне с этим, при проведении демпфирования резистором затвора.

Для подавления помех элементы Ferrite bead могут использоваться не только на параллельно установленных транзисторах. При этом будет достигаться тот же эффект: высокочастотные шумы на затворе будут блокироваться, устраняя любые попытки возникновения колебаний.

На рис. 3 показаны переходные процессы в момент выключения двух параллельно соединенных транзисторов MOSFET — APT5024BLL. В эту серию были последовательно добавлены индуктивные элементы с резисторами сопротивлением 4,3 Ом на каждом затворе. Включение параллельно соединенных

транзисторов происходит с теми же колебаниями, что и выключение.

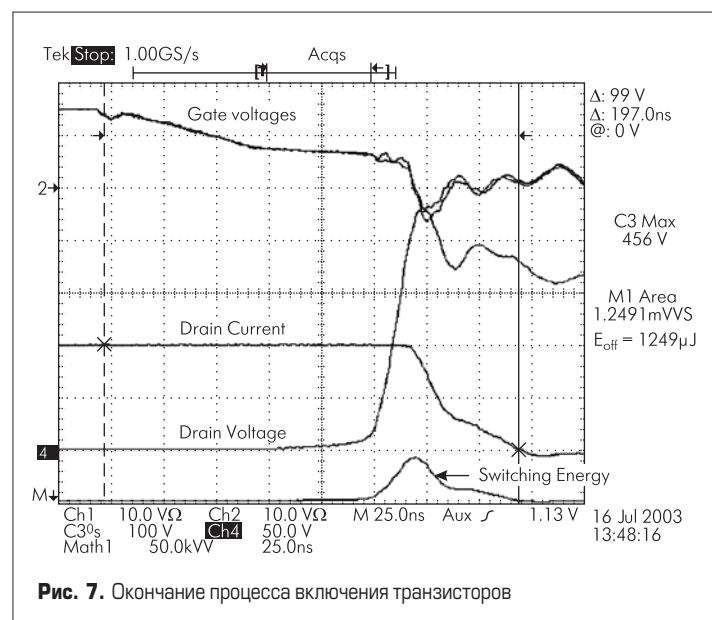
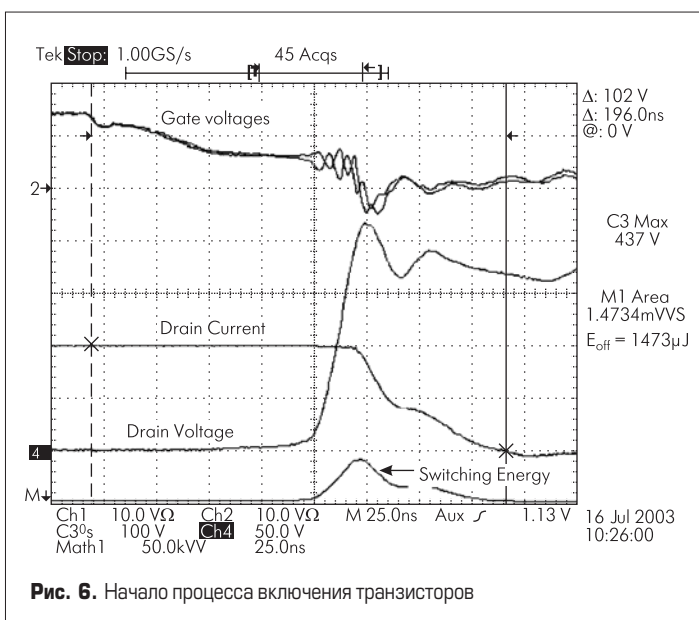
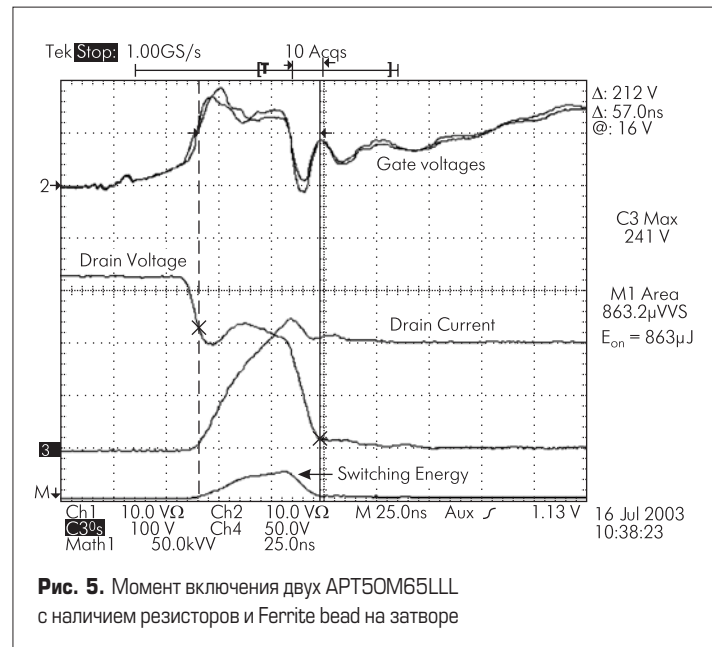
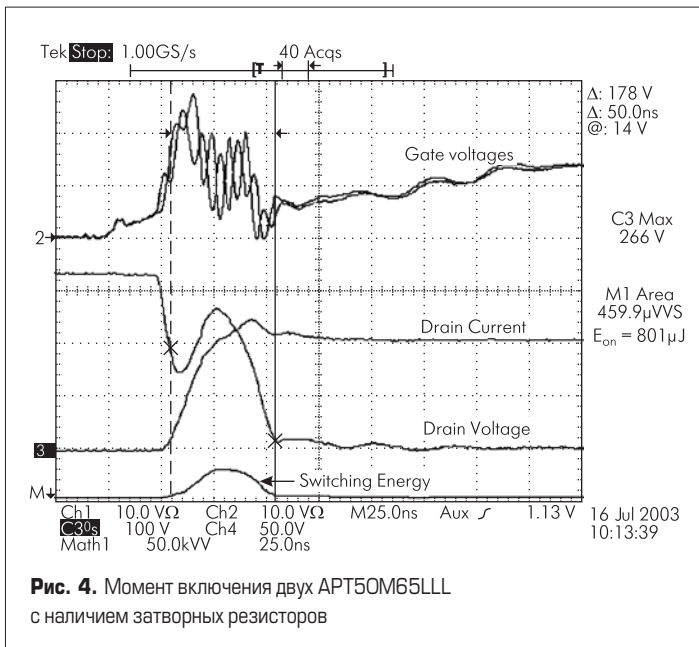
На рис. 4 изображены осциллограммы при включении двух параллельных транзисторов APT50M65LLL, на затворе каждого из которых размещен резистор сопротивлением 4,3 Ом. Характеристики этих же устройств изображены на рис. 5, но только уже с затворными резисторами сопротивлением 1 Ом и индуктивными элементами Ferrite bead маленькой величины на каждом затворе. Колебание устранено, но при этом пришлось смириться с 8-процентным увеличением энергии, затрачиваемой на включение, и незначительным увеличением задержки при включении.

Рис. 6 показывает возникновение колебаний при выключении транзисторов с одним сопротивлением на затворе без индуктивного элемента, а на рис. 7 (при добавлении индуктивности к затвору) генерация исчезает. Как и на рис. 4–5, здесь использовались резисторы сопротивлениями 4,3 Ом и 1 Ом в комбинации с индуктивностями Ferrite bead. В этот раз индуктивные элементы меньшего сопротивления привели к уменьшению энер-

гии, затрачиваемой на выключение, несмотря на то, что задержка на выключение возросла. Заметим, что затворы на рис. 7 на грани генерации, поэтому для оптимального результата необходимо немного повысить сопротивление на затворе.

Если для устранения колебаний использовались бы только резисторы (рис. 1 и 4), энергии, затрачиваемые на переключение транзисторов, были бы больше, чем при использовании индуктивностей Ferrite bead на каждом затворе.

Добавление индуктивных элементов — достаточно привлекательное решение. Они недороги, малы и просты при использовании. На сегодня доступен широкий ассортимент индуктивностей Ferrite bead с различными параметрами. Энергия, затрачиваемая на переключение, может быть оптимизирована экспериментальным путем различными комбинациями сопротивлений и индуктивностей. Некоторые индуктивности имеют достаточно гибкое сопротивление с монотонной частотной характеристикой. Если индуктивности достаточно большие и не имеют потерь, затворные резисторы могут не использоваться.



Альтернативные решения устранения паразитных колебаний

Контурные площадки

Может показаться лишним добавление индуктивности Ferrite bead к цепи управления затворами, решающей проблему паразитных колебаний. Лучшие решения, реализованные на практике, рекомендуют проводить уменьшение индуктивности драйвера управления затвором путем использования плотной компоновки схемы. Однако ключ с компоновкой драйвера управления затвором обладает недостаточной индуктивностью. Поэтому предпочтительным решением выглядит контурная площадка. Проблема возникает из-за ее большой площади и заключается в том, что контур выступает как антенна, которая принимает высокочастотные шумы. Длинный вывод драйвера управления затвором фактически устраняет колебания благодаря повышению паразитной индуктивности самого драйвера.

Применение стабилитронов

Установка стабилитронов между выводами затвора и истока эффективна при подавлении шумов, возникающих на низких частотах переключения, и при наличии длинного вывода драйвера управления затвором. Однако стабилитроны неэффективны при подавлении шумов на частоте в десятки мегагерц.

На рис. 8 показана частотная характеристика стабилитрона (номинальное напряжение 15 В, корпус DO-41). Выводы диода были обрезаны до длины 5 мм, необходимой для установки диода на поверхность печатной платы. На частоте вплоть до 250 МГц импеданс корпуса стабилитрона является чисто емкостным, на высших частотах преобладает индуктивное сопротивление корпуса, что позволяет диоду

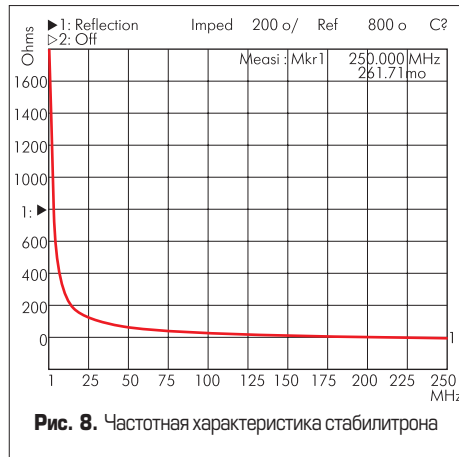


Рис. 8. Частотная характеристика стабилитрона

выступать в качестве катушки индуктивности. Так же, как и у обычных диодов, емкостное сопротивление стабилитрона уменьшается с повышением напряжения обратного смещения.

Наличие стабилитрона, приложенного к затвору, повышает зависимое от напряжения и частоты емкостное сопротивление колебательного RLC-контра, где могут возникнуть паразитные колебания. Добавленное сопротивление не играет никакой роли, так как емкостное сопротивление стабилитрона по сравнению с входным емкостным сопротивлением MOSFET-транзистора незначительно.

С тех пор как помещение стабилитрона между затвором и истоком перестало приносить значительные результаты (при подавлении высокочастотных шумов и паразитных колебаний), стало лучше обходиться без них. Однако они могут быть полезны для подавления низкочастотных шумов, таких, которые возникают, например, при управлении двигателем драйвером управления затворами с длинными выводами.

Заключение

Мощные MOSFET имеют много преимуществ. При правильном применении они улучшают всю конструкцию системы, которая часто содержит меньше компонентов, легче, компактнее и имеет лучшие характеристики, чем те, которые могут быть достигнуты на приборах другого типа.

Так же, как и все мощные полупроводниковые приборы, мощные MOSFET имеют свои собственные маленькие технические тонкости, которые необходимо соблюдать при использовании транзисторов в процессе работы:

- Паразитные колебания между двумя параллельно установленными транзисторами недопустимы, так как значительно уменьшается надежность, эффективность устройства.
- Индуктивности Ferrite bead очень эффективны в устранении паразитных колебаний до тех пор, пока уменьшаются потери на переключения, так как они действуют как частотнозависимый затворный резистор.
- Установка стабилитрона между затвором и истоком не контролирует высокочастотные паразитные колебания.

Если эти тонкости правильно понять и соблюдать, потенциальные ловушки могут быть легко преодолены при минимальных затратах. Это повышает возможности устройства и его эффективность на высоких частотах.

Литература

1. Jonathan Dodge. Eliminating parasitic oscillations between parallel MOSFETs. AN APT-0402 Rev A.