

Конструируем силовой ключ

Алексей Ширяев (г. Липецк)

У каждого типа мощных электронных ключей есть свои достоинства и недостатки. Автор предлагает сочетать достоинства MOSFET- и IGBT-ключей, что позволит снизить массогабаритные показатели и увеличить надёжность силовых устройств.

Термин «силовая электроника» прочно вошёл в наш словарь наравне с аналоговой, цифровой и высокочастотной электроникой. Под силовой электроникой мы подразумеваем, прежде всего, мощные импульсные преобразователи энергии для питания различной аппаратуры и электрических машин постоянным или переменным током в десятки и сотни ампер при напряжениях десятки и сотни вольт. В силовых цепях основ-

ная нагрузка ложится, главным образом, на мощные электронные ключи.

Электронная промышленность предлагает нам в качестве силовых ключей биполярные, полевые (MOSFET) и комбинированные (IGBT) транзисторы. Рассмотрим кратко характерные особенности каждого прибора.

Биполярные транзисторы. До недавнего времени они господствовали в силовой электронике. Имеют свойство насыщаться, благодаря чему их статические характеристики гораздо лучше динамических. Ток управления в статическом режиме сравним с током потребления в динамическом режиме, хотя последний всегда выше.

MOSFET практически не насыщаются, потому обладают отличными динамическими характеристиками, но неважными статическими. В открытом состоянии сопротивление канала имеет резистивный характер. Вследствие чисто активного сопротивления канала мощность, падающая на открытом ключе, пропорциональна квадрату тока, в отличие от биполярного ключа, для которого мощность рассеяния примерно пропорциональна протекающему току. При повышении температуры сопротивление канала полевого транзистора растёт. Это приемлемо для активного, но совсем не годится для ключевого режима, где данная особенность приводит к возникновению термической положительной обратной связи (для биполярного транзистора всё наоборот). Цепь затвора MOSFET эквивалентна RC-цепи. Ток управления в статическом режиме близок к нулю, в динамическом больше на несколько порядков.

IGBT призваны объединить достоинства биполярного и полевого транзистора. Они представляют собой составной транзистор из биполярного и полевого (см. рис. 1). По переключательным свойствам имеют характеристики, превосходящие как биполяр-

ные, так и полевые приборы. Однако у такой комбинации есть заметный недостаток. Как и у любого составного транзистора, напряжение на открытом ключе даже при малых токах не может быть меньше 0,7...0,8 В. Это отрицательно сказывается как на КПД, так и на тепловом режиме прибора. А нельзя ли улучшить показатели IGBT в области малых токов? Оказывается, можно. Достаточно параллельно биполярному транзистору включить полевой, как показано на рис. 2.

Полученная связка из трёх транзисторов ненамного сложнее, чем эквивалентная схема IGBT, но имеет лучшие характеристики. Сравним зависимость падения напряжения на ключе от входного тока для трёх приборов: MOSFET, IGBT и трёхсоставного IGBT. При наложении характеристик MOSFET и IGBT друг на друга они пересекутся в некоторой точке А (см. рис. 3). При токах меньших, чем абсцисса точки А, более эффективным оказывается ключ на MOSFET, при больших лучше IGBT. Теперь представим себе характеристику трёхсоставного IGBT. Она нелинейная и состоит как бы из двух частей. Малый ток протекает через полевой транзистор, а большой через биполярный. Где это может пригодиться? Там, где требуется управление с большими запасами по импульсному току, например в электроприводе. Токи в переходных режимах могут в несколько раз превышать номинальные, причём для ключа эти токи должны быть выбраны с запасом. Вот здесь и могут пригодиться свойства трёхсоставного транзистора. Если параметры входящих в него компонентов будут выбраны так, чтобы номинальный ток был меньше тока в точке перегиба, то потери в ключе будут небольшими. Значит, уменьшится радиатор и общие габариты устройства. При импульсных перегрузках полевой транзистор будет защищён от перегрева биполярным, который пропустит весь импульсный ток через себя. И хотя придётся применить два мощных транзистора, при максимальных токах будут работать они оба, распределяя ток между собой. Думаю, идея понятна, а насколько она эффективна, предлагаю убедиться вам, уважаемые читатели.

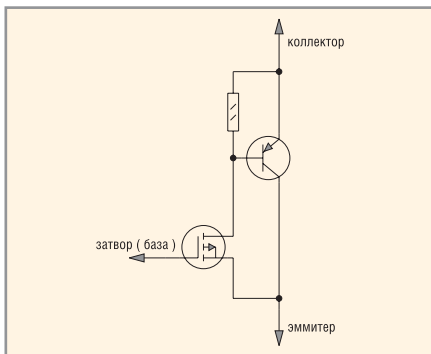


Рис. 1. Эквивалентная схема IGBT

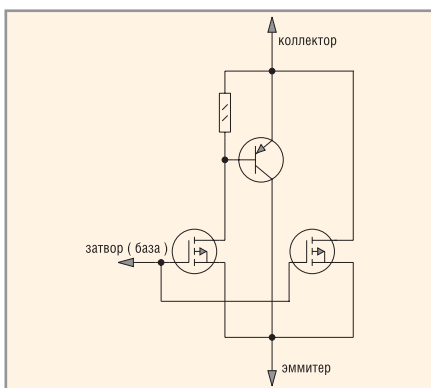


Рис. 2. Эквивалентная схема трёхсоставного IGBT

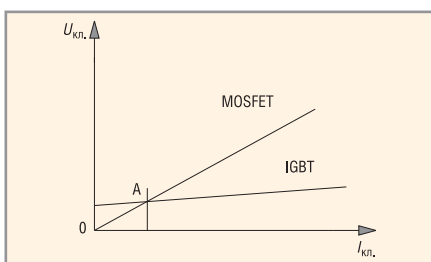


Рис. 3. Сравнение характеристик IGBT и MOSFET

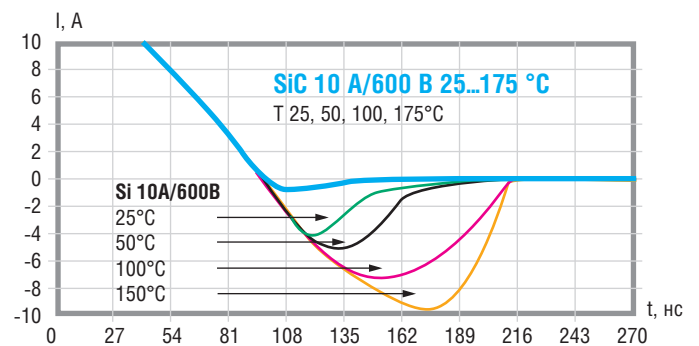
Полупроводники НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ — будущее микроэлектроники



Первый в мире электронный диод

ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА

- Отсутствие эффекта обратного восстановления
- Низкая обратная ёмкость
- Сверхнизкие динамические потери, не зависящие от температуры и di/dt
- Высокая рабочая температура кристалла
- Радиационная стойкость
- Положительный температурный коэффициент прямого падения напряжения



Форма тока через SiC-диод CSD10060 (Cree) и Si UFRD-диод DSEI12-06A (IXYS)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДИОДОВ ШОТКИ ФИРМЫ CREE

Наименование	CSD04060A CSD04060D CSD04060E	CSD06060A CSD06060D CSD06060G	CSD10060A CSD10060D CSD10060E	CSD20060D	CSD05120A	CSD10120A CSD10120D	CSD20120D
$U_{\text{макс}}$, В	600	600	600	600	1200	1200	1200
$I_{\text{пост}}$, А	4	6	10	20	5	10	20
Типы корпусов	TO252, TO220-2, TO220-3	TO263, TO220-2, TO220-3	TO263, TO220-2, TO220-3	TO247-3	TO220-2	TO220-2, TO247-3	TO247-3

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Активные корректоры коэффициента мощности — снижение динамических потерь в ключевом транзисторе и диоде до 60%
- Антипараллельные диоды MOSFET- и IGBT-транзисторов и модулей для жёсткого переключения — снижение динамических потерь на 20...30%
- Мощные высоковольтные выпрямители до единиц мегагерц



Высоковольтные 300...1200 В ZeroRecovery™ диоды Шоттки на основе карбида кремния компании Cree