

SiC силовые приборы:

прорыв на системном уровне

Необходимы прогрессивные решения на системном уровне, призывает Гай Мокси, директор Wolfspeed, чтобы реализовать преимущества, которые обеспечивают приборы на основе карбида кремния (SiC) для проектирования устройств силовой электроники.

**Перевод:
Евгений Карташов
Валерия Смирнова**

cree@macrogroup.ru

На данный момент все понимают, что любой силовой SiC-прибор превосходит свой кремниевый (Si) аналог. Более высокая блокирующая способность, большая скорость переключения, меньшие потери и лучшая теплопроводность означают, что SiC MOSFET-транзисторы характеризуются значительно меньшими динамическими потерями по сравнению с кремниевыми MOSFET или IGBT. У карбид-кремниевых диодов отсутствуют потери обратного восстановления, оба SiC-прибора проводят значительно больший ток на единицу площади, чем кремниевые аналоги. Однако отдельные SiC-компоненты не становятся силовыми преобразователями, а потому необходимо разработать прогрессивную конструкцию на системном уровне, чтобы реализовать преимущества, которые обеспечивают эти устройства.

Для того чтобы развивать новые технологии систем преобразования энергии, промышленности нужны более эффективные, надежные и менее дорогие силовые электронные системы. В течение многих

лет карбид кремния рассматривается как наиболее продвинутый и широко распространенный полупроводниковый широкозонный материал.

Силовые SiC-приборы предназначены для эффективного преобразования энергии от солнечных батарей в промышленные сети и для превращения сетевого напряжения в DC- и AC-сигналы для питания компьютеров, систем накопления энергии, цифровых систем связи, моторных приводов, зарядных устройств и других приложений. Например, гибридные автомобили (HEV), подзаряжаемые гибридные автомобили (PHEV) и батарейные автомобили (BEV) содержат ряд критических систем, в которых использование силовых SiC-приборов позволяет повысить энергоэффективность и производительность и обеспечивает им заметные преимущества на рынке.

Реализация потенциальных возможностей

Применение SiC-приборов обеспечило прорывные решения на компонентном уровне для силовых электронных блоков, являющихся фундаментальными для любой схемы преобразования энергии. Ключом к выходу за существующие рамки становится эффективное использование этих устройств в практических, реальных энергетических системах.

Потребность в электрификации транспортных средств продолжает расти, и производители стремятся внедрять новейшие силовые электронные технологии для повышения общей производительности, эффективности и снижения стоимости, веса и сложности конструкции. Например, применение SiC MOSFET Wolfspeed C3M065100K (1000 В) позволяет значительно улучшить конструкцию и производительность DC/DC-конвертеров, устанавливаемых в зарядных станциях электромобилей. Эти SiC-транзисторы обеспечивают самые низкие потери, они использованы в двух преобразователях: двухуровневом LLC резонансном преобразователе и двухуровневом конвертере с фазовым сдвигом. Первое устройство работает на частотах 200–400 кГц и имеет пиковую эффективность 98,4% при напряжении 200–500 В, второе — на частотах 200–400 кГц обеспечивает пиковую эффективность 97,5% при напряжении 200–700 В.

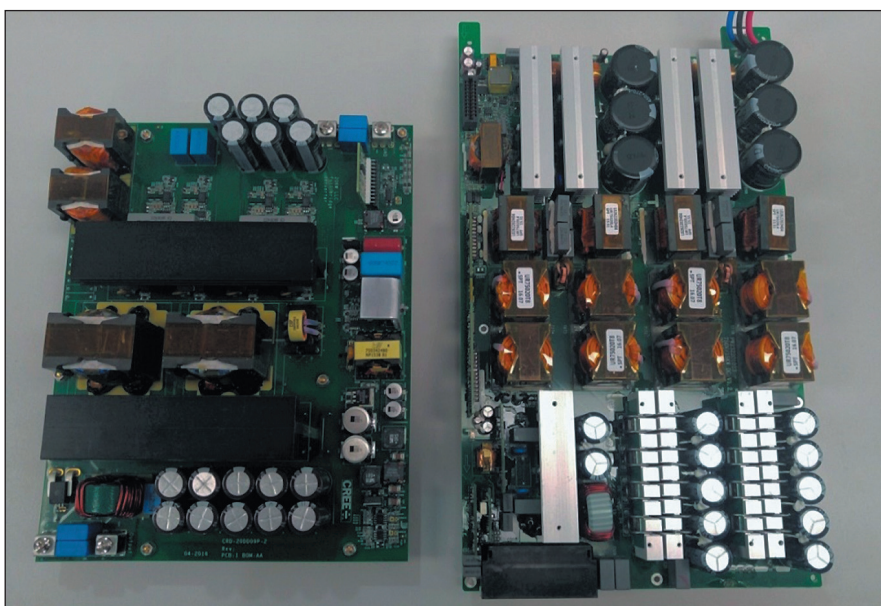


Рис. 1. Wolfspeed DC/DC-конвертер мощностью 20 кВт на SiC-приборах (слева) и DC/DC-конвертер мощностью 15 кВт на кремниевых приборах (справа)

Сравнение показателей системного уровня с параметрами лучших в своем классе кремниевых MOSFET-транзисторов с напряжением 650 В демонстрирует, что обе топологии схем модифицированы с трехуровневых на кремниевых приборах до двухуровневых на базе SiC-ключей. Применение SiC-транзисторов и изменение топологии схем сокращает количество требуемых компонентов с 16 кремниевых до восьми SiC MOSFET, при этом повышается эффективность преобразования.

Переход на двухуровневую схему с SiC-ключами также упрощает дизайн драйвера затворов и благодаря работе на более высоких частотах уменьшает как размер, так и стоимость необходимых магнитных компонентов. Максимальное рабочее напряжение транзистора 1000 В позволяет подавать на DC-шину обоих преобразователей до 850 В.

Эффективность преобразования

На рис. 1 дается сравнение на системном уровне готового DC/DC-конвертера мощностью 15 кВт на кремниевых транзисторах с эквивалентным устройством мощностью 20 кВт на карбид-кремниевых MOSFET-транзисторах Wolfspeed. Общая пиковая эффективность SiC-преобразователя составляет 98,4% против 97,5% у конвертера на кремниевых ключах. При этом SiC-система отличается компактностью, более высокой эффективностью и меньшим нагревом.

Компания Wolfspeed также продемонстрировала, как силовые ключи на основе карбида кремния обеспечивают прорывные решения в коммерческих готовых сборках, созданных с применением Si-IGBT-модулей 62 мм, 400 А, 1,2 кВ. Типовые силовые сборки содержат компоненты системного уровня: конденсаторы DC-шины, систему воздушного охлаждения и вентилятор, а также драйверы затворов с функциями защиты и датчиками.

В соответствии со спецификацией, выходная мощность сборки — 140 кВт (200 A_{rms}) на частоте 3 кГц, данное изделие является самым маленьким из всего семейства коммерческих сборок. Решение представляет собой модульную силовую подсистему на основе стандартных промышленных модулей и предназначено для эксплуатации в центральных солнечных инверторах и моторных приводах. В рамках этого исследования три IGBT 1200 В, 400 А были заменены на модули SiC

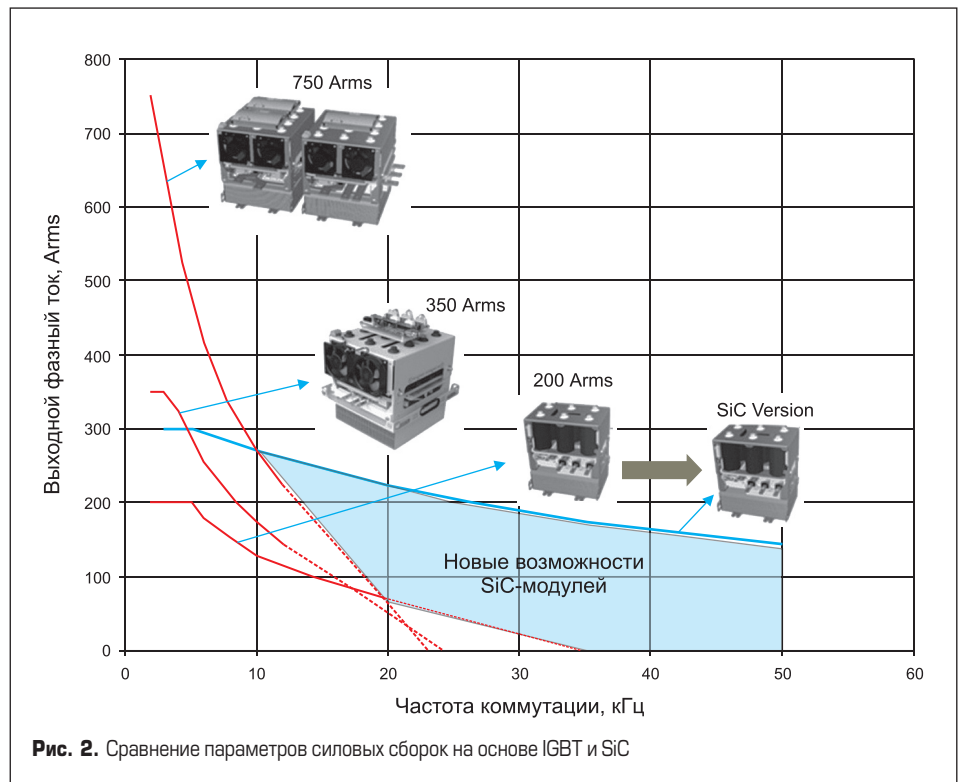


Рис. 2. Сравнение параметров силовых сборок на основе IGBT и SiC

Wolfspeed 1200 В, 300 А CAS300M12BM2. Шестиканальная плата драйвера затворов заменена тремя двухканальными драйверами, предназначенными для управления SiC.

Замена IGBT

Модули SiC MOSFET со встроенными SiC-диодами Шоттки имеют пять различных преимуществ относительно заменяемых модулей IGBT 400 А, а именно: меньшие коммутационные потери, меньшие потери проводимости, незначительные коммутационные потери диодов, больший запас по напряжению пробоя и иммунитет к воздействию космического излучения.

Сборка на модулях SiC испытывалась как трехфазный инвертор. Измеренные результаты сравнивались с данными спецификации сборки на IGBT-транзисторах. Инвертор SiC показал значительно меньший уровень рассеиваемой мощности, что позволяет получить такую же выходную мощность и эффективность на гораздо более высоких частотах коммутации. Также это позволяет уменьшить размер, вес и стоимость системы или обеспечить большую

мощность на той же частоте переключения, что улучшает плотность мощности и удельный показатель Вт/USD. К тому же у системы появляется возможность работать при меньшей температуре кристаллов и с более высокой эффективностью в аналогичных условиях эксплуатации, что эффективно улучшает надежность.

На рис. 2 показаны кривые номинального выходного тока инверторов в зависимости от частоты переключения. Существует обратная зависимость между выходным током и рабочей частотой. Видно, что из-за резкого снижения выходного тока на частоте 10 кГц инвертор IGBT с номинальным током 750 А, который в три раза превышает физический размер сборки на основе SiC, имеет такую же нагрузочную способность.

Уменьшенные размеры и вес изделия позволяют разработчикам в результате применения силовых SiC-модулей повысить эффективность преобразования и плотность мощности в дополнение к уменьшению системы охлаждения, упрощению схемы устройства и снижению требований к тепловым характеристикам.