SiC MOSFET ИЛИ Si IGBT ДЛЯ ИНВЕРТОРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА?

БОРИС ВОРОНОВ, инженер

В статье рассматриваются варианты использования SiC MOSFET в инверторах электропривода. Приводятся результаты экспериментальных исследований и моделирования. Полученные результаты сравниваются с аналогичными показателями инверторов на основе традиционных кремниевых IGBT.

ВВЕДЕНИЕ

Достоинства карбидокремниевых SiC MOSFET хорошо известны, в т. ч. хорошие динамические параметры, и их использования в силовых преобразователях не вызывает сомнения. Но не всегда требуются крутые фронты переключения в инверторах электропривода. Напротив, необходимы довольно-таки пологие фронты импульсов. Следовательно, целесообразность применения SiC MOSFET в электроприводе, на первый взгляд, вызывает сомнение, особенно учитывая их заметно более высокую стоимость по сравнению с традиционными кремниевыми IGBT.

В настоящей статье мы попробуем разобраться, разумно использовать SiC MOSFET в инверторах электропривода или стоит придерживаться консервативных взглядов и применять хорошо зарекомендовавшие себя IGBT? В [1] провели сравнительные испытания SiC MOSFET и IGBT, а затем на основе результатов испытаний смоделировали работу инверторов, базирующихся на этих компонентах.

СРАВНЕНИЕ SiC MOSFET И IGBT [1]

В сравнительных испытаниях использовались 3-фазные мостовые сборки SiC MOSFET (CCS050M12CM2, 50 А) и IGBT (FS75R12KT4 B15, 75А). Обе были в одинаковых корпусах и с одинаковым нормированным напряжением 1200 В. Для увеличения тока нагрузки все три плеча моста соединялись параллельно.

Измерения проводились при разных сопротивлениях затвора, разных нагрузках и разных температурах. При этом за счет подбора сопротивления резисторов затвора R_G в некоторых экспериментах поддерживалась примерно одинаковая скорость изменения напряжения dV/dt.

В качестве примера на рисунке 1 приведены осциллограммы коммутации SiC MOSFET и IGBT при разных токах нагрузки. Напряжение на шине постоянного тока составляло 500 В, ток нагрузки увеличивался с 30 до 150 А. Параллельное соединение всех трех плечей моста позволило увеличить ток нагрузки. Как видно из рисунка 1, скорость нарастания тока и напряжения возрастает в обоих ключах по мере увеличения нагрузки; особенно заметно растет скорость нарастания напряжения. Отметим существенно разное время восстановления SiC-диода с барьером Шоттки ключа SiC MOSFET и Si-диода IGBT.

Поскольку из-за изменения нагрузки в широком диапазоне меняется температура ключей, необходимо оценить их поведение в таких условиях. На рисунке 2 показаны осциллограммы коммутации ключей при изменении их температуры в диапазоне 25–125°C. Напряжение на шине постоянного тока составляло 500 В, ток нагрузки не изменялся и поддерживался на уровне 120 А.

При повышении температуры SiC MOSFET включается быстрее из-за отрицательного температурного коэффици-

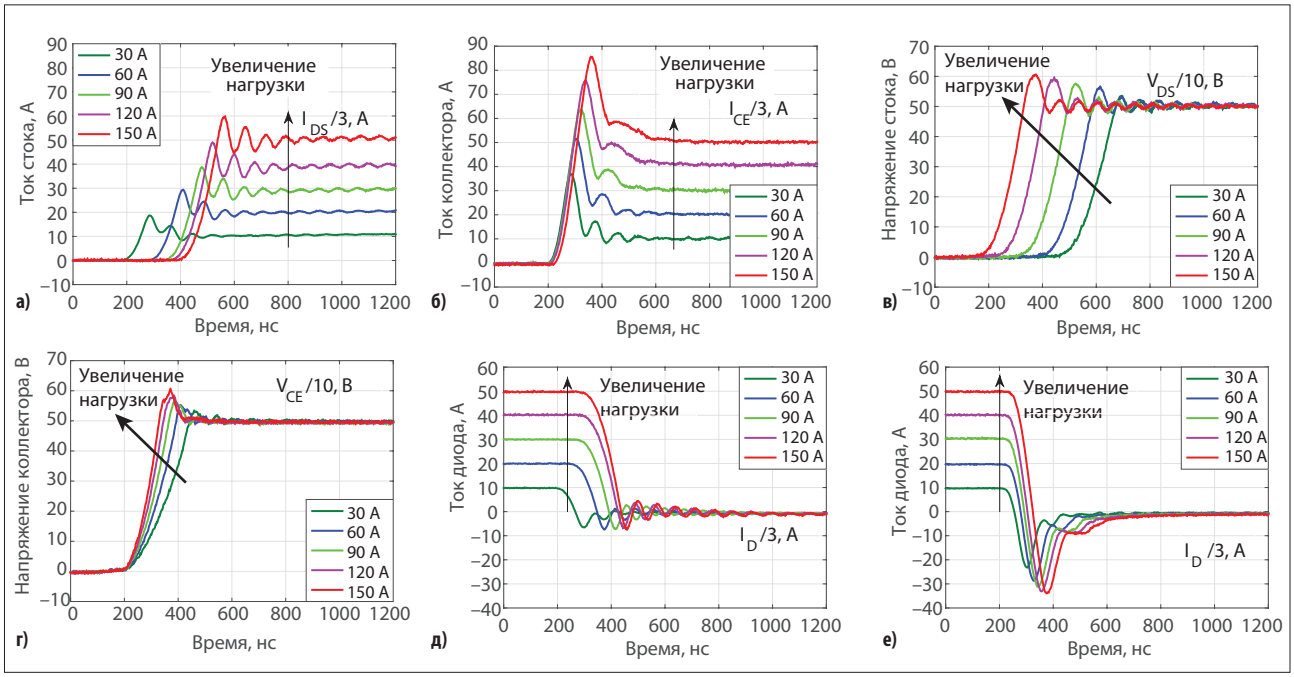

Рис. 1. **Коммутация SiC MOSFET и IGBT при разных токах нагрузки: а) ток стока при включении SiC MOSFET; б) ток коллектора при включении IGBT; в) напряжение стока при выключении SiC MOSFET; г) напряжение коллектора при выключении IGBT; д) восстановление обратного сопротивления диода с барьером Шоттки SiC MOSFET; е) восстановление обратного сопротивления диода Si IGBT**