

# Мощные SiC-MOSFET-модули в компактном корпусе нового поколения

от японской компании SanRex

**Огромный толчок в развитии современной преобразовательной техники произошел благодаря внедрению в массовое производство полупроводниковых материалов на основе карбида кремния, использование которого позволяет выйти устройствам на новый уровень за счет улучшения энергетических качеств, увеличения КПД и удельной мощности, а также уменьшения массогабаритных показателей.**

**В статье рассмотрены решения компании SanRex в области карбид-кремниевой силовой электроники.**

Андрей Третинко

atretinko@ultran.ru

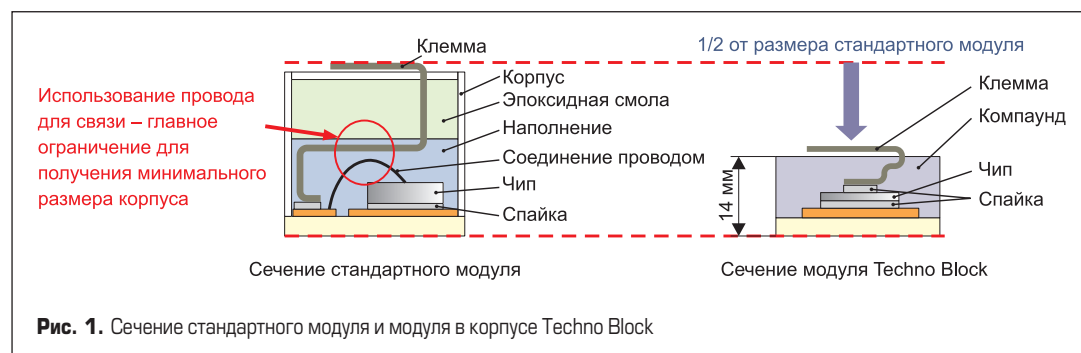
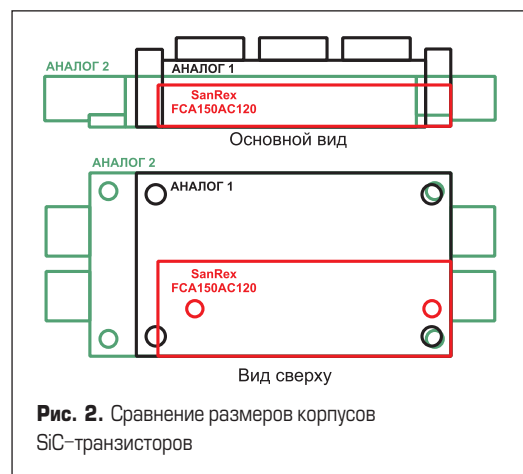
SanRex Corporation, торговая марка компании Sansha Electric Manufacturing, представила новое семейство силовых полупроводников, в котором используются новейшие передовые технологии, доступные на рынке: 3S SiC-MOSFET.

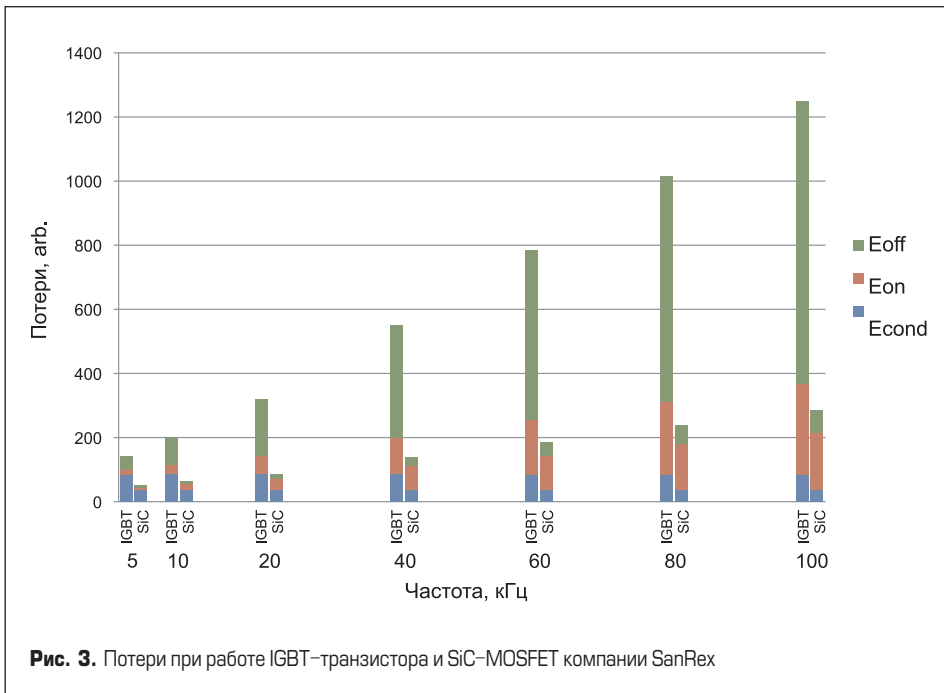
Три буквы S описывают три наиболее важные характеристики, которыми обладают продукты SiC-MOSFET, как их эксклюзивные особенности: Smaller, Safer, Supportive.

## Размеры

Уникальная технология Techno Block подразумевает припайку чипа напрямую, без использования дополнительных проводов, что приводит к значительному уменьшению размеров модуля. Также данный SiC-MOSFET включает структуру DioMOS: транзистор оснащен встроенным обратным диодом, который разработан при поддержке Panasonic, — это означает, что внешний диод не требуется, поскольку функция диода включена в матрицу (рис. 1).

Сравнивая SiC-MOSFET с аналогичными изделиями других производителей со схожими параметрами, действительно можно убедиться, что изготовление корпуса по системе Techno Block позволяет существенно уменьшить габариты транзистора (рис. 2, табл.).





Все эти технологии позволили не только дополнительно уменьшить размеры модуля, но и повысить производительность за счет существенного снижения  $R_{DS(on)}$ . На рис. 3 показано различие в расходе энергии включения ( $E_{on}$ )/выключения ( $E_{off}$ ) и работы в статическом режиме ( $E_{cond}$ ) между Si-IGBT-транзистором и SiC-MOSFET.

Учитывая, что суммарные потери в работе транзисторного ключа складываются из этих параметров, можно сделать вывод, что потери SiC-MOSFET компании SanRex меньше в 3–4 раза по сравнению с кремниевым IGBT (раз-

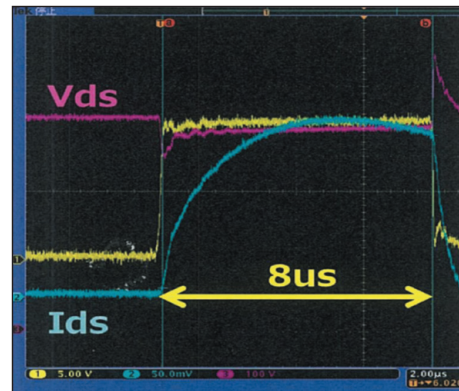
ница потерь тем больше, чем больше частота коммутации).

**Надежность**

Вкупе со значительным уменьшением размеров компания SanRex уделила существенное внимание повышению безопасности и надежности транзисторов. Модули 3S SiC-MOSFET обладают высокой устойчивостью к коротким замыканиям, что гарантирует еще большую безопасность их эксплуатации. Устройства конкурентов на базе SiC на 1200 В имеют способность выдерживать короткое замыкание

Таблица. Размеры сравниваемых модулей

Наименование	Размер, мм
FCA150AC120	29,8×94×14
АНАЛОГ 1	62×106×30
АНАЛОГ 2	62×152×17



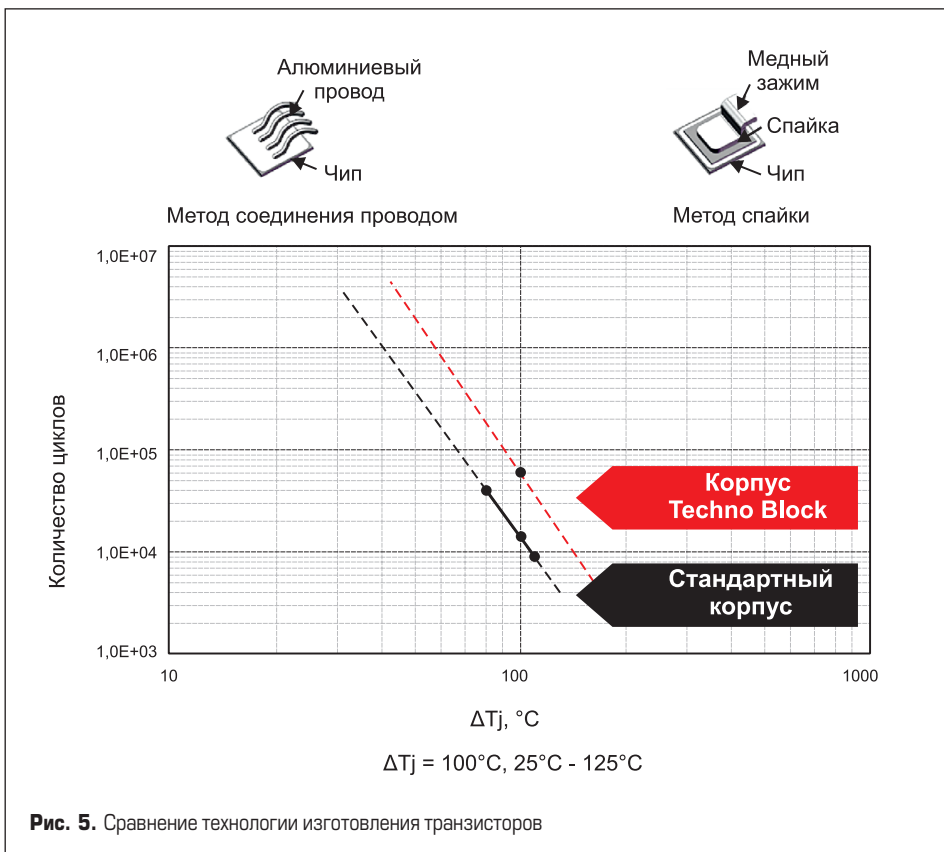
**Рис. 4.** Переходный процесс при коротких замыканиях

1–2 мкс, тогда как SiC-MOSFET от SanRex может выдержать более 8 мкс (рис. 4).

Также надежность повышается за счет двусторонней пайки и литья под давлением. Данная технология позволяет в три раза увеличить количество циклов включения по сравнению с модулями в стандартной упаковке (рис. 5). Причем речь идет именно о количестве циклов при рабочей температуре до +150 °С, так как стандартный модуль может обеспечить количество циклов более 20 000, только если верхний температурный диапазон снизить до +120...+130 °С, тогда как модуль в корпусе Techno Block подобное ограничение не требуется.

**Поддержка**

Не менее важным является оказание всевозможной поддержки, поскольку, кроме производства полупроводников, компания выпускает множество уже готовых решений. Так, на основе карбид-кремниевой продукции SanRex были изготовлены различные решения в области преобразовательной техники. Например, на базе транзистора FCA150AC120 разработан модульный двунаправленный источник питания постоянного тока (рис. 6) со следующими параметрами:



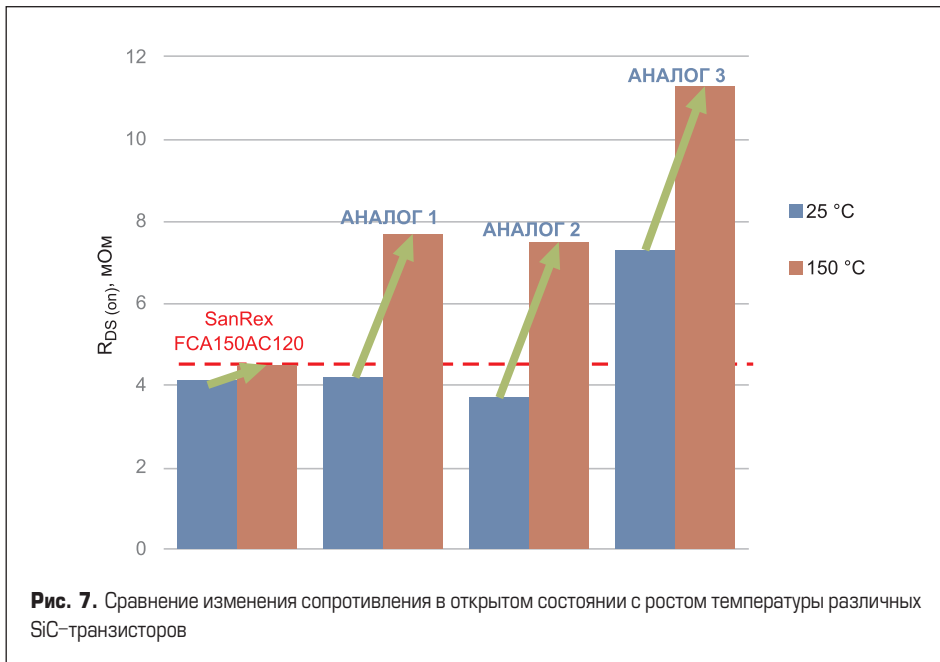


Рис. 7. Сравнение изменения сопротивления в открытом состоянии с ростом температуры различных SiC-транзисторов

- номинальная мощность: 30 кВт;
- выходное напряжение: 500 В;
- выходной ток: 180 А.

Использование SiC-MOSFET позволяет источнику работать на высоких частотах, что приводит к достижению максимальной скорости отклика и уровню эффективности среди доступных на рынке аналогов схожей мощности. Основные области применения данного источника:

- бортовое зарядное устройство для электрических автомобилей;
- DC/DC-преобразователи;
- устройства для тестирования аккумуляторов различного типа.

Также был изготовлен драйвер для работы SiC-MOSFET, который позволяет получить частоту переключения более 400 кГц. Таким образом, можно судить о том, что данная компания может оказывать поддержку на всех этапах проектирования и производства устройств из карбида кремния.

Следует остановиться на информации, представленной в технических данных. В частности, для транзистора FCA150AC120 в качестве

номинального тока стока  $I_D$  указано значение 150 А, однако при сравнении с конкурентами надо учитывать, что данный транзистор можно сравнивать с аналогами, у которых  $I_D$  составляет порядка 300 А.

Это обусловлено тем, что фактическое значение тока стока транзистора SanRex отличается от указанного в спецификации и его можно вычислить, пользуясь следующей формулой (1):

$$I_D = \sqrt{\frac{T_{Ch(max)} - T_C}{R_{DS(on)} \times \alpha \times R_{th(j-c)}}}, \quad (1)$$

где:  $T_{Ch(max)}$  — максимальная температура перехода;  $T_C$  — температура корпуса;  $R_{DC(on)}$  — сопротивление транзистора в открытом состоянии при температуре +25 °C;  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления;  $R_{th(j-c)}$  — температурное сопротивление переход-корпус.

Данная формула показывает, что на непрерывный ток стока влияет температура корпу-

са, следовательно, при ее изменении изменится и ток.

Так, при температуре устройства +90 °C получим величину тока стока:

$$I_D = \sqrt{\frac{150 - 90}{10 \times 0,11}} = 234 \text{ А}$$

при максимальном  $R_{DC(on)}$

$$I_D = \sqrt{\frac{150 - 90}{4,5 \times 0,11}} = 348 \text{ А}$$

при стандартном  $R_{DC(on)}$ .

Таким образом, мы видим, что значение тока стока при +90 °C значительно превышает указанные в спецификации 150 А и составляет порядка 300 А. Однако данное значение было использовано из-за значения тока истока, который протекает через диод в обратном направлении. Фактическое значение этого тока рассчитывается по формуле (2), оно соответствует значению в спецификации и составляет 150 А.

$$I_S = \sqrt{\frac{T_{Ch(max)} - T_C}{V_{SD} \times \alpha \times R_{th(j-c)}}}, \quad (2)$$

где:  $T_{Ch(max)}$  — максимальная температура перехода;  $T_C$  — температура корпуса;  $R_{DC(on)}$  — сопротивление транзистора в открытом состоянии при температуре +25 °C;  $V_{SD}$  — прямое падение напряжения при температуре +25 °C;  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления;  $R_{th(j-c)}$  — температурное сопротивление переход-корпус.

Следовательно, чтобы оценить непрерывный ток стока  $I_D$ , было использовано значение  $I_S$ , хотя оно и является меньшим. Исходя из вышесказанного, можно судить о том, что для выбора MOSFET-транзистора нужно обращать внимание не на ток стока, а на сопротивление в открытом состоянии. И, как видно на рис. 7, у транзистора SanRex сопротивление в открытом состоянии практически не изменяется от температуры в отличие от продукции конкурентов.