

# Прижимные IGBT-модули StakPak™ компании ABB.

## Новая концепция корпусирования для силовой электроники

**StakPak™ — семейство силовых IGBT-модулей и диодов компании ABB Semiconductors в новом модульном корпусе, конструкция которого гарантирует равномерное распределение нагрузки на полупроводниковые чипы при использовании в многоуровневых сборках (стеках).**

**Алексей Чекмарев**

chekmarev@fmccrustel.ru

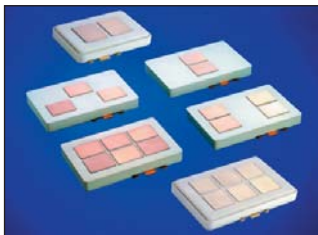


Рис. 1. Внешний вид StakPak



Рис. 2. «Подмодуль» StakPak (с открытой стороной эмиттера) с пружинными контактами эмиттера

Большинство обычных корпусов IGBT являются изолированными. Однако в тех случаях, когда требуется последовательное соединение приборов, использование неизолированных прижимных модулей становится предпочтительным благодаря легкости их механического и электрического соединения. Кроме того, эти приборы обладают исключительным свойством, отвечающим требованиям резервирования работы преобразовательных устройств — способностью продолжать проводить ток в аварийных режимах (например, коротких замыканиях).

Поскольку IGBT-модули состоят из одиночных параллельных кремниевых чипов, то существует определенная трудность обеспечения равномерного распределения нагрузки на все чипы в обычных корпусах. Иногда это даже приводит к увеличению числа приборов в сборке. ABB Semiconductors удалось решить эту проблему с помощью пружинной конструкции.

Для семейства StakPak, оптимизированного под последовательное соединение, характерна модульная концепция, которая основана на «подмодулях», помещенных в эпоксидный упрочненный каркас (рис. 2). Это позволяет реализовать бюджетный номенклатурный ряд для IGBT и диодов различных токовых номиналов. В таблице представлен типовой ряд приборов StakPak. Приборы с напряжениями

больших номиналов, а также асимметричные приборы находятся в стадии разработки.

### Типы приборов StakPak

Приборы StakPak делятся на два основных типа:

- стандартный;
- для работы при аварийных режимах короткого замыкания (SCFM).

Стандартный тип разработан для использования в обычных инверторах с возможностью последовательного соединения без резервирования. Такие приборы при коротких замыканиях выключаются, тем самым упрощая и сам аварийный режим, и защиту. Они не способны проводить ток в режиме короткого замыкания длительное время (месяцы или годы до выявления отказа). Тип SCFM специально разработан для последовательного соединения с резервированием. В таком исполнении преобразователя дополнительные (резервные) приборы, включенные последовательно, обеспечивают дальнейшее функционирование преобразователя при отказе элемента. В аварийном режиме поврежденный прибор продолжает проводить ток в течение времени, превышающего промежутки плановых обслуживаний оборудования. Период, в течение которого ток нагрузки должен протекать через поврежденный прибор без внешнего

Таблица. Существующие и перспективные продукты ABB StakPak

Обозначение	Ток, А	Напряжение, В	Тип	Конфигурация
5SNR 10H2500	1000	2500	SCFM	
5SNR 13H2500	1300	2500	SCFM	
5SNR 20H2500	2000	2500	SCFM	
5SNX 10H2500	1000	2500	Стандарт	
5SNX 13H2500	1300	2500	Стандарт	
5SNX 20H2500	2000	2500	Стандарт	
5SNX 20J4500*	2000	4500	Стандарт	
5SLF 20H2500	2000	2500	SCFM	
5SKF 20H2500	2000	2500	Стандарт	
5SKF 20L4500*	2000	4500	Стандарт	

\* в разработке

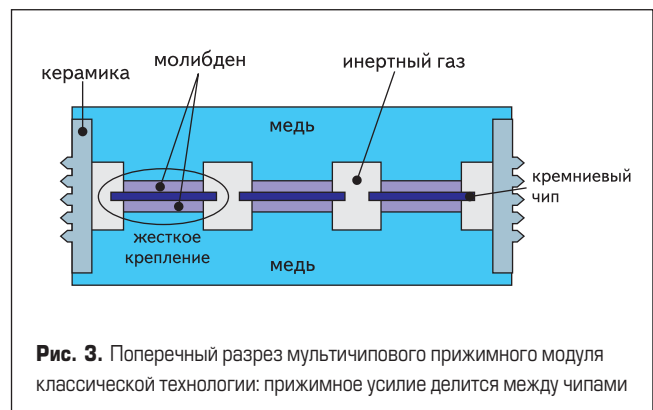
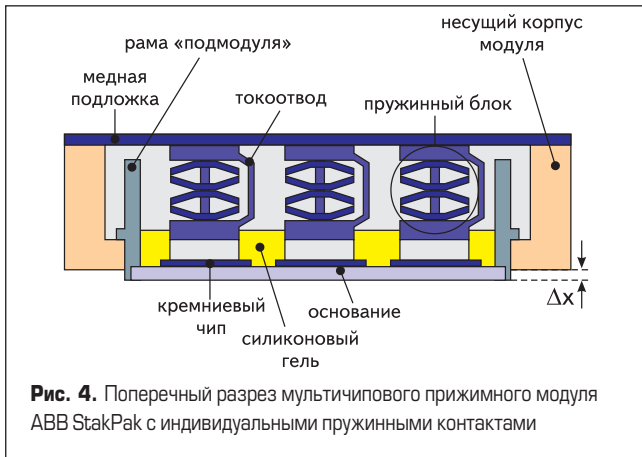
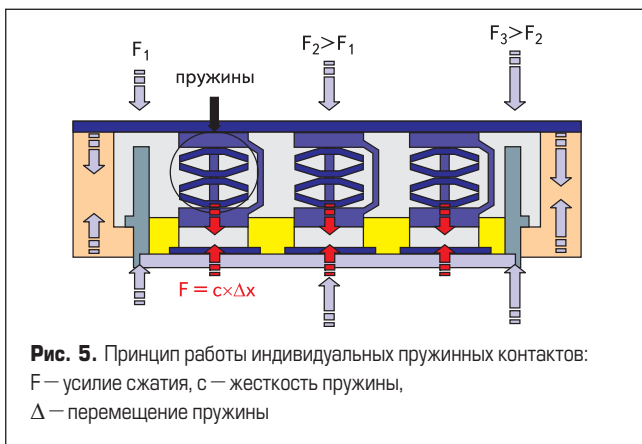


Рис. 3. Поперечный разрез мультичипового прижимного модуля классической технологии: прижимное усилие делится между чипами



**Рис. 4.** Поперечный разрез мультичипового прижимного модуля ABB StakPak с индивидуальными пружинными контактами



**Рис. 5.** Принцип работы индивидуальных пружинных контактов:  
F — усилие сжатия, c — жесткость пружины,  
Δ — перемещение пружины

разрушения корпуса или внутреннего разрушения электрического контакта, является функцией тока нагрузки. ABB предлагает тип SCFM тем потребителям, которым необходима возможность резервирования и где определена конфигурация тока через прибор в режиме короткого замыкания.

### Прижимная технология

Существуют две основные мультичиповые прижимные технологии различных производителей силовых полупроводников: обычная, когда каждый чип выдерживает нагрузку силы прижатия прибора, деленной на число чипов (рис. 3) и технология индивидуальных пружин, представленная на рис. 4 (ABB StakPak).

Индивидуальные пружинные контакты существенно снижают неравномерность прилегания к поверхности охладителя и обеспечивают хорошее распределение прижимной силы внутри сборки. Это снижает стоимость прижимного механического интерфейса сборки и существенно расширяет сферу надежной работы. Благодаря этой «независимой подвеске» к каждому чипу прикладывается нормированное усилие, даже несмотря на неравномерное распределение нагрузки на корпусе StakPak IGBT (рис. 5).

Усилие, необходимое для длинной сборки, действительно может быть намного больше, чем допускается для кремниевых чипов, соединенных посредством своих чувствительных поверхностных микроструктур. Прочность и стабильность сборки при воздействии ударов и вибрации в процессе эксплуатации или во время транспортировки зависят от усилия затяжки, которое не всегда может соответствовать тре-

буемому. Поэтому важно обеспечить на чипах оптимальное усилие, которое должно быть меньше оптимального усилия сжатия сборки. Индивидуальные пружинные блоки IGBT-модулей StakPak ABB позволяют сделать это.

### Применение

Как уже было отмечено выше, прижимные приборы оптимальны для последовательного механического и электрического соединения, особенно там, где требуется резервирование. Поскольку возможность резервирования не является внутренней характеристикой всех мультичиповых прижимных приборов, это свойство может быть реализовано только при использовании специальных технологий. Классическим примером длинной сборки, в которой реализовано данное свойство, может служить IGBT-стек, выполняющий функции ключа в устройствах передачи энергии постоянным током и преобразователях статической компенсации реактивной мощности (рис. 6). Следует подробнее остановиться на этом аспекте применения прижимных модулей StakPak.

Недавние события, произошедшие в Московской энергосистеме, наглядно показали необходимость обновления энергетической инфраструктуры. С ростом мощностей к устройствам энергосистемы предъявляются новые требования, связанные с поддержанием уровня напряжения в сети, перераспределением потоков энергии, устойчивостью в условиях колебаний мощностей, снижением потерь. Большое значение оказывает асимметрия напряжений мощных потребителей в точках общего подключения, к которым можно отнести электрифицированные железные дороги, энер-



**Рис. 6.** Стандартный IGBT-стек, работающий в ключевом режиме в устройстве статической компенсации реактивной мощности

гоемкие предприятия промышленности и др. Рост потерь энергии в энергосистемах снижает эффективность использования мощных линий электропередач, приводит к перегрузке одних и недогрузке других линий.

Эффективным способом решения указанных проблем является применение электропередач на базе современной преобразовательной техники с микропроцессорным управлением.

Примером таких устройств может служить инвертор напряжения, работающий в режиме источника реактивной мощности (СТАТКОМ) и использующий в качестве ключевых элементов полностью управляемые силовые приборы, собранные в многоуровневые сборки. Это многофункциональное устройство, обеспечивающее поддержание уровня напряжения в точке установки, продольную и поперечную компенсацию параметров примыкающей линии, а также фазовращение вектора напряжения. Результатом его применения является гибкое регулирование потоков мощности при обеспечении требуемого уровня напряжения энергосистемы. Подобные устройства реализованы в нескольких энергосистемах Северной Америки и Европы. В России подобного опыта пока нет, но дефицит мощности энергосистем станет, по всей вероятности, тем импульсом, который придаст импульс развитию этого сегмента преобразовательной техники.

Другие сферы применения прижимных модулей:

- многоуровневые инверторы с 6 или более приборами, соединенными последовательно;
- импульсное оборудование;
- частотные преобразователи подвижного состава, подключенные непосредственно к контактной сети переменного тока напряжением 15 или 25 кВ;
- регулируемые частотные приводы;
- системы, где недопустим разрыв цепи (например, системы с источниками тока).

### Заключение

StakPak представляет новую концепцию прижимной технологии IGBT, которая направлена на снижение стоимости и увеличение надежности систем, в которых используется несколько прижимных приборов в одной сборке. Это отвечает современным направлениям производства, при которых IGBT-стек может быть собран на обычных производственных мощностях без привлечения инжиниринга точной механики и без снижения качества продукции. Модульность StakPak позволяет формировать номенклатуру из стандартных компонентов, поэтому расширение ряда возможной продукции может быть сделано в соответствии с запросами рынка в короткие сроки. Это относится, например, к асимметричным и реверсивным приборам.

Очень надежные SPT-чипы на напряжение 4,5 и 6,5 кВ, используемые в настоящее время в модулях ABB HiPak, адаптированы также и для модулей StakPak, что гарантирует великолепные характеристики и надежность на всех уровнях от отдельных чипов до многоуровневыхборок.

Материалы подготовлены с согласия ABB Switzerland Ltd Semiconductors.