

# Пополнение в семействе MiniSKiiP

Разработчикам всего мира хорошо известно семейство миниатюрных модулей MiniSKiiP, выпускаемых компанией SEMIKRON более 15 лет. Популярность данных компонентов обусловлена, прежде всего, их высокой надежностью и предельно простым способом монтажа. Кроме того, они обеспечивают наибольшую плотность тока для компонентов данного класса.

В последние годы семейство MiniSKiiP пополнилось интеллектуальными модулями привода MiniIPM [1] и силовыми ключами серии MLI, предназначенными для разработки высокоэффективных трехуровневых преобразователей [2].

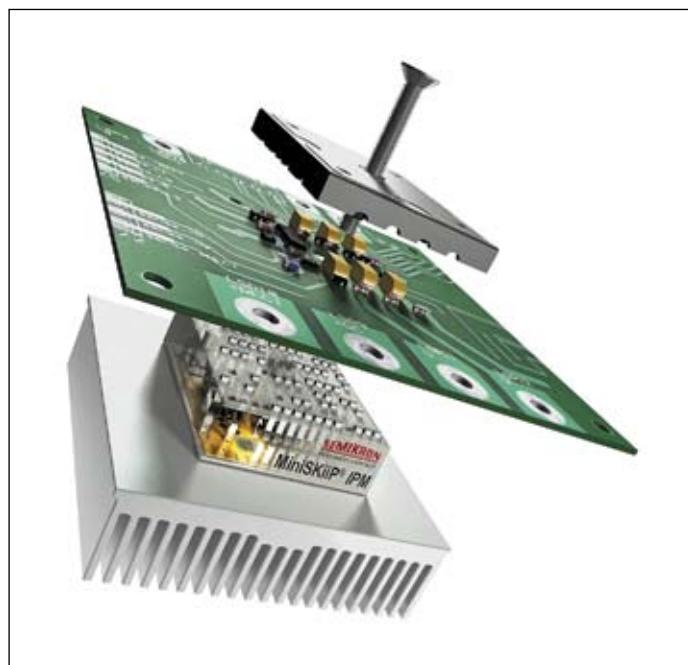
Применение MiniIPM в приводной конфигурации CIB (Converter/Inverter/Brake — выпрямитель/инвертор/тормозной каскад) позволяет разработчикам при минимальных временных и аппаратных затратах проектировать миниатюрные приводы мощностью до 15 кВт. Компоненты серии MLI будут востребованы в преобразователях с низким уровнем искажений выходного сигнала, к которым относятся, например, источники бесперебойного питания (UPS).

Александр ЛАНГЕНБУЕР  
(Alexander LANGENBUCHER)

Перевод и комментарии:  
Андрей КОЛПАКОВ  
Andrey.Kolpakov@semikron.com

## Введение

За годы, прошедшие с начала производства MiniSKiiP, выпущено более 15 млн модулей, нашедших свое применение в самых разных отраслях промышленности: приводах, роботах, сварочных инверторах, источниках питания и т. д. (рис. 1). Компоненты MiniSKiiP используют в своей серийной продукции компании Schneider, Schindler, SEW-EURODRIVE, Siemens, VACON, завод Silectron (компания CHLORIDE) и другие ведущие мировые производители преобразовательной техники.



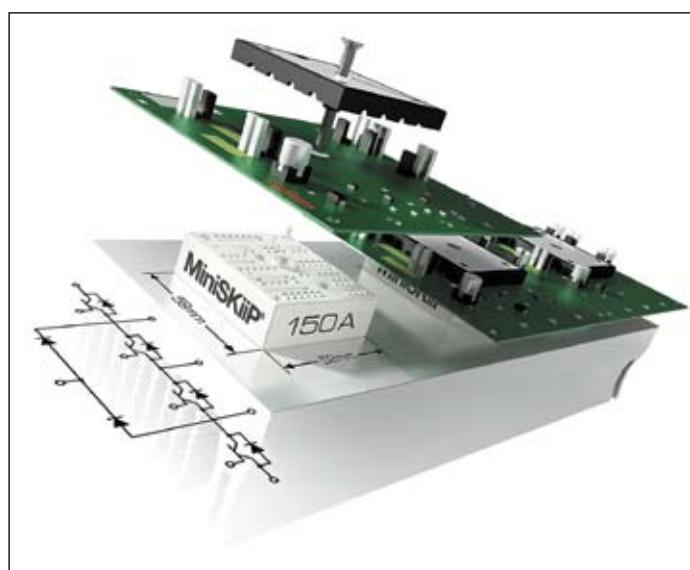
Чаще всего эти модули, которых только за первую половину 2011 г. выпущено 3 млн, встречаются в общепромышленных инверторах мощностью до 30 кВт. Завоевав европейский рынок, компоненты семейства MiniSKiiP активно продвигаются в Азию. Безопасность и надежность их поставки обеспечивается наличием еще двух лицензированных производителей.

## Трехуровневая топология — эффективность и компактность

Первые трехуровневые (3L) инверторы были разработаны почти 30 лет назад, однако отсутствие высокоэффективных электронных ключей не позволяло этой топологии развиваться достаточно быстро. На практике 3L-схема использовалась только в мощных высоковольтных устройствах, где ее применение было технически и экономически оправдано.



Рис. 1. Области применения модулей MiniSKiiP



**Рис. 2.** Применение MiniSKiiP серии MLI позволяет создавать компактные высокочастотные инверторы, отличающиеся низким уровнем потерь, высокой плотностью тока и простотой соединительных шин

В последнее время трехуровневые инверторы со связанным нейтралио (Neutral Point Clamping, 3L NPC) стали все более активно применяться в источниках бесперебойного питания и солнечных энергетических станциях, что вызвано высокими требованиями по КПД и качеству выходного сигнала. Специально для устройств, где использование подобных схем дает ощутимые технические преимущества, компания SEMIKRON разработала серию специализированных модулей, выполненных в соответствии с топологией 3L NPC [2]. Ожидается, что подобные компоненты в конструктиве MiniSKiiP станут новым промышленным стандартом (рис. 2).

Меньший уровень динамических потерь, обусловленный коммутацией половины напряжения питания, является главным преимуществом трехуровневой топологии перед традиционной. Схема 3L содержит 10 полупроводниковых элементов на фазу (включая четыре IGBT), в фазе 2L-инвертора работает только четыре ключа. Однако 600-вольтовые транзисторы, применяемые в новой схеме, имеют гораздо более высокую плотность тока и меньший уровень потерь, чем IGBT 12-го класса. Поскольку в цепи 3L-инвертора участвуют четыре силовых ключа, потери проводимости данной схемы оказываются несколько выше, чем у традиционной. Тем не менее существенное снижение потерь переключения позволяет уменьшить общее значение рассеиваемой мощности примерно на 40%, и это достоинство особенно ярко проявляется на высоких частотах коммутации.

Улучшение спектрального состава выходного сигнала в обычных преобразователях достигается за счет повышения частоты коммутации  $f_{sw}$  и применения сложного и дорогого выходного фильтра. Многоуровневая схема позволяет при относительно низком значении  $f_{sw}$  решить эту проблему и, кроме того, уменьшить требования к синусоидальному фильтру, габариты и стоимость которого вносят существенный вклад в показатели всего изделия. И еще одним важным достоинством 3L-топологии является низкий уровень излучаемых электромагнитных шумов, что особенно важно для таких применений, как UPS.

Лучшее качество выходного сигнала или меньший уровень гармонических искажений при той же частоте коммутации — важнейшие характеристики сетевого источника питания. Наличие высокочастотных гармоник приводит к несинусоидальности тока потребления и искажению формы питающего напряжения, то есть обеспечение низкого коэффициента нелинейных искажений (THD) сигнала эквивалентно улучшению качества сети. Благодаря малому уровню гармоник выходного тока высокочастотные 3L-инверторы могут



**Рис. 3.** Плотность тока специализированных 3L-модулей разной конструкции

вообще обходиться без дорогих сетевых фильтров. Это свойство является весьма полезным для инверторов, используемых в рабочих средах, таких как офисы и заводы.

Для упрощения конструкции соединительных шин 3L-инвертора в модулях MLI была модернизирована топология соединений кристаллов и оптимизировано расположение терминалов. В специализированных ключах силовые чипы, участвующие в четырех возможных путях коммутации тока, расположены на минимальной площади, а их выводы находятся на кратчайшем расстоянии друг от друга. Это позволяет уменьшить распределенную индуктивность шин и снизить уровень коммутационных перенапряжений.

Кроме того, благодаря использованию пружинных контактов плотность мощности трехуровневых модулей MiniSKiiP достигла 4,9 А/см<sup>2</sup>, что на 15% больше, чем у компонентов с обжимными выводами, и на 40%, чем у ключей с винтовыми терминалами (рис. 3). Данный показатель служит для оценки качества конструктива и его не следует путать с плотностью тока самих выводов, которая, естественно, намного выше. Этот факт в сочетании с возможностью резко снизить размер фильтра или отказаться от него позволяет создавать преобразователи с рекордно низкими массо-габаритными показателями.

## Монтаж за одну сборочную операцию

Одним из важнейших достоинств компонентов семейства MiniSKiiP является предельная простота сборки и обслуживания. Монтаж преобразователя, состоящего из модуля, радиатора и интерфейсной платы, производится за одну сборочную операцию с помощью одного крепежного винта без применения пайки (рис. 4). Сигнальные и силовые электрические соединения обеспечиваются пружинными контактами, стойкость данной технологии к механическим и тепловым воздействиям, а также агрессивным газам подтверждена в ходе специальных тестов [3].

В настоящее время в компонентах семейства MiniSKiiP работает более 300 млн пружин, при этом не было выявлено ни одного отказа, связанного с контактными характеристиками. Монтаж обычных модулей с паяными выводами требует не менее пяти сборочных операций, как показано на рис. 4. Концепция пружинных соединений позволяет не только упростить процесс монтажа и замены, но и снизить стоимость готовых устройств, а также существенно повысить их надежность.

## MiniSKiiP IPM — интеллектуальный модуль привода

Более 80% выпускаемых компонентов семейства MiniSKiiP используется в общепромышленных приводах, поэтому наибольшую популярность получили силовые ключи в конфигурации СИВ. В 2010 г. начался выпуск интеллектуальных модулей MiniSKiiP IPM (рис. 5), выполненных в данной топологии и снабженных устройством управления затворами [1]. Особенностью нового интегрального драйвера является полное подавление эффекта защелкивания во всем диапазоне рабочих токов и температур. Это достигнуто благодаря приме-

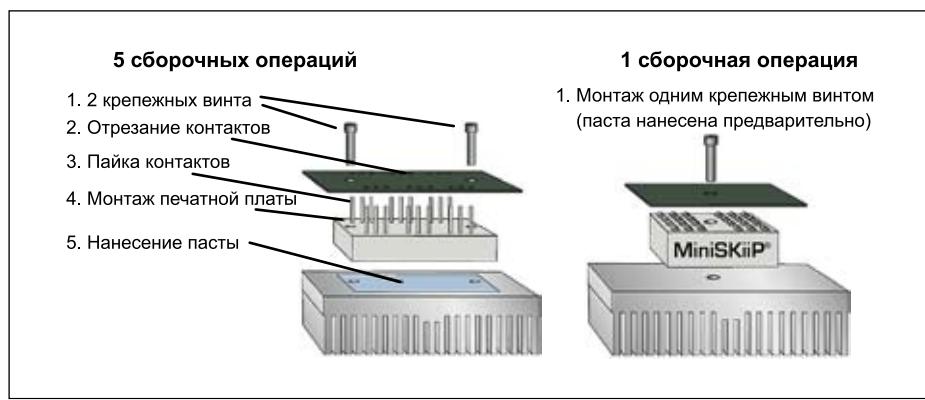


Рис. 4. Сравнение способов монтажа модулей с выводами под пайку и MiniSKiiP

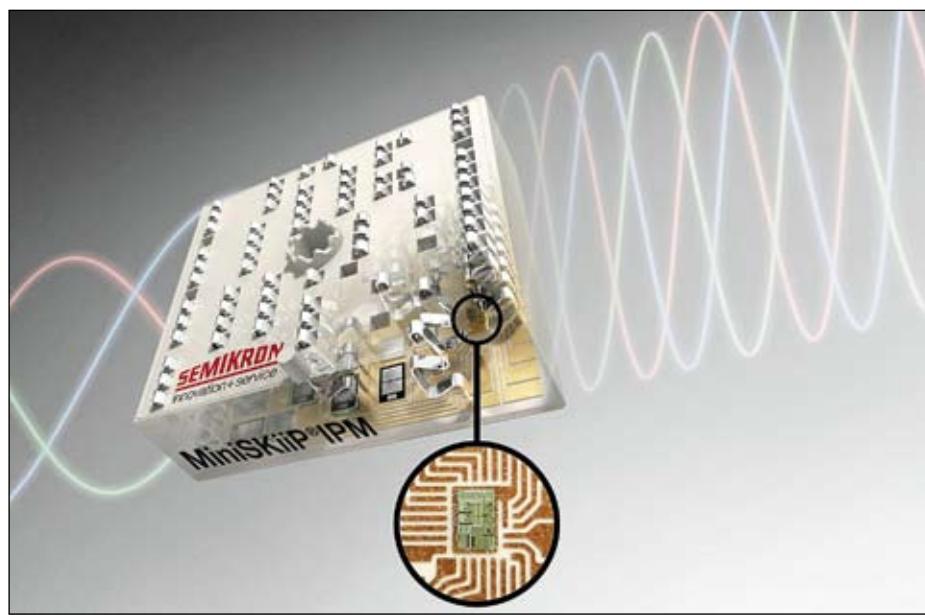


Рис. 5. Приводной интеллектуальный модуль MiniSKiiP IPM для приводов мощностью до 15 кВт

нению технологии SOI (Silicon On Insulator), впервые внедренной SEMIKRON для компонентов такого типа. Структура SOI предусматривает электрическую изоляцию каждого полупроводникового элемента, благодаря чему резко снижается ток утечки и гарантируется подавление паразитных триггерных структур при всех условиях эксплуатации, включая короткое замыкание [4].

Технология SOI обеспечивает высокий иммунитет к наведенным переходным напряжениям обеих полярностей с уровнями вплоть до напряжения пробоя MOSFET. Все сказанное в сочетании с расширенным температурным диапазоном (теоретически  $T_{j\max}$  достигает +200 °C) позволяет использовать чипы SOI для построения высоконадежных электронных устройств управления затворами.

Интегральный драйвер MiniSKiiP IPM способен контролировать шесть ключей трехфазного инвертора, а также и чоппер, который может быть использован в качестве тормозного каскада или корректора коэффициента мощности (ККМ). Входы управления совместимы с уровнями логики TTL (5 В)

и CMOS (3,3 В), время задержки составляет около 300 нс. Схема защиты драйвера выполняет все базовые функции, выключая выходные транзисторы при снижении напряжения управления (Under Voltage LockOut, UVLO) и перегрузке по току (Over Current Protection, OCP) по сигналу резистивного шунта.

При работе маломощных IPM амплитуда коммутационных выбросов обычно не превышает предельных для IGBT значений, поскольку малы величины  $dV/dt$  и  $L_s$ . Однако с ростом мощности уровень переходных перенапряжений растет лавинообразно, делая этот эффект опасным как для силового ключа, так и для драйвера. В модулях серии MiniIPM реализована новая концепция сдвига уровня, гарантирующая защиту схемы управления от наведенных со стороны силовых каскадов перенапряжений обоих полярностей.

Установка чипа драйвера непосредственно на DBC-подложку дает возможность эффективно отводить от него тепло, что особенно важно при работе схемы управления на высоких частотах. При размере кристалла

$4,9 \times 3,1$  мм величина теплового сопротивления составляет 4 °C/Вт, для сравнения укажем, что при установке аналогичного чипа в корпусе SOP28 значение  $R_{th(j-a)}$  достигает 75 °C/Вт. При выходном токе порядка 1 А это позволяет драйверу эффективно управлять силовым каскадом инвертора среднего диапазона мощности. Для организации тепловой защиты модули снабжены термодатчиком, установленным на DBC-подложке.

Конструктив MiniSKiiP IPM отличается низким значением теплового сопротивления, а по удельным мощностям характеристикам его показатели являются одними из лучших на рынке. При объеме корпуса 49 см<sup>3</sup> плотность тока новых силовых ключей более чем на 50% превышает показатели большинства рыночных образцов данного класса.

## Заключение

Непрерывное увеличение стоимости энергии (примерно 40% за последние 10 лет) делает применение электронных преобразовательных устройств все более привлекательным. Совершенствование полупроводниковых технологий позволяет непрерывно повышать их эффективность, что дает возможность не только сберечь энергию, но и сохранить природные ресурсы. Одновременно идет увеличение степени интеграции силовых модулей, благодаря чему неуклонно снижаются затраты на разработку готовых систем, в частности частотно-регулируемых приводов, на которые ориентировано семейство новых интеллектуальных модулей MiniSKiiP IPM.

Торговая марка MiniSKiiP стала одной из известнейших в мире силовой электроники, этот факт признан большинством европейских производителей преобразовательной техники. Подобный успех обусловлен, в первую очередь, высокими показателями плотности мощности, а также надежностью и простотой сборки. Благодаря «безбазовой» конструкции компоненты MiniSKiiP имеют высокую стойкость к термоциклированию и гораздо более высокую временную стабильность характеристик, чем любой стандартный модуль аналогичной мощности. Соединение с платой управления и радиатором производится с помощью одного крепежного винта в ходе одной производственной операции, что является важным преимуществом MiniSKiiP при автоматизированной сборке.

Использование пружинных контактов в сигнальных и силовых электрических цепях позволило полностью исключить проблемы, связанные с усталостными процессами паяных соединений, и обеспечить высокую стойкость к ударным и вибрационным воздействиям. Надежная работа пружинных соединений в условиях агрессивных газов подтверждена в ходе специальных тестов.

Расширение семейства MiniSKiiP за счет специализированных трехуровневых модулей открывает широкие возможности разработ-

чикам устройств, где требуется минимальный уровень динамических потерь при высокой частоте коммутации, например источник бесперебойного питания. Концепция преобразователя 3L NPC, несмотря на ее кажущуюся сложность, при работе на высоких частотах обеспечивает очевидные технические и экономические преимущества. Трехуровневая схема является более предпочтительной и с экономической точки зрения, так как общая стоимость 600-В специализированных силовых ключей, необходимых для реализации инвертора, примерно на 25% ниже, чем у стандартных полумостов 12-го класса.

Низкий уровень потерь и, соответственно, высокий КПД силового преобразова-

теля имеют особенное значение для таких устройств, как источники бесперебойного питания (UPS) и инверторы солнечных энергетических станций. Применение специализированных модулей, выполненных по схеме 3L NPC, позволяет упростить конструкцию соединительных шин, повысить надежность и улучшить массо-габаритные показатели преобразовательного устройства.

Тепловые модули всех новых моделей включены в базу данных версии 4.0.1 программы теплового расчета SEMISEL [2], доступной в онлайновом режиме на сайте [www.semikron.com](http://www.semikron.com). Дистрибутив программы можно получить в офисе технической поддержки компании в Санкт-Петербурге. ■

## Литература

1. Колпаков А. MiniIPM — инструкция по эксплуатации // Компоненты и технологии. 2009. № 9.
2. Langenbucher A., Staudt I., Колпаков А. Трехуровневые инверторы: специализированные модули и тепловой расчет // Компоненты и технологии. 2011. № 5.
3. Колпаков А. Надежность прижимных соединений силовых модулей в условиях агрессивных сред // Силовая электроника. 2006. № 4.
4. Гетцер Р. и др. Технологии интегральных драйверов IGBT // Компоненты и технологии. 2011. № 2.