

Миниатюрные модули привода MiniSKiiP II — особенности применения

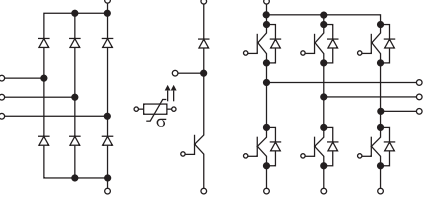
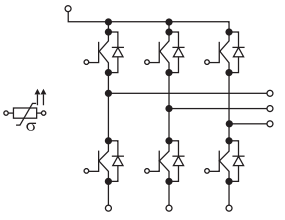
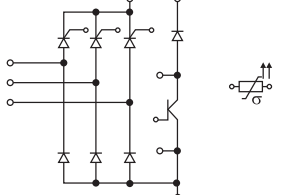
Серия миниатюрных модулей MiniSKiiP, разработанных компанией SEMIKRON и предназначенных для использования в приводах мощностью до 30 кВт, необычайно популярна среди производителей силовой электроники. Об этом свидетельствует тот факт, что доля SEMIKRON на европейском рынке компонентов силовой электроники данного диапазона мощности составляет 46%. Одно из наиболее интересных конструкторских решений, использованных в этом типе модулей — усовершенствованные пружинные контакты, используемые в качестве силовых и сигнальных терминалов. MiniSKiiP второго поколения имеют беспрецедентную в своем классе плотность тока, обладают повышенной стойкостью к токовым перегрузкам и термоциклированию. Особенности конструкции модулей MiniSKiiP посвящено достаточно много статей [1, 2], однако их растущая популярность в России вызывает необходимость более подробно остановиться на особенностях применения данных компонентов.

Андрей Колпаков

Andrey.Kolpakov@semikron.com

Снижение габаритов силового каскада при повышении его эффективности и мощности — основная задача любой компании, действующей на рынке силовых преобразовательных устройств. В 1996 году фирма SEMIKRON выпустила на рынок первое поколение миниатюрных модулей MiniSKiiP, предназначенных для работы в приводах в диапазоне мощностей до 10 кВт. По международной классификации конфигурация этих модулей имеет обозначение CIB (Converter, Inverter, Brake), они содержат выпрямительный мост (однофазный

Таблица 1. Основные технические характеристики модулей MiniSKiiP II

| Тип модуля | V_{CE} , В | I_C , А | Схема |
|--|---|-------------------------------------|--|
| Выпрямительный мост + 3-фазный инвертор IGBT + тормозной транзистор (конфигурация NAB) | | | |
| MiniSKiiP II-0 MiniSKiiP II-1 MiniSKiiP II-2 MiniSKiiP II-3 | 600 600 + 1200 600 + 1200 600 + 1200 | 10–20 10–30 30–50 50–100 |  |
| 3-фазный инвертор IGBT (конфигурация AC) | | | |
| MiniSKiiP II-0 MiniSKiiP II-1 MiniSKiiP II-2 MiniSKiiP II-3 | 600 600+1200 600+1200 600+1200 | 10–30 10–40 40–100 100–175 |  |
| Тиристорный или диодный мост + тормозной транзистор (конфигурация ANB, ANB) | | | |
| MiniSKiiP II-2 MiniSKiiP II-3 | 600+1200 600+1200 | 150 175 |  |

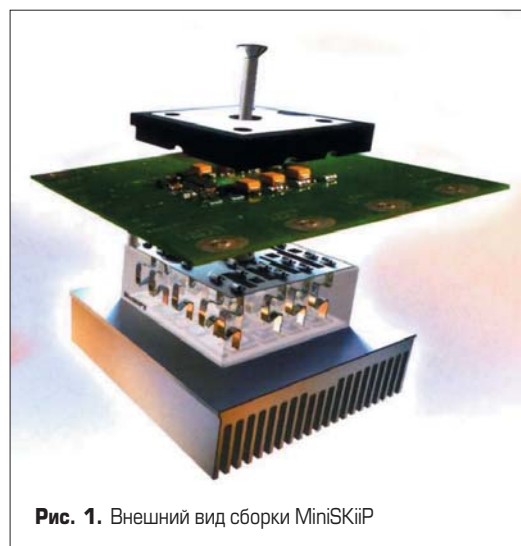


Рис. 1. Внешний вид сборки MiniSKiiP

или трехфазный), 3-фазный мост IGBT, тормозной транзистор, датчик температуры. Подобные изделия выпускаются многими фирмами, в частности Mitsubishi, Fairchild, EUPEC и Tусо, однако по уровню плотности мощности, тепловым характеристикам и надежности модули SEMIKRON превосходят конкурентов. И особенно это лидерство укрепилось с появлением модулей нового, второго поколения, внешний вид которых с платой управления и радиатором показан на рис. 1. Модули MiniSKiiP II отличаются применением новейших кристаллов Trench³ IGBT и антипараллельных диодов CAL-HD [4], улучшенными тепловыми, электрическими и конструктивными характеристиками, расширенным диапазоном мощности.

В MiniSKiiP II реализованы все достижения, обеспечивающие компонентам SEMIKRON высочайший уровень надежности: прижимная технология сборки «pressure contact», отсутствие базовой несущей платы и пружинные контакты оригинальной конструкции [3]. В модулях использована керамическая подложка из оксида алюминия Al_2O_3 , обеспечивающая напряжение изоляции 2,5 кВ.

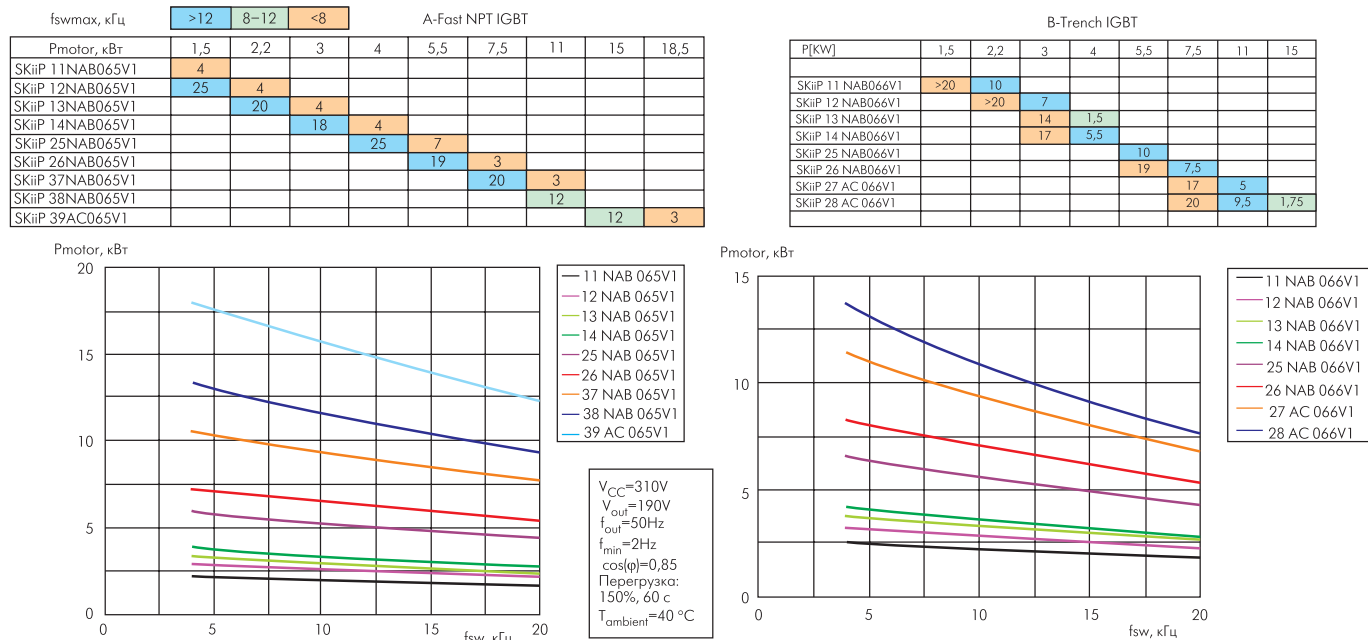


Рис. 2. Рекомендованные типы модулей MiniSKiiP на 600 В для различных мощностей нагрузки, зависимость мощности нагрузки от рабочей частоты

Для серии MiniSKiiP II были разработаны новые миниатюрные корпуса. Самый маленький из них Mini 0 имеет размер 31×34×16 мм. Размеры наиболее мощного Mini 3 составляют 59×82×16 мм. Рабочие напряжения модулей MiniSKiiP II, диапазоны токов и конфигурации схем приведены в таблице 1. Во всех вариантах модули снабжены линейным термодатчиком с характеристикой РТС. В отличие от модулей предыдущего поколения токовые шунты исключены из схемы. Эмиттеры транзисторов IGBT-инвертора выведены раздельно, и пользователь может сам выбрать тип и номинал токового сенсора.

Таблицы и графики, приведенные на рис. 2 и 3, позволяют выбрать конкретный тип модуля MiniSKiiP с рабочим напряжением 600 и 1200 В в зависимости от мощности нагрузки и частоты коммутации. Поскольку при производстве модулей с напряжением 600 В используются две технологии (Fast NPT с низкими потерями переключения и Trench со сверхнизкими потерями проводимости), на рисунке даны два соответствующих графика.

Для подключения модуля используются пружинные контакты, конструкция которых в модулях второго поколения была доработана для увеличения допустимой токовой нагрузки. Для изготовления контактов применен сплав, позволивший повысить допустимую токовую нагрузку почти в 2 раза. Каждый контакт нового модуля рассчитан на ток до 20 А, при этом его перегрев не превышает 20 °С. Для силовых выводов используется параллельное соединение пружинных выводов, их количество может достигать восьми для одного силового терминала.

Конструкция прижимных контактов SEMIKRON принципиально отличается от контактов традиционной конструкции, осуществляющих «сжимающее» контактное усилие, как показано на рис. 4а. Различие

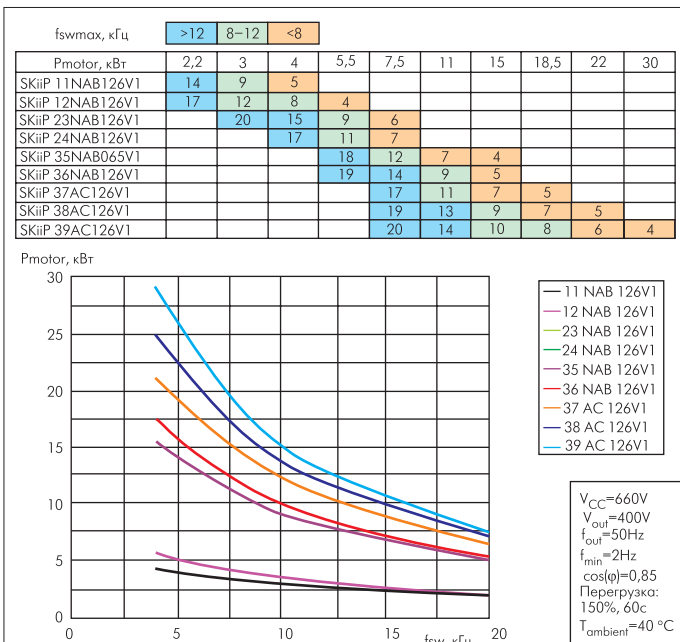


Рис. 3. Рекомендованные типы модулей MiniSKiiP на 1200 В для различных мощностей нагрузки, зависимость мощности нагрузки от рабочей частоты

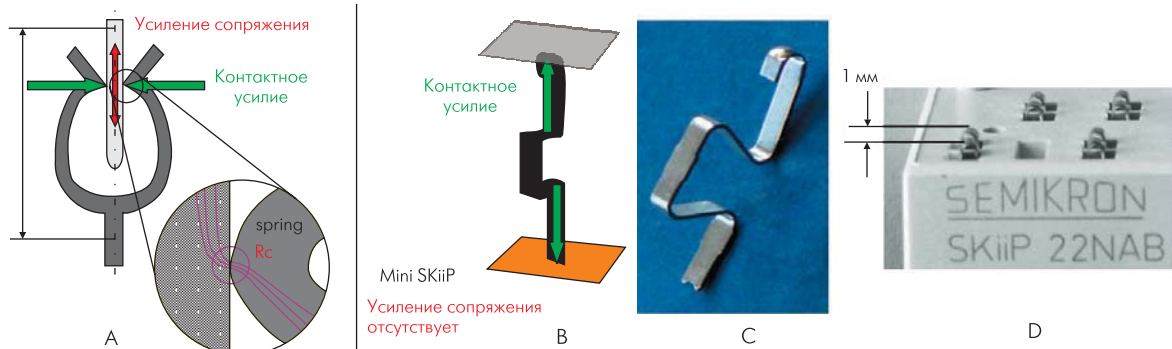


Рис. 4. Распределение усилия сопряжения у контактов традиционной конструкции (А), пружинных контактов MiniSKiiP II (В), внешний вид пружинного контакта (С), внешний вид контактной поверхности MiniSKiiP (D)

Таблица 2. Квалификационные испытания контактов MiniSKiiP

| № | Вид испытаний | Условия испытаний | Исследования |
|---|---|--|--|
| Предварительные испытания печатной платы | | | |
| 1 | Высокая влажность, высокая температура хранения (после ускоренных испытаний на долговечность) | 85 °C, 85% RH, 1000 ч 150 °C, 1000 ч | Сочетаемость материалов |
| Испытания контактной системы в сборе: MiniSKiiP + печатная плата + радиатор | | | |
| 2 | Высокая температура хранения | 125 °C, 1000 ч | Измерение контактного сопротивления до и после испытаний |
| 3 | Высокая влажность, высокая температура хранения | 85 °C, 85% RH, 1000 ч | Измерение контактного сопротивления до и после испытаний |
| 4 | Термоциклирование током нагрузки | -40...+125 °C, 200 циклов, ток нагрузки — 6 А, ток измерения — 1 мА | Непрерывный мониторинг контактного сопротивления |
| 5 | Воздействие коррозионно-активной атмосферы | H ₂ S — 0,4 ppm SO ₂ — 0,4 ppm NO ₂ — 0,5 ppm Cl ₂ — 0,1 ppm 21 день | Измерение контактного сопротивления до и после испытаний |
| 6 | Синусоидальная вибрация | 5 g по осям x, y, z 2 ч по каждой оси | Непрерывный мониторинг контактного сопротивления |
| 7 | Удары | 30 g по осям x, y, z 2 ч по каждой оси | Непрерывный мониторинг контактного сопротивления |

это заключается, прежде всего, в направлении и распределении прижимающего контактного усилия. У обычной контактной пары контактное усилие направлено перпендикулярно штыревому контакту. Со временем оно неизбежно ослабевает из-за усталостных процессов, происходящих в материале пружинящей пары контактов. Такая конструкция продиктована необходимостью обеспечения большого количества циклов сочленения.

Пружинные контакты, используемые в модулях SEMIKRON, создают контактное усилие, направленное вдоль оси контакта. Значение контактного усилия в этом случае оказывается больше, а усилие сопряжения отсутствует. Данный тип контактов разрабатывался специально для соединения силового модуля с печатной платой, и он не предназначен для многократных сочленений. Пружинные контакты MiniSKiiP выполнены из сплава K88 (производства Wieland Werke и Olin Brass) с серебряным покрытием толщиной 3–5 мкм. Контакты покрыты пассивирующим слоем толщиной 0,1 мкм, представляющим собой сплав меди (50–55%), олова (30–35%) и цинка (13–17%).

Материал пружинного контакта имеет очень высокий предел текучести (550 МПа), он обладает хорошей способностью к формованию и стойкостью к изгибам и при этом сохраняет все свои механические и контактные свойства в широком диапазоне температур вплоть до 200 °C. SEMIKRON гарантирует отсутствие усталостных эффектов в материале контакта в течение всего срока службы. Кроме того, материал контактов MiniSKiiP отличается высокой электропроводностью — 80% IACS (International Annealed Copper Standard). Для сравнения: удельная электрическая проводимость отожженной меди составляет 0,58108 См/м или 100% по стандарту IACS.

Металлическая пассивация обеспечивает высокую долговременную стабильность контактных свойств и предохраняет поверхность контакта от окисления, нарастания нитевидных кристаллов и электромиграции. Напомним, что электромиграция — диффузионный перенос массы проводника под действием электрического тока высокой плотности. Она является одной из основных причин раз-

рушения металлических токопроводящих пленок. Для исследования влияния процесса электромиграции на контактные свойства материалов SEMIKRON проводит испытания контактов MiniSKiiP на воздействие коррозионно-активной атмосферы с высоким содержанием сероводорода H₂S. В ходе тестов, проводимых в течение 240 ч в условиях 75% влажности при содержании сероводорода 100 млн⁻¹, не было выявлено ни одного отклонения характеристик выводов MiniSKiiP от допустимых пределов.

Нарастание нитевидных кристаллов на поверхности металлов является известной проблемой, особенно сильно этот эффект проявляется на олове, цинке и серебре. Многочисленные исследования показали, что причиной нарастания кристаллов является сжимающее напряжение в металлических структурах. Скорость роста кристаллов на серебре многократно увеличивается при наличии в атмосфере агрессивных газов. Специальные испытания контактов модулей MiniSKiiP выявили появление нитевидных кристаллов в зоне соединения пружинного вывода и печатной платы, где толщина покрытия минимальна. Однако данный эффект никоим образом не влияет на свойства контактов, так как нитевидные кристаллы сами по себе являются проводниками.

Виды и условия испытаний, которым подвергаются пружинные контакты MiniSKiiP, приведены в таблице 2. Многочисленные тесты и многолетний опыт эксплуатации подтвердили, что данный тип соединения обеспечивает высокую стабильность контактного сопротивления и более высокую стойкость к термоциклированию и вибрационным нагрузкам, чем классические паяные контакты [3].

В документации по применению модулей SKiiP II указано, что покрытие контактных площадок печатной платы свинцово-оловянным сплавом (SnPb) является достаточным для обеспечения требуемых характеристик соединения. В соответствии с Европейской директивой RoHS, ограничивающей содержание опасных для здоровья материалов в электрическом и электронном оборудовании, рекомендуются следующие типы покрытия печатных плат:

- иммерсионное золото поверх химического никеля NiAu;
- иммерсионное олово с выравниванием горячим воздухом HAL Sn (Hot Air Leveling Tin);
- химическое олово (Chemi Sn).

Не рекомендуется использование плат с защитными органическими покрытиями OSP (organic solderability preservatives), применение которых может увеличить контактное сопротивление. Наилучшим сочетанием свойств с точки зрения обеспечения стабильных контактных характеристик пружинных контактов MiniSKiiP обладает покрытие NiAu, при этом толщина слоя никеля должна быть не меньше 5 мкм. При использовании оловянных покрытий (HAL Sn и Chemi Sn) толщина слоя не оговаривается, и при монтаже MiniSKiiP слишком тонкое оловянное покрытие может разрушиться. Однако это не повлияет на функционирование модуля, так как зона соединения, образуемая пружинным контактом и медной контактной площадкой печатной платы, обладает достаточной стойкостью к внешним воздействиям.

Для того чтобы изделие, в котором применен модуль MiniSKiiP, полностью реализовало свои возможности, топология печатной платы, контактирующей с модулем, должна обеспечивать минимальные значения распределенных индуктивностей силовых шин. Прежде всего, это относится к проводникам DC-шины (+DC, -DC) и выводам тормозного каскада (+B, -B). Для минимизации паразитных индуктивностей упомянутые проводники должны занимать на плате максимальную возможную площадь и быть при этом копланарными (рис. 5). Такая конструкция, называемая иногда «сэндвич», обеспечивает параллельный путь протекания тока, а площадь петли, образованной контуром тока, непосредственно связана со значением распределенной индуктивности. Данное требование можно реализовать, например, используя для трассировки данных шин два различных слоя печатной платы. Сигнальные выводы затвора и эмиттера должны иметь минимальную длину и располагаться параллельно и близко друг к другу. Чтобы обеспечить возможность оптимизации расположения цепей управления, крышка модулей MiniSKiiP II, осуществляющая прижим контактов модуля к печатной плате, выполнена

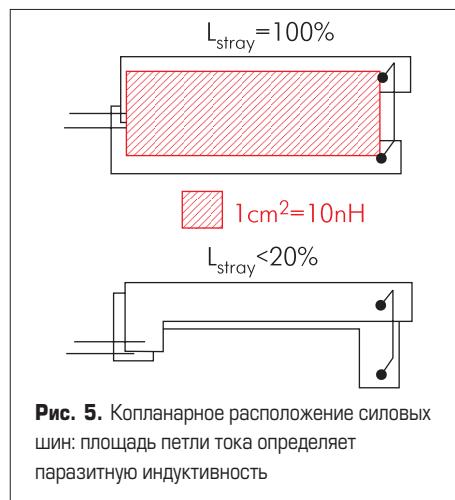


Рис. 5. Копланарное расположение силовых шин: площадь петли тока определяет паразитную индуктивность

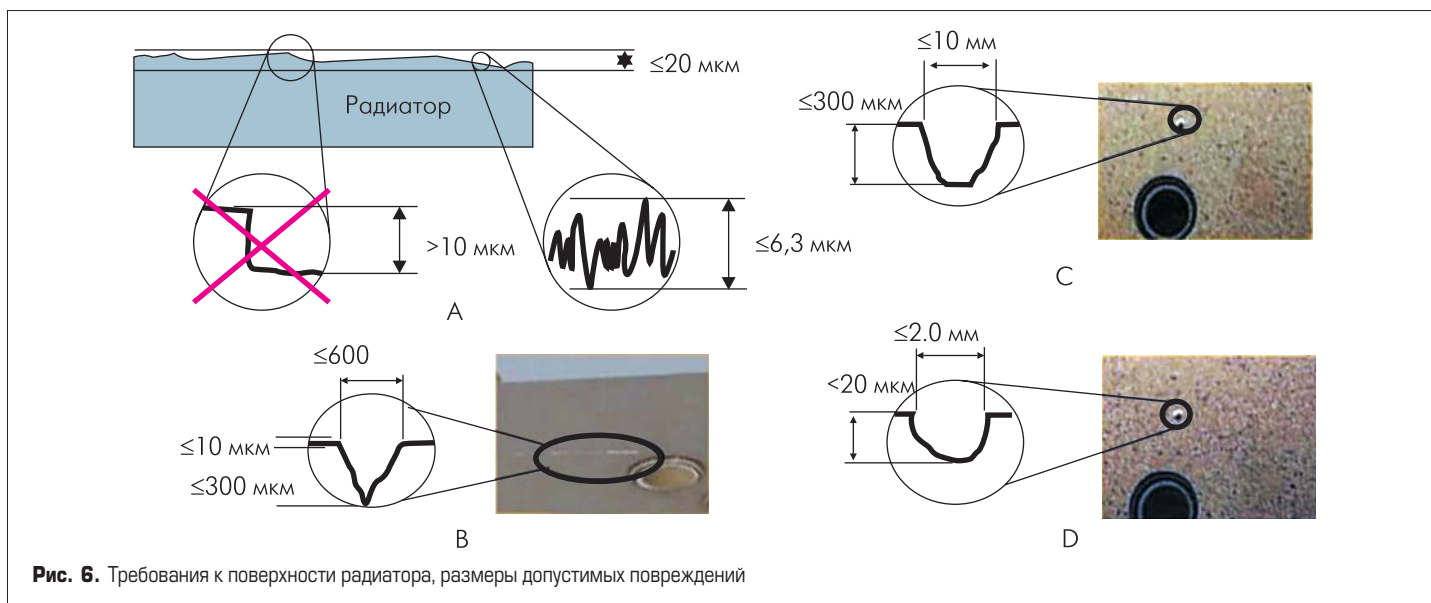


Рис. 6. Требования к поверхности радиатора, размеры допустимых повреждений

полой. В полостях крышки могут размещаться SMD-компоненты драйвера, имеющие высоту не более 3,5 мм, как показано на рис. 1.

Контактные площадки печатной платы должны быть перед монтажом обезжирены и полностью очищены от остатков флюса, пыли и пр., на них не должны располагаться переходные отверстия. Размеры и координаты контактных площадок указываются в документации на модуль, при изготовлении платы эти требования должны строго соблюдаться.

Применение модулей с керамическим основанием без базовой платы накладывает особые требования на качество поверхности радиатора: неравномерность поверхности тепловода для обеспечения заданных тепловых характеристик не должна превышать 20 мкм, шероховатость — 6,3 мкм (рис. 6а).

Монтажная поверхность модуля MiniSKiiP должна быть очищена от частиц загрязнений и пыли. Керамическая DBC-плата, лежащая в основании модулей второго поколения, имеет покрытие из сплава NiAu со стороны пружинных контактов, а ее наружная поверхность, примыкающая к радиатору, покрыта только тонким слоем золота. Неоднородность этого слоя или неравномерность его цвета не влияют на тепловые характеристики модулей. Однако в процессе производства, транспортировки или повторной установки на монтажной поверхности модуля могут появиться царапины, каверны и т. д. Виды подобных нарушений поверхностного слоя и их допустимые размеры приведены на рис. 6б–д. Если же размеры повреждений превышают приведенные значения, модуль подлежит отбраковке.

На рис. 7 показаны полукруглые лунки, вытравленные по краям медного покрытия керамической DBC-платы. Они необходимы для уменьшения термомеханических нагрузок, которые испытывает соединение керамики и меди из-за различных коэффициентов теплового расширения. Лунки имеют диаметр около 0,6 мм и глубину 0,3 мм, их наличие повышает стойкость модулей к термоциклированию и не влияет на значение теплового сопротивления.

Технология производства MiniSKiiP допускает наличие зазора между пластмассовым

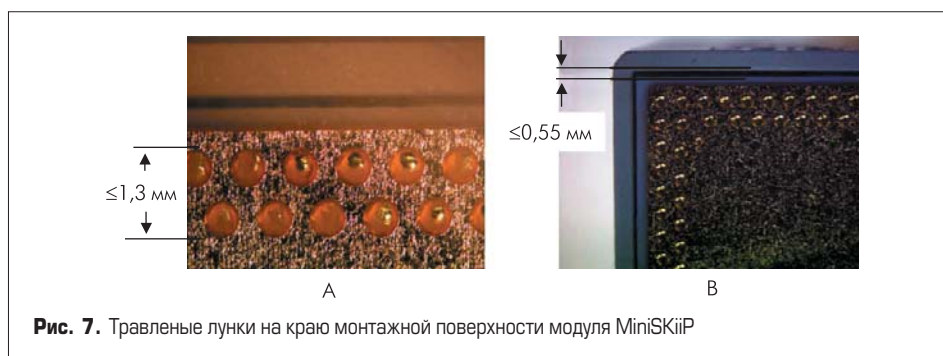


Рис. 7. Травленные лунки на краю монтажной поверхности модуля MiniSKiiP

корпусом и керамической подложкой, его максимально допустимое значение составляет 0,55 мм (см. рис. 7б).

Для обеспечения хорошего теплового контакта при монтаже модуля обязательно должна применяться теплопроводящая паста, заполняющая зазоры в области контакта модуля и радиатора. Ниже приведены значения толщины слоя пасты, рекомендованные SEMIKRON для различных типов модулей MiniSKiiP. Указанные значения были получены экспериментально в процессе измерения теплового сопротивления R_{thcs} при использовании силиконовой пасты P12 фирмы WACKER Chemie.

- MiniSKiiP0: 40–50 мкм;
- MiniSKiiP1: 40–50 мкм;
- MiniSKiiP2: 50–60 мкм;
- MiniSKiiP3: 50–70 мкм.

Для обеспечения высокого качества нанесения пасты и хорошей повторяемости технологического процесса SEMIKRON рекомендует использовать трафаретную печать. Данный способ дает особенно хорошие результаты при серийном изготовлении. Для разового производства или ремонта возможно нанесение теплопроводящей пасты с помощью жесткого обрезиненного валика.

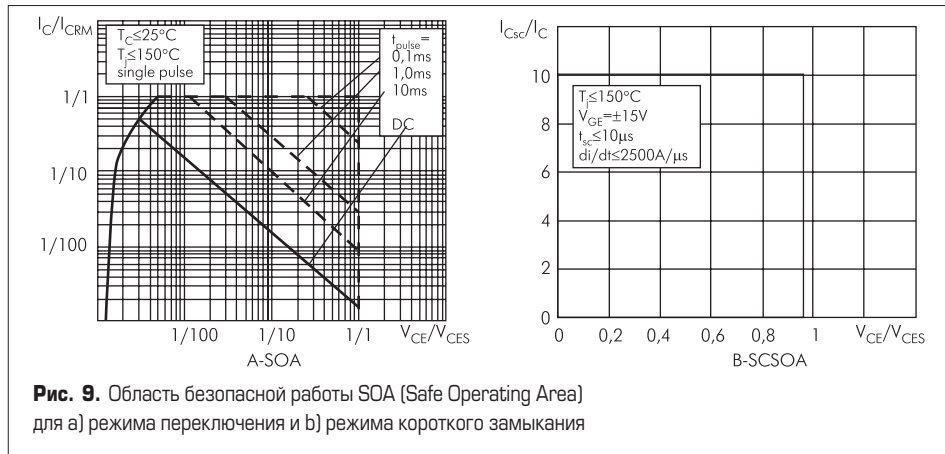
В процессе монтажа модулей толщина слоя пасты должна контролироваться с помощью специальных инструментов, например таких, как показано на рис. 8. Измеритель на рис. 8а состоит из двух дисков — опорного и измерительного с нанесенным на нем расстоянием относительно базового диска. Измерительная «гребенка» (рис. 8б) имеет крайние опорные «зубцы» и измерительные «зубцы»,

отстоящие от базовой поверхности на соответствующее расстояние. При движении вертикально расположенной гребенки по поверхности радиатора следы пасты остаются на зубцах, расположенных ниже поверхности нанесенного слоя. Естественно, что для достижения оптимального теплового контакта и равномерного распределения пасты по поверхности при монтаже модулей должно создаваться нормированное крепежное усилие. Для MiniSKiiP типоразмеров 0–2 номинальный момент затяжки составляет 2–2,5 Нм. При монтаже модуля MiniSKiiP 3, имеющего 2 крепежных отверстия, начальный момент затяжки должен быть 1 Нм, окончательный — 2–2,5 Нм. При использовании электромеханического инструмента скорость его вращения не должна превышать 700 об/мин.

Один модуль MiniSKiiP может быть переустановлен на другой радиатор или соединен с другой платой управления не более 3 раз. Большее количество подключений может повредить прижимную конструкцию модуля



Рис. 8. Инструменты для контроля толщины слоя теплопроводящей пасты (производитель — компания Zehntner): а) ZWW2102, б) ZND 2102



и ухудшить пружинные свойства контактов. После каждого демонтажа вся теплопроводящая паста должна быть тщательно удалена с поверхности модуля и радиатора, после чего необходима очистка поверхности спиртом. Для крепления MiniSKiiP рекомендуется использовать винты M4 по DIN 7991-8.8 или аналогичные.

Как и для всех силовых ключей, работающих в импульсных режимах, для MiniSKiiP нормировано количество коротких замыканий (срабатываний защиты) в течение срока службы: оно не должно превышать 1000, а время между КЗ должно быть больше 1 с. На рис. 9 приведены характеристики области безопасной работы для нормального режима переключения и режима короткого замыкания (КЗ). Как показывает график SCSOA (рис. 9б), нормальным для данных модулей считается короткое замыкание при почти полном рабочем напряжении, 10-кратном токе коллектора и времени анализа несправности, не превышающем 10 мкс.

При тепловом расчете необходимо учитывать метод измерения теплового сопротивления. Для модулей разной конструкции используется различная методика определения R_{th} , что неизбежно влияет на точность расчета температуры кристалла [5]. В основе определения теплового сопротивления лежит измерение температуры в различных точках модуля, поэтому результат измерения зависит от положения контрольных точек размещения термодатчиков. При исследовании тепловых характеристик модулей MiniSKiiP температура радиатора измеряется на поверхно-

сти радиатора рядом с модулем, в точке, максимально близкой к наиболее нагретому кристаллу (IGBT или диода), как показано на рис. 10а. Такой выбор точки измерения температуры теплоотвода является наиболее корректным при исследовании модулей, не имеющих базовой платы («baseless» в англоязычной литературе), подобных MiniSKiiP. Перепад температуры, вносимый радиатором, у них оказывается больше, чем у стандартных модулей из-за отсутствия эффекта распределения тепла основанием модуля. Результатом этого является также то, что положение контрольной точки T_s оказывается зависимым от геометрии керамической DBC-платы.

Для «безбазовых» модулей невозможно измерить значения $R_{th(j-c)}$ и $R_{th(c-s)}$ из-за отсутствия теплопроводящего основания корпуса. Для таких модулей физический смысл имеет только сопротивление «кристалл — радиатор» $R_{th(j-s)}$, а тепловые параметры и непосредственно температура «виртуального корпуса» могут быть определены расчетным способом.

Тепловое сопротивление вычисляется на основе значения температуры кристалла T_j , определяемого по напряжению насыщения V_{CEsat} . При малом токе коллектора обратная зависимость напряжения насыщения от температуры является достаточно линейной, что позволяет рассчитывать температуру кристалла с высокой точностью без использования термодатчиков. Такой метод, основанный на использовании калиброванной функции $V_{CEsat} = f(T_j)$ является достаточно распространенным и применяется многими производителями. В процессе измерения модуль нагружается но-

минальным током до установления теплового равновесия, это время составляет около 90 с. После этого нагрузка отключается, через открытый транзистор пропускается измерительный ток (100 мА) в течение 3 с и производится замер напряжения «коллектор — эмиттер» и расчет температуры кристалла. При измерении напряжения насыщения измерительный прибор подключается к выводам модуля, следовательно, измеренное значение V_{CEm} включает падение напряжения на силовых терминалах $V_{CEm} = V_{CE} + R_{CC+EE}$. Погрешность измерения, вносимая потерями на выводах модуля, учитывается при вычислении температуры кристалла.

На рис. 10б показана эквивалентная тепловая схема модуля MiniSKiiP. Кривые распределения температуры приведены в виде изотерм, отмеченных разным цветом. Красный цвет отмечает области с максимальной температурой, синий — с минимальной. Тепловое сопротивление «кристалл — радиатор» $R_{th(j-s)}$ определяется на основании измеренного значения градиента температуры ΔT «кристалл — радиатор» с помощью выражения: $R_{th(j-s)} = \Delta T_{(j-s)}/P$. Общее значение теплового сопротивления кристалла относительно окружающей среды $R_{th(j-a)}$ определяется как сумма: $R_{th(j-a)} = R_{th(j-c \text{ virtuell})} + R_{th(c \text{ virtuell-s})} + R_{th(s-a)}$, где первое и второе слагаемое представляют собой «виртуальные» значения тепловых сопротивлений «кристалл — корпус» и «корпус — радиатор».

Все выпускаемые модули MiniSKiiP имеют в своем составе термодатчик типа SKCS2, размещаемый на краю DBC-платы в непосредственной близости от кристаллов IGBT. Сопротивление датчика при температуре 25 °C составляет 1000 Ом, его температурный коэффициент равен 0,76%/°C. Более точно зависимость сопротивления датчика от температуры определяется следующим соотношением:

$$R(T) = 1000 \times [1 + A \times (T - 25 \text{ °C}) + B \times (T - 25 \text{ °C})^2] \text{ (Ом)},$$

где $A = 7,635 \times 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$, $B = 1,731 \times 10^{-5} \text{ °C}^{-2}$, при этом измерительный ток должен находиться в пределах 1–3 мА. Рекомендуемое пороговое значение срабатывания термозащиты составляет 115 °C в режиме принудительного воздушного охлаждения.

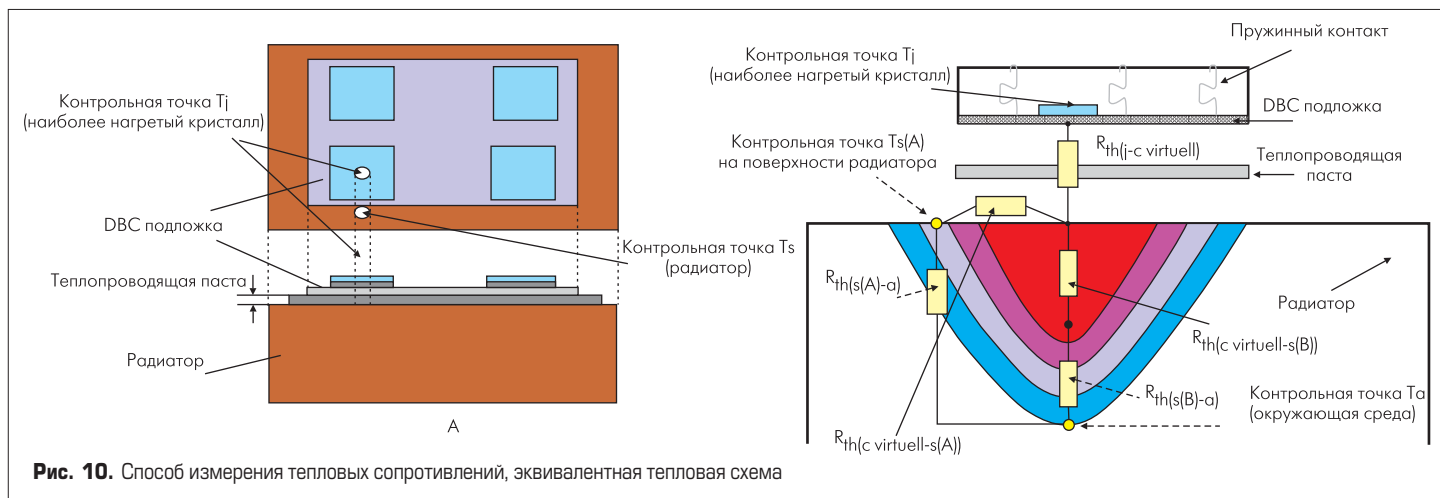




Рис. 11. Положение термодатчика на DBC-подложке

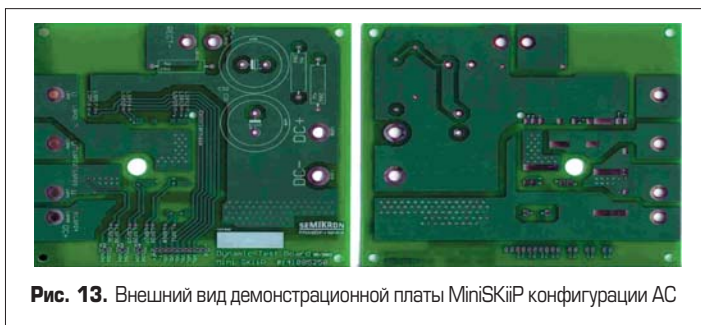


Рис. 13. Внешний вид демонстрационной платы MiniSKiiP конфигурации AC

Термодатчик MiniSKiiP монтируется на керамической DBC-подложке вблизи кристаллов IGBT. Минимальное расстояние от выводов датчика до токоведущих шин модуля составляет 0,71 мм, как показано на рис. 11а. Для повышения напряжения изоляции модулей они заливаются силиконовым гелем, проверке изоляционных свойств ($V_{isol} = 2500$ В) подвергаются 100% выпускаемых изделий. Силиконовый гель, электрическая прочность которого составляет 23 кВ/мм, также обеспечивает изоляцию DBC-подложки от радиатора и крепежных винтов (см. рис. 12, область 4).

В конструкции модулей MiniSKiiP и способе их крепления важную роль играет прижимная крышка, с помощью которой осуществляется электрический контакт пружинных выводов с платой управления и тепловой контакт модуля с радиатором. Для повышения прочности крышка содержит металлическую вставку, а со стороны печатной платы она является полый. Это позволяет размещать непосредственно под крышкой элементы схемы управления в SMD-исполнении. Крепежные винты MiniSKiiP осуществляют электрическое соединение металлической вставки с радиатором, как показано на рис. 12а (область 2). Для обеспечения заданных характеристик крепление модуля должно выполняться в соответствии с определенными правилами:

- расстояние между металлической вставкой крышки и печатной платой (рис. 12а — область 1, рис. 12б) должно быть более 8,1 мм;
- расстояние между краем винта и печатной платой (рис. 12с) должно быть более 8,5 мм.

Для измерения характеристик и скорейшего освоения модулей MiniSKiiP в части разработки топологии соединений SEMIKRON предлагает демонстрационные платы. Внешний вид одной из таких плат, предназначенной для подключения MiniSKiiP в конфигурации AC, показан на рис. 13, а их перечень — в таблице 3. Платы выпускаются в двух исполнениях — для статических тестов (Static Test Boards) и для динамических тестов (Dynamic Test Boards). Первый вариант

Таблица 3. Демонстрационные платы MiniSKiiP

| Тип модуля | Конфигурация | Номер платы Static/Dynamic | Размеры платы, мм Static/Dynamic |
|------------|--------------|----------------------------|----------------------------------|
| Mini 0 | AC | 41085315/41085310 | 160×100/130×132 |
| Mini 0 | NAC | 41085325/41085320 | 160×100/130×132 |
| Mini 0 | NEB | 41085365/41085360 | 160×100/130×132 |
| Mini 1 | AC | 41085245/41085240 | 160×100/135×105 |
| Mini 1 | NAB | 41085295/41085290 | 160×100/125×135 |
| Mini 2 | AC | 41085255/41085250 | 160×100/130×140 |
| Mini 2 | NAB | 41085305/41085300 | 160×100/130×140 |
| Mini 3 | AC | 41085335/41085330 | 160×100/163×114 |
| Mini 3 | NAB | 41085235/41085230 | 160×100/163×114 |

предназначен только для контроля статических параметров MiniSKiiP, топология выполнена таким образом, чтобы обеспечить кратчайшее расстояние между выводами и пружинными сигнальными контактами. Данная плата позволяет в лабораторных условиях подключить модуль и измерить его статические характеристики, такие как напряжение насыщения IGBT V_{CEsat} , прямое напряжение диода V_f , тепловые сопротивления.

Топология платы для контроля динамических параметров разработана с учетом обеспечения минимальных значений распределенных индуктивностей. На платах такого типа устанавливаются конденсаторы DC-шины и резисторы предварительного заряда.

Заключение

По данным исследований рынка силовых полупроводниковых компонентов «The worldwide market for Power Semiconductors, 2002», проведенных британским исследовательским институтом IMS (British Market Research Institute), в области производства миниатюрных модулей конфигурации CIB (Converter, Inverter, Brake — выпрямительный мост, инвертор, тормозной каскад) доля рынка SEMIKRON составляет 30% в мире и более 46% в Европе.

Основным применением MiniSKiiP являются схемы приводов, именно поэтому они

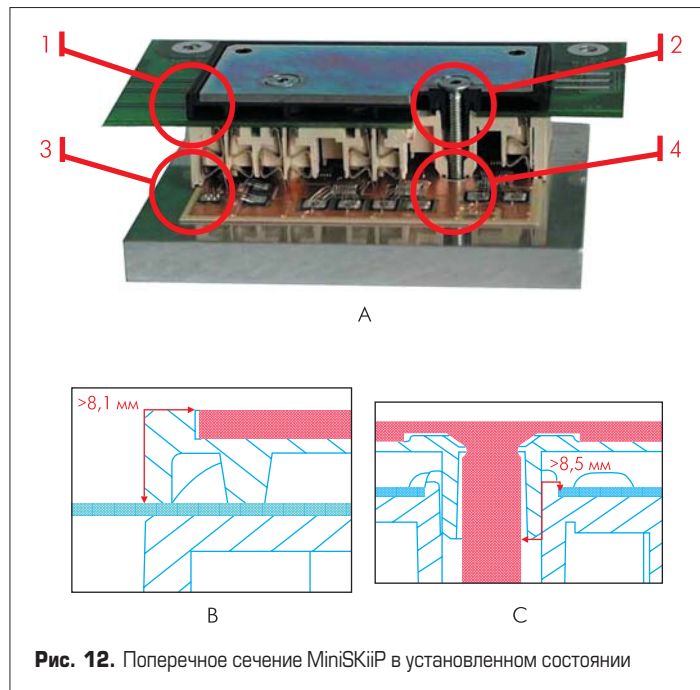


Рис. 12. Поперечное сечение MiniSKiiP в установленном состоянии

выпускаются в приводных конфигурациях: CIB и AC (3-фазный инвертор). Модули MiniSKiiP II, обеспечивающие диапазон мощности до 30 кВт, имеют самые малые габариты в своем классе. Высокой популярности данных компонентов способствует применение пружинных сигнальных выводов, позволяющих исключить паяные соединения, что упрощает монтаж модулей и их замену в случае необходимости. Специальные испытания данного типа соединения показывают его высокую устойчивость к микровибрациям и фреттингу (это коррозия, вызванная трением), а также хорошую долговременную стабильность контактных свойств в условиях достаточно мощных применений.

При эксплуатации модулей в условиях повышенной температуры окружающей среды особый интерес представляют вопросы обеспечения надежности и долговременной стабильности параметров. Высокие показатели надежности при использовании модулей MiniSKiiP достигаются, прежде всего, за счет особенностей конструктива модуля использования пружинных контактов, исключения паяных соединений и отсутствия базовой платы.

Литература

1. Christian Daucher, Christian Gobl. MiniSKiiP II — Setting the new benchmark for CIB modules in the power range of 0.37 kW to 30 kW. SEMIKRON International.
2. Колпаков А. И. MiniSKiiP II — миниатюрные модули для привода // Электронные компоненты. 2004. № 7.
3. Hornung E., Scheuermann U. Reliability of low current electrical spring contacts in power modules. SEMIKRON International.
4. Колпаков А. И. Антипараллельные диоды SK для новых поколений IGBT. Электронные компоненты. 2005. № 2.
5. Колпаков А. И. Контрольная точка или об умении читать datasheet «между строк» // Электронные компоненты. 2005. № 6.