

Модули SEMITOP от SEMIKRON

для инверторов малой мощности

Компания SEMIKRON известна в первую очередь благодаря своим разработкам в области силовой электроники. Однако фирма производит линейку модулей для маломощных применений. Отличные тепловые характеристики, высокая надежность и простота монтажа — основные преимущества семейства SEMITOP, представленного на рынке в конце 90-х. В настоящее время модули SEMITOP подтверждают, что они являются лучшим решением для всех применений, где предъявляются жесткие требования к надежности, производительности, интеграции и цене.

Владислав Филатов

vladislav.filatov@ptelectronics.ru

Юрий Горбылев

yuriy.gorbylev@i-p.com.ua

SEMITOP — это компактные изолированные силовые модули, которые выпускаются практически во всех известных конфигурациях схем (таких как модули CIB, MOSFET/IGBT и тиристорные/диодные модули) в четырех различных корпусах, удовлетворяющих практически все потребности разработчиков. На рис. 1 приведены внешний вид и габаритные размеры модулей SEMITOP.

Большинство модулей SEMIKRON, в том числе и SEMITOP, изготавливаются по технологии pressure-contact, в основе которой лежит принцип прижимного соединения изолирующей DBC-подложки, на которой установлены силовые чипы, с теплоотводом. При этом из состава модуля исключается медная базовая плата и, соответственно, паяный слой большой площади (рис. 2). Именно термомеханические напряжения, возникающие в этом слое при воздействии перепадов температуры, чаще всего приводят к отказам силовых ключей. Использование «безбазовой» прижимной технологии позволяет более чем в пять раз повысить стойкость к термоциклированию и существенно улучшить тепловые характеристики.

На керамическую подложку нанесены медные слои: сверху это шины связи, снизу — сплошное

омеднение, которое выполняет функцию экрана и улучшает теплоотдачу. Согласно прижимной технологии, керамическое основание располагается непосредственно на радиаторе и тепловая связь с ним осуществляется только за счет механического прижима. Для установки на радиатор модулей SEMITOP во всех исполнениях служит один крепежный винт.

Особенности модулей SEMITOP

Низкое тепловое сопротивление «кристалл-тепlostок» R_{thjc}

Модули SEMITOP не имеют базовой несущей платы, соответственно, отсутствует градиент температуры, создаваемый тепловым сопротивлением R_{thcs} «корпус-теплоотвод». В основании модуля находится керамическая DBC-плата из оксида алюминия Al_2O_3 , на которой расположены силовые кристаллы IGBT. Прижимная технология SKiiP предусматривает, что керамическое основание располагается непосредственно на радиаторе и тепловая связь с ним осуществляется только с помощью механического прижима. При этом за счет оптимального распределения прижимающего

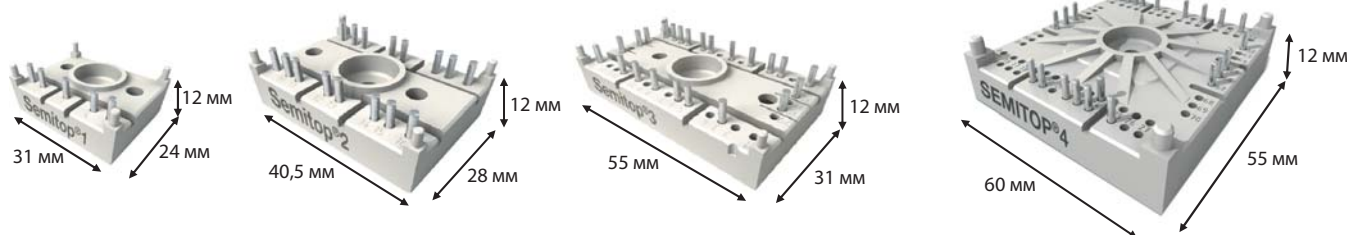


Рис. 1. Типы корпусов модулей SEMITOP

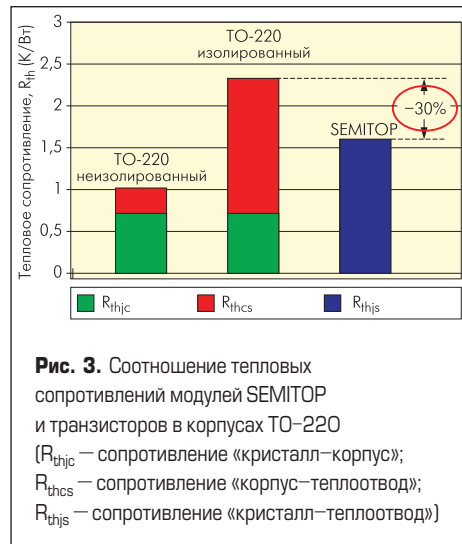
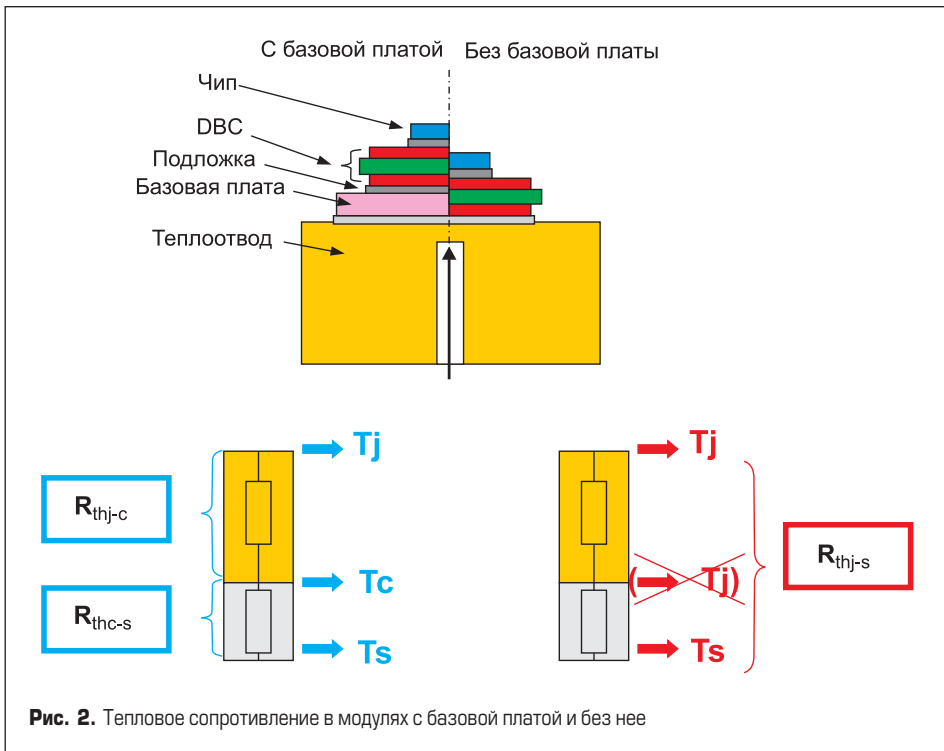


Рис. 3. Соотношение тепловых сопротивлений модулей SEMITOP и транзисторов в корпусах TO-220 (R_{thjc} — сопротивление «кристалл-корпус»; R_{thcs} — сопротивление «корпус-теплоотвод»; R_{thjs} — сопротивление «кристалл-теплоотвод»)

усилия и исключения базовой платы обеспечивается низкое тепловое сопротивление «кристалл-тепlostок» и, соответственно, высокое значение плотности тока. Для модулей SEMITOP не определяется значение теплового сопротивления «кристалл-корпус» R_{thjc} , поскольку отсутствует корпус как теплопроводящий элемент конструкции.

Высокая устойчивость к термоциклированию

Как показали результаты многочисленных испытаний на воздействие повторяющихся перепадов температуры (термоциклирование) основной причиной отказов модулей стандартной конструкции является разрушение связи между керамической DBC-платой и медным основанием модуля. Это является следствием существенной разницы в коэффициентах теплового расширения материалов керамики (оксид алюминия или нитрид алюминия) и меди. Исключение базовой платы из конструкции модуля решает эту проблему в принципе, обеспечивая значительное увеличение количества термоциклов, которое может выдержать модуль, не выходя из строя.

Новейшие технологии кристаллов

В модулях IGBT SEMITOP используются кристаллы NPT IGBT-транзисторов производства ABB и кристаллы антипараллельных диодов CAL, разработанные фирмой SEMIKRON. Гомогенная структура NPT IGBT имеет очевидные достоинства, в частности это высокая стойкость к короткому замыканию, положительный температурный коэффициент напряжения насыщения, прямоугольная область безопасной работы RBSOA (Reverse Biased Safe Operating Area). Диоды CAL (Controlled Axial Lifetime) достаточно хорошо согласованы по своим характери-

стикам с NPT-транзисторами, обеспечивая минимальные потери проводимости и переключения. Их отличительной особенностью является плавный процесс обратного восстановления, способствующий минимизации уровня радиопомех. В модулях SEMITOP также применяются кристаллы UltraFast MOSFET, а в каскадах выпрямителей используются диоды и тиристоры с высоким значением тока перегрузки.

Простая и удобная конструкция

Равномерное распределение прижимного усилия и хороший отвод тепла обеспечиваются конструкцией корпуса модуля. Оптимальное взаимное расположение силовых кристаллов транзисторов и диодов позволяет получить минимальное значение распределенной индуктивности силовых шин.

Модули SEMITOP рассматриваются как отличная альтернатива дискретным транзисторам в корпусах TO — то есть самым популярным компонентам для разработки и производства устройств мощностью до 5 кВт. По сравнению с транзисторами в изолированных корпусах TO-220, модули SEMITOP с аналогичными размерами кристалла имеют до 30% меньшее тепловое сопротивление R_{thjs} «кристалл-теплоотвод» (рис. 3). Меньшее значение теплового сопротивления означает, прежде всего, что модули SEMITOP с тем же размером кристалла допускают большие значения тока или имеют меньший перегрев при аналогичном токе.

Безусловное преимущество интегральных модулей заключается в том, что транзисторы в них соединены в определенной конфигурации в одном изолированном корпусе, что делает сборку максимально простой, при этом переходное напряжение при переключении уменьшено. Данное преимущество наглядно демонстрирует

рис. 4, на котором показан процесс сборки трехфазного инвертора. При использовании транзисторов TO-220 применяется большее количество крепежных элементов, схема занимает большую площадь, требуется строгий контроль сопротивления изоляции и напряжения пробоя, а наличие распределенных индуктивностей проводов приводит к появлению переходных перенапряжений. Стоимость использования модулей SEMITOP выше, чем транзисторов TO, но, учитывая расходы на разработку и изготовление, стоимость устройства модулей может выйти ниже, при этом надежность изделия выше.

Применение малогабаритных изолированных модулей серии SEMITOP вместо дискретных компонентов в корпусах TO позволяет:

- упростить процесс монтажа готового изделия и снизить его стоимость;
- увеличить уровень интеграции устройства;
- повысить надежность устройства;
- обеспечить меньшее на 18–30% значение теплового сопротивления.

Как и все компоненты, производимые SEMIKRON, модули SEMITOP проходят 100%-ный выходной контроль. В таблице приведены виды и условия испытаний на надежность, которым модули подвергаются после изготовления.



Рис. 4. Сборка трехфазного инвертора: а) шесть транзисторов TO-220; б) один модуль SEMITOP

Таблица. Виды и условия испытаний на надежность

Испытания	Условия испытаний	Стандарт
Повышенная температура при повышенном напряжении (THRB)	$+125\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_c \leq +145\text{ }^{\circ}\text{C}$ 95% V_{CEmax} ; $T_i = 1000$ ч	IEC 60747
Повышенная температура при повышенном напряжении на затворе (HTGB)	$T_{jmax} \pm V_{GE} = 20$ В; $T_i = 1000$ ч	IEC 60747
Повышенная температура при повышенной влажности (THB)	$T = +85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H = 85\%RH$; $V_{CE} = 80$ В; $V_{GE} = 0$; $T_i = 1000$ ч	IEC 60068-2-67
Повышенная температура хранения (HTS)	T_{stgmax} ; $T_i = 1000$ ч	IEC 60068-2-2
Пониженная температура хранения (LTS)	T_{stgmin} ; $T_i = 1000$ ч	IEC 60068-2-1
Термоциклирование (TC)	100 циклов; $T_{stgmin} - T_{stgmax}$	IEC 60068-2-14 Test NA
Циклическая нагрузка мощностью (PC)	20000 циклов; $\Delta T_i = 100$ К	IEC 60749-34
Синусоидальная вибрация	5g, 2 ч по каждой оси	IEC 60068-2-8 Test Fc
Удары (полусинусоидальные импульсы)	30g, 3 раза в двух направлениях по каждой оси	IEC 60068-2-8 Test Ea

Заключение

Несомненным преимуществом интегральных модулей является то, что элементы в них соединены в определенной конфигурации. Это позволяет упростить сборку, обеспечивает минимальное значение распределенных индуктивностей и, следовательно, уменьшение переходных перенапряжений при переключении. Особенно наглядно это проявляется в отношении малогабаритных модулей SEMITOP, применение которых вместо дискретных корпусов ТО позволяет в два-четыре раза увеличить мощность преобразовательного устройства при аналогичных габаритах силового каскада. Достигнутый результат был бы немислим без применения новейшего программного обеспечения, позволяющего проводить многовариантный анализ тепловых и механических свойств конструкции и обеспечить надежную работу силовых

ключей в предельных условиях эксплуатации. Разработка нового конструктива SEMITOP 4 позволила SEMIKRON расширить диапазон допустимых мощностей для данного семейства IGBT до 22 кВт, что более чем втрое превышает возможности типоразмера SEMITOP 3 в приводных применениях. Модули 4-го типонаминала доступны в конфигурациях трехфазный инвертор MOSFET/IGBT и SiC (выпрямитель-инвертор-тормозной каскад) при токе до 200 А (рабочее напряжение 600 В) и 100 А для 1200-В ключей. В скором времени компоненты семейства SEMITOP 4 также будут выпускаться с кристаллами новейшего поколения Trench 4 IGBT, что приведет к дальнейшему увеличению мощностных характеристик конструктива. Модули SEMITOP широко применяются в устройствах, выпускаемых компаниями Segway, LG Electronics, Alcatel. Существенным достоинством модулей является необычайно высокое количество

конфигураций, перекрывающих практически все потребности разработчиков. Многие производители электронной аппаратуры справедливо считают, что на этапе разработки использование дискретных компонентов более оправдано. Однако снижение издержек при серийном производстве, упрощение процесса изготовления и более высокие показатели надежности, несомненно, стоят того, чтобы в конечном итоге отдать предпочтение интегральным модулям [2].

Литература

1. Колпаков А. Модули SEMITOP как альтернатива дискретным корпусам ТО // Компоненты и технологии. 2004. № 3.
2. Колпаков А. SEMITOP: 40 кВА в 40 кубических сантиметрах // Силовая Электроника. 2006. № 4.