

Расчет параметров охладителей твердотельных реле переменного тока

Твердотельные реле наряду с неоспоримыми достоинствами (высокий рабочий ресурс, малая инерционность, бесшумность и т. д.) обладают одной неприятной особенностью — высокой рассеиваемой мощностью, вызванной относительно высоким падением напряжения на силовых полупроводниковых элементах. Недостаточно эффективный отвод тепла от силовых элементов ТТР может вызвать их перегрев и выход из строя.

Сергей Вержников

sergeyv666@yandex.ru

Николай Абрамов

abramov@proton-impuls.ru

Необходимость отвода большой мощности от силовых элементов твердотельного реле (ТТР) обусловило появление наиболее распространенной на сегодняшний день конструкции корпуса ТТР — планарной. Примеры таких корпусов для одно- и трехфазных ТТР производства ЗАО «Протон-импульс» представлены на рис. 1.

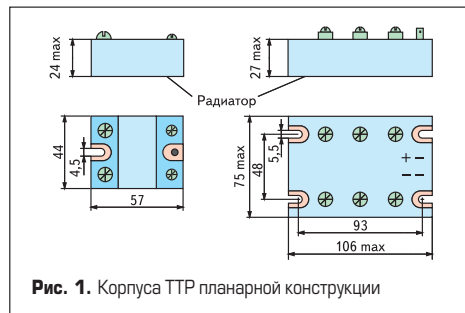


Рис. 1. Корпуса ТТР планарной конструкции

Радиатор (называемый также базовой платой) представляет собой металлическую пластину, как правило, медную или латунную, и служит для установки реле на охладитель. На рис. 2 показаны два наиболее распространенных варианта внутреннего устройства ТТР планарной конструкции.

Такая конструкция позволяет минимизировать тепловое сопротивление между силовыми элементами реле и охладителем.

Перегрев кристалла ($p-n$ -перехода) силового элемента ТТР относительно температуры окружающей среды в одномерном случае можно определить по формуле:

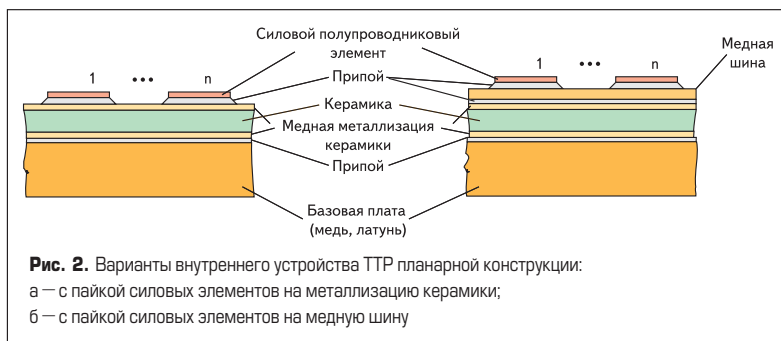


Рис. 2. Варианты внутреннего устройства ТТР планарной конструкции:
а — с пайкой силовых элементов на металлизацию керамики;
б — с пайкой силовых элементов на медную шину

$$T_j - T_a = P \times R_{thja} = P \times (R_{thjc} + R_{thcs} + R_{thsa}). \quad (1)$$

Здесь T_j — температура $p-n$ -перехода ($^{\circ}\text{C}$); T_a — температура окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$); P — рассеиваемая на переходе мощность (Вт); R_{thja} — тепловое сопротивление «переход — окружающая среда» ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$); R_{thjc} — тепловое сопротивление «переход — корпус» ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$); R_{thcs} — тепловое сопротивление «корпус — охладитель» ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$); R_{thsa} — тепловое сопротивление «охладитель — окружающая среда» ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$).

Величина R_{thjc} определяется конструкцией ТТР, R_{thcs} зависит от используемого термоинтерфейса между радиатором реле и охладителем (чаще всего теплопроводной пасты), качеством обработки их поверхностей и, как правило, не превышает $0,1$ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, R_{thsa} определяется конструкцией охладителя. Вопросы использования теплопроводящей пасты достаточно подробно рассмотрены в статье [2].

Температура силового полупроводникового элемента ТТР в любой момент времени не должна превышать его максимальную допустимую рабочую температуру T_{jmax} . Величина T_{jmax} оговаривается в документации на силовой элемент. Расчет температурного режима ТТР сводится, как правило, к определению необходимого теплового сопротивления охладителя при известных величинах T_{jmax} , R_{thjc} и R_{thcs} .

Формула (1) верна для реле на основе одного силового элемента. Для расчета температуры перехода двухэлементного ТТР рассмотрим его теплоэлектрическую модель, представленную на рис. 3. При теплоэлектрическом моделировании тепловое сопротивление эквивалентно электрическому, напряжение — температуре, мощность — электрическому току.

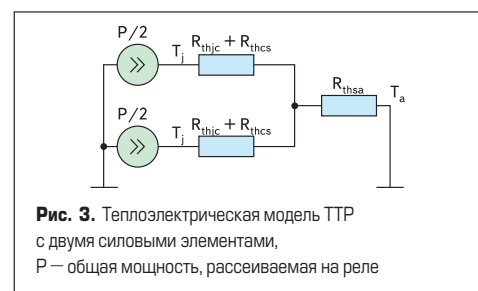
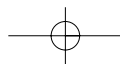


Рис. 3. Теплоэлектрическая модель ТТР с двумя силовыми элементами,
 P — общая мощность, рассеиваемая на реле



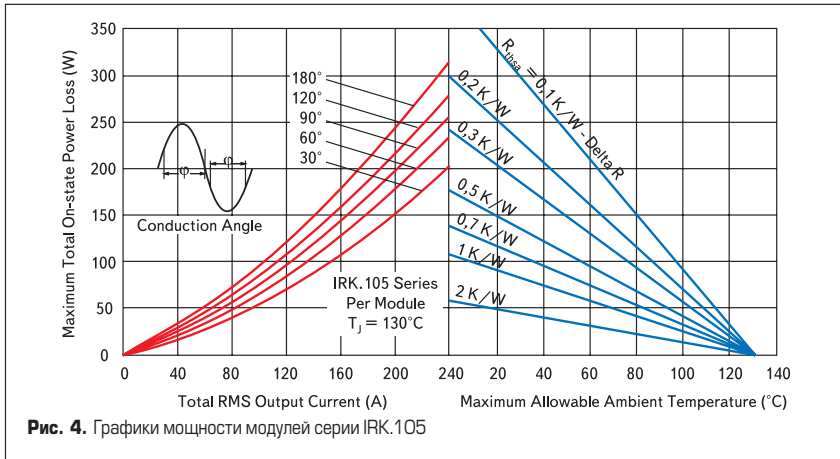
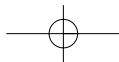


Рис. 4. Графики мощности модулей серии IRK.105

Для данной модели формула (1) будет иметь вид:

$$T_j - T_a = \frac{P}{2} \times (R_{thjc} + R_{thcs}) + P \times R_{thsa} = P \times \left(\frac{R_{thjc} + R_{thcs}}{2} + R_{thsa} \right). \quad (2)$$

Формулу (2), очевидно, можно обобщить на случай n силовых элементов (n = [число фаз ТТР] × [число силовых элементов на фазу]):

$$T_j - T_a = P \times \left(\frac{R_{thjc} + R_{thcs}}{n} + R_{thsa} \right). \quad (3)$$

Таким образом, необходимое тепловое сопротивление охладителя, при котором температура силового элемента не превысит T_{jmax}, определяется неравенством:

$$R_{thsa} \leq \frac{T_{jmax} - T_a}{P} - \frac{R_{thjc} + R_{thcs}}{n}. \quad (4)$$

Аналогично может быть определена максимально допустимая рассеиваемая мощность при использовании охладителя с тепловым сопротивлением R_{thjc}:

$$P \leq \frac{T_{jmax} - T_a}{R_{thsa} + \frac{R_{thjc} + R_{thcs}}{n}}. \quad (5)$$

Чтобы воспользоваться формулами (4) и (5), необходимо знать рассеиваемую на реле мощность P. В случае реле постоянного тока величина P определяется достаточно просто:

$$P = I_H \times U_{II}(I_H). \quad (6)$$

Здесь I_H — ток нагрузки, U_{II} — прямое падение напряжения на силовом элементе, определяемое по ВАХ.

При переменном синусоидальном токе нагрузки для вычисления мощности (на фазу) необходимо произвести интегрирование:

$$P = \frac{\int_{\varphi_0}^{\pi} I_H(\varphi) \times U_{II}(I_H(\varphi)) d\varphi}{\pi} = \frac{\int_{\varphi_0}^{\pi} I_{Hmax} \sin(\varphi) \times U_{II}(I_{Hmax} \sin(\varphi)) d\varphi}{\pi}, \quad (7)$$

где φ — фаза, φ₀ — угол отсечки (то есть момент фазы, в котором открываются силовые элементы).

Данная формула не учитывает мощность, выделяющуюся при переключениях силовых элементов, и может использоваться только для относительно низких частот тока нагрузки (если период тока много меньше времени переключения силовых элементов).

Вычисление интеграла (7) вручную достаточно трудоемкая задача, поэтому крупные производители ТТР и силовых модулей сопровождают свою продукцию графиками зависимости рассеиваемой мощности от действующего или среднего (при однополупериодном выпрямлении) значения синусоидального тока нагрузки (часто при различных углах отсечки). Например, на рис. 4 приведен подобный график для силовых моделей серии IRK.105 [3] фирмы International Rectifier (США).

Справа от графиков мощности представлена серия кривых, облегчающих определение необходимого теплового сопротивления охладителя при известной мощности и температуре окружающей среды. Данные кривые строятся в соответствии с выражением (4).

На сайте компании «Протон-импульс» (www.proton-impuls.ru) представлена инст-

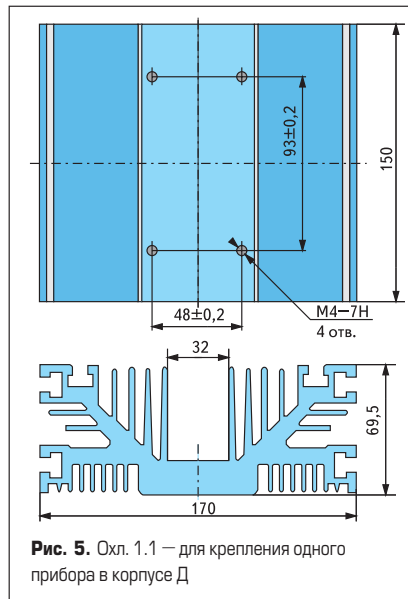


Рис. 5. Охл. 1.1 — для крепления одного прибора в корпусе D

Таблица 1. Параметры D и T_{jmax}

Тип ТТР	T _{jmax} , °C	D, °C/Вт
5П19.10ТМ(А,Б,В)1-10-8(12)-B2, 5П19.10ТС(А,Б,В)1-10-8(12)-B2	125	2,322378
5П19.10ТМ(А,Б,В)1-20-8(12)-B4, 5П19.10ТС(А,Б,В)1-20-8(12)-B4	125	0,911189
5П19.10ТМ(А,Б,В)1-60-8(12)-B6, 5П19.10ТС(А,Б,В)1-60-8(12)-B6	125	0,374804
5П19.10ТМ(А,Б,В)1-60-8(12)-B82(к), 5П19.10ТС(А,Б,В)1-60-8(12)-B82(к)	125	0,253461
5П19.10ТМ(А,Б,В)1-100-8(12)-B6, 5П19.10ТС(А,Б,В)1-100-8(12)-B6	125	0,22886
5П19.10ТМ(А,Б,В)1-100-8(12)-B82(к), 5П19.10ТС(А,Б,В)1-100-8(12)-B82(к)	130	0,146702
5П36.30ТМ(А,Б,В)1-10-8(12)-D2, 5П36.30ТС(А,Б,В)1-10-8(12)-D2	125	0,774126
5П36.30ТМ(А,Б,В)1-20-8(12)-D2, 5П36.30ТС(А,Б,В)1-20-8(12)-D2	125	0,30373
5П36.30ТМ(А,Б,В)1-40-8(12)-D134(Д168), 5П36.30ТС(А,Б,В)1-40-8(12)-D134(Д168)	125	0,124935
5П36.30ТМ1-40-8(12)-D54(к), 5П36.30ТС1-40-8(12)-D54(к)	125	0,180171
5П36.30ТМ(А,Б,В)1-100-8(12)-D166, 5П36.30ТС(А,Б,В)1-100-8(12)-D166	125	0,076287
5П36.30ТМ(А,Б,В)1-100-8(12)-D20(к), 5П36.30ТС(А,Б,В)1-100-8(12)-D20(к)	130	0,048901

рукция по расчету параметров охладителей для производимых этой компанией ТТР.:

$$R_{thsa} \leq \frac{T_{jmax} - T_a}{P} - D, \quad (8)$$

где величины D и T_{jmax} для всех типов выпускаемых ТТР представлены в таблице 1.

В инструкции также приведены графики, позволяющие определить рассеиваемую ТТР мощность по действующему значению синусоидального тока нагрузки (табл. 2).

На рис. 5–7 приведены параметры типовых охладителей, предназначенных для работы с твердотельными реле. Охладители ОХЛ предназначены для отвода тепла, выделяемого твердотельными реле в корпусах «В» и «Д» в окружающую среду.

По рассчитанному значению величины R_{thsa} производится выбор типа охладителя.

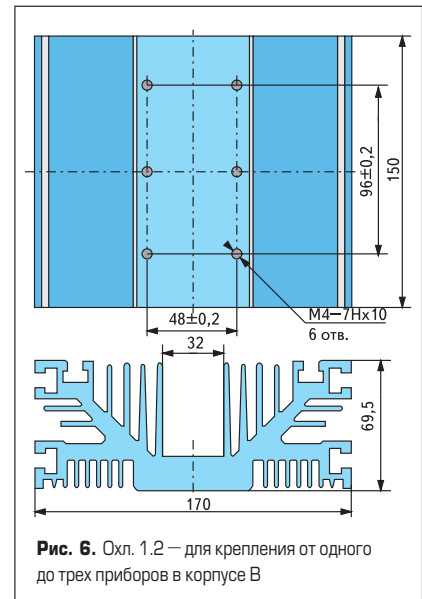


Рис. 6. Охл. 1.2 — для крепления от одного до трех приборов в корпусе В

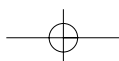


Таблица 2. Графики зависимости рассеиваемой на ТТР мощности от действующего значения синусоидального тока нагрузки

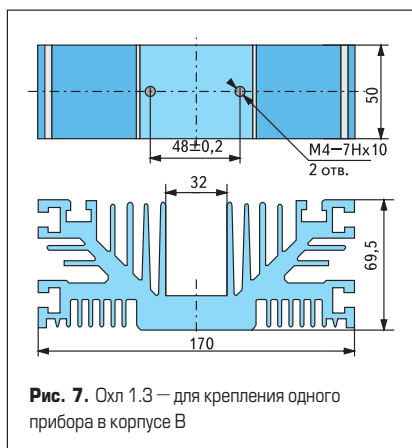
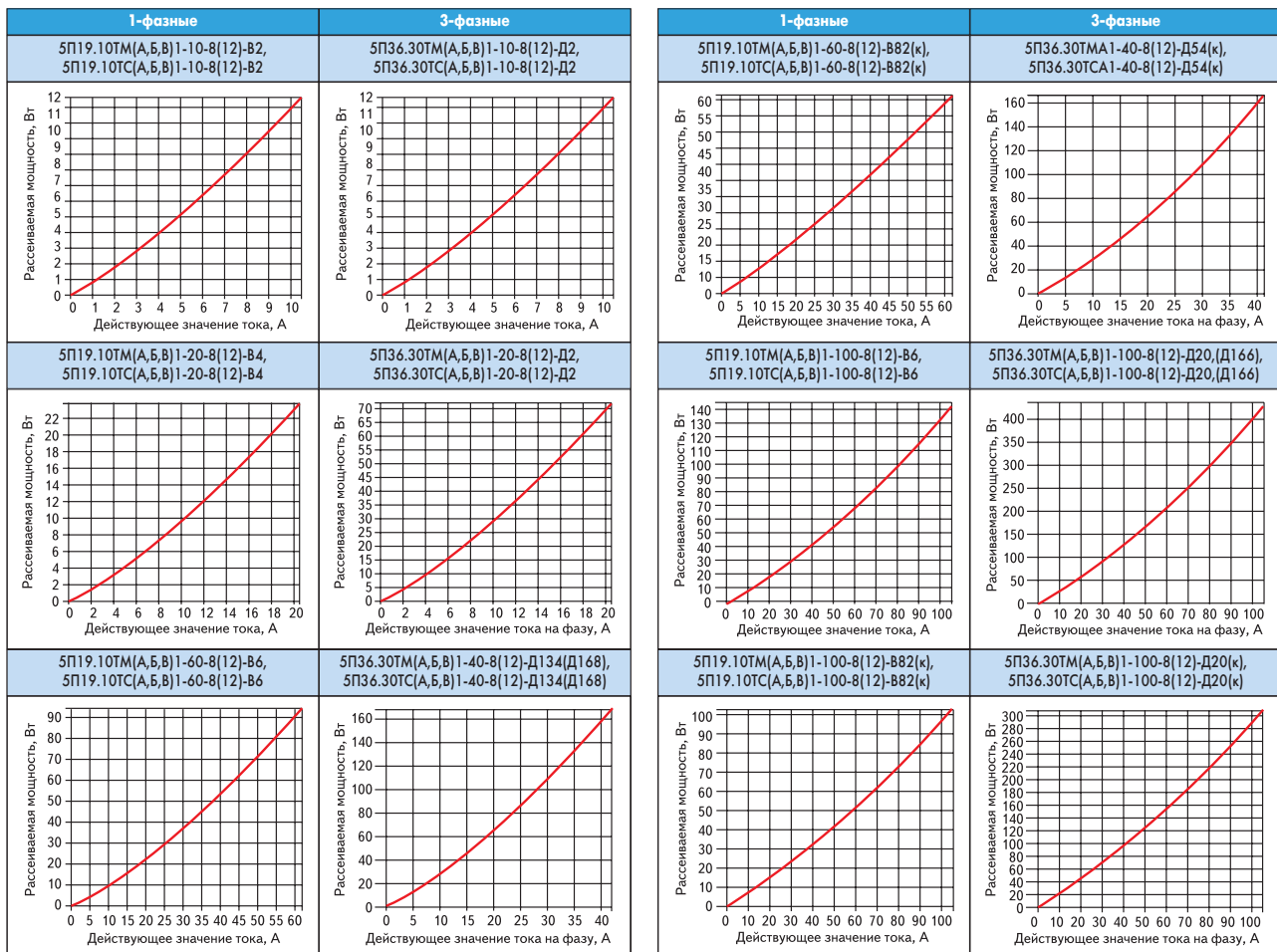


Рис. 7. Охл 1.3 — для крепления одного прибора в корпусе В

Теплоотводы охладителя изготавливаются из алюминиевых прессованных профилей сплава АД31 ГОСТ 4784-74. Теплоотводы не требуют дополнительного защитного покрытия при эксплуатации в различных климатических зонах.

Далее приводятся примеры расчета охладителей твердотельных реле.

Пример 1.

Провести выбор охладителя для твердотельного реле типа 5П19.10ТМ1-60-8-В6, включающего нагрузку переменного тока 40 А. Максимальная рабочая температура окружающей среды — 50 °С.

Последовательность действий.

1. По графику из таблицы 2 определяем рассеиваемую мощность реле типа 5П19.10ТМ1-60-8-В6 для тока 40 А. Она будет равна 53 Вт.
2. По таблице 1 определяем величину D для данного типа реле. Она составляет 0,3748.
3. По формуле (8), используя данные таблицы 1, определяем величину R_{thsa} , которая в нашем случае будет равна $((125 - 50)/53) - 0,3748 = 1,04$.
4. Сопоставляя полученную величину R_{thsa} с графиком на рис. 8, видим, что для рассеивания тепла, выделяющегося в реле при приемлемых тепловых режимах, можно применить охладитель типа Охл. 1.2 или Охл. 1.3, причем для последнего требуется принудительное воздушное охлаждение со скоростью воздушного потока 3 м/с.

Пример 2.

Провести выбор охладителя для твердотельного реле типа 5П36.30ТМ1-100-12-Д166, включающего нагрузку переменного тока 70 А по каждой фазе. Максимальная рабочая температура окружающей среды — 60 °С.

Последовательность действий.

1. По графику таблицы 2 определяем рассеиваемую мощность реле типа 5П36.30ТМ1-60-8-Д20. Она составляет 250 Вт.
2. По таблице 1 определяем величину D для данного типа реле. Она составляет 0,0763.
3. По формуле (8), используя данные таблицы 1, определяем величину R_{thsa} — в данном

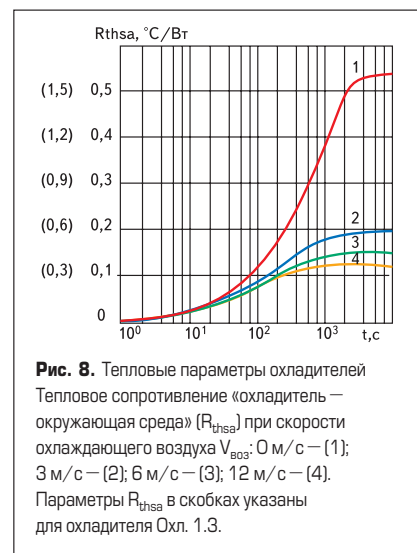
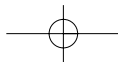


Рис. 8. Тепловые параметры охладителей. Тепловое сопротивление «охладитель — окружающая среда» (R_{thsa}) при скорости охлаждающего воздуха $V_{воз}$: 0 м/с — (1); 3 м/с — (2); 6 м/с — (3); 12 м/с — (4). Параметры R_{thsa} в скобках указаны для охладителя Охл. 1.3.

случае она равна 0,1837. Исходя из полученной величины, выбираем охладитель типа Охл. 1.1 с принудительным воздушным охлаждением 6 м/с.

Пример 3.

Выбрать тип реле и охладитель для работы на 3-фазную активную нагрузку общей мощностью 27 кВт. Нагрузка соединена звездой, напряжение управления — 220 В переменного тока.



Последовательность действий:

1. Рассчитаем ток, приходящийся на одну фазу: $I_{\phi} = P / (3U_{\phi}) = 30\,000 / (3 \times 220) = 41\text{ А}$.
2. Для коммутации такой нагрузки можно применить реле типа 5П36.30ТМВ1-100-12-Д166, 5П36.30ТМВ1-100-12-Д20к или три реле типа 5П19.10ТМВ1-60-12-В6.
3. По графикам таблицы 2 определяем общую рассеиваемую мощность на реле. Она составит 130 Вт, 100 и 159 Вт (53 Вт на фазу) соответственно. Максимальная температура окружающей среды — 60 °С. Проведем расчет необходимого теплового сопротивления «охладитель — среда», выбираем охладитель типа Охл. 1.1 для ТТР типа 5П36.30ТМВ1-100-12-Д166 с принудительным охлаждением 0,3 м/с. Для реле типа 5П36.30ТМВ1-100-12-Д20к — охладитель

Охл. 1.1 без принудительного охлаждения. Для трех реле типа 5П19.10ТМВ1-60-12-В6 потребуется охладитель типа Охл. 1.3 с принудительным воздушным охлаждением со скоростью воздушного потока 3 м/с.

Рекомендации по применению.

1. Используйте ТТР в корпусах типа «В» и «Д» только с охладителями.
2. Толщина теплопроводящей пасты между радиатором реле и охладителем должна составлять не более 0,1 мм.
3. При отсутствии вентилятора охладитель желательно располагать так, чтобы не препятствовать свободной конвекции нагретого воздуха.
4. Применяйте только стандартные охладители. Установка реле на стенки шкафа ухуд-

шает тепловое сопротивление реле и может привести к перегреву.

5. Для увеличения надежности работы снижайте рассеиваемую мощность реле, коэффициент нагрузки по току должен быть не более 0,7.

Литература

1. ГОСТ 25529-82 (СТ СЭВ 2768-80) Диоды полупроводниковые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
2. Колпаков А. И. Правда и миф о теплопроводящей пасте // Производство электроники. 2005. № 1.
3. IRK.105 SERIES ADD-A-pакТМ GEN V Power Modules: Datasheet. International Rectifier. 2004.

SEMITOR 4 — новый типоразмер семейства миниатюрных IGBT-модулей SEMITOR

SEMİKRON расширяет гамму модулей семейства SEMITOR: с появлением нового типоразмера SEMITOR 4 максимальная моторная мощность в инверторном включении для данного класса модулей увеличена до 22 кВт. Новые компоненты доступны в конфигурациях 3-фазный мост IGBT и СІВ (выпрямитель-инвертор-тормозной каскад) при токе до 200 А для модулей с напряжением 600 В и 100 А для ключей 1200 В.

Крепление корпуса SEMITOR 4 к радиатору, как и у других компонентов серии, производится с помощью одного болта. Сигнальные и силовые выводы подключаются к печатной плате с помощью пайки.

Изолированные модули серии SEMITOR созданы по технологии прижимного контакта (pressure contact technology). Они не имеют базовой несущей платы, в основании модулей находится керамическая DСВ-плата. Конструкция SEMITOR 4 обеспечивает хорошие тепловые характеристики, высокую

стойкость к термоциклированию и надежность за счет равномерной передачи тепла на радиатор и отсутствия базовой платы.

Для обеспечения высокой надежности, а также оптимизации механических и тепловых параметров разработка конструкции SEMITOR 4 производилась с использованием специализированного программного обеспечения методом конечных элементов. Результаты компьютерного анализа были подтверждены в ходе 17 различных типов испытаний и квалификационных тестов в течение более 10 000 часов.

Новые модули предназначены для применения в приводах и источниках питания мощностью до 40 кВт. Расположение выводов и малые габариты корпуса SEMITOR 4 (60×55×12 мм) гарантируют простую топологию печатной платы и компактный дизайн готового изделия.

www.semikron.com

