

Силовые полупроводниковые приборы ЗАО «Протон-Импульс»

Данная статья знакомит читателей с особенностями применения и изготовления твердотельных реле, выпускаемых ЗАО «Протон-Импульс».

Ляля Исламгазина

diod@proton-impuls.ru

Твердотельные реле являются полупроводниковыми приборами, и их можно разделить на две группы в зависимости от коммутирующего элемента:

- реле переменного тока, силовыми элементами которых являются:
 - симистор (пиковое напряжение до 800 В, рабочий ток до 25 А, низкая устойчивость к скоростям нарастания тока и напряжения);
 - пара встречноключенных тиристоров (пиковое напряжение до 1200 В, рабочие токи до 150 А, высокая устойчивость к скоростям нарастания тока и напряжения);
- однополярные и двухполярные реле постоянного тока с силовыми элементами:
 - полевой транзистор (пиковое напряжение с учетом возможных перенапряжений до 600 В, рабочий ток до 200 А);
 - IGBT (пиковое напряжение с учетом возможных перенапряжений до 1200 В, рабочий ток до 200 А).

К реле переменного тока относятся следующие основные типы реле:

- однофазные нормально-замкнутые и нормально-разомкнутые реле (коммутируемые токи от 1 до 100 А);
- трехфазные нормально-разомкнутые реле (коммутируемые токи от 10 до 100 А);
- однофазные, двухфазные и трехфазные реверсивные реле со встроенной защитой от межфазных замыканий и мгновенного реверса (коммутируемые токи от 10 до 40 А);
- двухканальные реле с разделенными каналами или с общей точкой на выходе с независимым управлением каналов (коммутируемые токи свыше 1 А).

По напряжению пробоя перечисленные типы реле распределяются по классам от четвертого (напряжение пробоя не менее 400 В) до двенадцатого (напряжение пробоя не менее 1200 В). Пиковое напряжение пробоя изоляции «вход-выход-радиатор» составляет 1500–4000 В.

ЗАО «Протон-Импульс» выпускает две модификации реле переменного тока, отличающиеся характером включения:

- реле с контролем «нуля» фазы силового напряжения, в которых при наличии управляющего сигнала включение реле происходит в тот момент, когда напряжение на силовых выводах близко к нулю, и это обеспечивается специальной схемой (в реле типа ТМ);
 - реле без контроля «нуля» фазы сетевого напряжения или реле с произвольным включением. В данных реле силовая цепь отпирается сразу за короткое время (в реле типа ТС).
- Реле имеют токовые и потенциальные входы управления, причем токовые входы могут быть только в однофазных и двухканальных реле, а потенциальные — у всех.

Диапазон токов для токовых входов управления составляет 10–25 мА, при падении напряжения на входе приблизительно 1,2 или 2,4 В.

Для коммутации цепей напряжение управления варьируется в диапазонах:

- 4–7 В или 3–30 В постоянного тока;
- 6–30 В или 110–280 В переменного тока.

По типу конструкции твердотельные реле, выпускаемые ЗАО «Протон-Импульс», можно разбить на три типа.

Первый тип — с дискретными силовыми элементами, размещенными на теплоотводящих основаниях из алюминия с использованием изолирующих прокладок из слюды.

Второй тип — с корпусными силовыми элементами, распаянными на латунном основании с керамической изолирующей прокладкой из оксида алюминия, на которой методом вжигания нанесен металлизированный слой из пасты на основе серебро-палладия.

На описании третьего типа стоит остановиться подробнее. Тиристорные и диодные чипы припаиваются на ДВС-керамику, выполняющую роль электроизолирующего и теплоотводящего слоя между чипами и основанием.

ДВС-керамика (8) представляет собой тонкую пластину из керамики Al_2O_3 и AlN , покрытую с двух сторон медной фольгой методом прямого (диффузионного) срачивания. Нижний слой сплошной, верхний образует печатную плату, обеспечивающую электрическое соединение сило-

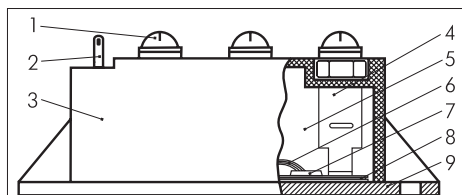


Рис. 1. Чертеж силового модуля

- 1 — Силовые выводы (клеммы)
- 2 — Управляющие выводы
- 3 — Пластмассовый корпус
- 4 — Шины силовых выводов
- 5 — Кремнийорганический гель
- 6 — Алюминиевая проволока
- 7 — Полупроводниковые чипы
- 8 — DBC-керамика
- 9 — Медное основание

вых ключей, силовых (1) и управляющих выводов (2). Соединение силовых и управляющих выводов чипов с контактными площадками DBC-керамики осуществляется алюминиевой проволокой (6) при помощи ультразвуковой сварки. DBC-керамика с припаянными силовыми выводами (4), а также напаянными и разваренными чипами (7) припаяется на медное основание (9), являющееся теплоотводом для полупроводниковых элементов. К основанию приклеивается корпус (3), внутри которого полупроводниковые чипы и керамика залиты кремнийорганическим гелем (5), не теряющим защитные свойства под воздействием температуры, влажности и времени.

Первые два типа конструкции используются для изготовления малоточных и, следовательно, дешевых приборов, третий тип — для производства реле и силовых модулей, к которым предъявляются повышенные требования по надежности и долговечности (приборы свыше 40 А). По технологии третьего типа фирмы Semikron, Eupes, ABB Semiconductors, IXIS, International Rectifier, Toshiba, Fuji, Mitsubishi и др. выпускают широкую гамму силовых модулей.

Учитывая пожелания потребителей, для удешевления продукции, на предприятии ЗАО «Протон-Импульс» производятся полупроводниковые приборы с корпусами из пластических материалов со значением трекинговости около 250 В, а по специальному заказу — из стеклонеполненных пластиков со значением трекинговости 350–400 В.

В связи с тем, что одной из особенностей тиристорных структур является высокая чувствительность к перенапряжениям, приводящая к необратимому пробоя, выходы реле должны быть от них защищены. Основными средствами защиты является шунтирование выходов реле варисторами, которые включаются параллельно защищаемому оборудованию, то есть при нормальной эксплуатации находится под действием рабочего напряжения защищаемого устройства. В рабочем режиме (при отсутствии импульсных напряжений) ток, проходящий через варистор, пренебрежимо мал. Варистор в этих условиях представляет собой изолятор. При возникновении импульса напряжения

варистор в силу нелинейности своей характеристики резко уменьшает сопротивление до долей ома и шунтирует нагрузку, защищая ее и рассеивая поглощенную энергию в виде тепла. Так как варистор практически не имеет инерции, то после гашения импульса напряжения он вновь приобретает очень большое сопротивление. Рекомендуется использовать варисторы СН2-1 и СН2-2, имеющие коэффициент нелинейности более 30 и характеризующиеся классификационным напряжением U_k при величине тока через варистор 1 МА.

Второй особенностью тиристорных структур является чувствительность к высоким значениям dU/dt , которые могут появляться по следующим причинам:

- включение напряжения в фазе, близкой к 90°;
- импульсные помехи в цепи нагрузки;
- коммутационные скачки напряжения из-за сдвига фазы между током и напряжением при выключении тиристора в цепи с индуктивной нагрузкой.

Все перечисленные скачки напряжения могут приводить к несанкционированному отпиранию тиристоров при превышении dU/dt определенной критической величины.

Для защиты реле от потери управления из-за высокого значения dU/dt выходы шунтируют RC-цепочкой, номиналы элементов которой зависят от конкретной нагрузки и лежат в пределах 20–50 Ом и 0,01–0,1 мкФ.

Еще одним методом повышения устойчивости реле к быстрым скачкам напряжения является введение в цепь нагрузки реактора задержки, которая представляет собой индуктивность с высокой магнитной проницаемостью. При рабочих значениях тока нагрузки реактор находится в насыщении (то есть не влияет на ток), а при уменьшении тока «восстанавливается», внося в цепь большую индуктивность, что замедляет скорость изменения тока и задерживает переполюсовку напряжения, «помогая» запирацию тиристора. Уменьшая скорость нарастания тока на начальной стадии включения тиристора, реактор способствует равномерному распределению плотности тока по кристаллу тиристора, защищая его от воздействию высоких значений dI/dt . Это особенно важно для реле типа ТС при работе на емкостную или активную нагрузку, либо в режиме отсечки фазового угла. Увеличивая импульсный импеданс цепи нагрузки, реактор также повышает эффективность защиты от перенапряжений варистором.

Реле постоянного тока на IGBT и МОП-транзисторах могут быть однополярными и двухполярными. Последние получают встречно-последовательным соединением двух выходных транзисторов. Если в случае МОП-транзисторов такое соединение необходимо, чтобы блокировать в закрытом состоянии прямое напряжение присутствующих в структуре МОП обратно включенных шунтирующих диодов закрытым каналом второго транзистора, то для IGBT наоборот, необходимо вводить такие диоды, чтобы обеспечить проводимость обратного для транзистора типа в открытом состоянии.

Остаточное напряжение на выходе однополярных реле в открытом состоянии (на МОП-транзисторах) определяется сопротивлением канала транзистора, которое при 25 °С может составлять величину от единиц мОм (для низковольтных транзисторов) до единиц Ом (для высоковольтных). При повышении температуры перехода транзистора до предельной величины (150 °С) сопротивление канала увеличивается приблизительно в 2 раза.

Для двухполярных реле на МОП-транзисторах остаточное напряжение складывается из падения напряжения на сопротивлении канала одного транзистора и напряжения прямосмещенного диода, шунтированного сопротивлением канала второго транзистора.

IGBT- и МОП-транзисторы могут работать в режиме лавинного пробоя, но при этом допустимая энергия лавинного пробоя относительно невелика, поэтому существует вероятность выхода из строя из-за перенасыщения. Для двухполярных реле, работающих на переменном напряжении, верно все, что было сказано о защите от перенапряжения тиристорных реле.

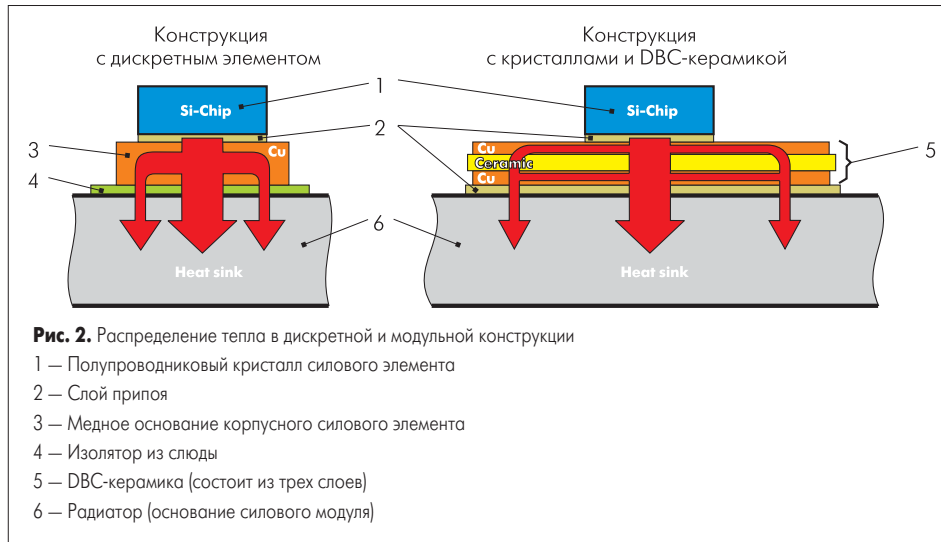
Однополярные реле могут быть защищены от случайных перенапряжений в силовой цепи шунтированием выхода стабилизатором или варистором. Для защиты от перенапряжений, возникающих при отключении индуктивной нагрузки, рекомендуется шунтирование индуктивной нагрузки обратно включенным диодом.

Твердотельные реле рассчитаны в основном на то, что они будут применяться в сетях со стандартной частотой 50 Гц, однако по желанию потребителей ЗАО «Протон-Импульс» изготавливает реле на тиристорных кристаллах, работающих на частоте 400 Гц, — это позволяет использовать реле как в сетях с промышленной частотой, так и в аппаратуре подвижных объектов, где источники электрообеспечения на 400 Гц более предпочтительны.

В коммутирующем элементе твердотельного реле, независимо от типа полупроводникового прибора, его основной характеристика — коммутируемый ток — подвержена заметному влиянию положительных температур. Из-за интенсивного нагрева коммутирующего элемента во включенном состоянии это влияние тем сильнее, чем выше установленный для него номинальный ток. Уже при температуре 30 °С режим коммутации токов 10–25 А должен обеспечиваться этими реле только с радиатором охлаждения или при монтаже на теплопроводящие поверхности. Если радиатор не используется, то коммутируемый ток следует снизить относительно указанной в паспорте величины номинального тока на 40–60%.

Одной из основных характеристик полупроводниковых приборов является тепловое сопротивление. Параметр R_{th} связывает предельные электрические возможности по передаче мощности с условиями тепловых ограничений.

Предельные характеристики (ток, напряжение, мощность) ограничиваются макси-



мальной температурой кристалла полупроводникового прибора, которая не должна быть превышена ни при каких режимах работы реле. Зная реальное сопротивление модуля, можно определить предельные ток и рассеиваемую мощность, при которых не будет превышена предельная температура полупроводниковых элементов приборов, применяемых у потребителя. Тепловое сопротивление является характерной величиной для каждого типа прибора и зависит от площади полупроводниковых кристаллов, площади, толщины и типа материалов между чипами и основанием, а также от технологического процесса и качества изготовления. Часто недостаточное внимание уделяется тому факту, что неблагоприятный эффект от воздействия высокого теплового сопротивления увеличивается по мере приближения к источнику тепла, то есть чем дальше от источника тепла находится слой материала, тем шире в этом месте конус тепловой трубы, а значит, снижается влияние

теплового сопротивления этого материала. Все это означает, что даже самый хороший теплоотвод с вентиляцией не обеспечит охлаждение кристалла, если переходы имеют неоправданно высокие значения теплового сопротивления. На практике это означает, что простое увеличение площади подложки может обеспечить более эффективный отвод тепла, чем использование сложного радиатора с вентилятором.

По определению:

$$R_{thjc} = \frac{(T_{jmax} - T_c)}{P_{tot}}$$

Оно определяется как отношение разности эффективной температуры (T_{jmax}) полупроводникового кристалла (перехода) и температуры в контрольной точке (T_c) к рассеиваемой мощности прибора (P_{tot}) в установившемся режиме.

Использование DBC-керамики в конструкции реле и силовых модулей снижает величину теплового сопротивления почти в 2 раза

по сравнению с конструкцией, в которой используется корпусной силовой элемент, размещенный на теплоотводящем основании с изолирующими прокладками из слюды, эластомера на основе силикона, материала, изменяющего свое физическое состояние при нагреве силового элемента и др.

Для твердотельных реле и силовых модулей, выпускаемых ЗАО «Протон-Импульс» с применением DBC-керамики, значение теплового сопротивления указывается в паспорте на изделие и находится в пределах 0,18–0,3 °C/Вт.

Кроме вышеперечисленных модификаций твердотельных реле ЗАО «Протон-Импульс» выпускает различные устройства по заказам потребителей, широкую номенклатуру быстродействующих твердотельных реле и силовых модулей, таких, как тиристорные, диодные, тиристорно-диодные. В конструкциях шириной 20 мм, кроме обычных диодно-тиристорных модулей выпускаются модули с опторазвязкой по схеме полумоста на токи от 40 до 80 А и напряжение до 1200 В. ■

Литература

1. Архипов С. В. Вопросы применения твердотельных оптоэлектронных реле средней мощности // Электронные компоненты. 2002. № 6.
2. Гарцбейн В. М., Иванов С. В., Романовская Л. В., Флоренцев С. Н. Экспресс-метод определения теплового сопротивления силовых модулей // Электротехника. 2000. № 12.
3. Исламгазина Л. Р., Валев С. Н., Юрген Шульц-Хардер. Критерии выбора подложек для силовых модулей // Компоненты и технологии. 2004. № 3.
4. Panzer Claus, Hierholzer Martin, Dr. Bayerer Reinhold. Power Semiconductor modules for automotive applications // PCIM Europe. 2002. № 6.