

Тиристоры и триаки — десять золотых правил

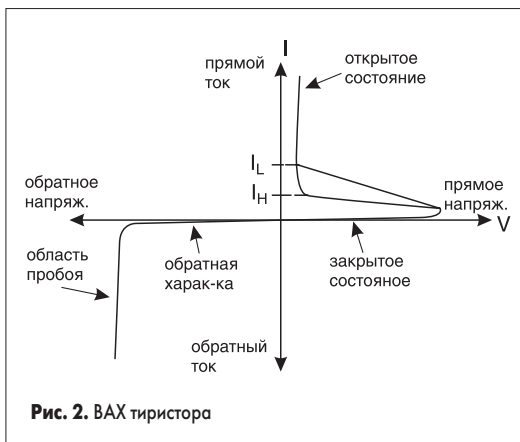
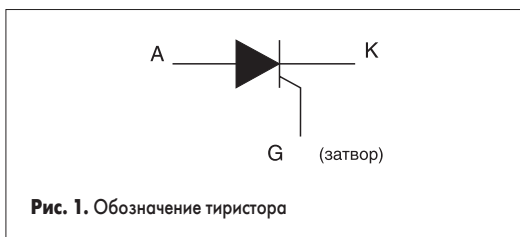
Промышленный ряд тиристоров и триаков (симисторов) Philips предоставляет широкие возможности для создания устройств управления мощностью. Соблюдение же десяти несложных правил по использованию тиристоров и триаков поможет избежать трудностей и ошибок при проектировании.

**Сергей Беялов,
Вадим Гавриков**

info@dectel.ru

Тиристоры

Тиристор — управляемый диод, в котором управление током от анода к катоду происходит за счет малого тока управляющего электрода (затвора).



Открытое состояние тиристора

Тиристор переходит в открытое состояние при подаче на затвор положительного смещения относительно катода. При достижении порогового значения напряжения затвора V_{GT} (ток через затвор имеет значение I_{GT}), тиристор переходит в открытое состояние. Для стабильного перехода в открытое состояние при коротком управляющем импульсе (менее 1 мкс) пиковое значение порогового напряжения необходимо увеличить.

После достижения тока нагрузки значения I_L тиристор будет оставаться в открытом состоянии при отсутствии тока затвора.

Необходимо отметить, что значения параметров V_{GT} , I_{GT} и I_L указаны в спецификации для температуры перехода 25 °С. Эти значения возрастают при понижении температуры. Поэтому внешние цепи тиристора должны рассчитываться для поддержания необходимых амплитуд V_{GT} , I_{GT} и I_L при минимальной ожидаемой рабочей температуре.

Правило 1. Для того чтобы тиристор (триак) перевести в открытое состояние, ток затвора $\geq I_{GT}$ необходимо подавать до достижения тока нагрузки $\geq I_L$. Эти условия должны выполняться при минимальной ожидаемой рабочей температуре перехода.

Чувствительный затвор тиристорov, таких, как BT150, при увеличении температуры перехода выше $T_{j\max}$ может вызывать ложное срабатывание за счет тока утечки от анода к катоду.

Во избежание ложных срабатываний можно посоветовать следующие рекомендации:

1. Рабочая температура перехода должна быть меньше значения $T_{j\max}$.
2. Использовать тиристоры с меньшей чувствительностью, такие, как BT151, либо уменьшить чувствительность имеющегося тиристора включением резистора номиналом 1 кОм или менее между затвором и катодом.
3. При невозможности использования менее чувствительного тиристора необходимо приложить небольшое обратное смещение к затвору в фазе закрытого состояния тиристора для увеличения I_L . В фазе отрицательного тока затвора необходимо уделить внимание уменьшению мощности рассеивания затвора.

Коммутация тиристора

Для перехода тиристора в закрытое состояние ток нагрузки должен снизиться ниже значения тока удержания I_H на время, позволяющее всем свободным носителям заряда освободить переход. В цепях постоянного тока это достигается тем, что цепь нагрузки уменьшает ток до нуля, чтобы дать возможность тиристорy выключиться. В цепях переменного

го тока цепь нагрузки уменьшает ток в конце каждой полуволны. В этой точке тиристор переходит в закрытое состояние.

Тиристор может перейти в состояние проводимости, если ток нагрузки не будет удерживаться ниже I_H достаточное время.

Обратите внимание, что значение I_H указывается для температуры перехода 25°C и, подобно I_L , оно уменьшается при повышении температуры. Поэтому для успешной коммутации цепь должна позволять уменьшаться току нагрузки ниже I_H достаточное время при максимальной ожидаемой рабочей температуре перехода.

Правило 2. Для переключения тиристора (или триака) ток нагрузки должен быть $< I_H$ в течение достаточного времени, позволяющего вернуться к состоянию отсутствия проводимости. Это условие должно быть выполнено при самой высокой ожидаемой рабочей температуре перехода.

Триаки (симисторы)

Триак представляет собой «двунаправленный тиристор». Особенностью триака является способность проводить ток как от анода к катоду, так и в обратном направлении.

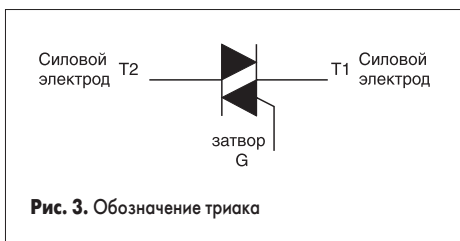


Рис. 3. Обозначение триака

Состояние проводимости

В отличие от тиристорov триак может управляться как положительным, так и отрицательным током между затвором и T1. (Правило для V_{GT} , I_{GT} и I_L те же, что для тиристорov, см. «Правило 1».) Это свойство позволяет триаку работать во всех четырех секторах, как показано на рис. 4.

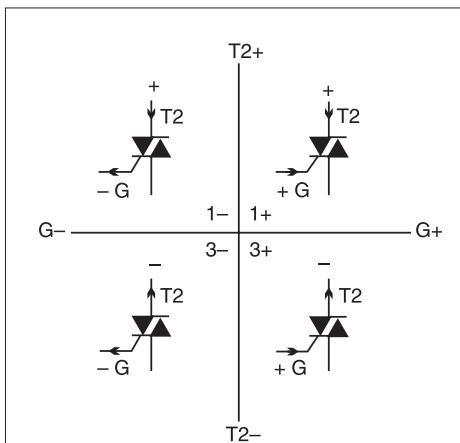


Рис. 4. Спецификация квадратов. «1» и «3» обозначают сектор ВАХ плюс и минус обозначают полярность затвора

Когда затвор управляется постоянным током или однополярными импульсами с нулевым значением тока нагрузки, в квадрантах (3+, 3-) предпочтительнее отрицательный ток затвора по нижеследующим причинам. (Внутреннее строение переходов триака характерно тем, что затвор наиболее отдален от области основной проводимости в квадранте 3+.)

1. При более высоком значении I_{GT} требуется более высокий пиковый I_G .
2. При более длинной задержке между I_G и током нагрузки требуется большая продолжительность I_G .
3. Низкое значение dI_T/dt может вызывать перегорание затвора при управлении нагрузками, создающими высокий dI/dt (включение холодной лампы накаливания, емкостные нагрузки),
4. Чем выше I_L (это относится и к квадранту 1-), тем большая продолжительность I_G будет необходима для малых нагрузок, что позволит току нагрузки с начала полупериода достичь значения выше I_L .

В стандартных цепях управления фазой переменного тока, таких, как регуляторы яркости и регуляторы скорости вращения, полярность затвора и T2 всегда одинаковы. Это означает, что управление производится всегда в 1+ и 3- квадрантах, в которых коммутирующие параметры триака одинаковы, а затвор наиболее чувствителен.

Примечание: 1+, 1-, 3- и 3+ это система обозначений четырех квадрантов, используемая для краткости: вместо того, чтобы записать «MT2+, G+», пишется 1+ и т. д. Эти данные получены из графика вольт-амперной характеристики триака. Положительному напряжению T2 соответствует положительное значение тока через T2, и наоборот (см. рис. 5). Следовательно, управление осу-

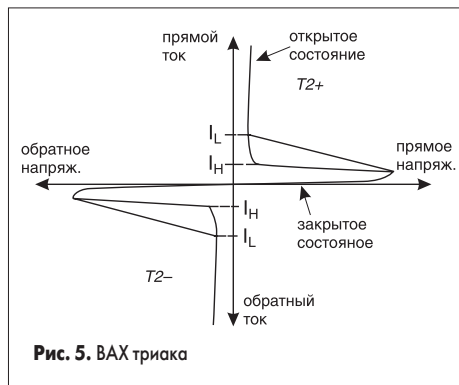


Рис. 5. ВАХ триака

ществляется только в квадрантах 1 и 3. А указатели (+) и (-) относятся к направлению тока затвора.

Правило 3. При проектировании необходимо избегать включения триака в 3+ квадранте (MT2-, G+).

Ложные срабатывания триака

В ряде случаев возможны нежелательные случаи включения триаков. Некоторые из них не приведут к серьезным последствиям, в то время как другие потенциально разрушительны.

1. Уменьшение шумовых сигналов затвора

В электрически шумных окружающих средах ложное срабатывание может происходить, если шумовое напряжение на затворе превышает V_{GT} , поэтому тока затвора достаточно для включения триака. Первый способ защиты — минимизировать возникающий шум. Лучше всего это может быть достигнуто уменьшением длины проводников, ведущих к затвору, и соединением цепи управления затвором непосредственно с выводом T1 (или катодом для тиристора). В случае, если это невозможно, следует использовать витую пару или экранированный кабель.

Дополнительную шумовую устойчивость можно обеспечить, уменьшив чувствительность затвора с помощью включения резистора до 1 кОм между затвором и T1. Если в качестве высокочастотного шунта используется конденсатор, желательно включить последовательно резистор между ним и затвором, чтобы уменьшить пик тока конденсатора через затвор и минимизировать возможность повреждения затвора от перегрузки.

В качестве решения этих проблем можно использовать триаки ряда «Н» из номенклатуры Philips (например BT139-600H). Этот нечувствительный ряд ($I_{GT\ min} = 10\ \text{mA}$) специально разработан для обеспечения высокой шумовой устойчивости.

Правило 4. Для минимизации шумового срабатывания следует свести к минимуму длину проводников к затвору и подключить общий провод непосредственно к T1 (или катоду). Желательно использовать витую пару или экранированный кабель. Можно поставить резистор до 1 кОм между затвором и T1 или шунтировать затвор конденсатором и соединенным с ним последовательно резистором. Один из вариантов — использование нечувствительных триаков ряда «Н».

2. Превышение максимального значения скорости нарастания напряжения коммутации dV_{COM}/dt

Этот эффект может возникнуть при питании реактивных нагрузок, где есть существенный сдвиг фазы между напряжением и током нагрузки. При выключении триака в то время, когда фаза тока нагрузки проходит через ноль, напряжение не будет нулевым из-за сдвига по фазе (см. рис. 6).

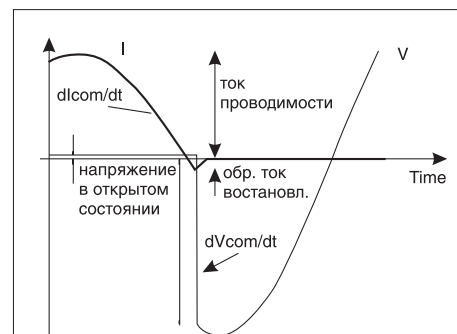


Рис. 6. Режим коммутации триака при реактивной нагрузке

Если при этом скорость изменения напряжения превысит допустимое значение dV_{COM}/dt , триак может остаться в состоянии проводимости. Это происходит из-за того, что носителям заряда не хватает времени, чтобы освободить переход.

На параметр dV_{COM}/dt влияют два условия:

- Скорость уменьшения тока нагрузки при переключении dI_{COM}/dt . Высокое значение dI_{COM}/dt снижает значение dV_{COM}/dt .
- Температура перехода T_j . Чем выше T_j , тем ниже значение dV_{COM}/dt .

Если возможно превышение значения dV_{COM}/dt триака, то ложного срабатывания можно избежать использованием RC-демпфера между T1-T2. Это ограничит скорость изменения напряжения. Обычно выбирается углеродный резистор 100 Ом и конденсатор 100 нФ.

В качестве альтернативы можно предложить использование триаков Hi-Com (более подробно об этих триаках можно прочесть на сайте www.dectel.ru в разделе «Публикации» или в «КиТ» № 7'2002).

Обратите внимание, что резистор не может быть удален из демпфера, так как он используется в качестве ограничителя тока во избежание возникновения высокого значения dI_T/dt в моменты коммутации.

3. Превышение максимального значения скорости нарастания тока коммутации dI_{COM}/dt

Высокое значение dI_{COM}/dt может быть вызвано повышенным током нагрузки, повышенной рабочей частотой (синусоидального тока) или несинусоидальным током нагрузки.

Известный пример — выпрямитель питания для индуктивных нагрузок, где применение стандартных триаков невозможно из-за того, что напряжение питания оказывается ниже напряжения обратной электромагнитной индукции нагрузки и ток триака резко стремится к нулю. Этот эффект проиллюстрирован на рис. 7.

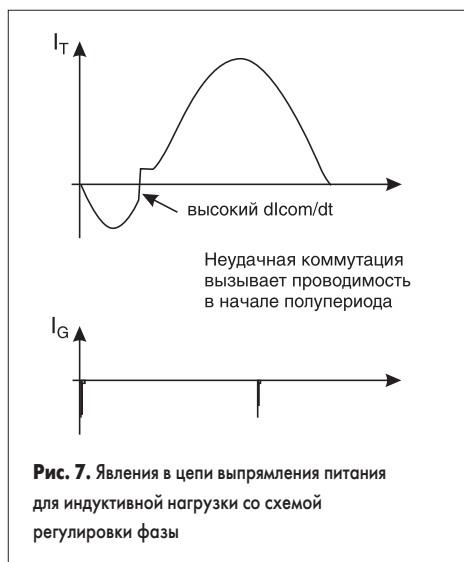


Рис. 7. Явления в цепи выпрямления питания для индуктивной нагрузки со схемой регулировки фазы

При нулевом токе триака ток нагрузки будет падать через мостовой выпрямитель. При индуктивных нагрузках возможно такое высокое значение dI_{COM}/dt , при котором триак не может поддерживать даже небольшого значения dV/dt 50-герцовой синусои-

ды при прохождении нуля. В этом случае не будет эффекта от добавления демпфера.

Решение проблемы в том, что значение dI_{COM}/dt может быть ограничено добавлением дросселя последовательно с нагрузкой. Альтернативное решение — использование Hi-Com-триаков.

4. Превышение максимального значения скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии dV_D/dt

Высокая скорость изменения напряжения на силовых электродах непроводящего триака (или тиристора с чувствительным затвором) без превышения его V_{DRM} (см. рис. 8), вызывает внутренние емкостные токи. При этом внутреннего тока затвора может быть достаточно, чтобы перевести триак (тиристор) в состояние проводимости. Чувствительность к этому параметру увеличивается с ростом температуры.

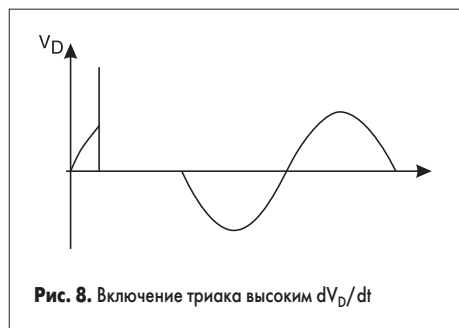


Рис. 8. Включение триака высоким dV_D/dt

Там, где возникает эта проблема, значение dV_D/dt должно быть ограничено RC-демпфером между T1 и T2 для триака (или анодом и катодом для тиристора). Использование триаков Hi-Com в таких случаях может снять эти проблемы.

Правило 5. Если есть вероятность превышения значения dV_D/dt или dV_{COM}/dt , необходимо включить RC-демпфер между T1 и T2. Если есть вероятность превышения значения dI_{COM}/dt , необходимо включить последовательно с нагрузкой катушку индуктивности в несколько мГн. Альтернатива — использование триаков Hi-Com.

5. Превышение повторяющегося пикового напряжения в закрытом состоянии V_{DRM}

Если напряжение на T2 превышает V_{DRM} (это может происходить во время переходных процессов), то ток утечки T2-T1 достигнет значения, при котором триак может спонтанно перейти в состояние проводимости (рис. 9).

При нагрузке, допускающей выбросы тока, ток чрезвычайно высокой плотности может

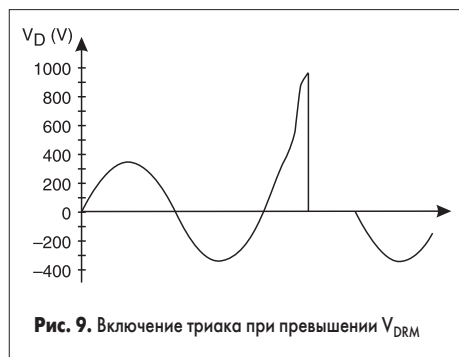


Рис. 9. Включение триака при превышении V_{DRM}

проходить через узкую открытую область перехода. Это может привести к выгоранию перехода и разрушению кристалла. Это может происходить в схемах управления лампами накаливания, емкостных нагрузках и схемах защиты мощных электронных ключей.

Превышение V_{DRM} или dV_D/dt не всегда приводит к потере работоспособности триака, а вот создаваемая dI_T/dt скорость нарастания тока I_t может привести к выходу из строя прибора. Из-за того что требуется некоторое время для распространения проводимости по всему переходу, допустимое значение dI_T/dt ниже чем, если бы триак был включен сигналом затвора. Если значение dI_T/dt не будет превышать минимального значения, которое дается в его характеристиках, то, скорее всего, триак не выйдет из строя. Эта проблема может быть решена подключением ненасыщающей индуктивности (без сердечника) последовательно с нагрузкой. Если это решение неприемлемо, то альтернативное решение может быть в том, чтобы обеспечить дополнительную фильтрацию и ограничение выбросов. Это повлечет использование параллельно питанию металл-оксидного варистора (МОВ) для ограничения напряжения и последовательное подключение LC-цепочки перед варистором.

Некоторые изготовители выражают сомнения в надежности схем с использованием МОВ, так как они при высоких температурах окружающей среды входят в тепловой пробой и выходят из строя. Это является следствием того, что рабочее напряжение МОВ обладает обратным температурным коэффициентом. Однако при применении МОВ на 275 В (среднеквадратичное значение) для цепей 230 В риск перегорания МОВ минимален. Такие проблемы вероятны, если варистор на 250 В используется при высокой температуре окружающей среды в цепях со среднеквадратичным значением 230 В.

Правило 6. Если есть вероятность превышения V_{DRM} триака во время переходных процессов, необходимо принять следующие меры:

- Ограничить высокий dI_T/dt ненасыщающей катушкой индуктивности на несколько мГн последовательно с нагрузкой.
- Использовать МОВ параллельно питанию в комбинации с фильтром к источнику питания.

Состояние проводимости, dI_T/dt

Когда триак (тиристор) находится в состоянии проводимости под действием сигнала затвора, проводимость начинается в участке кристалла, смежном с затвором, и затем быстро распространяется на активную область. Эта задержка накладывает ограничение на значение допустимой скорости нарастания тока нагрузки. Высокое значение dI_T/dt может быть причиной выгорания прибора, в результате чего произойдет короткое замыкание между T1 и T2.

При работе в квадранте 3+ еще больше снижается разрешенное значение dI_T/dt

из-за структуры перехода. Это может привести к мгновенному лавинному процессу в затворе и перегоранию во время быстрого нарастания тока. Разрушение триака может произойти не сразу, а при постепенном выгорании перехода Затвор-Т1, что приведет к короткому замыканию после нескольких включений. Чувствительные триаки наиболее подвержены этому. Эти проблемы не относятся к Hi-Com триакам, так как они не работают в квадранте 3+.

Значение dI_T/dt связано со скоростью нарастания тока затвора (dI_G/dt) и максимальным значением I_G . Высокие значения dI_G/dt и пикового I_G (без превышения номинальной мощности затвора) дают более высокое значение dI_T/dt .

Правило 7. Продуманная схема управления затвором и отказ от работы в квадранте 3+ увеличивает значение dI_T/dt .

Самый простой пример нагрузки, создающей высокий начальный бросок тока, — лампа накаливания, которая имеет низкое сопротивление в холодном состоянии. Для резистивных нагрузок этого типа значение dI_T/dt достигнет максимального значения при начале перехода в состояние проводимости в пике напряжения сети. Если есть вероятность превышения номинального значения dI_T/dt триака, необходимо ограничить это включением катушки индуктивности или терморезистором с обратным температурным коэффициентом последовательно с нагрузкой.

Дроссель не должен насыщаться в течение максимума пика тока. Для ограничения значения dI_T/dt необходимо использовать катушку индуктивности без сердечника.

Есть более правильное решение, с помощью которого можно избежать необходимости включения последовательно с нагрузкой токоограничивающих приборов. Оно состоит в том, чтобы использовать режим включения при нулевой разности потенциалов. Это дало бы плавный рост тока с начала полуволны.

Примечание: Важно помнить, что режим включения при нулевой разности потенциалов применим только к резистивным нагрузкам. Использование того же метода для реактивных нагрузок, где есть сдвиг фазы между напряжением и током, может вызвать однополярную проводимость, ведущую к возможному режиму насыщения индуктивных нагрузок, разрушительно высокому току и перегреву. В этом случае требуется более совершенный способ переключения при нулевом токе или схема управления фазой включения.

Правило 8. Если есть вероятность превышения значения dI_T/dt , необходимо установить последовательно с нагрузкой индуктивность в несколько мГн или терморезистор с обратным температурным коэффициентом. Для резистивных нагрузок можно использовать режим включения при нулевой разности потенциалов.

Отключение

Триаки, использующиеся в цепях переменного тока, коммутируются в конце каждого полупериода тока нагрузки, если не приложен сигнал затвора, чтобы поддержать проводимость с начала следующего полупериода. Правило для I_H те же, что и для тиристора (см. «Правило 2»).

Некоторые особенности триаков Hi-Com

Триаки Hi-Com имеют отличную от обычных триаков внутреннюю структуру. Одно из отличий состоит в том, что две половины тиристора лучше изолированы друг от друга, что уменьшает их взаимное влияние. Это дает следующие преимущества:

1. Увеличение допустимого значения dV_{COM}/dt . Это позволяет управлять реактивными нагрузками (в большинстве случаев) без использования демпфирующего устройства, без сбоя в коммутации. Это сокращает количество элементов, размер печатной платы, стоимость и устраняет потери на рассеивание энергии демпфирующим устройством.
2. Увеличение допустимого значения dI_{COM}/dt . Это значительно улучшает работу на более высоких частотах и для несинусоидальных напряжений без необходимости в ограничении dI_{COM}/dt при помощи индуктивности последовательно с нагрузкой.
3. Увеличение допустимого значения dV_D/dt .

Триаки очень чувствительны при высоких рабочих температурах. Высокое значение dV_D/dt уменьшает тенденцию к самопроизвольному включению из состояния отсутствия проводимости за счет dV/dt при высоких температурах. Это позволяет применять их при высоких температурах для управления резистивными нагрузками в кухонных или нагревательных приборах, где обычные триаки не могут использоваться.

Из-за особой внутренней структуры работа триаков Hi-Com в квадранте 3+ невозможна. В большинстве случаев это не является проблемой, так как это наименее желательный и наименее используемый квадрант. Поэтому замена обычного триака на Hi-Com возможна почти всегда.

Более подробную информацию по триакам Hi-Com можно найти в специальной документации Philips: «Factsheet 013 — Understanding Hi-Com Triacs» и «Factsheet 014 — Using Hi-Com Triacs».

Способы монтажа триаков

При малых нагрузках или коротких импульсных токах нагрузки (меньше 1 с), можно использовать триак без теплоотводящего радиатора. Во всех остальных случаях его применение необходимо.

Существует три основных метода фиксации триака к теплоотводу — крепление зажимом, крепление винтом и клепка. Наиболее распространены первые два способа. Клепка в большинстве случаев не рекомендуется, так как может вызвать повреждение или деформацию

кристалла, что приведет к выходу прибора из строя.

Фиксация к теплоотводу зажимом

Это — предпочтительный метод с минимальным тепловым сопротивлением, так как зажим достаточно плотно прижимает корпус прибора к радиатору. Это одинаково подходит как для неизолированных (SOT82 и SOT78), так и для изолированных корпусов (SOT186 F-корпусов и более ранних SOT186A X-корпусов). SOT78 известен еще как TO220AB.

Фиксация к теплоотводу при помощи винта

1. Набор для монтажа корпуса SOT78 включает прямоугольную шайбу, которая должна быть установлена между головкой винта и контактом без усилий на пластиковый корпус прибора.
2. Во время установки наконечник отвертки не должен воздействовать на пластиковый корпус триака (тиристора).
3. Поверхность теплоотвода в месте контакта с электродом должна быть обработана с чистотой до 0,02 мм.
4. Крутящий момент (с установкой шайбы) должен быть между 0,55–0,8 Н·м.
5. По возможности следует избегать использования винтов-саморезов, так как это снижает термоконтакт между теплоотводом и прибором.
6. Прибор должен быть механически зафиксирован перед пайкой выводов. Это минимизирует чрезмерную нагрузку на выводы.

Правило 9. При монтаже триака (тиристора) необходимо избегать приложения чрезмерных механических усилий. Перед пайкой необходимо закрепить прибор одним из трех допустимых способов. Особое внимание необходимо уделить плотности прилегания корпуса прибора к радиатору.

Тепловое сопротивление

Тепловое сопротивление R_{th} — это сопротивление между корпусом прибора и радиатором. Этот параметр аналогичен электрическому сопротивлению $R = V/I$, поэтому тепловое сопротивление $R_{th} = T/P$, где T — температура в кельвинах, и P — рассеяние энергии в ваттах.

Для прибора, установленного вертикально без радиатора, тепловое сопротивление задается тепловым сопротивлением «переход — окружающая среда» $R_{th} = R_{th-j-a}$.

- Для корпуса SOT82 значение равно 100 К/Вт;
- Для корпуса SOT78 значение равно 60 К/Вт;
- Для корпусов F и X значение равно 55 К/Вт.

Для не изолированных приборов, установленных на теплоотвод, тепловое сопротивление является суммой сопротивлений «переход — корпус», «корпус — теплоотвод» и «теплоотвод — окружающая среда».

$$R_{th-j-a} = R_{th-j-mb} + R_{th-mb-h} + R_{th-h-a}$$

Для изолированных корпусов нет ссылки на термосопротивление $R_{th-j-mb}$, так как $R_{th-mb-h}$ принят постоянным и дан с учетом использо-

вания термопасты. Поэтому тепловое сопротивление для изолированного корпуса является суммой тепловых сопротивлений «переход — теплоотвод» и «теплоотвод — окружающая среда».

$$R_{th\ j-a} = R_{th\ j-h} + R_{th\ h-a}$$

$R_{th\ j-mb}$ или $R_{th\ j-h}$ фиксированы и даны в документации к каждому прибору. $R_{th\ mb-h}$ также даются в инструкциях по установке для некоторых вариантов изолированного и неизолированного монтажа с использованием или без использования термопасты. $R_{th\ h-a}$ регулируется размером теплоотвода и степенью воздушного потока через него. Для улучшения теплоотдачи всегда рекомендуется использование термопасты.

Расчет теплового сопротивления

Для вычисления теплового сопротивления теплоотвода для данного триака (тиристора) и данного тока нагрузки необходимо сначала вычислить рассеяние энергии в триаке (тиристор), используя следующее уравнение:

$$P = V_o \times I_T(AV) + R_s \times I_T(RMS)^2$$

V_o и R_s получены из «on-state» характеристики триака (тиристора). Если значения не ука-

занны, то они могут быть получены из графика путем вычерчивания касательной к $V_T\ max$. Точка на оси V_T , где ее пересекает касательная, дает V_o , в то время как тангенс угла наклона касательной дает R_s .

Используя уравнение теплового сопротивления, данное выше, получаем:

$$R_{th\ j-a} = T/P$$

Максимально допустимая температура перехода будет достигнута, когда T_j достигает $T_{j\ max}$ при самой высокой температуре окружающей среды. Это дает нам T .

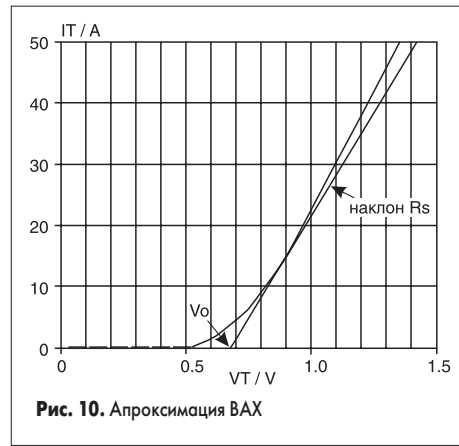


Рис. 10. Аппроксимация ВАХ

Полное тепловое сопротивление

Все расчеты по вычислению теплового сопротивления имеет смысл проводить для уже установившегося режима продолжительностью больше 1 с. Для импульсных токов или длительных переходных процессов меньше 1 с эффект отвода тепла уменьшается. Температура просто рассеивается в объеме прибора с очень небольшим достижением теплоотвода. В таких условиях нагрев перехода зависит от полного теплового сопротивления «переход — корпус прибора» $Z_{th\ j-mb}$. Поэтому $Z_{th\ j-mb}$ уменьшается при уменьшении продолжительности импульса тока благодаря меньшему нагреву кристалла. При увеличении продолжительности до 1 с $Z_{th\ j-mb}$ увеличивается до значения, соответствующего установившемуся режиму $R_{th\ j-mb}$. Характеристика $Z_{th\ j-mb}$ приводится в документации для двунаправленного и однонаправленного электрического тока импульсами продолжительностью до 10 с.

Правило 10. Для надежной работы прибора необходимое значение $R_{th\ j-a}$ должно быть достаточно низко, чтобы держать температуру перехода в пределах $T_{j\ max}$ при самой высокой ожидаемой температуре окружающей среды.

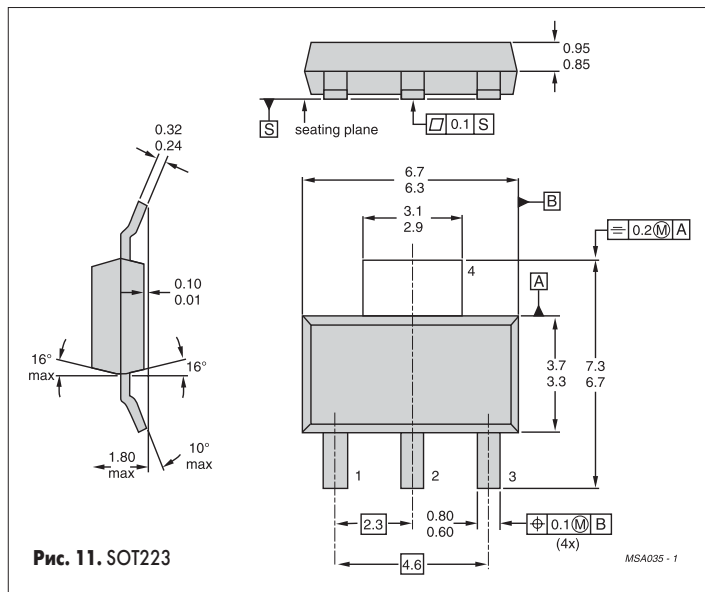


Рис. 11. SOT223

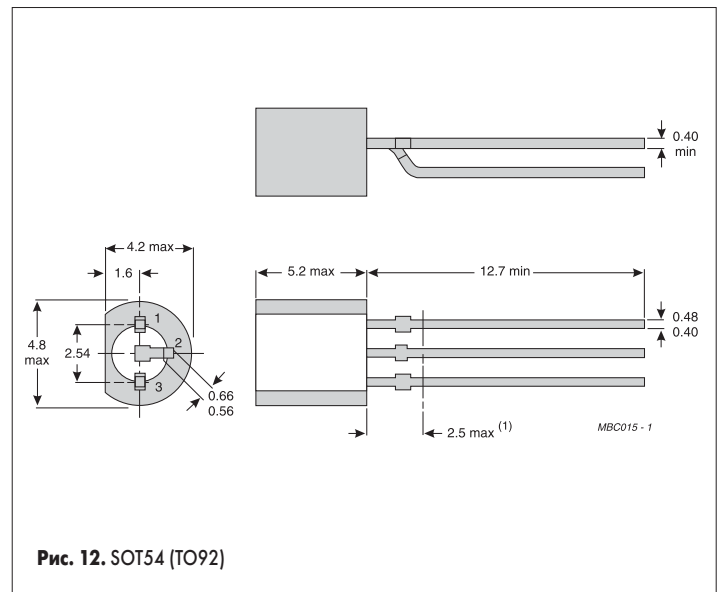


Рис. 12. SOT54 (TO92)

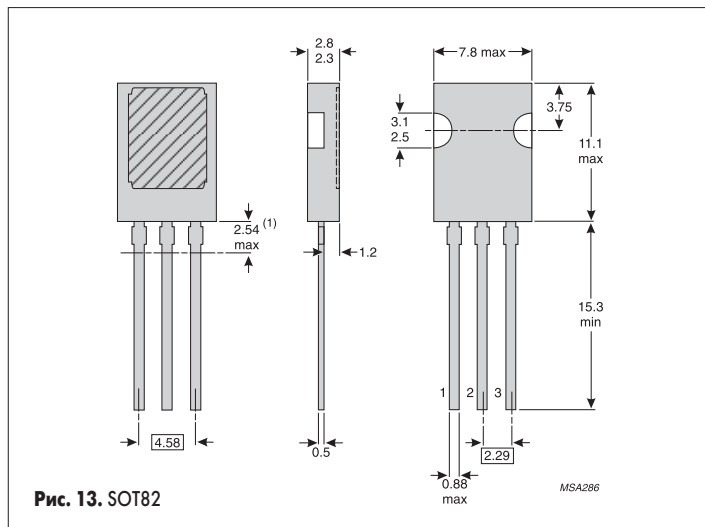


Рис. 13. SOT82

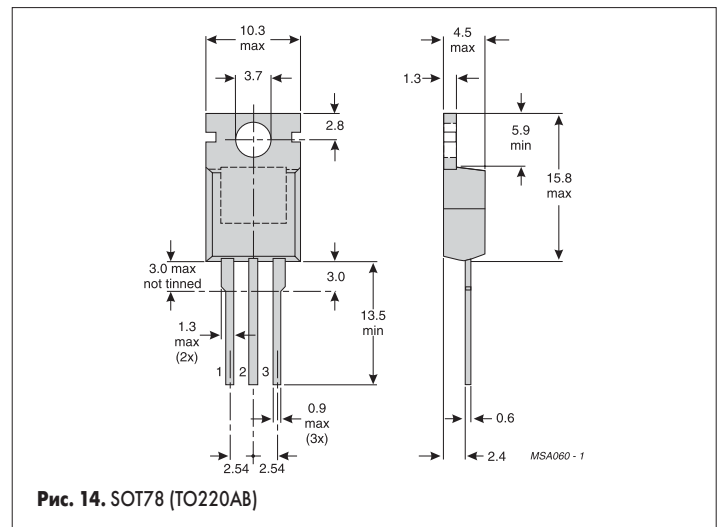


Рис. 14. SOT78 (TO220AB)

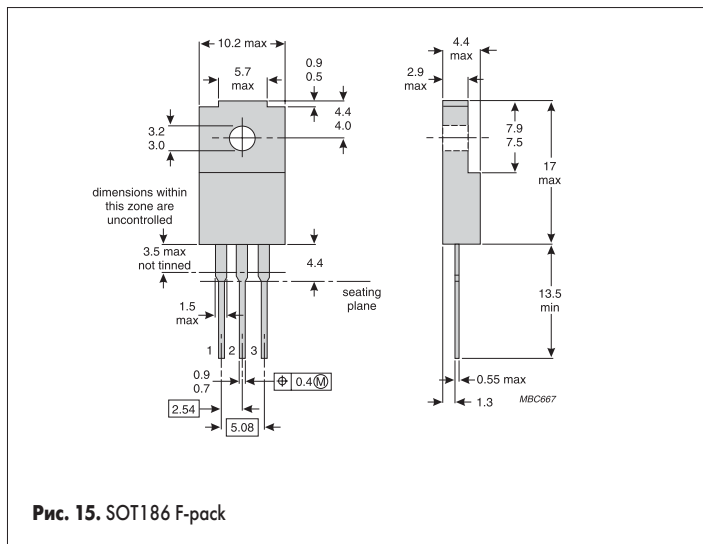


Рис. 15. SOT186 F-pack

Номенклатура и корпуса

Промышленный ряд тиристоров Philips начинается с 0,8 А в SOT54 (TO92) и заканчивается 25 А в SOT78 (TO220AB).

Промышленный ряд триаков (симисторов) Philips начинается с 0,8 А в SOT223 и заканчивается 25 А в SOT78.

Самый маленький корпус триака (тиристора) для поверхностного монтажа — SOT223 (рис. 11). Мощность рассеивания зависит от степени рассеивания тепла печатной платой, на которую устанавливается прибор.

Тот же кристалл устанавливается в неизолированный корпус SOT82 (рис. 13). Улучшенная теплоотдача этого корпуса позволяет использовать его при более высоких номинальных токах и большей мощности.

На рис. 12 показан наименьший корпус для обычного монтажа — SOT54. В этот корпус ставится кристалл, которым оснащаются SOT223.

SOT78 — самый распространенный неизолированный корпус, большинство устройств для бытовой техники производится с использованием этого корпуса (рис. 14).

На рис. 15 показан SOT186 (F-корпус). Этот корпус допускает в обычных условиях

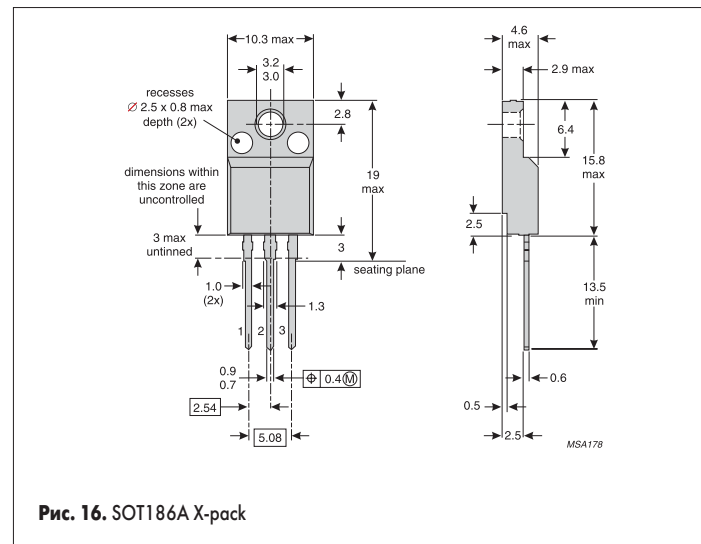


Рис. 16. SOT186A X-pack

разность потенциалов 1500 В между прибором и теплоотводом.

Один из последних корпусов — SOT186A (X-корпус), показанный на рис. 16. Он обладает несколькими преимуществами перед предыдущими типами:

1. Корпус имеет те же размеры, что и корпус SOT78 в зазорах выводов и монтажной поверхности, поэтому он может непосредственно заменять SOT78 без изменений в монтаже.
2. Корпус допускает в обычных условиях разность потенциалов 2500 В между прибором и теплоотводом.