

# Симисторы (триаки)

## от Philips Semiconductors

Святослав Белов

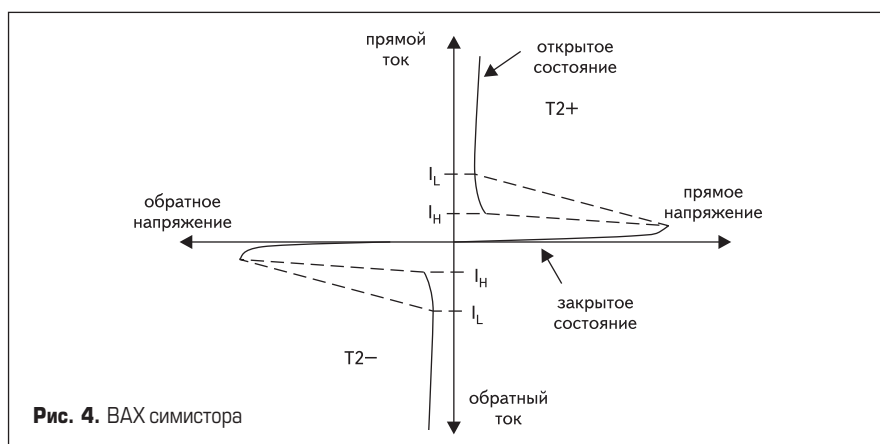
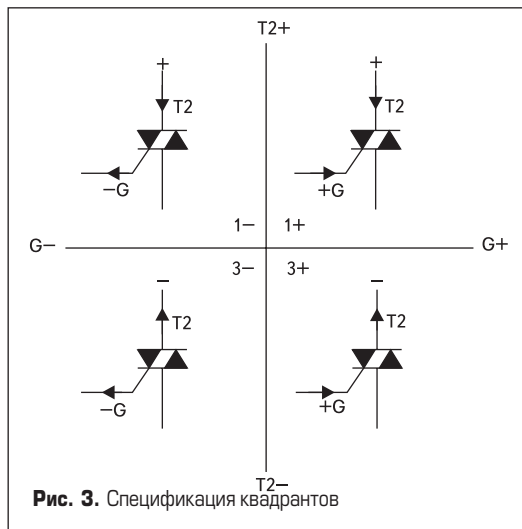
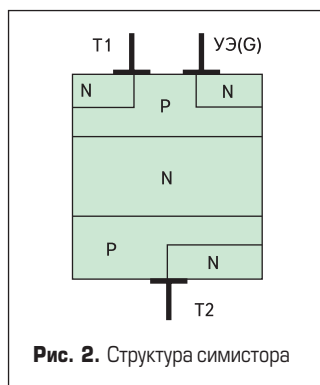
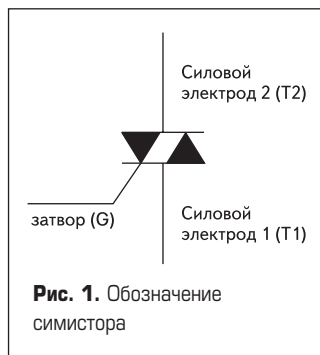
belov@gamma.spb.ru

### Что такое симистор?

Симистор (или триак — от англ. triac) — полупроводниковый элемент, предназначенный для коммутации нагрузки в сети переменного тока. Он представляет собой «двунаправленный тиристор» и имеет три электрода: один управляющий и два основных для пропуска рабочего тока. Особенностью симистора является способность проводить ток как от анода к катоду, так и в обратном направлении.

Структура симистора представлена на рис. 2.

В отличие от тириستоров триак может управляться как положительным, так и отрицательным током между затвором и T1. Это свойство позволяет симистору работать во всех четырех секторах, как показано на рис. 3. (плюс и минус обозначают полярность затвора). Для управления режимом работы симистора используется низковольтный сигнал, подаваемый на управляющий электрод симистора. При подаче напряжения на управляющий электрод симистор переходит из закрытого состояния в открытое и пропускает через себя ток.



Симистор открывается, если через управляющий электрод проходит отпирающий ток или если напряжение между его электродами T1 и T2 превышает некоторую максимальную величину (на самом деле это часто приводит к несанкционированным срабатываниям симистора, происходящим при максимуме амплитуды напряжения питания). В режиме переменного питания смена состояний симистора вызывается изменением полярности напряжения на рабочих электродах T1 и T2.

Симистор переходит в закрытое состояние после изменения полярности между его выводами T1 и T2 или если значение рабочего тока меньше тока удержания.

Все режимы работы симистора отображены на рис. 3.

Когда затвор управляется постоянным током или однополярными импульсами с нулевым значением тока нагрузки, в квадрантах (3+, 3-) предпочтительнее отрицательный ток затвора по следующим причинам: во-первых, для внутреннего строения переходов триака характерно то, что затвор наиболее отдален от области основной проводимости в квадранте 3+. Во-вторых, при более высоком значении  $I_{GT}$  (отпирающий ток управляющего электрода) требуется более высокий пиковый  $I_G$ . При более длительной задержке между  $I_G$  и током нагрузки требуется большая продолжительность  $I_G$ . Кроме того, низкое значение  $dI/dt$  (максимально допустимое изменение текущего тока после переключения) может вызывать перегорание затвора при управлении нагрузками, создающими высокий  $dI/dt$  (включение холодной лампы накаливания, емкостные нагрузки). Наконец, чем выше  $I_L$  — ток срабатывания (это относится и к квадранту 1-), тем больше продолжительность  $I_G$  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 квадрантах 1+ и 3-, в которых коммутирующие параметры триака одинаковы, а затвор наиболее чувствителен.

Эти данные получены из графика вольт-амперной характеристики триака. Положительному напряжению T2 соответствует положительное значение тока через T2, и наоборот (см. рис. 4).

Для предотвращения ложных срабатываний триаков, вызванных шумами и пульсациями, создаваемыми двигателями, цепи, использующие четырехквадрантные (4Q) триаки, должны иметь дополнительные компоненты защиты. Это, как правило, демпферная RC-цепочка между силовыми электродами триака, которая используется для ограничения скорости изменения напряжения ( $dV/dt$ ), а в некоторых случаях необходима индуктивность для ограничения скорости изменения тока при коммутации ( $dI_{COM}/dt$ ). Данные

компоненты увеличивают стоимость устройства и его габариты, а также они могут уменьшать надежность устройства.

### Преимущества трехквadrантных триаков (Hi-com)

Отличие 3Q-триака от 4Q-триака заключается в некритичной структуре перекрытия переходов у затвора. И хотя это делает его неспособным к управлению в квадранте 3+, зато устраняет возможное самопроизвольное срабатывание и помогает избежать всех неудобств, относящихся к 4Q-триакам. Так как большинство устройств работает в квадрантах 1+ и 3- (управление фазой), или 1- и 3- (однополярное управление с помощью интегральных схем или других электронных цепей), то потеря управления в квадранте 3+ — очень малая цена за полученные преимущества.

Hi-com-триаки имеют ряд преимуществ перед 4-квadrантными. Основной минус применения 4Q-триака заключается в необходимости предотвращения ложных срабатываний, вызванных шумами и пульсациями, что заставляет использовать демпферную RC-цепочку. Кроме того, к особенностям 3Q-триаков относятся:

- увеличение допустимого значения  $dV_{COM}/dt$  (критическое значение изменения коммутирующего напряжения). Это позволяет управлять реактивными нагрузками (в большинстве случаев) без необходимости в демпфирующем устройстве, без сбоев в коммутации. Таким образом, можно сократить количество элементов, размер печатной платы, стоимость, а также устранить потери на рассеивание энергии демпфирующим устройством;
- увеличение допустимого значения  $dI_{COM}/dt$  (критическое значение изменения коммутирующего тока) значительно улучшает работу на более высоких частотах и для несинусоидальных напряжений без необходимости в ограничении  $dI_{COM}/dt$  при помощи индуктивности последовательно с нагрузкой;
- 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. Данные особенности исключают необходимость использования дросселя или демпфера. В связи с этим симисторы 3Q (Hi-com) с успехом могут применяться в мощных электродвигателях, предназначенных для современной бытовой техники.

### Производители симисторов

Сейчас изготовлением симисторов (как 4-квadrантных, так и Hi-com) заняты ведущие производители полупроводников. Среди них можно выделить Philips Semiconductors, STMicroelectronics, ON Semiconductors, Crydom. Все производители пытаются покрыть как мож-

Таблица 1. Производители симисторов

| Hitachi | Mitsubishi | NEC       | ON Semi    | Sanken   | Sanyo    | STM         | Tecor    | Toshiba  | Philips      |
|---------|------------|-----------|------------|----------|----------|-------------|----------|----------|--------------|
|         | BCR1AM-8   | AC0V8DGM  | MAC97-6    |          |          | Z0110DA     | L601E6   | SM1G43   | BT132-600D   |
|         |            |           | 2N6075A    |          |          | TLC336D     | L2004F61 | SM2G44   | BT134-600D   |
|         |            |           |            |          |          | TLC336A     | L2004F81 | SM2G41   | BT134-600E   |
|         | BCR08AS-8  | AC01DJM   |            |          |          | Z0109NN     |          |          | BT134W-600D  |
|         |            |           |            |          |          | BTB04-600D  | L6004F61 |          | BT136-600D   |
|         |            |           |            |          |          | BTB04-600A  | Q6004F31 |          | BT136-600E   |
|         |            |           |            |          |          | BTA04-600D  | L6004L6  |          | BT136X-600D  |
|         |            |           |            |          |          | BTA04-600A  | L6004L8  | SM3JZ46A | BT136X-600E  |
|         |            |           |            |          | DTA6G-N  | T0812MH     |          | SM6J48A  | BT137-600    |
|         |            |           | MAC228A6   |          |          | BTB06-600S  |          |          | BT137-600D   |
|         |            |           | T2500M     |          |          | BTB06-600C  | Q5006R4  | SM6G45A  | BT137-600F   |
|         |            |           |            | TM620M   |          | BTB06-600B  | Q6006R5  |          | BT137-600G   |
|         |            |           |            |          |          | T0812SH     |          | SM6J44   | BT137-800    |
|         |            |           | MAC229A8FP |          |          | BTA08-600S  | L6008L6  |          | BT137X-600D  |
|         |            |           |            |          |          | BTA08-600A  | Q6004L3  |          | BT137X-600E  |
|         |            |           | T2500MFP   |          | DTN8E    | BTA08-600C  | Q6004L4  | SM8GZ47A | BT137X-600F  |
|         |            |           | MAC218A8   |          | DTC8G-N  | T1012MH     |          | SM8J48A  | BT138-600    |
|         |            |           | T2800M     |          | DTC10E-N | BTB10-600C  | Q5010R5  | SM8J45A  | BT138-600F   |
|         |            |           |            | TM1040M  |          |             | T1013MH  | Q6010R5  | BT138-600G   |
|         |            |           | MAC218A8FP |          |          |             |          | SM8JZ47  | BT138X-600   |
|         |            |           |            |          | DTN8G    | BTA10-600C  | Q5010L5  | SM8JZ47A | BT138X-600F  |
|         |            |           | MAC320A8   | DTC12G-N |          | T1612MH     |          | SM12J48A | BT139-600    |
|         |            |           | MAC320A10  |          |          | T1612SH     | Q8015R5  |          | BT139-800    |
|         |            |           | 2N6349A    |          |          | BTB16-800B  |          |          | BT139-800G   |
|         |            |           |            |          |          | BTA16-600B  |          | SM12JZ47 | BT139X-600G  |
|         |            |           |            |          |          | TYP512      | S2025R   |          | BT145-500R   |
|         |            |           |            |          |          | TYN825      | S8025R   | SF16JZ51 | BT145-800R   |
|         |            |           |            |          |          | X0405DF     | T107F1   | SF2D41   | BT148-400R   |
|         |            |           | S2800F     | TF640M   |          | TYN410      | S4012R   | SF5G48   | BT151-500R   |
|         |            |           | S2800M     |          |          | TYN810      | S8012R   | SF5J48   | BT151-800R   |
|         |            |           |            |          |          |             | S8010L   | SF5JZ47  | BT151X-800R  |
|         |            |           |            |          |          |             |          | SF8D41   | BT152-400R   |
|         |            |           |            |          |          |             |          |          | BT152X-400R  |
|         |            |           | SP4J       |          |          | S0802DH     | SF2R5B42 | SF3G42   | BT258-500R   |
|         |            |           |            |          |          |             | S4010LS3 |          | BT258X-500R  |
|         |            |           |            |          |          | S0606DH     | S0504F1  | SF3G48   | BT300-500R   |
|         |            |           |            |          |          |             |          | SM16J48A | BTA140-600   |
|         |            | AC03FGM   |            |          |          | T410-600T   |          |          | BTA204-600E  |
|         | BCR3AM-8   |           |            |          | DTB3G    |             |          | SM3J41   | BTA204-600F  |
|         | BCR3AS-8   | AC03FJM-Z |            |          |          | T410-600K   |          |          | BTA204S-600E |
|         |            | AC03DSM   |            |          |          | T410-600W   |          |          | BTA204X-600E |
| FT09G   |            |           | MAC9M      |          |          | BTB08-800BW |          |          | BTA208-600B  |
| FS09G   |            |           | MAC12M     |          |          | BTB10-600BW |          |          | BTA212-600B  |
| FSM16C6 | BCR16HM-8  |           | MACH16M    |          |          | BTB16-600BW |          | SM16JZ41 | BTA216-600B  |
|         | BCR16HM-12 |           | MACH16N    |          |          | BTB16-800BW |          |          | BTA216-800B  |
| FQ08C   | BCR20C-8   |           | MAC25M     |          |          | BTB24-600BW | Q8025R6  |          | BTA225-600B  |
|         | BCR20C-10  |           | MAC25N     |          |          | BTB24-800BW |          |          | BTA225-800B  |

но большую номенклатуру триаков. Ниже вы можете видеть сводную таблицу (таблица 1) аналогов симисторов, номиналами от 1 до 25 А и от 400 до 800 В.

Следует особо отметить, что Philips и Crydom уже выпускают триаки, рассчитанные на 1000 В (BTA208X-1000C и BTA208X-1000B от Philips, несколько слов о них будет сказано ниже, и их аналоги от Crydom — STA24-1000CW и STA24-1000BW).

Некоторые производители также стали выпускать симисторы, рассчитанные на 40А: СТВ40-400 В, СТВ40-600 В и СТВ40-800 В от Crydom, а также ВТА40-600В, ВТА40-800 В, ВТА41-600 В, ВТА41-600 В, ВТВ41-600 В и ВТВ41-800 В от STMicroelectronics. Недавно и Philips анонсировал предстоящий в ближайшее время выпуск 40-В симисторов.

### Симисторы от Philips

Компания Philips Semiconductors является ведущим производителем Hi-com-триаков, столь широко используемых во многих отрас-

лях промышленности. На данный момент линейка Hi-com-триаков представлена следующими моделями, приведенными в таблице 2.

Особое внимание обратим на новые Hi-com-триаки BTA208X-1000 C и BTA208X-1000 B.

Эти симисторы используются для управления мощными электромоторами, где имеется высокое запирающее напряжение, статическое и динамическое  $dV/dt$ . Данный триак переключает направление полного номинального среднеквадратического тока при максимальной номинальной температуре перехода без помощи демпфера.

Особенности BTA208 В-1000 С:

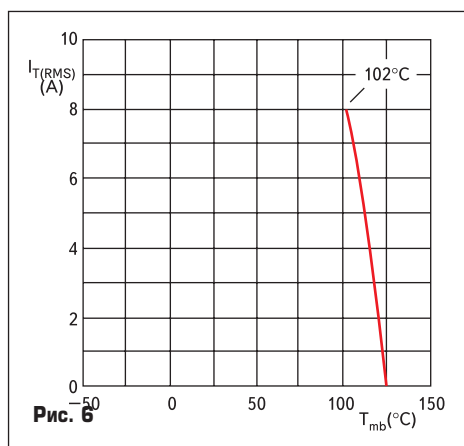
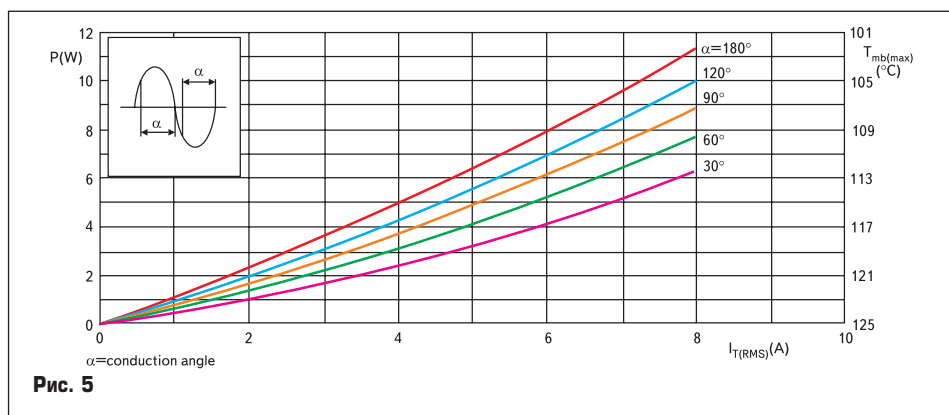
- защита от ложного запуска;
- гарантированное  $V_{drm} = 1000 В$ .

Рассмотрим некоторые графики, демонстрирующие свойства данного симистора:

1. Полное разложение мощности как функции среднеквадратического тока в открытом состоянии (рис. 5).
2. Среднеквадратический ток в открытом состоянии как функция повышающейся основной температуры (рис. 6).

Таблица 2

| $I_{T(RMS)}$<br>(A) | Напряжение<br>(В) | $I_{GT(max)}$<br>(mA) | SOT223  | SOT428<br>DPAK | SOT404<br>D <sup>2</sup> PAK | SOT54<br>TO92 | SOT186A<br>(isolated TO220AB) | SOT78<br>TO220AB |
|---------------------|-------------------|-----------------------|---------|----------------|------------------------------|---------------|-------------------------------|------------------|
| 1                   | 600/800           | B/E                   |         |                |                              | BTA201        |                               |                  |
| 1                   | 600               | B/C/D/E/F             | BTA204W |                |                              |               |                               |                  |
| 1                   | 800               | C/E                   | BTA204W |                |                              |               |                               |                  |
| 4                   | 600               | B/C/D/E/F             |         | BTA2045        |                              |               | BTA204X                       | BTA204           |
| 4                   | 800               | B/C/E                 |         | BTA2045        |                              |               | BTA204X                       | BTA204           |
| 8                   | 600               | B/D/E/F               |         | BTA2085        |                              |               | BTA208X                       | BTA208           |
| 8                   | 800               | B/E                   |         | BTA2085        |                              |               | BTA208X                       | BTA208           |
| 8                   | 1000              | B                     |         |                |                              |               | BTA208X                       |                  |
| 8                   | 1000              | C                     |         |                |                              |               | BTA208X                       |                  |
| 12                  | 600               | B/D/E/F               |         |                | BTA212B                      |               | BTA212X                       | BTA212           |
| 12                  | 800               | B/E                   |         |                | BTA212B                      |               | BTA212X                       | BTA212           |
| 16                  | 600               | B/D/E/F               |         |                | BTA216B                      |               | BTA216X                       | BTA216           |
| 16                  | 800               | B                     |         |                | BTA216B                      |               | BTA216X                       | BTA216           |
| 25                  | 600/800           | B                     |         |                | BTA225B                      |               |                               | BTA225           |
| 25                  | 600               | B                     |         |                |                              |               |                               | BTA225-xxBT      |



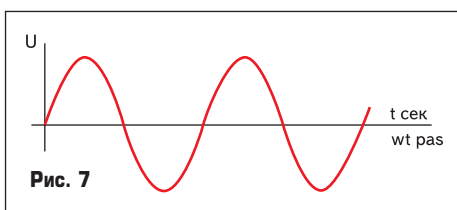
### Применение симисторов

В настоящий момент симисторы применяются во многих областях техники, например в бытовых и электрических приборах и инструментах, электромоторах, диммерах и т. д.

О диммерах хотелось бы поговорить немного подробнее.

В двух словах: диммер — это многоканальный симисторный регулятор для управления яркостью ламп накаливания. Диммированием света называется регулировка напряжения источника света (лампы) с целью изменения ее светового потока. Диммирование света имеет широчайшее применение во многих сферах, связанных с использованием профессионального света, например в театрально-сценических постановках и концертных программах, где очень часто требуется возможность оперативного изменения освещенности отдельных участков сцены.

Диммигом пользуются даже мобильные тележурналисты, осветительная аппаратура которых работает от батарей. Для них важно,



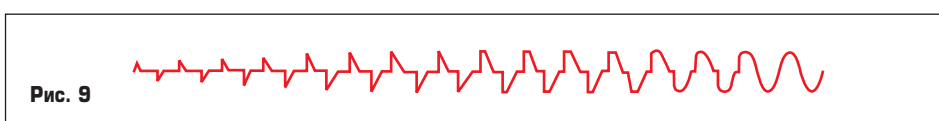
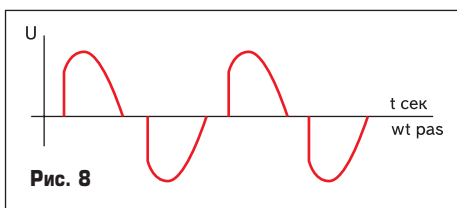
чтобы во время съемки лампы работали на полную мощность, а все остальное время находились в режиме готовности к работе.

Рассмотрим принцип работы диммера.

Напряжение, используемое в промышленности, является переменным — 220 В, 50 Гц, то есть сетевое напряжение имеет вид синусоиды (рис. 7).

Большинство диммеров бытового и профессионального назначения, изготовленных на базе симисторов, используют импульсно-фазовый метод управления. Открывая симистор с большей или меньшей задержкой по времени, возможно «вырезать» соответствующую часть синусоиды питающего напряжения (рис. 8).

Таким образом, среднее напряжение на выходе устройства изменяется пропорциональ-



но изменению времени задержки открытия симистора.

Если крутить ручку управления яркости диммера в сторону увеличения, то напряжение будет изменяться так, как показано на рис. 9.

Другими словами, диммеры не уменьшают амплитуду напряжения, а только изменяют форму синусоиды. Вследствие этого применение диммеров в качестве регуляторов напряжения невозможно, поскольку электронная схема управления компактной люминесцентной лампой содержит компоненты, которые могут в этом случае выйти из строя.

Симистор, выполняющий функцию силового ключа, является основным элементом диммера. Он упрощает конструкцию диммера и значительно сокращает стоимость, например, по сравнению с аналогичным диммером на тиристоре.

### Заключение

Подводя итог под рассмотренными свойствами симисторов, можно кратко выделить их основные преимущества:

1. Высокая частота срабатывания позволяет добиться высокой точности управления.
2. Ресурс работы значительно выше, чем у электромеханических компонентов.
3. Позволяют значительно уменьшить размеры силового блока.
4. Низкий уровень шума при коммутации силовых цепей.

Помимо всего, симистор является элементом силовой электроники — одной из наиболее динамично развивающихся областей российской электроники. По различным оценкам, она обеспечивает до 50% всего оборота на отечественном рынке изделий электроники. Как считают многие специалисты, российские разработчики и производители могут составить в этой области реальную конкуренцию иностранным фирмам. Применяется силовая электроника везде: при производстве электроэнергии, ее передаче и потреблении. По предварительным прогнозам, объем рынка силовой электроники в мире уже сейчас составляет около \$300 млрд, из них на Россию приходится около \$6 млрд. А вскоре, когда будет принята программа энергосбережения, емкость рынка может значительно возрасти.

Соответственно, объемы производства и применения симисторов как элемента силовой электроники постоянно растут. Нагревательные устройства (кухонные плиты, печи и т. д.), компрессоры кондиционеров и холодильников, кухонные комбайны, миксеры, швейные машины, вентиляторы, пылесосы, стиральные машины — вот лишь часть приборов, в которых находят активное применение и продолжают внедряться симисторы. Используя их, вы получаете значительную экономию средств, времени, преимуществ в простоте разработки, а следовательно, и дополнительную прибыль.