



В июле 1948 года в печати появилась небольшая заметка о новой разработке фирмы «Белл телефон лабораториз» — полупроводниковом приборе, способном заменить электровакуумную лампу. Это был первый транзистор. За его создание американские ученые Д. Бардин, У. Браттейн и У. Шокли были удостоены Нобелевской премии. С тех пор, вот уже почти 30 лет, замечательные свойства транзисторов широко используются в разнообразнейших электронных устройствах.

А что же электротехника — старшая сестра электроники? Неужели переворот, произведенный транзистором, ее не затронул?

Случилось так, что вдохновителем новых веяний в электротехнике стал ближайший «родственник» транзистора — управляемый полупроводниковый вентиль, который по решению Международной электротехнической комиссии в 1963 году получил название «тиристор».

Идея построения четырехслойной р-п-р-п структуры, образующей фундамент управляемого полупроводникового вентиля, впервые была высказана в начале 50-х годов. Однако прошло около 5 лет, прежде чем удалось изготовить первые кремневые р-п-р-п приборы. Принцип их действия был понятен тогда лишь немногим, и практического применения эти устройства поначалу не находили. Но лишь поначалу. Дальше внедрение тиристоров пошло лавинообразно.

Благодаря своим замечательным свойствам тиристоры нашли применение в самых различных областях электротехники: на высоковольтных линиях передачи постоянного тока, на транспортных тяговых подстанциях, в электрогальванике, системах питания и зажигания автомобилей, для управления электроприводом, в устройствах автоматики и телемеханики.

Бурными темпами развивается силовая полупроводниковая техника в нашей стране, по выпуску новейших типов тиристоров мы давно уже превосходим многие зарубежные фирмы. Большая заслуга в развитии отечественного силового полупроводникового приборостроения принадлежит физикам: академику В. М. Тучкевичу, И. В. Грехову, И. А. Тепману, В. Е. Челнокову. За работы в этой области техники они были удостоены звания лауреатов Ленинской премии.

Сейчас промышленность выпускает самые разнообразные тиристоры — от крошечного прибора размером с горошину до гигантов массой в несколько килограммов. Габариты тиристоров и их вес по отношению к мощности очень малы. Они способны работать как при низких ( $-50$ — $60^\circ$ ), так и при высоких (свыше  $100^\circ$ ) температурах. Потери энергии в них ничтожны, КПД превышает 99%.

Тиристор (от греческого слова *thyra* — дверь, вход и английского *resistor* — сопротивление) — многослойный полупроводниковый прибор с несколькими р-п переходами. По структуре более сложный, чем транзистор, тиристор представляется как бы дальнейшим его развитием.

### Лаборатория конструктора

Мысленно разрежем такой полупроводниковый «бутерброд» на две половинки (рис. 1). Не правда ли, полученные части со структурой р-п-р и п-р-п поразительно напоминают два транзистора прямой и обратной проводимости? Так оно и есть (рис. 2).

Тиристоры — это название целого класса полупроводниковых приборов. Различаются они по числу электродов. Так, например, прибор с двумя выводами носит название динистор (рис. 3а), с тремя выводами — тринистор (рис. 3б), четырьмя — бинистор (рис. 3в). Все они имеют сходную структуру и принцип действия, но управляют ими по-разному. Например, у динистора изменяют величину напряжения, приложенного между анодом и катодом. Когда напряжение небольшое, динистор заперт, и протекающий через него ток настолько мал, что им в наших дальнейших рассуждениях можно пренебречь. Этот ток слегка увеличивается по мере увеличения напряжения, а затем по достижении последнего определенного уровня происходит пробой запертого р-п перехода, и ток резко увеличивается. Свойства динистора обусловлены тем, что коллекторный ток каждого элементарного транзистора является одновременно и базовым током другого. Стоит только подать питающее напряжение на электроды

динистора, как любое возрастание тока одного транзистора приводит к увеличению тока другого. Этот процесс лавинно нарастает и длится до тех пор, пока оба транзистора не окажутся в состоянии насыщения. В этот момент динистор полностью открыт и его сопротивление близко к нулю.

Динистор выключают, уменьшая ток в его цепи до величины, при которой лавинные процессы прекращаются или меняют полярность прикладываемого напряжения.

У тринистора дополнительный электрод подсоединен к одной из баз транзисторов. Это позволяет управлять полупроводниковым прибором при неизменном, сравнительно низком напряжении источника питания путем подачи на управляющий электрод импульсов положительной полярности. Они открывают запертый и р-п переход, и на коллекторе развивается лавинный процесс: тринистор отпирается.

В бинисторе выводы сделаны от обеих баз элементарных транзисторов.

В последнее время разработаны новые многослойные полупроводниковые приборы. Например, советскими исследователями Ю. А. Евсеевым и А. И. Думаневичем запатентован симметричный тиристор (симистор). Этот прибор проводит ток в любом направлении.

Разработаны также тиристоры с полной управляемостью (так называемые двухоперационные), которые могут не только включаться, но и выключаться импульсами, подаваемыми на одну из баз.

Материалом для изготовления тиристоров служит кремний — один из самых распространенных (а следовательно, и дешевых) в природе элементов. Содержание кремния в земной коре составляет около 30%! Кроме того, кремний, пожалуй, самый устойчивый из полупроводников к воздействию повышенных температур — немаловажное обстоятельство при создании мощных силовых приборов. Как же используются тиристоры в электротехнике? Наибольшее распространение они получили в цепях переменного тока. Здесь отпадают заботы о выключении тиристоров: при изменении направления тока они запираются.

На рисунке 4 представлена простейшая электрическая цепь с тиристором (тринистором). Когда управляющий сигнал отсутствует, тиристор заперт при

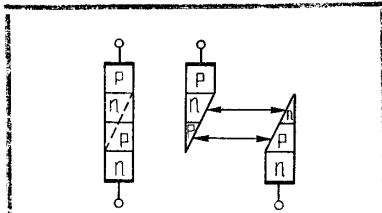


Рис. 1. Структура тиристора.

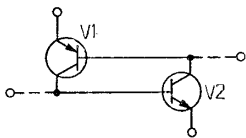


Рис. 2. Эквивалентная схема тиристора.

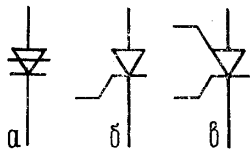


Рис. 3. Условные обозначения тиристора: а — диодистор, б — тринистор, в — бинистор.

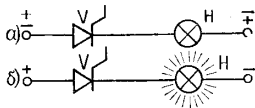


Рис. 4. Электрическая цепь с тиристором: а — тиристор заперт, б — тиристор открыт.

любой полярности напряжения питания, и ток через нагрузку не протекает (рис. 4а).

При подаче управляющего сигнала (рис. 4б) тиристор пропускает ток в течение положительной полуволны напряжения. В момент прихода отрицательной полуволны тиристор запирается, и, для того чтобы его опять открыть, подают новый импульс на управляющий электрод. При этом тиристор ведет себя как обычный диод: пропускает положительную полуволну и срезает отрицательную. Очевидно, тиристор поэтому иногда называют управляемым диодом.

Сигналом мощностью всего в несколько долей ватта можно коммутировать токи мощностью в десятки киловатт. Однако тиристоры применяют не только для коммутации больших мощностей, но и для регулирования напряжения в нагрузке. Действительно, если мы будем подавать управляющие импульсы не в начале каждой положительной полуволны, а в середине или в конце, то и тиристор будет отпираться в соответствующие моменты времени (рис. 5). При этом среднее значение напряжения в нагрузке будет равно площади заштрихованной части фигуры, которая, в свою очередь, определяется моментом отпирания тиристора. Изменяя момент подачи (фазу) управляющего напряжения (рис. 5б), регулируют напряжение в цепи.

Современная электротехника, и в особенности электроэнергетика, предъявляет все более высокие требования к устройствам коммутации, регулирования напряжения, выпрямительным и преобразовательным системам.

Это заставляет постоянно совершенствовать технологию производства силовых тиристоров, улучшать их параметры. Ученые, занимающиеся разработкой новых тиристоров, утверждают, что принципиального ограничения запирающей способности p-p перехода пока нет. В принципе можно создавать тиристоры на токи в тысячи ампер и напряжения в десятки тысяч вольт. В этом нас убеждает сверхмощный тиристор на ток 800 А и напряжение 3200 В фирмы «Сименс». (Впервые он демонстрировался в 1975 году на Ганноверской ярмарке.) А в скором будущем мы, очевидно, станем свидетелями появления еще более совершенных приборов. Уже к 1980 году ученые рассчитывают создать силовые полупроводниковые вентили на ток 300 А, напряжением 10—12 тыс. В.

На рисунке 6 представлена схема чувствительного бесконтактного фотореле на основе тиристорного регулятора напряжения. В цепи управления тиристором включен переход «коллектор-эмиттер» транзистора V7. Сопротивление этого перехода зависит от потенциала на базе V7 и определяется степенью освещенности фоторезистора R4.

Когда свет попадает на фоторезистор, его сопротивление резко падает и отрицательное напряжение на базе транзистора V7 увеличивается. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению сопротивления перехода «коллектор-эмиттер» транзистора. Тиристор V5 открывается, и на нагрузку R<sub>н</sub> устанавливается напряжение сети. Наличие в схеме диодного моста V1 — V4 позволяет одним тири-

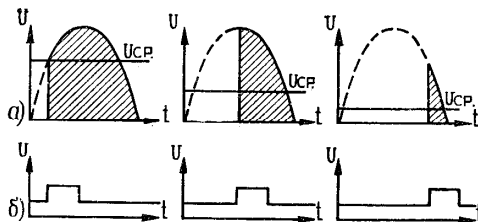


Рис. 5. Диаграммы, поясняющие работу тиристорного регулятора напряжения: а — заштрихованные участки соответствуют открытому тиристор, б — моменты подачи управляющего импульса.

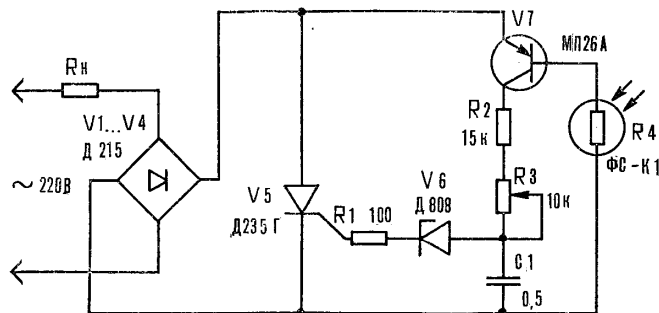


Рис. 6. Принципиальная схема фотореле.

стором регулировать напряжение во время обеих полуволн переменного тока в цепи нагрузки.

Чувствительность устройства во многом определяется коэффициентом усиления V7. Реле четко срабатывает от света зажженной спички, расположенной на расстоянии около 1 м от фоторезистора.

Сопротивление резистора R3 подбирают таким, чтобы при отсутствии света ток в нагрузке был минимальным, а при освещении фоторезистора — максимальным. Вместо фоторезистора в качестве датчика можно устанавливать микрофон или терморезистор.

Нагрузкой служит лампа накаливания или электродвигатель на 220 В мощностью 20—50 Вт.

В. ГУРЕВИЧ,  
г. Харьков