

Тема: ТИРИСТОРЫ

1. Назначение и классификация тиристоров
2. Динисторы
3. Тринисторы
4. Симисторы

1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТИРИСТОРОВ

Тиристор — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более p-n-переходами и имеющий два устойчивых состояния:

- «закрытое» состояние — состояние низкой проводимости;
- «открытое» состояние — состояние высокой проводимости.

Тиристор можно рассматривать как электронный выключатель или ключ.



Рис. 1. Классификация тиристоров



Рис. 2. Виды тиристоров

Тиристоры классифицируют на виды по различным отличительным признакам: числу выводов, вольт-амперной характеристике, способу выключения, способу управления и типу управляющего электрода.

1) По числу выводов тиристоры бывают:

- а) диодные, имеющие два вывода (анод и катод) – динисторы;
- б) триодные, имеющие три вывода (анод, катод и управляющий электрод) - тринисторы.

Диодные тиристоры, или по-другому динисторы. Они открываются импульсом высокого напряжения, которое подается на катод и анод. В динисторах переход прибора в проводящее состояние происходит, если напряжение между его анодом и катодом превысит напряжение открывания.

Триодные тиристоры, или тринисторы. Они открываются током управления электродом.

Триодные тиристоры в свою очередь разделяются:

• Управление катодом – напряжение, образующее ток управления, поступает на электрод управления и катод.

- Управление анодом – управляющее напряжение подходит на электрод и анод.

Запирание тиристора производится:

- Уменьшением анодного тока – катод меньше тока удержания.
- Подачей напряжения записания на электрод управления.

2) в зависимости от проводимости тиристоры бывают:

- а) проводящие ток в одном направлении (например, тринистор);
- б) проводящие ток в двух направлениях (например, симисторы, симметричные динисторы).

Обратно-проводящие – имеют малое обратное напряжение.

Обратно-непроводящие – обратное напряжение равно наибольшему прямому напряжению в закрытом виде.

С ненормируемым обратным значением напряжения – изготовители не определяют значение этой величины. Такие приборы применяются в местах, где обратное напряжение исключено.

Симистор – пропускает токи в двух направлениях.

Используя симисторы, нужно знать, что они действуют условно симметрично. Основная часть симисторов открывается, когда на электрод управления поступает положительное напряжение по сравнению с катодом, а на аноде может быть любая полярность. Но если на анод приходит отрицательное напряжение, а на электрод управления положительное, то симисторы не открываются, и могут выйти из строя.

Наибольшее применение в силовой электронике нашли триодные тиристоры, не проводящие в обратном направлении.

3) По способу выключения тиристоры подразделяются на:

- а) незапираемые - включение по цепи управляющего электрода, выключение по основной цепи;
- б) запираемые - включение и выключение осуществляется по цепи управляющего электрода.

Незапираемые тиристоры также называются однооперационными, а запираемые — двухоперационными.

4) По способу управления тиристоры делятся на:

- а) обычные;
- б) фототиристоры;
- в) оптоотиристоры.

В обычных тиристорах управление достигается подачей в цепь управляющего электрода электрического сигнала от внешнего источника. Фототиристоры управляются с помощью

внешнего светового сигнала, а фототиристоры — с помощью внутреннего светового сигнала от светодиода, встроенного в корпус тиристора.

5) По типу управляющего электрода тиристоры подразделяются на тиристоры:

а) с управляющим электродом типа «р»;

б) с управляющим электродом типа «п».

Управляющий электрод соответственно соединен с базовой областью р-типа или с базовой областью п-типа.

6) По быстродействию разделяют по времени отпирания (включения) и времени запираания (отключения).

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) тиристора нелинейна и показывает, что сопротивление тиристора отрицательное дифференциальное. По сравнению, например, с транзисторными ключами, управление тиристором имеет некоторые особенности. Переход тиристора из одного состояния в другое в электрической цепи происходит скачком (лавинобразно) и осуществляется внешним воздействием на прибор: либо напряжением (током), либо светом (для фототиристора). После перехода тиристора в открытое состояние он остаётся в этом состоянии даже после прекращения управляющего сигнала. Тиристор остаётся в открытом состоянии до тех пор, пока протекающий через него ток превышает некоторую величину, называемую током удержания

Основное применение триисторов (с тремя электрическими выводами — анодом, катодом и управляющим электродом) — управление мощной нагрузкой с помощью слабого сигнала, подаваемого на управляющий электрод.

Также тиристоры применяются в ключевых устройствах, например, силового электропривода.

Тиристоры применяются в составе следующих устройств:

- электронные ключи;
- Управляемые выпрямители;
- преобразователи (инверторы);
- регуляторы мощности (диммеры);
- электронное зажигание.

2. Динисторы

Основу *диодного тиристора*, или *динистора*, составляет кристалл полупроводника четырехслойной структуры. На рис. 12.18, *а* приведена структурная схема динистора, а на рис. 12.18, *б* — его условное обозначение. Слой p_1 называют анодом (А), слой n_2 — катодом (К), а два более тонких внутренних слоя — базами. Прибор содержит три последовательно включенных $p-n$ -перехода $\Pi_1 - \Pi_3$ и имеет выводы от анода и катода.

При включении динистора в электрическую цепь так, как показано на рис. 12.18, *а*, переходы Π_1 и Π_3 смещаются в прямом направлении, а Π_2 — в обратном.

Будет ли в этом случае протекать через динистор ток? — а) да; б) нет.

Поскольку все переходы включены последовательно, то через них должен протекать один и тот же ток. Так как Π_2 закрыт, то ток через динистор не проходит, если не считать малого обратного тока через закрытый переход. Все напряжение будет приложено к переходу Π_2 .

При повышении приложенного напряжения ток динистора некоторое время будет оставаться постоянным, как ток любого закрытого перехода. Этому соответствует участок *ОА* вольт-амперной характеристики динистора, которая приведена на рис. 12.19. При дальнейшем повышении напряжения в переходе Π_2 начинается ионизация. В этой области за счет сильного электрического поля возникают дополнительные носители заряда — дырки и

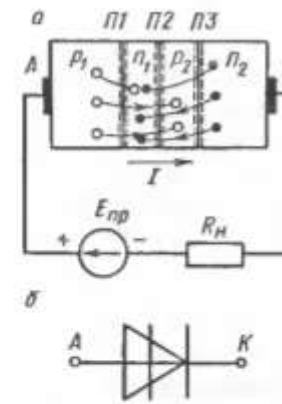


Рис. 12.18

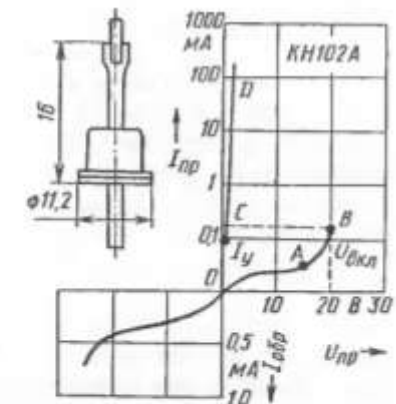


Рис. 12.19

электроны. Ток через переход Π_2 увеличивается. Одновременно увеличивается ток и через переходы Π_1 и Π_3 . Дырки из анода устремляются в базу n_1 , частично рекомбинируют, а частично попадают в базу p_2 . Электроны из катодной области таким же образом оказываются в базе n_1 . Они компенсируют объемные заряды ионов на границах перехода Π_2 . Переход Π_2 открывается. Этому соответствует точка *В* характеристики. Напряжение, при котором открывается переход, называют *напряжением включения* $U_{вкл}$. После этого динистор работает на участке *CD* характеристики, которая подобна ВАХ диода.

Останется ли динистор в открытом состоянии, если ток через него станет меньше тока I_y ? — в) да; г) нет.

Открытое состояние перехода Π_2 связано с накоплением дырок и электронов в базах. Если ток через динистор будет меньше I_y , то количество носителей из анода и катода станет недостаточным для компенсации объемных зарядов и переход Π_2 опять закроется. Ток I_y называют *током удержания*. Таким образом, динистор остается в открытом состоянии до тех пор, пока ток через него превышает ток удержания.

При изменении полярности питающего напряжения, когда анод отрицателен по отношению к катоду, переходы Π_1 и Π_3 смещаются в обратном направлении, дырки и электроны оттягиваются от переходов. Динистор ведет себя как диод при обратном включении, т. е. не пропускает ток, пока не будут пробиты переходы.

Можно ли управлять включением тиристора, не изменяя анодного напряжения? — д) да; е) нет.

3. Тринисторы

У трехэлектродных тиристоров, или тринисторов, кроме выводов от слоев анода и катода, есть еще вывод от одной из баз. Этот электрод называют управляющим. Структурная схема такого тиристора приведена на рис. 12.20, а; условное обозначение его на рис. 12.20, б. Управляющий электрод У подключают к постороннему источнику, который создает ток управления $I_{упр}$. При отсутствии тока управления работа тиристора ничем не отличается от работы динистора. Напряжение включения $U_{вкл}$ определяется накоплением дырок и электронов в базах p_2 и n_1 . При $I_{упр} > 0$ концентрация дырок в базе p_2 увеличивается за счет тока управления и переключение происходит при меньшем анодном напряжении. Таким образом, можно управлять работой тиристора, воздействуя на объемные заряды в базах. Зависимость напряжения включения от тока управления $U_{вкл} = f(I_{упр})$ называется характеристикой управления тиристора. Она приведена на рис. 12.21.

Можно ли с помощью $I_{упр}$ включить тиристор при анодном напряжении, практически равном нулю? — ж) да; з) нет.

При некотором значении $I_{упр}$, которое называют током спрямления, объемные заряды перехода P_2 полностью компенсируются и тиристор работает как обычный полупроводниковый диод. Для того чтобы закрыть тиристор, надо уменьшить ток через него до значения, которое меньше тока удержания, или поменять полярность анода и катода.

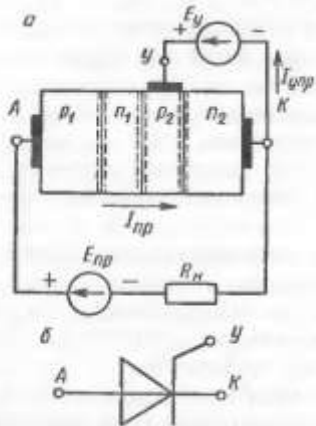


Рис. 12.20

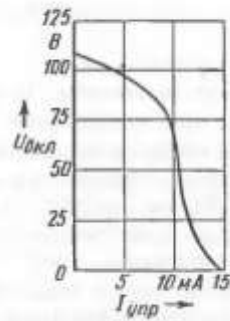


Рис. 12.21

У некоторых типов тиристоров для этого нужно изменить направление тока управления.

Нужно ли поддерживать $I_{упр}$ во время работы тиристора в открытом состоянии? — и) да; к) нет.

Следует подчеркнуть, что после включения тиристора объемные заряды в области перехода P_2 будут компенсированы основным током, если он больше тока удержания, и $I_{упр}$ тогда не нужен. Поэтому для снижения потерь в тиристор он обычно управляется короткими импульсами.

При выборе тиристоров используются предельные параметры: предельно допустимый анодный ток в открытом состоянии тиристора $I_{пр\ max}$, предельно допустимое обратное напряжение $U_{обр\ max}$, предельно допустимое прямое напряжение в закрытом состоянии тиристора $U_{пр\ max}$, ток удержания I_y .

Обозначения тиристоров малой и средней мощности, как и других полупроводниковых приборов, состоят из четырех элементов. Для динисторов второй элемент — буква Н, для трехэлектродных тиристоров — буква У. Например КН102Г — кремниевый динистор малой мощности, разновидность Г.

4. Симисторы

Симистор — это двунаправленный управляемый тиристор. Он имеет такие же переключательные характеристики, как и обычный тиристор, но проводит переменный ток в обоих направлениях. Симистор эквивалентен двум обычным тиристорам, включенным встречно-параллельно (рис. 11.16, а).

Поскольку симистор может управлять током, текущим в любом направлении, он широко используется для управления подачей переменного тока на различные типы нагрузок. Он может быть включен подачей тока на управляющий электрод и выключен уменьшением рабочего тока до величины, меньшей уровня удержания. На рис. 11.16 показаны упрощенная схема конструкции симистора и его эквивалентная схема.

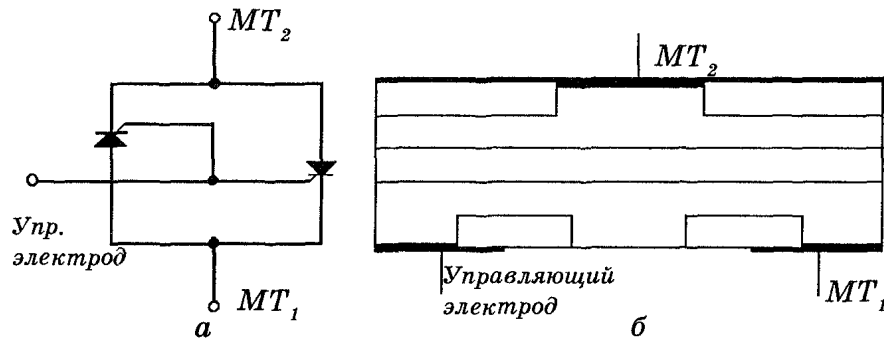


Рис. 11.16

Симистор является четырехслойным устройством типа $n-p-n-p$, соединенным параллельно с устройством типа $p-n-p-n$ и рассчитанным на управление током, текущим через управляющий электрод. Выводы входа и выхода обозначаются MT_1 и MT_2 . Эти выводы соединены с $p-n$ -переходами на противоположных концах устройства. Вывод MT_1 представляет собой опорную точку, относительно которой измеряются напряжение и ток на управляющем электроде. Управляющий электрод соединен с $p-n$ -переходом на том же конце устройства, что и MT_1 . От вывода MT_1 до вывода MT_2 сигнал должен пройти через последовательность слоев $n-p-n-p$ или $p-n-p-n$. Схематическое обозначение симистора показано на рис. 11.17.

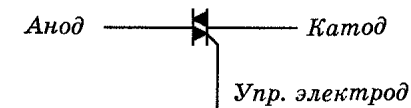


Рис. 11.17

Симисторы могут быть использованы в качестве переключателей переменного тока или для управления величиной мощности переменного тока, подаваемой в нагрузку. Симисторы способны передать в нагрузку полную мощность. Когда симистор используется для регулировки величины мощности, подаваемой в нагрузку, необходимо специальное запускающее устройство для того, чтобы обеспечить работу симистора в течение заданного промежутка времени. Запускающее устройство необходимо потому, что симистор имеет неодинаковую чувствительность к токам управляющего электрода, текущим в противоположных направлениях.

По сравнению с обычными тиристорами симисторы обладают рядом недостатков. Симисторы могут управлять токами не более 25 А, тогда как обычные тиристоры могут управлять токами до 1400 А. Максимальное напряжение для симисторов – 500 В, а для обычных тиристоров – 2600 В. Сими-

сторы рассчитаны на работу при низких частотах (от 50 до 400 Гц), тогда как обычные тиристоры могут работать на частотах до 30 000 Гц. Симисторы также имеют трудности при переключении мощности на индуктивной нагрузке.

На рис. 11.18 показан внешний вид наиболее распространенных тиристоров.

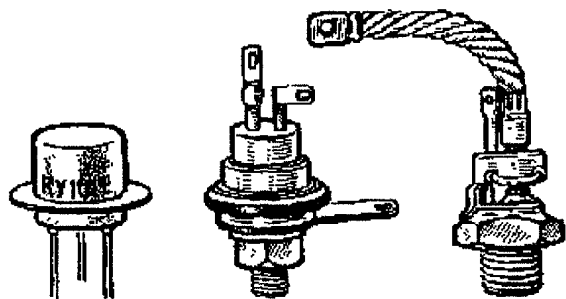


Рис. 11.18

11.4. Тиристоры

Тиристоры – это обширный класс полупроводниковых приборов, используемых для электронного переключения. Эти полупроводниковые устройства обладают двумя устойчивыми состояниями и имеют три или более p - n -переходов. Тиристоры охвачены внутренней положительной обратной связью, позволяющей увеличивать амплитуду выходного сигнала путем подачи на вход части выходного напряжения.

Тиристоры широко используются при управлении мощностью постоянного и переменного токов. Они применяются для включения и выключения мощности, подаваемой на на-

грузку, а также для регулирования ее величины, например для управления освещенностью или скоростью вращения двигателя.

Тиристоры изготавливаются из кремния диффузионным или диффузионно-сплавным методом и состоят из четырех полупроводниковых слоев p -типа и n -типа, расположенных поочередно. На рис. 11.10 изображены упрощенная схема тиристора (а), его вольтамперная характеристика (б) и его схематическое обозначение (в).

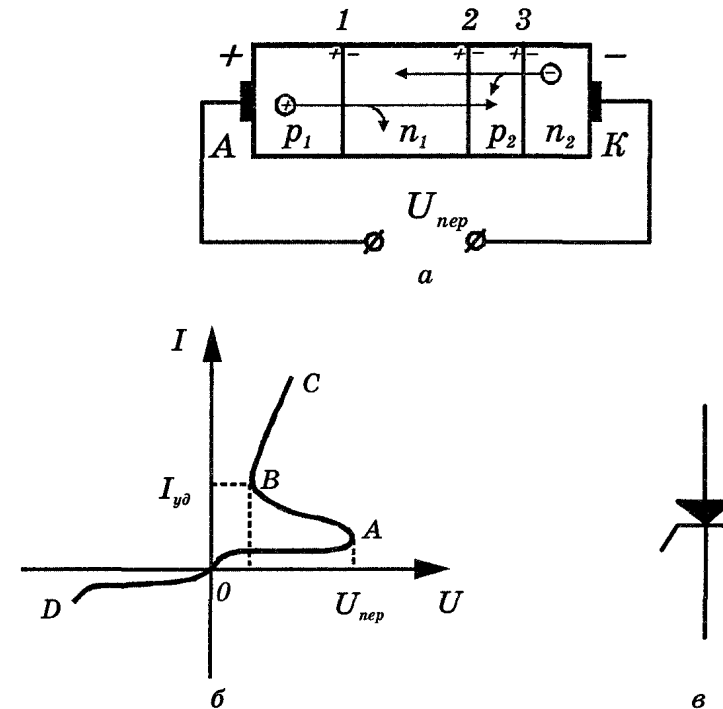


Рис. 11.10

Четыре слоя прилегают друг к другу, образуя три p - n -перехода. Два крайних вывода – это анод и катод, а к одному из средних слоев может быть подключен управляющий электрод. Данный тиристор не содержит управляющего электрода, и управление его открыванием и закрыванием осуществ-

ляется путем изменения приложенного к нему напряжения. Такие тиристоры называются *динисторами*.

При указанной на рис. 11.10, а полярности приложенного к тиристорному напряжению, основная его часть придется на закрытый *p-n*-переход 2, тогда как переходы 1 и 3 окажутся открытыми. При этом дырки, переходящие из слоя p_1 в слой p_2 , частично рекомбинируют с электронами в слое n_1 . Их нескомпенсированный заряд в слое p_2 вызовет вторичную встречную инжекцию электронов из слоя n_2 , и электроны из слоя n_2 пройдут через слой p_2 в слой n_1 , частично рекомбинируя с дырками в слое p_2 . Они вызовут вторичную встречную инжекцию дырок из слоя p_1 . Эти явления создадут необходимые условия для развития лавинного процесса. Однако лавинный процесс начнется только при некотором достаточно большом внешнем напряжении $U_{пер}$. При этом тиристор перейдет из точки *A* вольтамперной характеристики на участок *BC* (рис. 11.10, б), и ток через него резко возрастет. При этом благодаря обилию зарядов в переходе 2 напряжение на нем сильно упадет (примерно до 1 В), и энергия, выделяемая в этом переходе, окажется недостаточной для развития необратимых процессов в структуре прибора.

Если ток через тиристор сильно уменьшить до некоторого значения $I_{уд}$ (тока удержания), то тиристор закроется и перейдет в состояние с низкой проводимостью (участок *OA* на рис. 11.10, б). Если к тиристорному приложить напряжение обратной полярности, то его вольтамперная характеристика будет такой же, как у полупроводникового диода (участок *OD* на рис. 11.10, б).

Рассмотренный неуправляемый тиристор имеет существенный недостаток: его открывание и закрывание возможно лишь при больших изменениях внешнего напряжения и тока.

Значительно чаще используют тиристоры, которые имеют управляющий электрод (рис. 11.11).

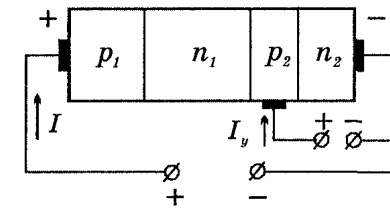


Рис. 11.11

Управляемый тиристор можно представить в виде эквивалентной схемы из двух транзисторов (рис. 11.12) (см. раздел 11.5).

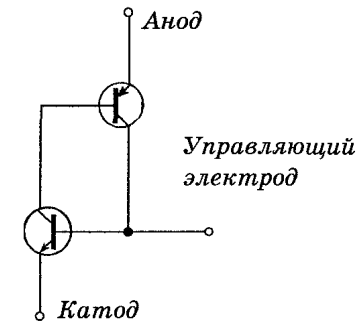


Рис. 11.12

Анод должен иметь положительный потенциал по отношению к катоду, а управляющий электрод оставаться свободным. *n-p-n* транзистор не пропускает ток, поскольку на его эмиттерный переход не подано напряжение прямого смещения (обеспечиваемое коллектором *p-n-p* транзистора или управляющим сигналом). А поскольку *n-p-n* транзистор не пропускает ток, *p-n-p* транзистор также заперт (так как коллектор *n-p-n* транзистора обеспечивает смещение на базе *p-n-p* транзистора). При этих условиях ток от анода к катоду не течет.

Если на управляющий электрод подать положительное напряжение по отношению к катоду, эмиттерный переход *n-p-n* транзистора будет смещен в прямом направлении и *n-p-n* транзистор откроется. Это позволит течь току базы *p-n-p* транзистора и откроет его. Коллекторный ток *p-n-p* транзис-

тора является током базы $n-p-n$ транзистора. Оба транзистора будут поддерживать друг друга в проводящем состоянии, позволяя току течь непрерывно от анода к катоду. Процесс будет происходить даже в том случае, если управляющее напряжение приложено на короткий момент времени. Кратковременная подача управляющего напряжения переключает цепь в проводящее состояние, и она продолжает проводить ток даже при отключении управляющего напряжения. Ток анода ограничен только внешней цепью. Для переключения тиристора в непроводящее состояние необходимо уменьшить напряжение анод-катод до нуля. Это обеспечит запираание обоих транзисторов, и они останутся запертыми до тех пор, пока опять не будет подано управляющее напряжение.

Тиристор включается положительным управляющим напряжением и выключается уменьшением напряжения анод-катод до нуля. Когда тиристор включен и проводит ток от анода к катоду, его проводимость в прямом направлении достаточно велика. Если изменить полярность напряжения катод-анод, то через цепь, проводимость которой резко уменьшится, будет течь только маленький ток утечки.

На рис. 11.13 изображено семейство вольтамперных характеристик управляемого тиристора при различных токах цепи управления.

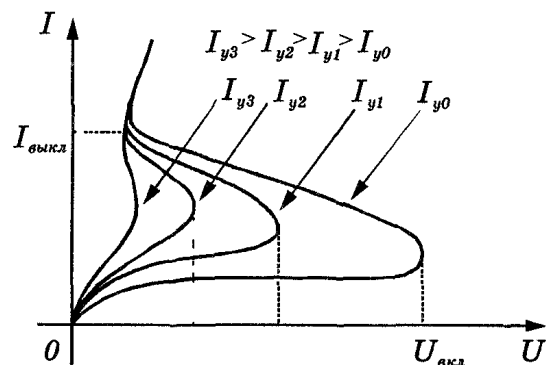


Рис. 11.13

Схематическое обозначение управляемого тиристора изображено на рис. 11.14.

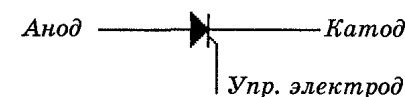


Рис. 11.14

Схема включения тиристора показана на рис. 11.15. Переключатель используется для подачи и снятия управляющего напряжения.

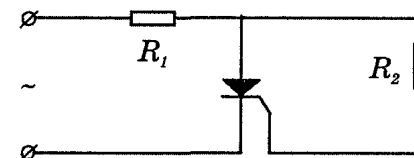


Рис. 11.15

Резистор R_2 используется для ограничения тока управляющего электрода. Напряжение между анодом и катодом обеспечивается источником переменного напряжения. Последовательно включенный резистор R_1 используется для ограничения тока анод-катод во включенном состоянии. Без резистора R_1 через тиристор может течь слишком большой ток, способный повредить его.

Тиристоры используются главным образом для управления подачей мощности постоянного и переменного токов на различные типы нагрузок. Они могут быть использованы в качестве переключателей для включения и выключения цепей. Они также могут быть использованы для плавной регулировки мощности, подаваемой на нагрузку. При использовании тиристоров малый ток управляющего электрода может управлять большим током нагрузки.

Когда тиристор используется в цепи постоянного тока, не существует простого метода его выключения без снятия напряжения с нагрузки.

Когда тиристор используется в цепи переменного тока, он способен проводить ток только в течение половины каждого периода переменного тока, а именно в течение той половины, когда потенциал анода положителен по отношению к катоду. Когда ток управляющего электрода приложен постоянно, тиристор проводит постоянно. Когда ток управляющего электрода отсутствует в течение половины периода, тиристор выключается и остается выключенным до тех пор, пока ток управляющего электрода не будет подан снова. Необходимо заметить, что при этом на нагрузку подается только половина мощности. Тиристор можно использовать для управления током в течение обоих полупериодов каждого цикла, если выпрямить переменный управляющий ток перед подачей на тиристор.

§ 16.9. ТИРИСТОРЫ

Первые промышленные образцы тиристоры появились в конце пятидесятых годов. В настоящее время эти приборы получили широкое распространение. Преимущества тиристоры следующие: малые масса и габариты, большой срок службы, высокий КПД, малая чувствительность к вибрации и механическим перегрузкам, способность работать при низких (прямых) и высоких (обратных) напряжениях, а также при очень больших токах, достигающих сотен ампер.

Основное свойство тиристора, обеспечивающее ему самые разнообразные применения в автоматике, электронике, энергетике, — это способность находиться в двух устойчивых состояниях: закрытом и открытом. В закрытом состоянии сопротивление тиристора составляет десятки миллионов ом и он практически не пропускает ток при напряжениях до тысячи вольт; в открытом — сопротивление тиристора незначительно. Падение напряжения на нем около 1 В при токах в десятки и сотни ампер. Переход тиристора из одного состояния в другое происходит за очень короткое время, практически скачком. Среди тиристоры выделяют динисторы и тринисторы.

Динистор — это тиристор с двумя электродами (выводами). Переход динистора из одного состояния в другое осуществляется изменением значения или полярности напряжения на выводах.

Тиристор, снабженный третьим (управляющим) электродом, называется тринистором. Управляющий электрод позволяет с помощью небольшого сигнала управления (импульса напряжения) перевести тиристор из закрытого состояния в открытое при неизменном (заданном) напряжении на основных электродах. Обратный переход из открытого состояния в закрытое с помощью управляющего напряжения невозможен.

Структура тиристора содержит четыре (р-п-р-п) или пять (р-п-р-п-р) слоев. В последнем случае тиристор называют симметричным.

Четырехслойная структура тиристора изображена на рис. 16.28. Тиристор содержит три р-п-перехода: Π_1, Π_2, Π_3 . Чтобы повысить эффективность управляющего сигнала u_c , слой, к которому подключен управляющий электрод, делают тоньше остальных.

Физические процессы в четырехслойной структуре и тем более их математическое описание достаточно сложны, поэтому ограничимся лишь общими сильно упрощенными представлениями.

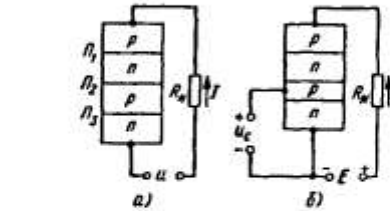


Рис. 16.28. Схематическое изображение тиристора: а — динистор, б — тринистор

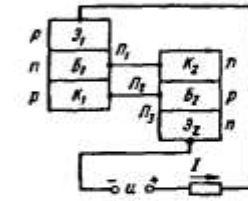


Рис. 16.29. Представление тиристора в виде двух транзисторов

Четырехслойную структуру тиристора можно представить в виде двух соответствующим образом соединенных транзисторов р-п-р- и п-р-п- типов (рис. 16.29). Как видно из схемы, к переходам Π_1 и Π_3 подведено прямое напряжение, а к переходу Π_2 — обратное. Если бы не было переходов Π_1 и Π_3 , тиристор превратился бы в диод и через переход Π_2 проходил бы обратный ток I_0 . При наличии переходов Π_1 и Π_3 через переход Π_2 проходят два дополнительных тока: коллекторный ток $I_{к1}$ транзистора р-п-р и коллекторный ток $I_{к2}$ транзистора п-р-п. Ток $I_{к1}$ создает дырки, а ток $I_{к2}$ — электроны. Поэтому ток I через переход Π_2 , равный току через сопротивление нагрузки, можно рассматривать как сумму трех токов: $I = I_0 + I_{к1} + I_{к2}$.

Выразив коллекторные токи транзисторов через эмиттерные токи, получим

$$I = I_0 + \alpha_1 I_{э1} + \alpha_2 I_{э2}.$$

Уточним понятие о коэффициентах α_1 и α_2 , с помощью которых коллекторные токи выражаются через эмиттерные (см. § 16.7). Мы установили, что α зависит от того, какая часть эмиттированных носителей заряда достигает коллектора, и считали для каждого конкретного транзистора коэффициент α постоянным. Однако это справедливо только для нормальных ре-

жимов работы, близких к номинальному. При больших отклонениях тока эмиттера от номинальных значений коэффициент α существенно изменяется (рис. 16.30). В частности, при малых токах эмиттера коэффициент α близок к нулю, так как почти все носители, эмиттированные в базу, рекомбинируют в ней, не доходя до коллектора.

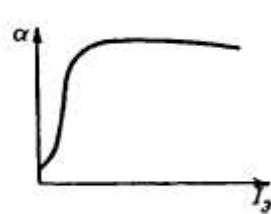


Рис. 16.30. Зависимость коэффициента α от тока эмиттера

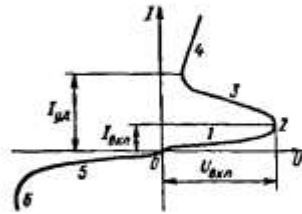


Рис. 16.31. Вольт-амперная характеристика диода

Обратимся еще раз к рис. 16.29: непосредственно из схемы находим, что $I_{s1} = I_{s2} = I$, поэтому выражение для тока нагрузки принимает вид

$$I = I_0 + \alpha_1 I + \alpha_2 I,$$

откуда

$$I = \frac{I_0}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}.$$

Последнее выражение характерно для схем с положительной обратной связью. Если знаменатель стремится к нулю, ток неограниченно возрастает (на самом деле ток ограничен сопротивлением нагрузки, которое мы не учитывали в наших рассуждениях).

Основной для тиристора является вольт-амперная характеристика, показывающая зависимость тока в нагрузке от напряжения цепи. Эта характеристика (рис. 16.31) имеет сложный вид, так как при изменении напряжения изменяется не только ток I_0 , но и коэффициенты α_1, α_2 .

На характеристике можно выделить несколько характерных участков. При малых значениях напряжения U ток в цепи, а следовательно, и коэффициенты α_1 и α_2 малы, при этом $I \approx I_0$ и тиристор ведет себя как диод, включенный в обратном направлении (участок 1). При достижении напряжением критического

значения $U_{вкл}$ (точка 2) коэффициенты α_1 и α_2 быстро возрастают, а ток скачком увеличивается до значений, превышающих $I_{yл}$ (участок 4). Наклон характеристики на этом участке определяется значением нагрузочного сопротивления. Взаимодействие транзисторов, условно выделенных на рис. 16.29, приводит к такому быстрому возрастанию α_1 и α_2 , что в течение короткого времени ток увеличивается даже при снижении напряжения (участок 3). Снижение напряжения при увеличении тока свидетельствует о том, что на этом участке тиристор имеет отрицательное сопротивление. Участок 5 соответствует обратному включению переходов Π_1 и Π_3 . При некотором значении обратного напряжения наступает необратимый пробой переходов Π_1 и Π_3 и тиристор разрушается (участок 6).

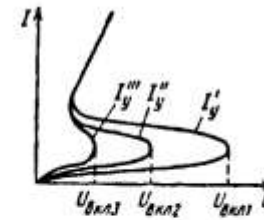


Рис. 16.32. Вольт-амперная характеристика тристора

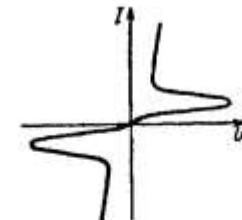


Рис. 16.33. Вольт-амперная характеристика симметричного тиристора

Ток, при котором сопротивление тиристора становится отрицательным, называют током включения $I_{вкл}$. Для того чтобы перевести тиристор из открытого (включенного) состояния в закрытое, необходимо снизить ток через него до значений, меньших значения удерживающего тока $I_{yл}$.

Семейство вольт-амперных характеристик тристора представлено на рис. 16.32. Подавая на управляющий электрод соответствующий сигнал, можно менять напряжение включения тиристора. Чем больше ток управления I_y , тем меньше напряжение включения тиристора.

Вольт-амперная характеристика симметричного тиристора с пятислойной структурой ($p-n-p-n-p$) изображена на рис. 16.33. В соответствии с симметрией структуры симметрична и характеристика прибора.

Ранее отмечалось, что управляющий электрод может изменять только момент включения (напряжение включения) тиристора. Для перевода тиристора из открытого состояния в закрытое необходимо уменьшить ток тиристора до значений, меньших $I_{уд}$. В цепях переменного тока это происходит при смене полярности питающего напряжения. В цепях постоянного тока обратное переключение тиристора требует специальных устройств. Один из возможных вариантов схемы приведен на рис. 16.34. При подаче на базу транзистора импульса напряжения ток через транзистор резко возрастает и соответственно уменьшается ток тиристора. Включение тиристора осуществляется подачей импульса напряжения на управляющий электрод $У$, который на схеме не обозначен.

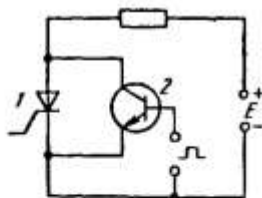


Рис. 16.34. Выключение тиристора с помощью шунтирующего транзистора:
1 — тиристор; 2 — транзистор

Карточка № 16.9 (377)
Тиристоры

Каким способом нельзя перевести тиристор из открытого состояния в закрытое?	Уменьшением до нуля напряжения на основных электродах	94
	Изменением полярности напряжения на основных электродах	144
	Изменением полярности напряжения на управляющем электроде	194
Сколько <i>п-р</i> -переходов имеет метричный тиристор?	3	45
	4	95
	5	145
Чему равны коэффициенты α_1 и α_2 на участке 1 кривой, изображенной на рис. 16.31?	Близки к единице	46
	Близки к нулю	195
Что произойдет с коэффициентами α_1 и α_2 вблизи точки 2 (см. рис. 16.31)?	Изменят знак	96
	Быстро возрастут	146