**Устройство, принцип работы, обозначения диодных и триодных тиристоров .**

Приборы с четырехслойной структурой *р-п-р-п* представляют собой один из видов многочисленного семейства полупроводниковых приборов, свой­ства которых определяются наличием в толще полупроводниковой пластины смежных слоев с различными типами проводимости. Основу такого прибора со­ставляет кремниевая пластина, имеющая четырехслойную структуру, в которой чередуются слои с дырочной *р* и электронной n проводимостями (рис. l.a) Эти четыре слоя образуют три *р-п* перехода J1,J2, J3*.* Выводы в приборах с че- тырехслойной структурой делаются от двух крайних областей (р и n), а в боль­шинстве приборов - и от внутренней области *р.*

Крайнюю область *р* структуры, к которой подключается положительный полюс источника питания, принято называть анодом A *,* крайнюю область n, к которой подключается отрицательный полюс этого источника,-катодом *К,* а вывод от внутренней области р-управляющим электродом *УЭ.* Естественно, что для полупроводникового прибора такие определения носят ус­ловный характер, однако они получили широкое распространение по аналогии с тиратронами и ими удобно пользоваться при описании схем с этими приборами.

Согласно ГОСТ 15133-77 все переключающие полупроводниковые приборы с двумя устойчивыми состояниями, имеющие три или более *р-п* перехода, на

Рис.. Схематическое устройство полупроводникового прибора с четырехслой- ной структурой (а), представление его в виде двухтранзисторной схемы (б, *в)*

зываются тиристорами. Приборы с двумя выводами (анод и катод) назы­ваются диодными тиристорами или динисторами, а приборы с тремя выводами (анод, катод, управляющий электрод) - т р и о д н ы м и - тристорами или тринисторами.

Полупроводниковый прибор с четырехслойной структурой может быть мо­делирован комбинацией двух обычных транзисторов с различными типами про­водимости (рис. 1.б.в); *VT1* со структурой *p-n-pi* и *VT2* со структурой *п-р-п. У* транзистора *VT1* переход J1 является эмиттерным, а переход J2 коллекторным, у транзистора *УТ2* эмиттерным служит переход J3*,* а коллекторным J2*,* таким образом, оба транзистора имеют общий коллекторный переход J2(рис. 1.б). Крайние области четырехслойной полупроводниковой структуры являются эмит­терами, а внутренние-базами и коллекторами составляющих транзисторов *VT1* и *VT2.*

База и коллектор транзистора *VT`* соединяются соответственно с коллекто­ром и базой транзистора *VT2,* образуя цепь внутренней положительной обратной связи (рис. 1.б.в). Действительно, из рис. l.в видно, что коллекторный ток *Ik1* транзистора *VT1* одновременно является базовым током *Iб2,* отпирающим тран­зистор *VT2,* а коллекторный ток *Ik2* последнего-базовым током *Iб1***,** отпирающим трамзистор *VT1,* т. е. база каждого транзистора питается коллек­торным током другого транзистора.

2. Вольт-амперные характеристики .диодных и триодных тиристоров

Режим работы динисторов и тринисторов хорошо иллюстрируется их 'статическими вольт-амперными характеристиками, из которых можно получить представление об основных параметрах этих приборов. На рис. 5,а приведена типовая вольт-амперная характеристика динистора. Здесь по горизонтальной оси .отложено напряжение *и* между его анодом и катодом (анодное напряжение), а по вертикальной-ток I, протекающий через прибор. Область характеристики при положительных анодных напряжениях образует прямую ветвь, а при отрицательных - обратную ветвь характеристики. На характеристике можно выде­лить четыре участка, обозначенные на рис. 5,a арабскими цифрами, каждый из которых соответствует особому состоянию четырехслойной полупроводниковой структуры.

Участок *1* характеристики соответствует закрытому состоянию (в прямом .направлении) динистора. На этом участке через динистор протекает небольшой ток Iзс -ток прибора в закрытом состоя­нии. В закрытом состоянии сопротивление промежутка анод-катод прибора велико и обратно пропорционально значению тока Iзс *.* В пределах участка *1* увеличение анодного напряжения мало влияет на ток, пока не будет достигну­то напряжение (точка *а* характеристики), при котором в четырехслойной по­лупроводниковой структуре наступает лавинообразный процесс нарастания тока, и динистор переключается в открытое состояние. Прямое напряжение, соответствующее точке а характеристики, называется напряжением переключения Uпри, а ток, протекающий при этом через прибор,-током переключения Iпри.

В процессе переключения динистора в открытое состояние незначительное увеличение тока сопровождается быстрым уменьшением напряжения на аноде прибора (участок 2), так как составляющие транзисторы переходят в режим насыщения (рис. l.б.в). Сопротивление динистора в пределах участка *2* стано­вится отрицательным.

Участок *3* вольт-амперной характеристики соответствует открытому состоя­нию прибора. В пределах этого участка все три *р-п* перехода полупроводнико­вой структуры включены в прямом направлении и относительно малое напря­жение, приложенное к прибору, может создать большой ток Iосв открытом со­стоянии, который при данном напряжении источника питания практически оп­ределяется только сопротивлением внешней цепи. Падение напряжения на от­крытом приборе-напряжение в открытом состоянии U*ос,* как и у обычного диода, незначительно зависит от прямого тока. Что касается значения наи­большего постоянного тока, который может пропускать прибор в этом режиме, то, как обычно в полупроводниковых структурах, он определяется площадью

 *р-п* перехода и условиями охлаждения прибора.

Динистор сохраняет открытое состояние, пока прямой ток Iпрбудет

*больше* некоторого минимального значения-удерживающего тока Iуд(точка *б* на характеристике). При снижении тока до значения Iпр *<* Iуддинистор скач­ком возвратится в закрытое состояние.

Таким образом, динистор может находиться в одном из двух устойчивых состояний. Первое (участок *1)* характеризуется большим напряжением на при­боре *(Uзс)* и незначительным током *'(Iзс),* протекающим через него, а второе (участок 3) -малым напряжением на приборе *(Uос)* и большим током *(Iос).* Рабочая точка на участке *2* вольт-ампердой характеристики находиться не мо\* жет.

Участок *4* характеризует собой режим динистора, когда к его электродам приложено напряжение обратной полярности Uобр(плюс к катоду, минус к аноду) , - непроводящее состояние в обратном направлении. Режим полупроводникового прибора с четырехслойной структурой при подаче напряжения обратной полярности определяется запирающими свойства­ми *р-п* перехода J1(рис. 1.а). Таким образом, обратная ветвь вольт-амперной характеристики фактически определяет режим перехода J1*,* включенного в об­ратном направлении, и имеет такой же вид, как и обратная ветвь характерис- тми обычного кремниевого диода. Обратный ток Iобрмал и примерно равен теку в закрытом состоянии. Если увеличивать (по абсолютному значению) 'напряжение Uoбp, то при некотором его значении Uпроб, называемым обрат­ным напряжением пробоя (точка а на участке 4), наступает пробой перехода I1*,* который может привести к разрушению прибора. Поэтому пода­вать на полупроводниковые приборы с четырехслойной структурой даже на короткое время обратное напряжение, близкое к Uпроб , недопустимо. Наибольшее обратное напряжение, которое может выдерживать прибор, указывается в его паспортных данных и при эксплуатации не должно превышаться.

Рассмотрим теперь семейство статических вольт-амперных характеристик тринистора, изображенное на рис. *5,6.* Изменяемым параметром семейства явля­ется значение тока I*y* в цепи управляющего электрода.

Вольт-амперная характеристика при токе I*y=0,* по существу, представляет собой характеристику динистора и обладает всеми особенностями, рассмотрен­ными выше. При подаче управляющего тока и его последующем увеличении *(I"'y>I''y>I'y>Q)* участки *I* и *2* характеристики укорачиваются, а напряже­ние переключения снижается *(U"прк<U'прк<Uпрк).* Каждая характеристика, соответствующая большему току I*y,* располагается внутри предшествующей. Наконец, при некотором значении управляющего тока I*'"у* вольт-амперная на- рветеристика тринистора вообще «спрямляется» и становится подобной прямой ветви характеристики обычного кремниевого диода (рис *5,6).* Соответствующее эначение управляющего тока называется отпирающим током управления *1'"у=1у.от.* Следовательно, при подаче такого тока управления тринистор переключается из закрытого состоя­ния в открытое при любом значении прямого (анодного) напряжения, находя­щегося в пределах *0<Uупр<=Uзс.*

Управляющий электрод тринистора выполняет роль своеобразного «под­жигающего» электрода (аналогично действию сетки в тиратроне). Причем уп­равляющее действие этого электрода проявляется лишь в момент включения тринистора: закрыть прибор или изменить значение тока, протекающего через открытый прибор, изменяя ток управления, невозможно. (Исключение составля­ет специальный тип приборов--запираемые тиристоры, которые открываются положительным, а закрываются отрицательным сигналами на управляющем элек­троде [2].)

Выключить открытый тринистор можно, как и динистор, только сделав пря­мой ток меньше значения удерживающего тока Iуд(рис. 5.б).

Способ открывания тринисторов током управляющего электрода **имеет** существенные достоинства, так как позволяет коммутировать большие мощно- сти в нагрузке маломощным управляющим сигналом (коэффициент усиления по мощности составляет примерно 5X102..2X103).

Важной особенностью почти всех типов полупроводниковых приборов с че- тырехслойной структурой является их способность работать в импульсных ре­жимах с токами, значительно превышающими допустимые постоянные **токи в** открытом состоянии. Так, например, динисторы КН102 при постоянном токе не более 0.2А допускают импульсный ток до 10 А, тринисторы типов КУ203 и КУ216 способны пропускать импульсные токи до 100 А при допустимом посто­янном токе 5 А и т. д.

Включение триодных тиристоров постоянным и импульсным токами.

На рис. показаны от­пирающий сигнал (ток iу), длительность фронта которого для простоты . при­нята равной нулю, и кривая нара­стания прямого тока, на которой отмечены две точки, соответствующие уровням 0,1 и 0,9 установившегося зна­чения тока Iпр*.*

Время, необходимое для того, чтобы ток тринистора достиг уровня 0,1 уста­новившегося значения, называется в р е м е н е м з а д е р ж к и п о управля- ющему электроду tу.зд. Временной интервал между уровнями 0,1 и 0,9 установившегося значения тока называ­ется в р е м е н е м н а р а с т а н и я п р я м о г о т о к а *tпр.* За точкой 0,9 *Iпр* ток растет значительно медленнее, это-время распространения тока на всю проводящую площадь перехода. Уровни, по которым отсчитываются указанные интервалы, показаны на рис.

Время включения по управляющему электроду тринистора t у.вкл, которое приводится в справочных данных:

t у.вкл=t у.зд+t нр

**Обычно** t у.зд в несколько раз больше t нр

и практически определяет время t у.вкл .

В течение времени задержки t у.зд во внутренней р-области накапливаете минимальный заряд, достаточный для развития лавинооблазного процесса на­растания тока через структуру. В этом интервале времени через тринистор про- ходит небольшой ток, в основном определяемый током управляющего электро­да (16). Процесс включения среднего перехода I2(рис. 1.а) только развивает­ся, и, если в течение промежутка времени t у.зд снять управляющий сигнал, три- нистор возвратится в закрытое состояние. Время задержки в некоторых преде­лах зависит от тока управления I*y:* возрастает при уменьшении тока Iу и не­сколько сокращается при увеличении тока до значения импульсного отпираю­щего тока Iу.от.и. При токах Iу *>* Iу.от.изадержка t у.зд практически не меняется.

В конце интервала времени t у.зд прямой ток достигает значения тока удер- экания, и в полупроводниковой структуре начинает развиваться лавинообразный процесс нарастания тока.. При больших токах управления, имеющих фронт с крутизной несколько ампер в микросекунду, зона начальной проводимости среднего пере­хода увеличивается. Скорость распространения процесса включения в среднем (коллекторном) переходе зависит от конструкции управляющего электрода структуры и составляет примерно 1 ... 10 мм/мкс.

Время включения по управляющему электроду t у.вкл у маломощных три- нисторов составляет 1 ...2 мкс, у приборов средней мощности доходит до 10мкс. Приборы, специально предназначенные для импульсного режима работы, имеют меньшее значение t у.вкл . Например, у тринисторов КУ104 оно не превышает 0,3 мкс, а у тринисторов КУ216 0,15 мкс.

Для уверенного отпирания тринистора от источника постоянного тока зна­чения управляющего тока Iу и управляющего напряжения U*у* выбираются из условий

Iу>=Iу.от

Uу>=Uу.от

Iу Uу <= *Ру*

где Iу.от - постоянный отпирающий ток управления: Uу.от - постоянное отпи­рающее напряжение управления; *Ру*  - допустимая средняя мощность, рассеи­ваемая на управляющем электроде.

В цепях постоянного тока тринисторы могут отпираться различными спосо- бами. Конкретный способ управления во многом зависит от функций устройст­ва. Один из наиболее простых способов, при котором источник анодного пита­ния Uпит одновременно используется и для получения необходимого отпираю­щего тока в цепи управляющего электрода, иллюстрируется схемами на рис.



 В схеме рис. 9а тринистор включается сразу при подаче анодного пи­тания, если суммарное сопротивление анодной нагрузки и резистора *R1* обес­точивает ток управляющего электрода

**Iу=Uпит/(Rн+R1)>=Iу.от.**

После открывания прибора напряжение на аноде снижается до значения *Uос,* все напряжение источника питания практически оказывается приложенным к нагтрузке и в цепи управляющего электрода начинает протекать незначительный ток, равный Iу=Uпит/R1*.*

Для отпирания тринистора в устройстве, показанном на рис. 9,6, необходи­мо кратковременно нажать кнопку S1*.* Если при этом значение тока Iу, прете-

кающего в цепи управления, удовлетворяет приведущему условию , то тринистор пере­ключится в открытое состояние. Обычно для надежного включения достаточно через цепь управляющего электрода пропустить ток

Iу=(1…1,1)Iу.от*,* для че­го сопротивление резистора *R1* (рис. 9,6), ограничивающего ток управляющего электрода, рассчитывается по формуле

*R1* = (0,9 ... 1) *Uпит/Iу.от (1)*

Для схемы рис. 9.в рассчитамное по формуле (1) сопротивление резистора Я, должно быть уменьшено на значение сопротивления анодной нагрузки R*н.*

Резистор R2 (рис. 9,6) обеспечивает гальваническую связь управляющего электрода с катодом, что увеличивает устойчивость работы тринистора в жду­щем режиме (особенно при повышенной температуре окружающей среды). Ре­комендуемое сопротивление этого резистора указывается в справочных данных некоторых типов тринисторов. Обычно у маломощных приборов оно составляет несколько сотен ом, а у приборов средней мощности-примерно 50...100 Ом.

В схеме рис. 9.в тринистор открывается и через нагрузку начинает про­ходить ток при размыкании выключателя .S1. Такой способ отпирания тринистора менее экономичен, чем два предыдущих, поскольку от источника питания по­стоянно потребляется ток, равный Uпит/R1; при закрытом приборе он протекает через замкнутые контакты *S1,* а при размыкании выключателя-через цепь уп­равляющий электрод-катод тринистора. Сопротивление резистора *R1* рассчи­тывается по формуле (1).

Широкое распространение получили импульсные способы управления три- нисторами. которые являются наиболее экономичными и позволяют фиксировать момент включения прибора с высокой точностью. Фактически схема рис. 9.б также иллюстрирует импульсный способ отпирания-длительность управляю­щего импульса равна времени, пока замкнуты контакты кнопки *S1 .*

На рис. приведена схема устройства, выполняющего функции дверного кодового замка, которая иллюстрирует многочисленные возможности практиче­ского использования выключателей на тринисторах с кнопочным управлением.

Основу замка составляет переключатель на трех тринисторах *VS1-VS3,* соединенных последовательно. В анодную цепь тринистора *VS3* включена об­мотка электромагнита *YA1,* сердечник которого служит запором для двери. Це­почка последовательно соединенных тринисторов может быть переключена в проводящее состояние только при отпирании каждого из них в определенной последовательности: первым должен быть открыт тринистор *VS1,* вторым – *VS2* и, наконец, - *VS3* .

Открываются тринисторы с помощью кнопок, оправляющие электроды три- нисторов могут быть подсоединены к контактам любых трех кнопок *S0-S9* пульта, установленного на стене с наружной стороны двери. При показанном

на схеме соединении управляющих электродов тринисторов с кнопками кодом замка является число 430, и поэтому первой должна быть нажата кнопка .S4, затем-кнопка S3 и последней-кнопка *S0.* Сопротивления резисторов *R1* и *R2* обеспечивают выполнение условия Iпр>Iуд, поэтому после включения тринисторов *VS1* и *VS2* при кратковременном нажатии кнопок *S4* и *S3* соответственно эта приборы остаются в проводящем состоянии. После нажатия кнопки *S0* включа­ется тринистор *VS3,* напряжение источника питания Uпит через замкнутые кон­такты выключателя *SA1* и кнопки *S10* подается на обмотку электромагнита *YA1,* при этом одновременно загорается сигнальная лампа *HL1.* Электромагнит втя­гивает сердечник и таким образом открывает замок двери. При открывании двери контакты выключателя *SA1* размыкаются и разрывают цепь питания, тринисторы вновь выключаются, и после закрывания двери устройство возращается в исходное состояние .

Тринистор *VS4* служит для того, чтобы исключить возможность открыть замок подбором кода. Контакты кнопок, не использованных в коде, соединены между собой и подключены к управляющему электроду тринистора *VS4.* Ес­ли при попытке подобрать код будет нажата любая из этих кнопок, то тринистор *VS4* откроется и замкнет цепь управления тринисторов *VS1-VS3,* и тогда ни один из них уже невозможно будет включить. Сопротивление резис­тора R6рассчитывается по формуле Uпит/R6>Iуд поэтому тринистор *VS4* по­сле отключения остается в проводящем состоянии. Такой же результат будет и при одновременном нажатии всех кнопок, так как тринистор *VS4* откроется раньше, чем три последовательно соединенных тринистора *VS1-VS3.* Полезно обратить внимание на то, что этому обстоятельству способствует также и боль­шее значение управляющего тока прибора *VS4* по сравнению с тринисторами *VS1-VS3.* Чтобы устройство возвратить в исходное состояние после включения тринистора *VS4,* следует нажать кнопку *S10* «Вызов», контакты которой раз­рывают цепь питания тринистора *VS4,* и последний закрывается. Одновременно замыкающие контакты этой кнопки включают звонок *HA1* звуковой сигнализа­ции. Кстати, этой кнопкой можно пользоваться просто как кнопкой звонка, ес­ли ход замка не известен.

С помощью кнопки *S11* замок можно открыть дистанционно из помещения. При нажатии этой кнопки тринисторы *VS1-VS3* замыкаются накоротко и на­пряжение питания подается на обмотку электромагнита *YA1.* Кнопку *S11* сле­дует держать нажатой до тех пор, пока дверь не будет открыта.

Для изменения кода замка провода, идущие от управляющих электродов тринисторов *VS1-VS3,* подсоединяют к зажимам *0...9* в соответствии с кодо­вым числом; остальные зажимы соединяют между собой и подключают к уп­равляющему электроду тринистора *VS4.*