

ЛЕКЦИЯ 15 ТИРИСТОРЫ

План занятия:

1. Классификация и условные графические обозначения тиристоров
2. Принцип работы тиристоров
3. Управляемые тиристоры
4. Симисторы
5. Основные параметры тиристоров
6. Области применения тиристоров, схемы включения

Классификация и условные графические обозначения тиристоров

Тиристорами называются полупроводниковые приборы с тремя и более p - n -переходами, предназначенные для использования в качестве электронных ключей в схемах переключения электрических токов.

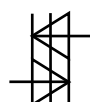
В зависимости от конструктивных особенностей и свойств тиристоры делятся на *диодные* (динисторы) и *триодные* (тринисторы).


Среди диодных тиристоров различают тиристоры, запираемые в обратном направлении, проводящие в обратном направлении, симметричные.


Триодные тиристоры подразделяют на запираемые в обратном направлении с управлением по аноду или катоду, проводящие в обратном направлении с управлением по аноду или катоду, симметричные.

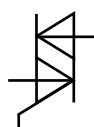
Условные графические обозначения тиристоров:

 – диодный тиристор, запираемый в обратном направлении;

 – диодный симметричный тиристор (симметричный динистор);

 – триодный тиристор, запираемый в обратном направлении с управлением по аноду;

 – триодный тиристор, запираемый в обратном направлении с управлением по катоду;

 – триодный симметричный тиристор (симметричный тринистор).

Принцип работы тиристоров

Простейшие диодные тиристоры, запираемые в обратном направлении, обычно изготавливаются из кремния и содержат четыре чередующихся p - и n -области (рис.15.1). Область p_1 , в которую попадает ток из внешней цепи называют анодом, область n_2 – катодом; области n_1 и p_2 – базами.

Структура тиристора может быть представлена в виде соединения двух транзисторов разной проводимости (рис.15.1,б,в), так что коллекторный ток транзистора $p_1-n_1-p_2$ (VT1) является базовым током транзистора $n_1-p_2-n_2$ (VT2), а коллекторный ток транзистора $n_1-p_2-n_2$ является базовым током транзистора $p_1-n_1-p_2$.

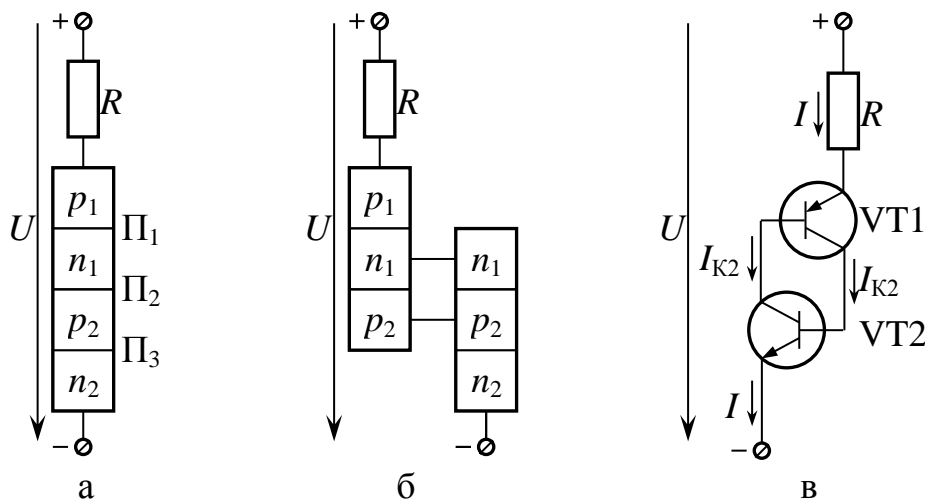


Рис.15.1. Структура диодного тиристора

Таким образом, между базовыми и коллекторными токами транзисторов существует положительная обратная связь, которая обеспечивает переключение структуры при условии, что коэффициент положительной обратной связи больше единицы.

Если к тиристорам подключить источник напряжения как показано на рис.1,а, то переходы Π_1 и Π_3 окажутся открытыми, а переход Π_2 – закрытым. Его называют коллекторным переходом. Почти все приложенное напряжение падает на нем.

Так, как переходы Π_1 и Π_3 смещены в прямом направлении, из них в области баз инжектируются носители заряда: дырки из области p_1 и электроны из области n_2 . Эти носители диффундируют в областях баз n_1 и p_2 , приближаются к коллекторному переходу Π_2 и его полем перебрасываются через p - n -переход. Двигаясь в противоположных направлениях эти дырки и электроны создают общий ток.

При малых значениях внешнего напряжения, практически все оно падает на коллекторном переходе Π_2 . Поэтому к переходам Π_1 и Π_3 , имеющим малое сопротивление, приложена малая разность потенциалов и инжекция носителей зарядов незначительна. В этом случае ток мал и равен обратному току через переход Π_2 , т.е. I_{K0} .

При увеличении внешнего напряжения ток во внешней цепи увеличивается незначительно, однако при достижении напряжением определенного значения $U_{вкл}$ носители заряда проходя через p - n -переход Π_2 ускоряются настолько, что при столкновении с атомами в области p - n -перехода ионизируют их, вызывая лавинное размножение носителей заряда.

Образовавшиеся при этом дырки под влиянием электронного поля переходят в область p_2 , а электроны в область n_1 . Ток через переход увеличивается, а его сопротивление и падение напряжения на нем снижаются. Это приводит к росту напряжения приложенного к переходам Π_1 и Π_3 и увеличению инжекции через них, что вызывает дальнейший рост коллекторного тока и увеличение токов инжекции.

Процесс протекает лавинообразно и сопротивление перехода Π_2 становится малым. В результате падение напряжения на тиристоре становится незначительным, а ток через него ограничивается только сопротивлением R .

На ВАХ (рис.15.2) закрытому состоянию тиристора соответствует участок 1. Процесс лавинного размножения носителей заряда отображает участок 2, с отрицательным дифференциальным сопротивлением. После переключения вольтамперная характеристика тиристора аналогична ветви характеристики диода, смещенного в прямом направлении (участок 3).

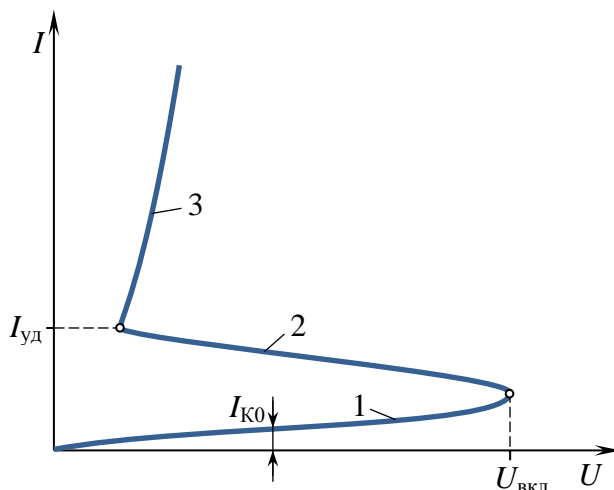


Рис.15.2. Вольтамперная характеристика тиристора

Для того чтобы запереть тиристор нужно уменьшить его рабочий ток до значения $I < I_{уд}$ путем понижения питающего напряжения.

Для определения тока, протекающего через диодный тиристор, рассмотрим его эквивалентную двухтранзисторную схему (рис.15.1). Токи коллекторов транзисторов $n_1-p_2-n_2$ и $p_1-n_1-p_2$ — типов соответственно равны

$$I_{K2} = \alpha_2 I + I_{KB02}; \quad I_{K1} = \alpha_1 I + I_{KB01},$$

где I_{KB01} и I_{KB02} — обратные токи коллекторных переходов транзисторов; α_1 и α_2 — коэффициенты передачи тока эмиттера.

Поскольку ток через тиристор $I = I_{K1} + I_{K2}$, то

$$I = \alpha_1 I + I_{KB01} + \alpha_2 I + I_{KB02}.$$

Если считать, что коэффициент лавинного умножения M_L в переходе Π_2

для дырок и электронов имеет одинаковые значения, то выражение для тока можно записать

$$I = M_{\text{Л}} I \alpha_1 + \alpha_2 + I_{\text{КБ01}} + I_{\text{КБ02}} = \frac{M_{\text{Л}} I_{\text{К0}}}{1 - M_{\text{Л}} \alpha},$$

где $M_{\text{Л}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{U}{U_{\text{проб}}}\right)^n};$

$U_{\text{проб}}$ – напряжение, при котором возникает лавинный пробой;

$n = 2 \dots 6$ в зависимости от характеристик материала и структуры перехода;

$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2;$

$I_{\text{К0}} = I_{\text{КБ01}} + I_{\text{КБ02}}$ – обратный ток перехода П_2 .

Переключение тиристора происходит, когда $M_{\text{Л}} \alpha = 1$.

Управляемые тиристоры

Триодный тиристор отличается от диодных тем, что одна из баз имеет внешний вывод, который называют управляющим электродом.

Перевести тиристор в проводящее состояние можно, подключив к одной из его базовых областей источник тока в прямом включении. В зависимости от того база какого эмиттерного перехода будет управляющей, различают триодные тиристоры с управлением по аноду и с управлением по катоду. На рис.15.3, а показано включение источника управляющего тока в базовую p -область второго эквивалентного транзистора. Ток, вызывающий переключение тиристора, называют током управления I_y .

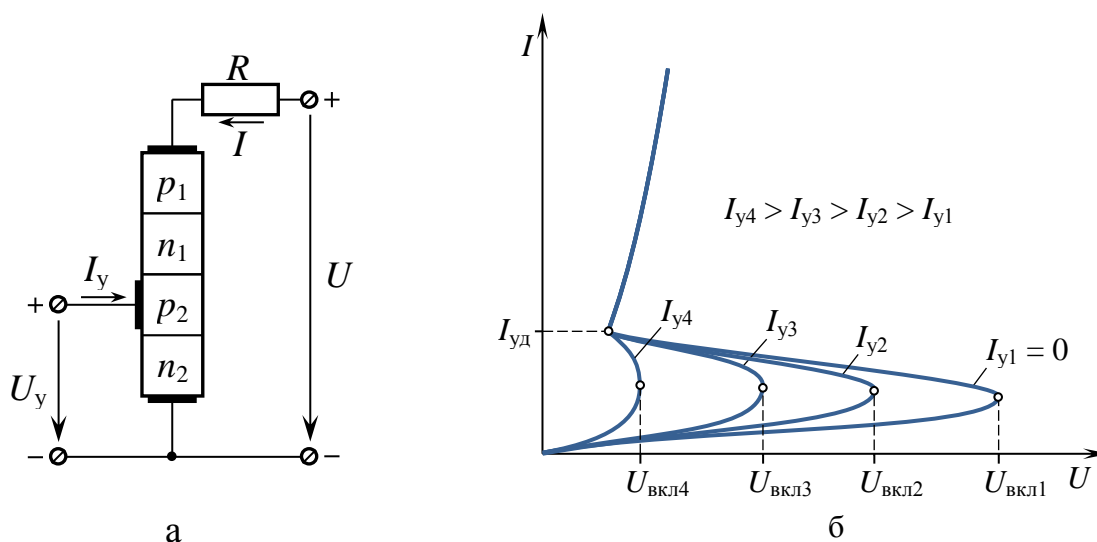


Рис.15.3. Тиристор, управляемый по катоду: а – структурная схема; б – ВАХ.

При подаче в цепь управляющего электрода тока управления I_y ток через p - n -переход увеличивается. Дополнительная инжекция носителей заряда через p - n -переход приводит к увеличению тока I_{K2} на величину $\alpha_2 \cdot I_y$, это ускоряет начало лавинного размножения носителей заряда. Увеличивая ток управления тристора, можно уменьшать значение напряжения его включения, как показано на рис.15.3, б.

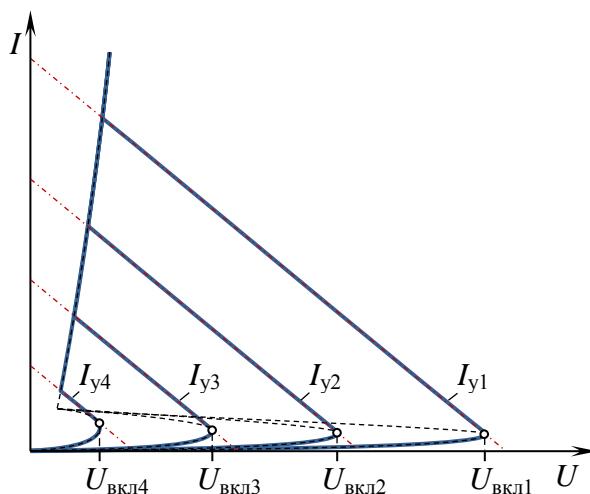


Рис.15.4. Тиристор, управляемый по катоду: а – структурная схема; б – ВАХ.

Таким образом, включение тиристора можно производить путем медленного увеличения анодного напряжения, либо путем подачи напряжения на управляющий электрод. Возможно также включение тиристора вследствие чрезмерной скорости увеличения анодного напряжения dU/dt . При этом через тиристор протекают значительные емкостные токи, приводящие к уменьшению напряжения включения.

Для того что бы запереть тиристор, нужно либо уменьшить ток до значения $I < I_{уд}$ путем понижения питающего напряжения, либо задать в цепи управляющего электрода импульс тока противоположной полярности. Отношение амплитуды тока тиристора к амплитуде импульса выключающего тока управляющего электрода называется коэффициентом запираения

$$K = \frac{I}{I_{убр.}}$$

Тиристоры с повышенным коэффициентом запираения часто называют выключаемыми или запираемыми.

Симисторы

В современной электронике для коммутации цепей переменного тока применяются симметричные тиристоры, у которых ВАХ одинаковы в I и III квадрантах (рис.15.5). Симисторы выполняют на основе пятислойных структур.

При подаче на управляющий электрод сигнала одной полярности симисторы открываются как в прямом, так и в обратном направлениях. Запирание симистора происходит при переходе коммутируемого напряжения через ноль (смене полярности с одного полупериода на другой).

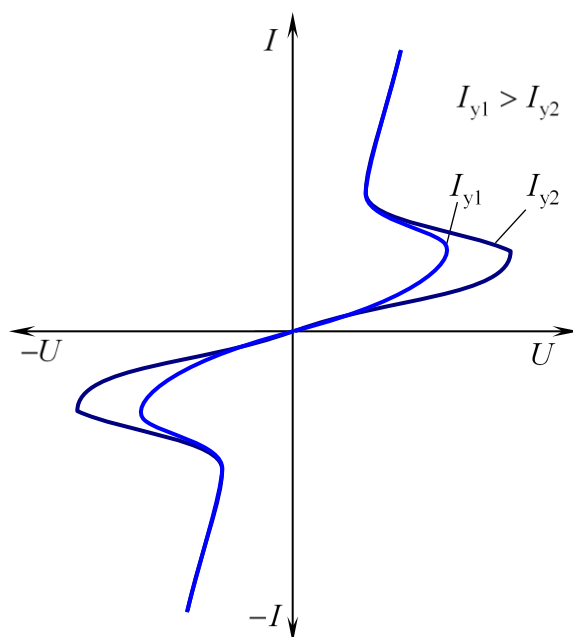


Рис.15.5. Вольтамперная характеристика симистора

Основные параметры тиристоров

Напряжение включения (постоянное $U_{пр}$, импульсное $U_{пр.и.}$, десятки – сотни В).

Напряжение в открытом состоянии (U_{oc}) – падение напряжения на тиристоре в открытом состоянии ($U_{oc} = 1 \dots 3$ В).

Обратное напряжение ($U_{обр}$) – напряжение, при котором тиристор может работать длительное время без нарушения его работоспособности (единицы – тысячи В).

Постоянное прямое напряжение в закрытом состоянии ($U_{зс}$) – максимальное значение прямого напряжения при котором не происходит включения тиристора (единицы – сотни В).

Ток в открытом состоянии (I_{oc}) – максимальное значение тока при открытом тиристоре (сотни мА – сотни А).

Ток удержания ($I_{уд}$) – минимальный прямой ток при котором тиристор еще находится в открытом состоянии (десятки – сотни мА).

Отпирающий ток управления ($I_{y.от}$) – наименьший ток управления электрода, необходимый для тиристора (десятки мА).

Время включения ($t_{вкл}$) – время с момента подачи управляющего импульса до момента, когда напряжение на тиристоре уменьшается до 0,1 от своего начального значения (единицы – десятки мкс).

Рассеиваемая мощность (P) (единицы – десятки Вт).

Области применения тиристоров, схемы включения

В настоящее время тиристоры находят самое разнообразное применение, как в промышленной, так и в бытовой аппаратуре. Наиболее широко они применяются в устройствах электропитания (выпрямители, преобразователи энергии, частотные регуляторы, регуляторы мощности) также часто применяются в устройствах управления электроприводом, устройствах защиты и коммутации.

По сравнению с мощными транзисторами тиристоры обладают рядом преимуществ:

- могут работать при очень больших токах (сотни ампер) и более высоких обратных напряжениях;
- меньшее падение напряжения в открытом состоянии;
- малая мощность сигналов управления;
- не требуют дополнительной мощности сигнала управления для поддержания устройства во включенном или выключенном состоянии.

Основным же недостатком тиристоров является то, что они не могут быть выключены с помощью управляющего электрода.

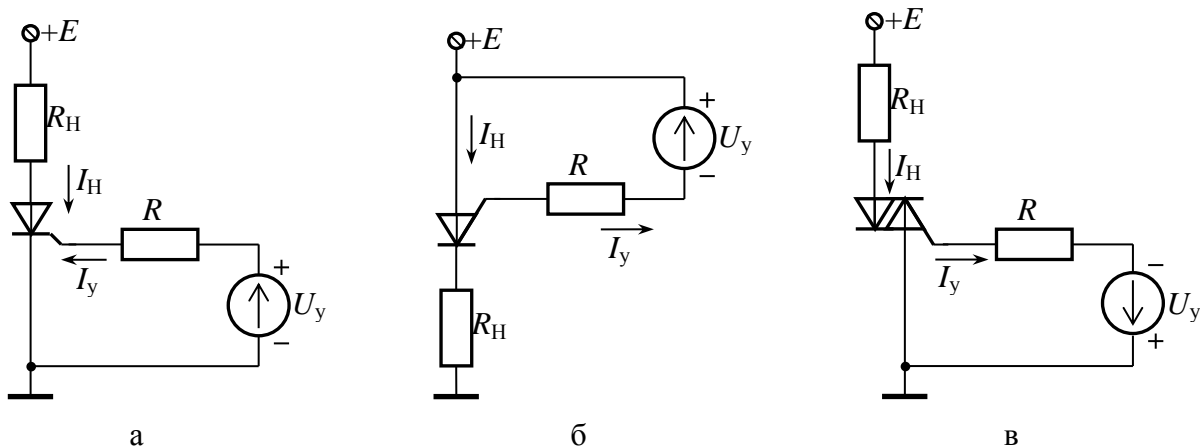


Рис.15.6. Схемы включения тиристоров: а – с управлением по катоду, б – с управлением по аноду, в – управление симистором.