

## 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.

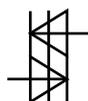
В зависимости от конструктивных особенностей и свойств тиристоры делятся на *диодные* (динисторы) и *триодные* (тринисторы).

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.

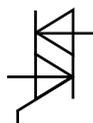
Условные графические обозначения тиристоров:

 – 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  $p_1-n_1-p_2$ .

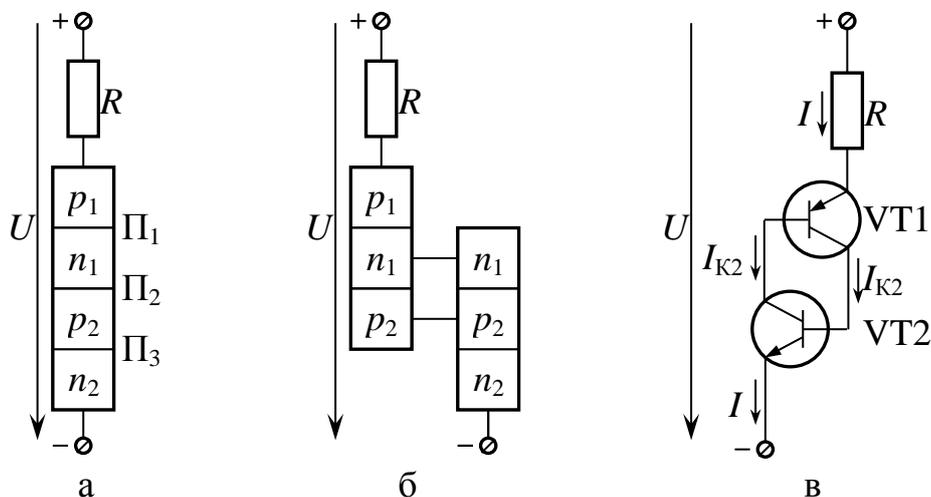


Рис.15.1. Структура диодного тиристора

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  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  окажутся открытыми, а переход  $\Pi_2$  – закрытым. Его называют коллекторным переходом. Почти все приложенное напряжение падает на нем.

Так, как переходы  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  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  $\Pi_2$  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  $\Pi_2$ . Поэтому к переходам  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$ , имеющим малое сопротивление, приложена малая разность потенциалов и инжекция носителей зарядов незначительна. В этом случае ток мал и равен обратному току через переход  $\Pi_2$ , 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  $\Pi_2$  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  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  и увеличению инжекции через них, что вызывает дальнейший рост коллекторного тока и увеличение токов инжекции.

Процесс протекает лавинообразно и сопротивление перехода  $\Pi_2$  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).

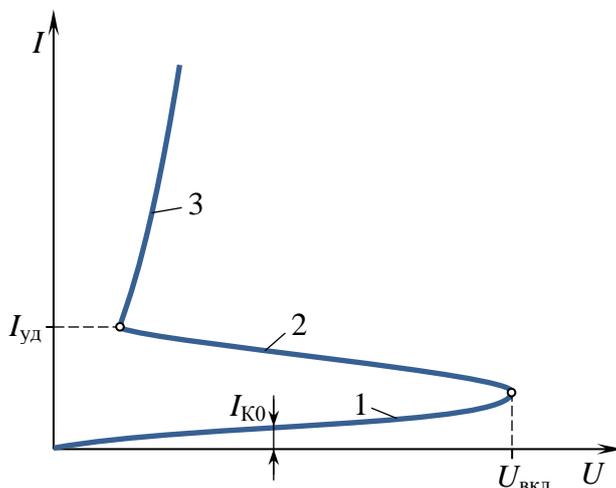


Рис.15.2. Вольтамперная характеристика тиристора

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;  
 $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — 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  $\Pi_2$

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

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

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<sub>2</sub>.

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  $I_y$ .

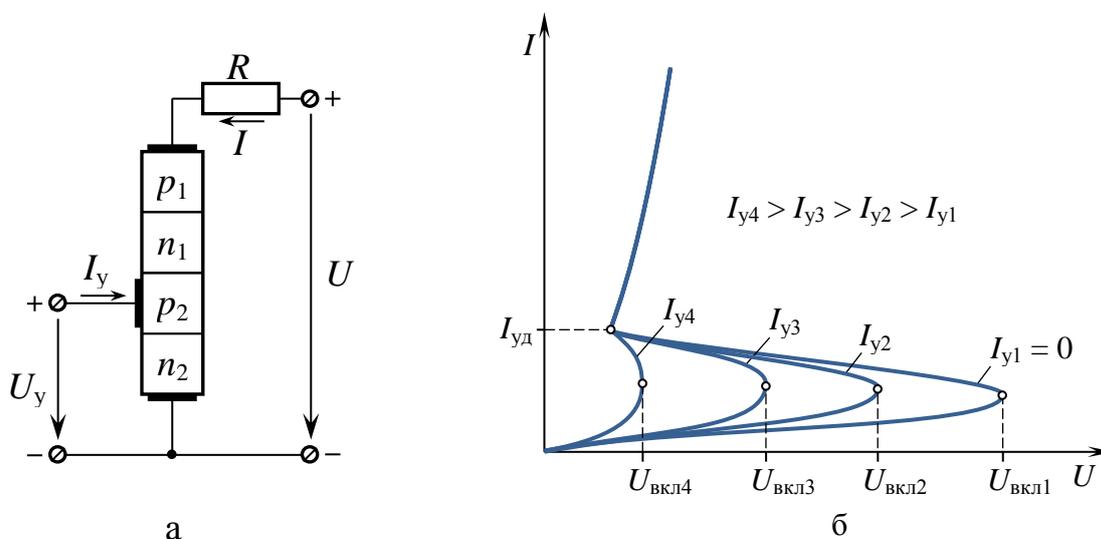


Рис.15.3. Тиристор, управляемый по катоду: а – структурная схема; б – ВАХ.

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.

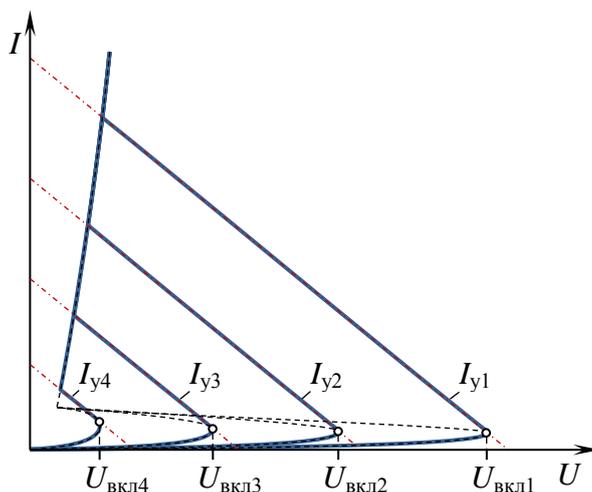


Рис.15.4. Тиристор, управляемый по катоду: а – структурная схема; б – ВАХ.

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).

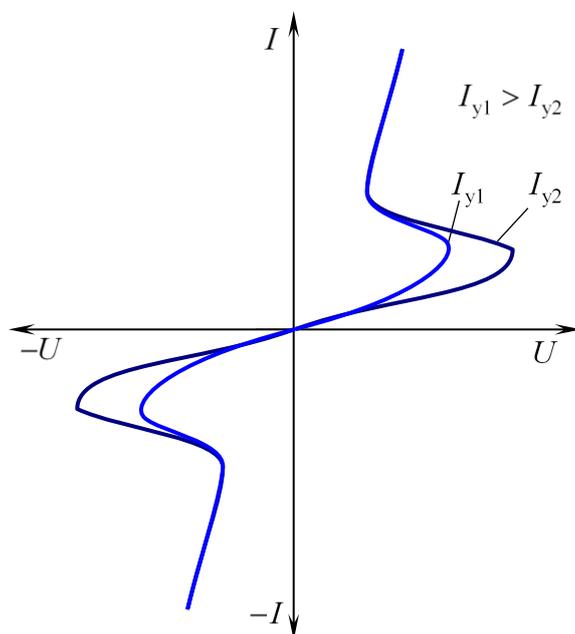


Рис.15.5. Вольтамперная характеристика симистора

### 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.

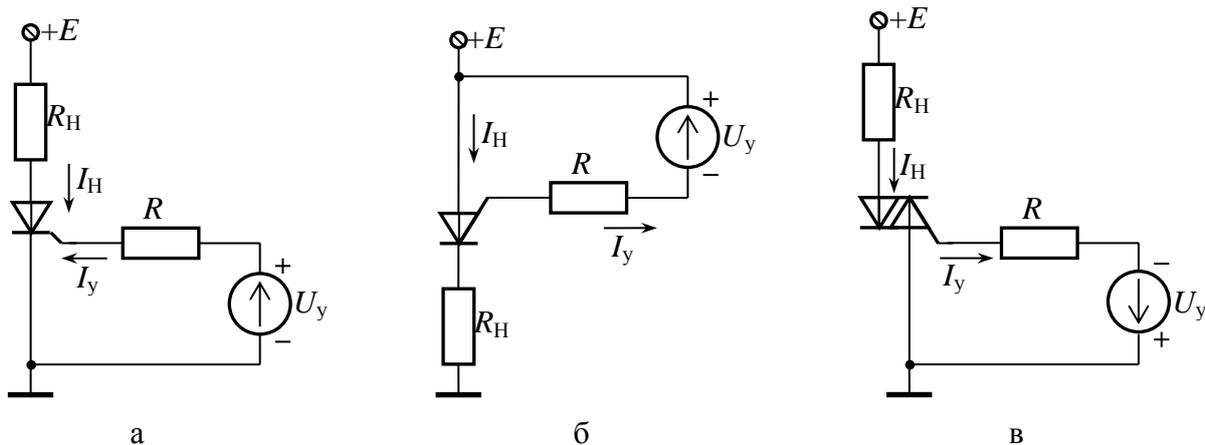


Рис.15.6. Схемы включения тиристоров: а – с управлением по катоду, б – с управлением по аноду, в – управление симистором.