

## ЛЕКЦІЯ 15 ТИРИСТОРИ

План заняття:

1. Класифікація та умовні графічні позначення тиристорів
2. Принцип роботи тиристорів
3. Керовані тиристори
4. Симістори
5. Основні параметри тиристорів
6. Области застосування тиристорів, схеми включення

### Класифікація та умовні графічні позначення тиристорів


Тиристорами називаються напівпровідникові прилади із трьома й більш  $p$ - $n$ - переходами, призначені для використання в якості електронних ключів у схемах перемикання електричних струмів.

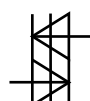
Залежно від конструктивних особливостей і властивостей тиристори поділяються на діодні (диністори) і тріодні (триністори).

Серед діодних тиристорів розрізняють тиристори, що запираються у зворотному напрямку, що проводять у зворотному напрямку та симетричні.

Тріодні тиристори підрозділяють на, ті, що запираються у зворотному напрямку з керуванням по аноду або катоду, що проводять у зворотному напрямку з керуванням по аноду або катоду, симетричні.

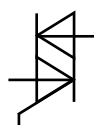
### Умовні графічні позначення тиристорів

 – діодний тиристор, що запирається у зворотному напрямку;

 – діодний симетричний тиристор (симетричний диністор);

 – тріодний тиристор, що запирається у зворотному напрямку з керуванням по аноду;

 – тріодний тиристор, що запирається у зворотному напрямку з керуванням по катоду;

 – тріодний симетричний тиристор (симетричний триністор).

### Принцип роботи тиристорів

Найпростіші діодні тиристори, що запираються у зворотному напрямку, звичайно виготовляються із кремнію і містять чотири  $p$ - і  $n$ - області, що

чергуються (рис.15.1). Область  $p_1$ , у яку попадає струм із зовнішнього кола називають анодом, область  $n_2$  – катодом; області  $n_1$  і  $p_2$  – базами.

Структура тиристора може бути представлена у вигляді з'єднання двох транзисторів різної провідності (рис.15.1,б,в), так що колекторний струм транзистора  $p_1-n_1-p_2$  (VT1) є базовим струмом транзистора  $n_1-p_2-n_2$  (VT2), а колекторний струм транзистора  $n_1-p_2-n_2$  є базовим струмом транзистора  $p_1-n_1-p_2$ .

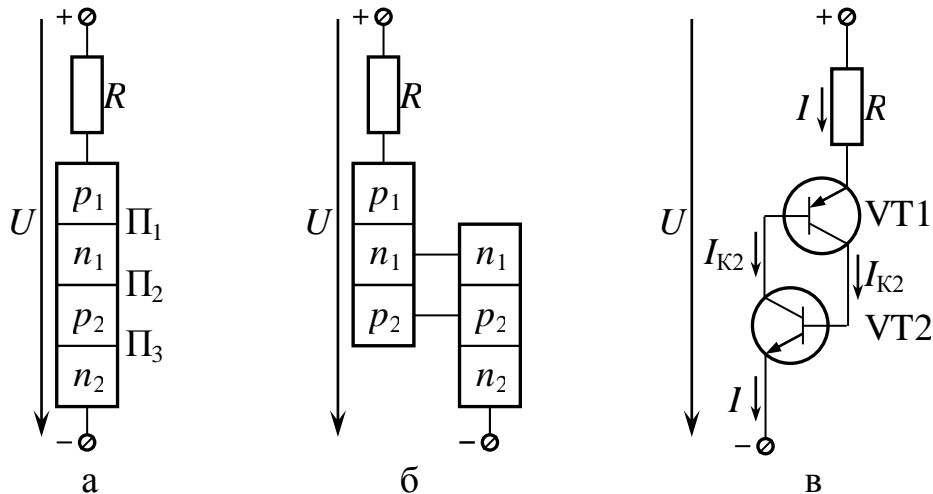


Рис.15.1. Структура діодного тиристора

Таким чином, між базовими й колекторними струмами транзисторів існує позитивний зворотний зв'язок, який забезпечує перемикання структури за умови, що коефіцієнт позитивного зворотного зв'язку більше одиниці.

Якщо до тиристора підключити джерело напруги як показано на рис.15.1,а, то переходи  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  виявляться відкритими, а перехід  $\Pi_2$  – закритим. Його називають колекторним переходом. Майже вся прикладена напруга падає на ньому.

Так, як переходи  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  зміщені в прямому напрямку, з них в області баз інжектуються носії заряду: дірки з області  $p_1$  і електрони з області  $n_2$ . Ці носії дифундують в областях баз  $n_1$  і  $p_2$ , наближаються до колекторного переходу  $\Pi_2$  і його полем перекидаються через  $p-n$ - перехід. Рухаючись у протилежних напрямках ці дірки й електрони створюють загальний струм.

При малих значеннях зовнішньої напруги, практично вся вона падає на колекторному переході  $\Pi_2$ . Тому до переходів  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$ , що мають малий опір, прикладена мала різниця потенціалів і інжекція носіїв зарядів незначна. У цьому випадку струм малий і дорівнює зворотному струму через перехід  $\Pi_2$ , тобто  $I_{K0}$ .

При збільшенні зовнішньої напруги струм у зовнішньому колі збільшується незначно, однак при досягненні напругою певного значення  $U_{\text{вкл}}$  носії заряду проходячи через  $p-n$ - перехід  $\Pi_2$  прискорюються настільки, що при зіткненні з атомами в області  $p-n$ -переходу іонізують їх, викликаючи лавинне розмноження носіїв заряду.

Дірки, що утворилися при цьому під впливом електронного поля переходять в область  $p_2$ , а електрони в область  $n_1$ . Струм через перехід збільшується, а його опір і падіння напруги на ньому знижуються. Це приводить до росту напруги прикладеної до переходів П1 і П3 і збільшенню інжекції через них, що викликає подальший ріст колекторного струму й збільшення струмів інжекції.

Процес протікає лавинообразно і опір переходу П2 стає малим. У результаті падіння напруги на тиристорі стає незначним, а струм через нього обмежується тільки опором  $R$ .

На ВАХ (рис.15.2) закритому стану тиристора відповідає ділянка 1. Процес лавинного розмноження носіїв заряду відображає ділянка 2, з негативним диференціальним опором. Після перемикавання вольтамперна характеристика тиристора аналогічна галузі характеристики діода, зміщеного в прямому напрямку (ділянка 3).

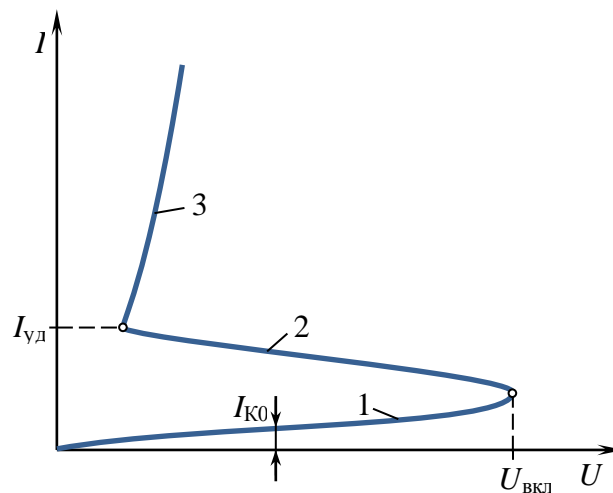


Рис.15.2. Вольтамперна характеристика тиристора

Для того щоб замкнути тиристор необхідно зменшити його робочий струм до значення  $I < I_{утр}$  шляхом зниження напруги живлення..

Для визначення струму, що протікає через діодний тиристор, розглянемо його еквівалентну двотранзисторну схему (рис.15.1). Струми колекторів транзисторів  $n_1-p_2-n_2$  і  $p_1-n_1-p_2$  – типів відповідно дорівнюють

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

де  $I_{KB01}$  і  $I_{KB02}$  – зворотні струми колекторних переходів транзисторів;  
 $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти передачі струму емітера.

Оскільки струм через тиристор  $I = I_{K1} + I_{K2}$ , то

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

Якщо вважати, що коефіцієнт лавинного множення  $M_L$  в переході П<sub>2</sub> для

дірок і електронів має однакові значення, то вираз для струму можна записати

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

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

$U_{\text{проб}}$  – напруга, при якій виникає лавинний пробій;

$n = 2 \dots 6$  в залежності від характеристик матеріалу і структури переходу;

$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ ;

$I_{\text{К0}} = I_{\text{КБ01}} + I_{\text{КБ02}}$  – зворотний струм переходу  $\text{П}_2$ .

Перемикання тиристора відбувається, коли  $M_{\text{Л}} \alpha = 1$ .

### Керовані тиристри

Триодний тиристор відрізняється від діодних тим, що одна з баз має зовнішній вивід, який називають керуючим електродом.

Перевести тиристор у провідний стан можна, підключивши до однієї з його базових областей джерело струму в прямому включенні. Залежно від того база якого емітерного переходу буде керуючою, розрізняють триністри з керуванням по аноду і з керуванням по катоду. На рис.15.3,а показане включення джерела керуючого струму в базову  $p$ -область другого еквівалентного транзистора. Струм, що викликає перемикання тиристора, називають струмом керування  $I_{\text{к}}$ .

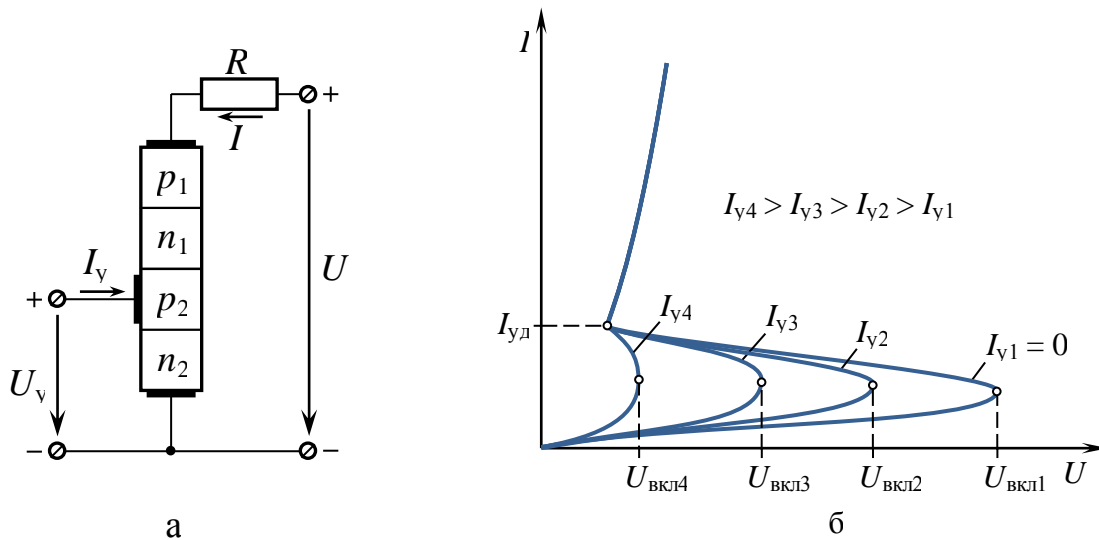


Рис.15.3. Тиристор керований по катоду: а – структурна схема; б – ВАХ.

При подачі в коло керуючого електрода струму керування  $I_{\text{к}}$ , струм через

*p-n*- перехід збільшується. Додаткова інжекція носіїв заряду через *p-n*- перехід приводить до збільшення струму  $I_{K2}$  на величину  $\alpha_2 \cdot I_K$ , це прискорює початок лавинного розмноження носіїв заряду. Збільшуючи струм керування тринистора, можна зменшувати значення напруги його включення, як показано на рис.15.3, б.

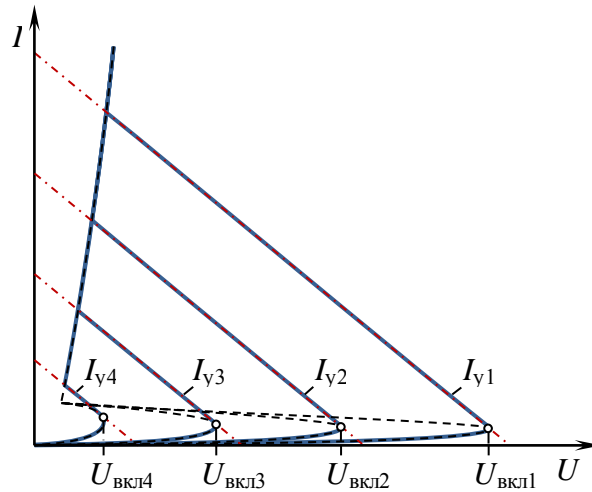


Рис.15.4. Тиристор, що керується по катоду: а – структурна схема; б – ВАХ.

Таким чином, включення тиристора можна робити шляхом повільного збільшення анодної напруги, або шляхом подачі напруги на керуючий електрод. Можливо також включення тиристора внаслідок надмірної швидкості збільшення анодної напруги  $dU/dt$ . При цьому через тиристор протікають значні ємнісні струми, що приводять до зменшення напруги включення.

Для того щоб замкнути тиристор, потрібно або зменшити струм до значення  $I < I_{yтр}$  шляхом зниження живлячої напруги, або задати в колі керуючого електрода імпульс струму протилежної полярності. Відношення амплітуди струму тиристора до амплітуди імпульсу, що виключає струм керуючого електрода називається коефіцієнтом запирання

$$K = \frac{I}{I_{кзв.}}$$

Тиристри з підвищеним коефіцієнтом запирання часто називають, ті що вимикаються або ті, що запираються.

### Симістри

В сучасній електроніці для комутації кіл змінного струму застосовуються симетричні тиристри, у яких ВАХ однакові в I і III квадрантах (рис.15.5). Симістри виконують на основі п'ятишарових структур. При подачі на керуючий електрод сигналу однієї полярності симістри відкриваються як в прямому, так і в зворотному напрямках. Замикання симістора відбувається при

переході комутованої напруги через нуль (зміні полярності з одного напівперіоду на інший).

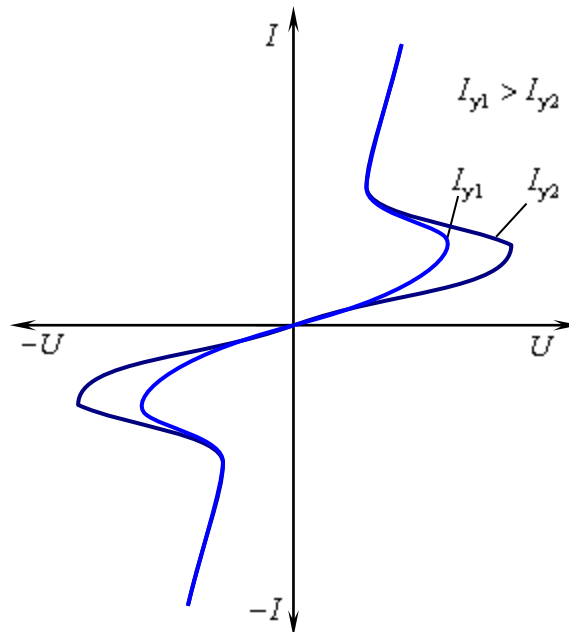


Рис.15.5. Вольтамперна характеристика симістора

### Основні параметри тиристорів

*Напруга включення* (постійна  $U_{пр}$ , імпульсна  $U_{пр i}$ , десятки – сотні В).

*Напруга у відкритому стані* ( $U_{вс}$ ) – падіння напруги на тиристорі у відкритому стані ( $U_{вс} = 1 \dots 3$  В).

*Зворотна напруга* ( $U_{зв}$ ) – напруга, при якому тиристор може працювати тривалий час без порушення його працездатності (одиниці – тисячі В).

*Постійна пряма напруга в закритому стані* ( $U_{зс}$ ) – максимальне значення прямої напруги при якій не відбувається включення тиристора (одиниці – сотні В).

*Струм у відкритому стані* ( $I_{вс}$ ) – максимальне значення струму при відкритому тиристорі (сотні мА – сотні А).

*Струм утримання* ( $I_{упр}$ ) – мінімальний прямий струм при якому тиристор ще знаходиться у відкритому стані (десятки – сотні мА).

*Струм управління, що відпирає* ( $I_{y відн}$ ) – найменший струм управління електрода, необхідний для тиристора (десятки мА).

*Час включення* ( $t_{вкл}$ ) – час з моменту подачі керуючого імпульсу до моменту, коли напруга на тиристорі зменшується до 0,1 від свого початкового значення (одиниці – десятки мкс).

*Потужність, що розсіюється* ( $P$ ) (одиниці – десятки Вт).

## Області застосування тиристорів, схеми включення

В даний час тиристори знаходять найрізноманітніше застосування, як в промисловій, так і в побутовій апаратурі. Найбільш широко вони застосовуються в пристроях електроживлення (випрямлячі, перетворювачі енергії, частотні регулятори, регулятори потужності) також часто застосовуються в пристроях керування електроприводом, пристроях захисту і комутації.

У порівнянні з потужними транзисторами тиристори мають ряд переваг:

- можуть працювати при дуже великих токах (сотні ампер) і більш високих зворотних напругах;
- менше падіння напруги в відкритому стані;
- мала потужність сигналів управління;
- не вимагають додаткової потужності сигналу управління для підтримки пристрою у включеному або вимкненому стані.

Основним же недоліком тиристорів є те, що вони не можуть бути вимкнені за допомогою керуючого електрода.

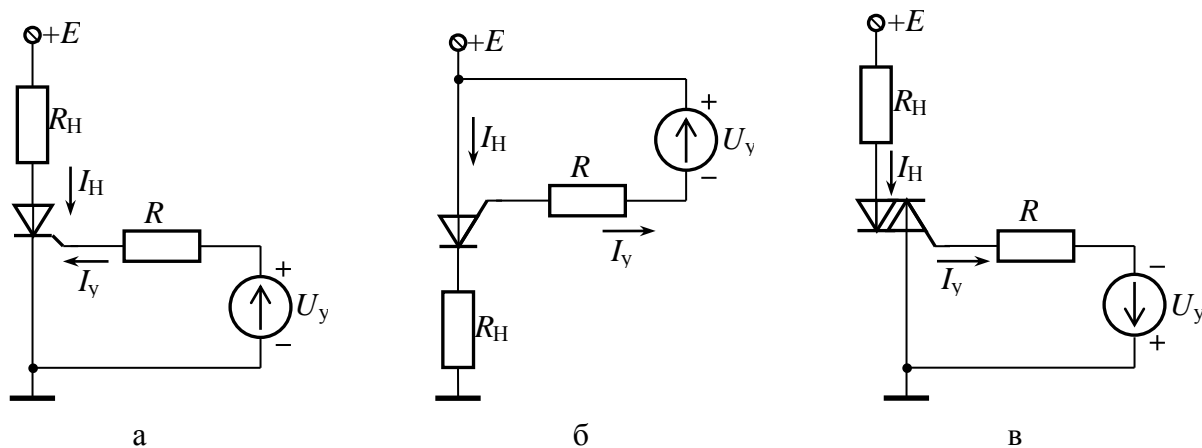


Рис.15.6. Схеми включення тиристорів: а – з управлінням по катоду, б – з управлінням по аноду, в – управління симістором.