

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРИСТОРІВ

Мета роботи: Ознайомитися зі структурою й принципом роботи напівпровідникових тиристорів. Вивчити способи відмикання й запирання тиристорів, на практиці навчитися визначати їхні основні параметри.

Теоретичні положення

Структура і принцип роботи напівпровідникових тиристорів

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

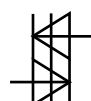
Залежно від конструктивних особливостей і властивостей тиристори поділяються на діодні (диністори) і тріодні (триністори).

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.

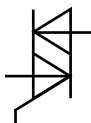
Умовні графічні позначення тиристорів

 – діодний тиристор, що заціпається 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).

Найпростіші діодні тиристори, що запираються у зворотному напрямку, звичайно виготовляються із кремнію і містять чотири p - і n - області, що чергуються (рис.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.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 $p_1-n_1-p_2$.

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.

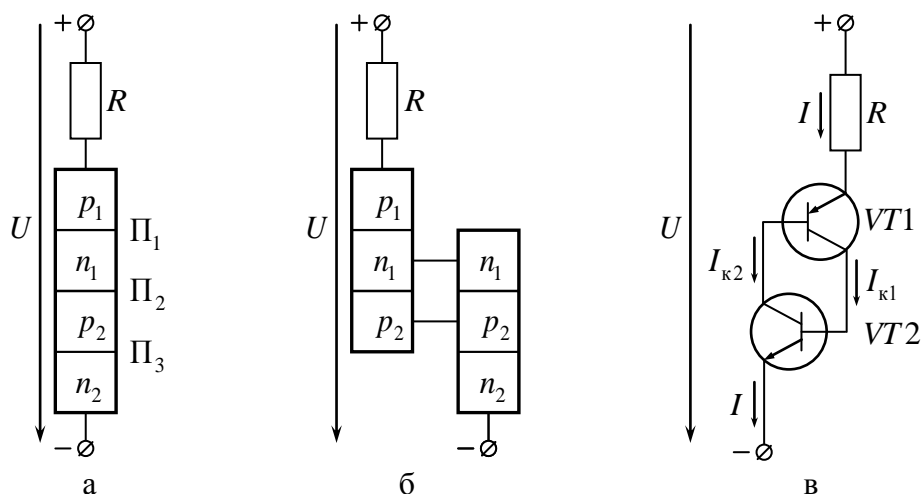


Рис.1. – Структура діодного тиристора

Якщо до тиристора підключити джерело напруги як показано на рис.1,а, то переходи П1 і П3 виявляться відкритими, а перехід П2 – закритим. Його називають колекторним переходом. Майже вся прикладена напруга падає на ньому.

Так, як переходи П1 і П3 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 П2 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 П2. Тому до переходів П1 і П3, що мають малий опір, прикладена мала різниця потенціалів і інжекція носіїв зарядів незначна. У цьому випадку струм малий і дорівнює зворотному струму через перехід П2, тобто $I_{к0}$.

При збільшенні зовнішньої напруги струм у зовнішньому колі збільшується незначно, однак при досягненні напругою певного значення $U_{вкл}$ носії заряду проходячи через $p-n$ -перехід П2 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.2) закритому стану тиристора відповідає ділянка 1. Процес лавинного розмноження носіїв заряду відображає ділянка 2, з негативним диференціальним опором. Після перемикання вольтамперна характеристика тиристора аналогічна галузі характеристики діода, зміщеного в прямому напрямку (ділянка 3).

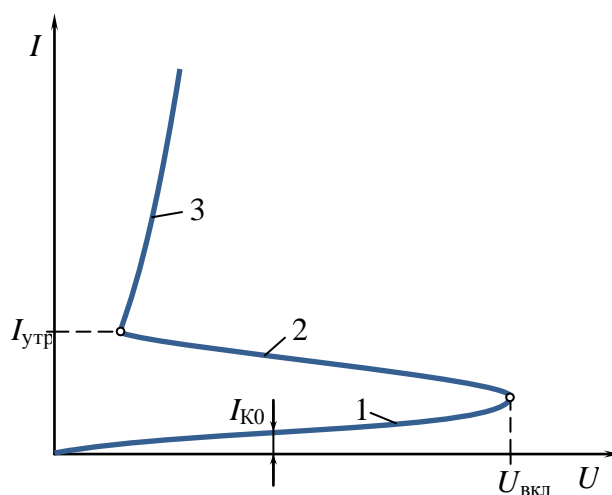


Рис.2. – Вольтамперна характеристика тиристора

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

Принцип роботи керованих тиристорів

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 триністори з керуванням по аноду і з керуванням по катоду. На рис.3, а показане включення джерела керуючого струму в базову p -область другого еквівалентного транзистора. Струм, що викликає перемикання тиристора, називають струмом керування I_k .

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 $I_{\text{к2}}$ на величину $\alpha_2 \cdot I_{\text{к}}$, це прискорює початок лавинного розмноження носіїв заряду. Збільшуючи струм керування тринистора, можна зменшувати значення напруги його включення, як показано на рис.3,б.

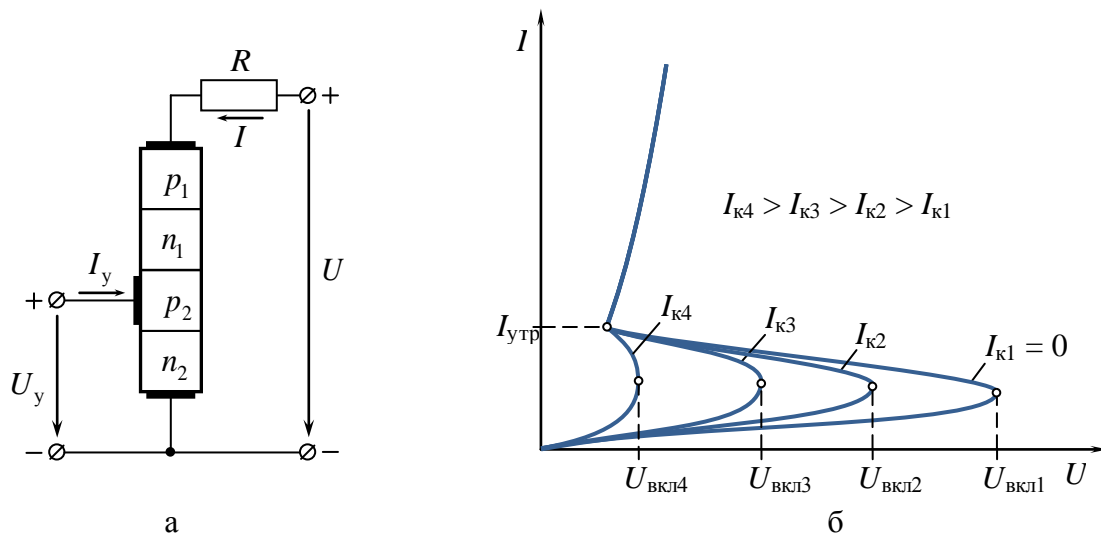


Рис.3. – Тиристор керований по катоду: а – структурна схема; б – ВАХ.

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 що б замкнути тиристор, потрібно або зменшити струм до значення $I < I_{\text{yтр}}$ шляхом зниження живлячого 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

$$K = \frac{I}{I_{\text{кзв}}}.$$

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

Застосування тиристорів

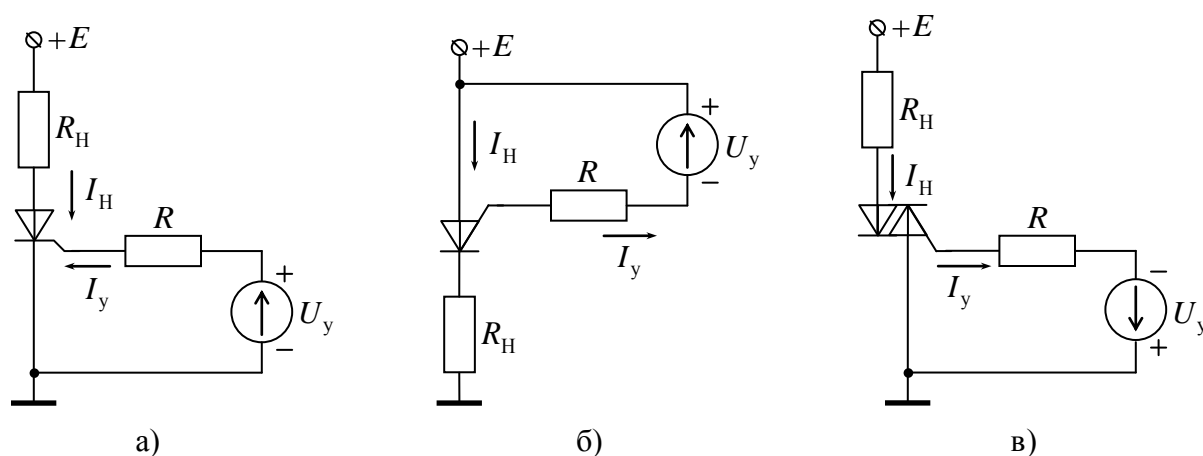


Рис.4 – Підключення джерел керування тиристорів:

а – з керуванням по катоду; б – з керуванням по аноду; в – керування симістром.

В результаті виконання другого дослідження виміру ВАХ тиристора у відкритому стані, буде отримано ВАХ, яка представлена на рис. 5.

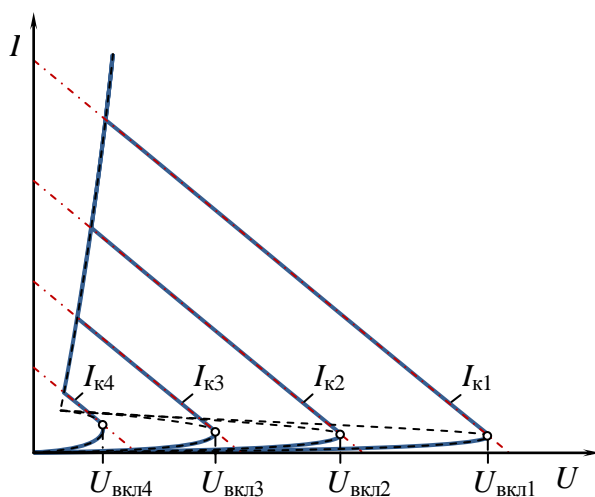


Рис.5. – ВАХ тиристора, керованого по катоду

Порядок виконання роботи

1. Дослідження ВАХ тиристора в закритому стані:

1.1 Підготувати джерело живлення до роботи:

- ручки регуляторів напруги й струму I і II каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
- кнопки "СИНХРОНИЗАЦІЯ" встановити в режим "ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО".

- 1.2 Зібрати схему, представлену на рис.6.
- 1.3 Змінюючи напругу закритого стану $U_{зс}$ ручкою "НАПРЯЖЕНИЕ" I каналу джерела живлення, вимірювати струм, що протікає через тиристор. Отримані дані занести в табл.1.
2. Дослідження ВАХ тиристора у відкритому стані:
 - 2.1 Підготувати джерело живлення до роботи:
 - ручки регуляторів напруги і струму I і II каналу повернути проти годинникової стрілки до упору;
 - кнопки "СИНХРОНИЗАЦІЯ" установити в режим "НЕЗАВИСИМО".
 - включити джерело живлення (кнопка "POWER");
 - налаштувати обмежник струму I каналу джерела живлення:
 - з'єднати провідником клеми "+" і "-" I каналу джерела живлення;
 - повернути ручку "НАПРЯЖЕНИЕ" регулятора напруги на $\sim 30^\circ$ за годинниковою стрілкою;
 - перемикач індикатору встановити в положення "АМР" для виводу на індикацію струму I каналу джерела живлення;
 - ручкою "ТОК" виставити обмеження струму 0,2 А;
 - повернути ручку "НАПРЯЖЕНИЕ" регулятора напруги проти годинникової стрілки до упору;
 - від'єднати провідник, що з'єднує клеми "+" і "-" I каналу джерела живлення;
 - перемикач індикатору встановити в положення "VOLT" і ручкою "НАПРЯЖЕНИЕ" виставити 0 В.
 - аналогічним образом настроїти II канал на струм 1,5 А і напругу 10 В, перемикач індикатору встановити в положення "АМР".
 - 2.2 Зібрати схему, представлену на рис.6.
 - 2.3 Ручку резистора R_2 повернути за годинниковою стрілкою до упору. Ручкою "НАПРЯЖЕНИЕ" I каналу виставити 10 В.
 - 2.4 Плавна повертаючи ручку резистора R_2 збільшувати струм керування до моменту включення тиристора ($I_k \approx 100$ мА). При цьому II канал джерела живлення повинен перейти в режим стабілізації струму (загоряється світлодіод "С.Т."), а індикатор покаже встановлений струм 1,5 А.
 - 2.5 Скинути струм керування, встановивши напругу I каналу в 0 В, упевнитися, що при цьому тиристор залишається у відкритому стані.
 - 2.6 Змінюючи струм відкритого стану $I_{ос}$ ручкою "ТОК" II каналу джерела живлення, вимірювати падіння напруги на тиристорі. Отримані дані занести в табл.2. Зафіксувати значення струму утримання в момент вимикання тиристора (II канал джерела живлення повинен перейти в режим стабілізації напруги (загоряється світлодіод "С.Н.")).
3. За даними таблиць 1, 2 в одній координатній площині, побудувати ВАХ тиристора в закритому й відкритому стані.

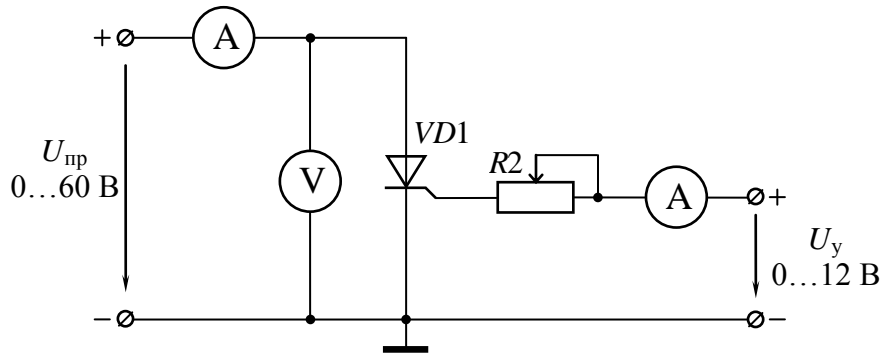


Рис.6. – Схема для зняття вольтамперної характеристики тиристора

Результати вимірів вольтамперної характеристики тиристора в закритому стані

Таблиця 1

$U_{ЗС}, \text{В}$	10	20	30	40	50	60	при $I_{\text{к}} = 0$
$I_{ЗС}, \text{мкА}$							

Результати вимірів вольтамперної характеристики тиристора у відкритому стані

Таблиця 2

$U_{\text{ВС}}, \text{мВ}$								$I_{\text{Уд}}, \text{А}$	при $I_{\text{к}} = I_{\text{к.от.}}$
$I_{\text{ВС}}, \text{А}$	1,5	1,2	1,0	0,8	0,5	0,2	0,1		

