

*Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю. М. Потебні*

*Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного  
забезпечення*

## **Лабораторна робота № 6**

з дисципліни Аналогова та оптоелектроніка

### **Дослідження характеристик тиристорів**

Студента (ки) 2 курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Викладач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Мета роботи – вивчення принципу дії і властивостей, дослідження характеристик, ознайомлення з основними параметрами і використанням тиристорів.

### 6.1 Короткі теоретичні відомості

Тиристор (від грецького “thyra” - двері) – напівпровідниковий прилад, виконаний на основі монокристала напівпровідника з трьома або більш р-n переходами і який має два стійкі стани:

- «закритий» стан – стан низької провідності;
- «відкритий» стан – стан високої провідності.

Основне використання триністорів (тиристорів з трьома електричними виводами: анодом, катодом і управляючим електродом) – управління потужним навантаженням за допомогою слабкого сигналу, який подається на управляючий електрод.

Основою тиристорів є структура типу р-n-р-n (рис. 6.1) з чотирьох шарів. Крайні області тиристорної структури називають емітерами (n і p), сусідні до них р-n переходи:  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  – емітерними, центральний перехід ( $\Pi_2$ ) – колекторним. Поміж переходами знаходяться базові області (р і n), або просто – бази. Електрод, який забезпечує контакт з n-емітером, називають катодом, з р-емітером – анодом.

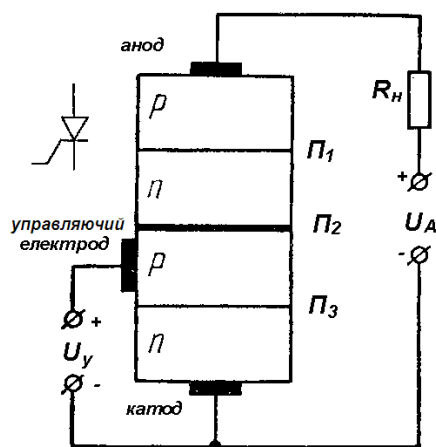


Рисунок 6.1 - Система р-n переходів тиристора

Існують три типи тиристорів:

- діодний тиристор – його бази не мають виводів;
- тріодний тиристор – має додатковий вивід від р-бази, який зветься керуючим електродом;
- тетродний тиристор – обидві бази мають виводи, тобто у приладу є два керуючих електроди.

Тиристори отримали широке застосування в радіо- та електротехніці у якості швидкодіючих перемикаючих пристроїв. Вони використовуються при конструюванні генераторів імпульсів різної форми, у схемах випрямлячів, для регулювання потужності змінного струму. Тиристори є напівпровідниковими аналогами лампових тиратронів.

Вольт-амперною характеристикою (ВАХ) тиристора називають залежність анодного струму від анодної напруги при сталому значенні струму управління

$$I_A = f(U_A) \Big|_{I_y = \text{const}}$$

На ВАХ тиристора (рис. 6.2) можна відмітити три основні області: область 1 – на аноді позитивне значення напруги, яке може сягати сотень вольт, але опір тиристорі великий (декілька мегом), тому анодний струм порівняно малий (декілька мікроампер), у такому стані тиристор замкнений; область 2 – тиристор має негативний опір, ця ділянка відповідає нестійкому стану тиристора; область 3 – анодна напруга не перевищує 1 – 2 В, але анодний струм порівняно великий – тиристор у відкритому стані.

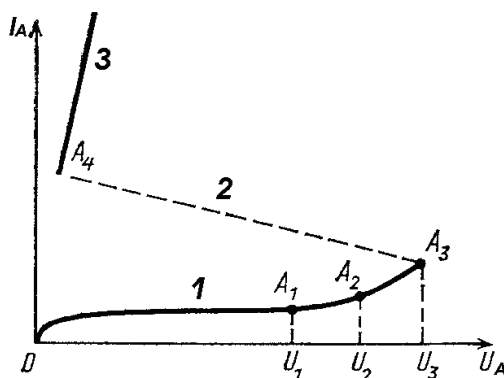


Рисунок 6.2 - Вольт-амперна характеристика тиристора

Переходи  $\Pi_1$  та  $\Pi_3$  при поляризації напруги, яка показана на рисунку 6.1, зміщені у прямому напрямку (відкриті), а перехід  $\Pi_2$  – в зворотному (закритий). При малому значенні напруги на тиристорі, струм, який тече через нього, буде визначатися переходом  $\Pi_2$ : переходи  $\Pi_1$  та  $\Pi_3$  відкриті, тому їхній опір порівняно малий, а опір закритого переходу  $\Pi_2$  навпаки, великий. Тому початкова ділянка  $0A_1$  вольт-амперної характеристики тиристора (рис. 6.2) подібна до ВАХ р-n переходу зміщеному в зворотному напрямку. Струм через перехід  $\Pi_2$  утворюється переміщенням через нього неосновних носіїв у прилеглих базових областях: електрони є неосновними носіями у середній р-області, а дірки – у середній n-області.

При збільшенні напруги, прикладеної до тиристора, зростають прямі струми через переходи  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  (точка  $A_2$  на рисунку 6.2). Внаслідок цього у середню р-область через перехід  $\Pi_1$  інjektується (вприскується, поступає) зростаюча кількість електронів, а у середню n-область – зростаюча кількість дірок через перехід  $\Pi_3$ . Таким чином, концентрація неосновних носіїв у прилеглих до переходу  $\Pi_2$  областях зростає. Це призводить до зменшення опору переходу  $\Pi_2$  та перерозподілу падіннь напруг між переходами  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$ : на переході  $\Pi_2$  падіння напруги зменшується, а на переходах  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  – зростає. При деякому критичному значенні зовнішньої напруги на тиристорі

$$U_3 = U_{\text{вкл}}$$

процес зростання струму через переходи  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  приймає лавиноподібний характер – тиристор відкривається.

Струм різко, стрибком, зростає (ділянка  $A_3 - A_4$ ), його величина обмежується головним чином опором навантаження  $R_H$ , яке увімкнено послідовно до тиристора. При цьому опір переходу  $\Pi_2$  і тиристора у цілому зменшується настільки, що на тиристорі падає лише близько одного вольту напруги, а основна частина напруги падає на опорі навантаження  $R_H$ . Неосновних носіїв у прилеглих до переходу  $\Pi_2$  областях тепер велика кількість і тому цей перехід можна вважати зміщеним у прямому напрямку. Таким чином, коли тиристор відкривається, то усі три переходи є зміщеними у прямому напрямку.

Якщо через управляючий електрод (рис. 6.1) подати пряму напругу на перехід  $\Pi_2$ , то можна регулювати величину  $U_{вкл}$  – напруги, при якій тиристор відкривається. Ця властивість тиристора ілюструється вольт-амперними характеристиками, які на рисунку 6.3.

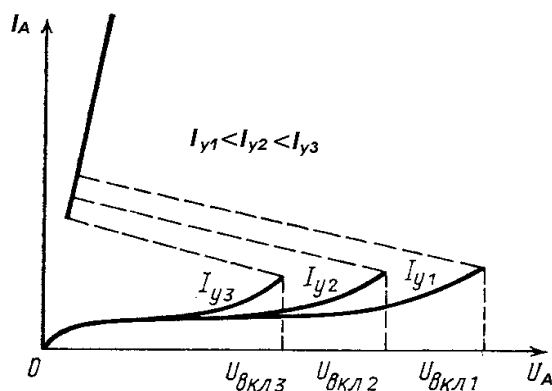


Рисунок 6.3 - Вольт-амперні характеристики тиристора при різних струмах управління

Чим більше струм управління  $I_y$ , тим сильніша інжекція неосновних носіїв до середнього переходу, і тим меншу напругу необхідно подати на тиристор, щоб його відкрити. При достатньо великому значенні струму управляючого електроду, ВАХ тиристора вироджується у характеристику звичайного діода, втрачаючи ділянку негативного опору. Залежність поміж струмом управління  $I_y$  та напругою, при якій тиристор відкривається  $U_{вкл}$ , називається пусковою характеристикою тиристора (рис. 6.4).

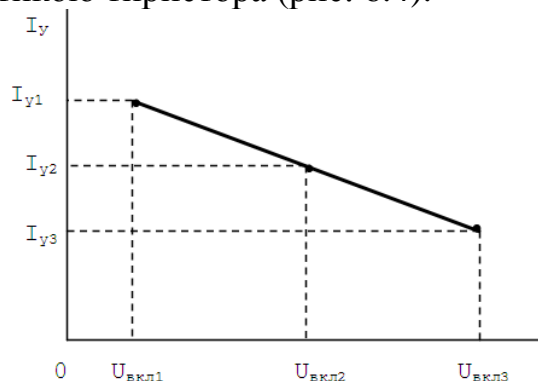


Рисунок 6.4 - Пускова характеристика тиристора

## 6.2 Опис віртуального EWB стенду

На рисунку 6.5 приведені позначення перемикальних діодів, моделі яких є в програмі EWB: діод Шотки, симетричний диністор, триністор і симетричний триністор.



Рисунок 6.5 – Позначення моделей перемикальних діодів

Для перемикальних діодів можна задати значення наступних параметрів (для EWB їх позначень вказуються в квадратних дужках):

- Saturation current  $I_s$  [IS], А – зворотний струм диністора;
- Peak Off-state Current  $I_{drm}$  [IDRM], А – зворотний струм триністора;
- Switching voltage  $V_s$  [VS], В – напруга, при якій диністор перемикається у відкритий стан;
- Forward Breakover voltage  $V_{drm}$  [VDRM], В – те ж саме, але для триністора при нульовій напрузі на управляючому електроді;
- Peak On-State Voltage  $V_{tm}$  [VTM], В – падіння напруги у відкритому стані;
- Forward Current at which  $V_{tm}$  is measured  $I_{trn}$  [ITM], А – струм у відкритому стані;
- Turn-off time  $T_g$  [TG], с – час перемикавання в закритий стан;
- Holding current  $I_h$  [IH], А – мінімальний струм у відкритому стані (якщо він менше встановленого, то прилад переходить в закритий стан);
- Critical rate off-state voltage rise  $dv/dt$  [DV/DT], В/мкс – допустима швидкість зміни напруги на аноді триністора, при якому він продовжує залишатися в закритому стані (при більшій швидкості триністор відкривається);
- Zero-bias junction capacitance  $C_j$  [CJO], Ф – бар'єрна ємність диністора при нульовій напрузі на переході;
- Gate Trigger voltage  $V_{gt}$  [VGT], В – напруга на управляючому електроді відкритого триністора;
- Gate Trigger current  $I_{gt}$  [IGT], А – струм управляючого електрода;
- Voltage at which  $I_{gt}$  is measured  $V_d$  [VD], В – відмикаюча напруга на управляючому електроді.

Перераховані параметри можна задати за допомогою діалогових вікон (рис. 6.6).

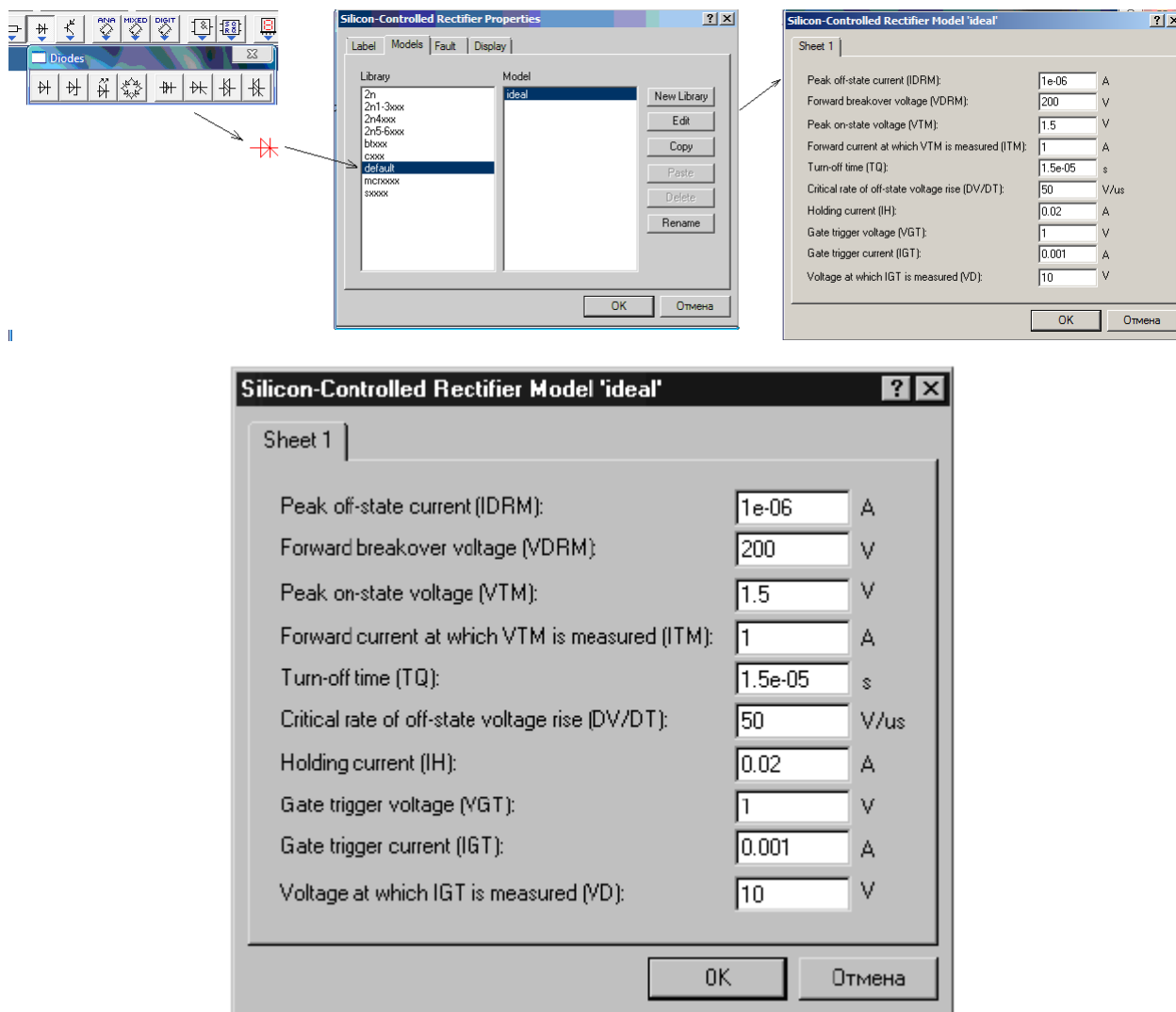


Рисунок 6.6 – Діалогове вікно установки параметрів триністора

### 6.3 Порядок виконання роботи

1. Запустіть програму Electronics Workbench.
2. Підготуйте новий файл для роботи.

#### Побудова прямої гілки ВАХ тиристора.

3. У новому файлі програми Electronics Workbench зберіть схему за рисунком 6.7.

4. Коли схема зібрана і готова до запуску, натисніть кнопку включення живлення на панелі інструментів. У разі серйозної помилки в схемі (коротке замикання елемента живлення, відсутність нульового потенціалу в схемі) буде видано попередження.

5. Вимірюйте значення напруги і струмів тиристора при значеннях ЕРС джерел, приведених в таблиці 6.1. У разі потреби можна користуватися кнопкою Pause. Отримані дані занесіть в таблицю 6.1.

6. За даними таблиці побудуйте пряму гілку вольтамперної характеристики тиристора.



3. За даними таблиці побудуйте зворотну гілку вольтамперної характеристики тиристора.

4. Зробіть виводи відносно зробленої роботи.

### **6.5 Контрольні питання**

1. Пояснити будову та принцип дії тиристора.
2. Який вигляд має вольт-амперна характеристика тиристора?
3. Пояснити дію керуючого електроду тиристора.
4. Що називають пусковою характеристикою тиристора? Як на її підставі побудувати ідеалізовану ВАХ тиристора?
5. Якими є практичні застосування тиристорів?

### **Література**

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.

2. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.