

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Тема. Розрахунок і вибір багатошарових напівпровідникових структур - тиристорів.

Мета роботи: вивчення методик розрахунку і вибору тиристорів.

Теоретичні відомості

Тиристор - це напівпровідниковий прилад, що має багатошарову структуру і ВАХ якого має ділянку з негативним опором. Його використовують як перемикач струму. Загальні теоретичні відомості про тиристори наведені в [8, с.59-71].

Умовне позначення тиристора VS.

Тиристори бувають двоелектродні (або діодні) - диністори та триелектродні (або тріодні) - триністори.

ВАХ диністора наведена на рис. 3.1, на якій позначено:

$U_{вм}$ - напруга вмикання диністора;

$I_{вм}$ - струм вмикання;

$I_{ут}$ - струм утримання;

$I_{зр}$ - гранично допустимий струм приладу;

$U_{зр}$ - падіння напруги на диністорі, що відповідає $I_{зр}$.

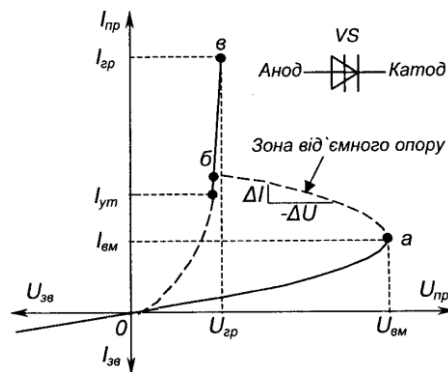


Рис. 3.1 - ВАХ диністора та його умовне позначення

Ділянка Oa ВАХ відповідає закритому стану диністора. Ділянка ab - лавиноподібному перемикачню приладу (це ділянка з від'ємним опором, бо тут $R = -\Delta U / \Delta I$ - величина від'ємна). Ділянка $бв$, подібна відрізку ВАХ діода, відповідає увімкненому стану диністора (режим насичення), вона є робочою ділянкою характеристики.

Для вимикання приладу (переведення його у непровідний стан) струм у його колі повинен стати меншим за струм утримання.

Основні параметри диністора:

- напруга вмикання диністора $U_{вм}$, що становить $(20 \div 4000)V$;

- максимальне середнє значення прямого струму при заданих умовах охолодження $I_{пр max}$, що становить $(0,1 \div 2)A$;

- струм утримання $I_{ут}$ - мінімальний прямий струм увімкненого диністора, при подальшому зниженні якого диністор переходить у непровідний стан, становить $(0,01 \div 0,1)A$;

- максимальне допустиме амплітудне значення зворотної напруги $U_{зв max}$, сягає до $1000V$;

- час вмикання, тобто час переходу від закритого стану до відкритого, знаходиться у межах $(1 \div 10)$ мкс.

Тиристор - це чотиришаровий перемикаючий прилад, у якого від однієї з базових зон зроблено вивід - керуючий електрод.

Структура та умовне позначення триністора (надалі - тиристор) наведені на рис. 3.1.

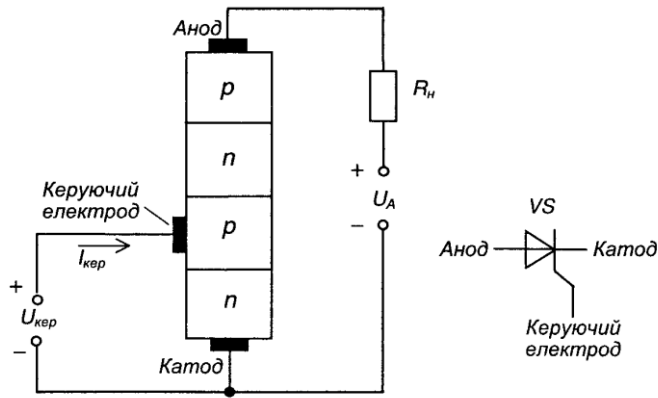


Рис. 3.1 - Структура та умовне позначення тиристора

Подаючи між керуючим електродом та катодом пряму напругу на p - n перехід, що працює у прямому напрямку, можна регулювати значення напруги вмикання $U_{вм}$. Цю головну властивість тиристора демонструє його ВАХ, яка наведена на рис. 3.2.

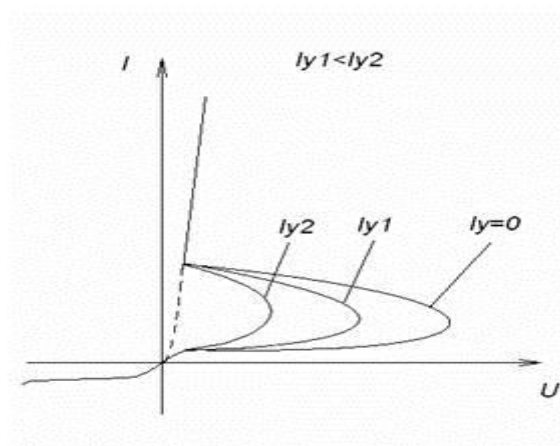


Рис. 3.2 - ВАХ тиристора

Тиристри мають багато параметрів (біля ста). Розглянемо основні з них.

1) Статичні параметри:

- струм вмикання $I_{вм}$;
- струм утримання $I_{ут}$ (мінімальний прямий струм увімкненого тиристора за розімкненого кола керування, при подальшому зниженні якого тиристор переходить у непровідний стан), становить $(0,01 \div 0,7)A$;
- порогова напруга U_0 , сягає до 1В.

2) Граничні параметри:

- максимально допустиме значення середнього струму через тиристор за певних умов охолодження $I_{ср}$, складає $(0,1 \div 2000)A$;
- максимально допустиме амплітудне значення зворотної напруги:
 $U_{зв} = (100 \div 24000)V$;
- струм робочого перевантаження, сягає $3I_{ср}$;
- ударний струм у відкритому стані, що не повторюється, сягає $20I_{ср}$;
- допустима середня потужність втрат у відкритому стані.

3) Динамічні параметри:

- час вмикання $\tau_{вм}$ (час переходу тиристора з непровідного стану у провідний), що становить $(1 \div 10)\mu s$;
- час вимикання $\tau_{вим}$ (мінімальний проміжок часу між проходженням через нуль прямого струму та повторним прикладанням напруги до тиристора, що не викликає самовільного вмикання приладу - час відновлення запірних властивостей), становить $(10 \div 500)\mu s$;

- допустима швидкість зростання відновлюваної напруги на тиристорі, що не призводить до його самовільного вмикання за рахунок ємнісного струму зміщення структури (що являє собою паразитний конденсатор) та внутрішнього додатного зворотного зв'язку $(du/dt)_{\text{крит}} = 20 \div 500 \text{В/мкс}$ (для гарантованого забезпечення неперевиконання її допустимого значення паралельно з тиристором зазвичай вмикають RC - коло);

- допустима швидкість зростання прямого струму, що не призводить до виходу тиристора з ладу за рахунок локального перегріву структури $(di/dt)_{\text{крит}} = 10 \div 70 \text{А/мкс}$ (для гарантованого забезпечення неперевиконання її допустимого значення послідовно з тиристором вмикають невелику індуктивність - дросель).

4) Параметри кола керування - це значення постійного та імпульсного струмів кола керування при напрузі джерела у ньому 12В , та відповідні їм падіння напруги у колі керування (для потужних тиристорів $I_{\text{кер}} = (0,3 \div 0,7) \text{А}$).

Слід зазначити, що тривалість імпульсу керування повинна бути більшою за час вмикання тиристора - зазвичай складає $(15 \div 20) \text{мкс}$ для активного навантаження.

У випадку, коли неможливо підібрати тиристор за номінальними параметрами використовують паралельне (за $I_p > I_{np}$) або послідовне (за $U_{зв.мах.р} > U_{зв.мах}$) їх підключення у схемі. Вибір необхідної кількості підключених тиристорів визначається відповідно за формулами (1.1).

Умовні позначення напівпровідникових тиристорів

Тиристорам присвоюється позначення з чотирьох елементів:

- перший елемент – буква або цифра, що вказує вихідний матеріал (1, або Г – германій; 2, або К – кремній).
- другий елемент – буква, що вказує підклас приладу:
 - Н - діодні тиристиори;
 - У - тріодні тиристиори.
- третій елемент – число, перша цифра якого позначає класифікаційний номер, а наступні дві (від 1 до 99) – порядковий номер розробки.

Для першої цифри третього елемента прийняті такі класифікаційні позначення:

Діодні тиристиори (Н):

- малої потужності (прямий струм до $0,3 \text{А}$) 1
- середньої потужності (прямий струм від $0,3 \text{А}$ до 10А) 2

Тріодні тиристиори (У):

- не запірні малої потужності (прямий струм до $0,3 \text{А}$) 1
- не запірні середньої потужності (прямий струм від $0,3 \text{А}$ до 10А) 2
- запірні малої потужності (прямий струм до $0,3 \text{А}$) 3
- запірні середньої потужності (прямий струм від $0,3 \text{А}$ до 10А) 4
- не запірні симістори малої потужності (прямий струм до $0,3 \text{А}$) 5
- не запірні симістори середньої потужності (прямий струм від $0,3 \text{А}$ до 10А) 6

- четвертий елемент – буква, що вказує різновид приладу даного типу.

Практичне завдання

Здійснити аналітичний розрахунок параметрів і вибір одно- операційного тиристора. Прийняти для розрахунку температуру робочого середовища $T_c = 25^\circ \text{C}$.

Вихідними даними для розрахунку є (табл.3.1):

- 1) $U_m, \text{В}$ - діюче значення напруги мережі живлення;
- 2) $f_m, \text{Гц}$ - частота мережі живлення;
- 3) $R_n, \text{Ом}$ - опір навантаження;
- 4) α , в градусах електричних - кут керування тиристорів;
- 5) $U_{жс}, \text{В}$ - напруга джерела живлення системи керування тиристорами.

Таблиця 3.1- Вихідні дані для розрахунку задачі 1

Цифри номера залікової книжки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	одиниці										
$R_H, \text{ Ом}$		6,3	10	18	30	3,1	5,1	9,1	15	4,7	8,2
$U_{ж}, \text{ В}$		9	12	15	17	9	10	12	17	9	12
	$U_M, \text{ В}$	127	220	380	660	127	220	380	660	220	380
	$\alpha, \text{ ел. гр.}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

Примітка. Вибір варіанту задачі 1 здійснюється за двома останніми цифрами залікової книжки студента.

Приклад вибору варіанта для номера залікової книжки 132:

з колонки 3 маємо - $R_H = 30 \text{ Ом}$; $U_{ж} = 17 \text{ В}$;

з колонки 2 - $U_M = 380 \text{ В}$; $\alpha = 20 \text{ ел. град.}$,

Приклад. Дано: $R_H = 7,5 \text{ Ом}$; $U_{ж} = 12 \text{ В}$; $U_M = 380 \text{ В}$; $\alpha = 45^\circ$.

Розрахунок

Знайдемо необхідні значення параметрів тиристорів.

Амплітуда зворотної напруги на тиристорі:

$$U_{зв.т} = \sqrt{2} U_M K_3 = \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,25 = 669,75 \text{ В}, \quad (3.1)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує можливі перенапруги (зазвичай приймають $K_3 = 1,25$).

Знайдемо значення середнього та амплітудного струмів, що проходять через тиристор. Для будь-якої величини кута керування величину середнього струму можна знайти за формулою (3.2). При цьому максимальне значення струму, на яке повинен бути розрахований тиристор I_{a0} , відповідає куту керування $\alpha = 0$. Тоді:

$$I_{a0} = \frac{\sqrt{2} U_M}{\pi R_H} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{7,5 \cdot \pi} = 22,75 \text{ А}. \quad (3.2)$$

Амплітудне значення:

$$I_{ам} = \frac{\sqrt{2} U_M}{R_H} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{7,5} = 71,44 \text{ А}. \quad (3.3)$$

Вибираємо тиристор, що відповідає вимогам:

$$U_{зв.д} > U_{зв.т}; \quad (3.4)$$

$$I_{с0} > I_{a0} \quad (3.5)$$

де $U_{зв.д}$ - допустима зворотна напруга на тиристорі, (амплітудне значення); $I_{с0}$ - середнє значення допустимого граничного струму тиристора з типовим охолоджувачем в умовах природного повітряного охолодження.

За табл. Д12, вибираємо тиристор Т10-80, що має наступні параметри:

- $U_{зв} = 700 \text{ В} > 669,75 \text{ В}$;

- $I_{с0} = 25 \text{ А} > 22,75 \text{ А}$.

Інші параметри вибраного тиристора:

- вмикаючий струм керування $I_K = 0,15 \text{ А}$;

- вмикаюча напруга керування $U_K = 4 \text{ В}$;

- порогова напруга $U_0 = 1,02 \text{ В}$;

- динамічний опір у відкритому стані $R_D = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$;

- встановлений тепловий опір $R_T = 3,4^\circ \text{ С/Вт}$;

- максимально-допустима температура нагріву кристалу вентиля $T_{max \text{ доп}} = 140^\circ \text{ С}$.

Знаходимо середнє значення струму через тиристор при заданому значенні кута керування:

$$I_a = \frac{\sqrt{2} U_M}{2\pi R_H} (1 + \cos 45^\circ) = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{2\pi \cdot 7,5} (1 + \cos 45^\circ) = 19,42 \text{ А}.$$

Знаходимо втрати потужності на тиристорі при заданому куті керування.

$$\Delta P = U_0 I_a + R_D I_T^2 \quad (3.6)$$

Отже, для $\alpha = 45^\circ$ отримаємо:

$$\Delta P = 1,02 \cdot 19,42 + 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 34,12^2 = 21,78 \text{ Вт.} \quad (3.7)$$

При цьому втратами потужності в колах керування нехтуємо.

Знаходимо перегрів тиристора при заданому $\alpha = 45^\circ$:

$$\Delta T = R_T \Delta P = 3,4 \cdot 21,78 = 74,05 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (3.8)$$

Тоді найбільша температура напівпровідникової структури тиристора складе:

$$T_{max} = T_c + \Delta T = 25 + 74,05 = 99,05 \text{ }^\circ\text{C} < T_{max\ доп} = 140^\circ\text{C}, \quad (3.9)$$

Знаходимо величину опору додаткового резистора у колі керування тиристора:

$$R_{дк} = \frac{U_{ж} - U_{к}}{I_{к}} = \frac{12 - 4}{0,15} = 53,53 \text{ Ом.} \quad (3.10)$$

За табл. Д1 вибираємо найближче стандартне значення - 56 Ом.

Потужність, що розсіюється на цьому резисторі:

$$P_{дк} = R_{дк} I_{к}^2 = 56 \cdot 0,15^2 = 1,2 \text{ Вт.}$$

За табл. Д3 вибираємо резистор типу С2-33 потужністю 2Вт.