

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Тема. Розрахунок параметрів тиристорів та їх вибір

Мета роботи: вивчення методики 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) - динистори та триелектродні (або тріодні) - триністори.

ВАХ диністора наведена на рис. 4.1, на якій позначено:

$U_{вм}$ - напруга вмикання диністора;

$I_{вм}$ - струм вмикання;

$I_{ут}$ - струм утримання;

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

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

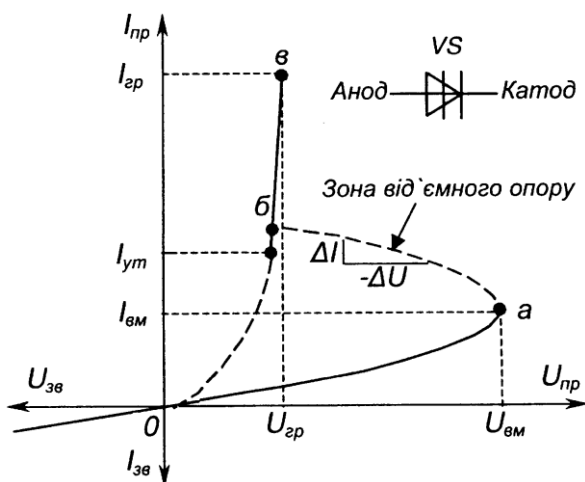


Рис. 4.1 - ВАХ диністора та його умовне позначення

Ділянка Oa ВАХ відповідає закритому стану диністора. Ділянка $аб$ - лавинopodobному перемиканню 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 $I_{np\ max}$, що становить $(0,1 \div 2)A$;
- струм утримання I_{ym} - 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. 4.2.

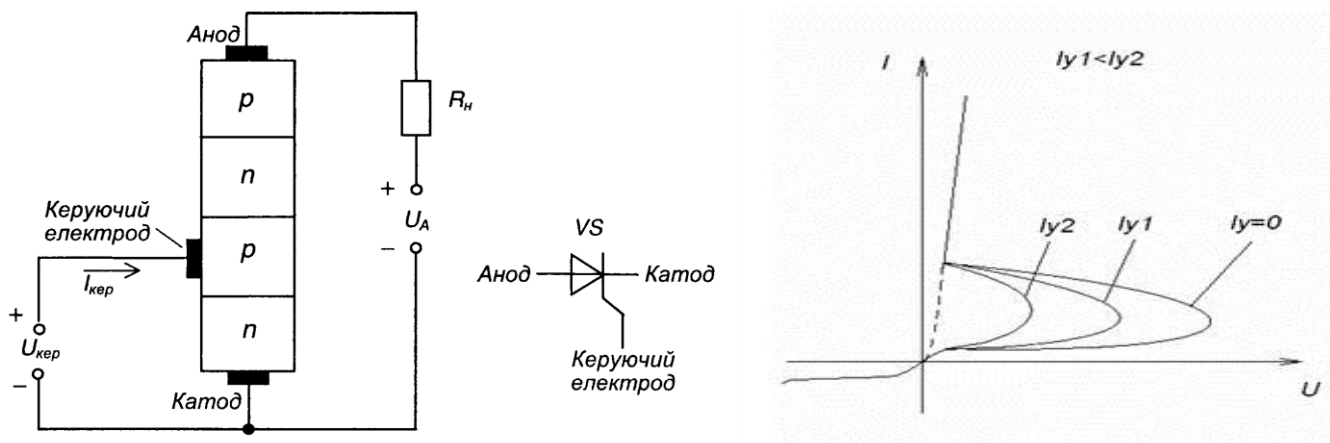


Рис. 4.2 – Структура, умовне позначення та ВАХ тиристора

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. 4.2.

Тиристори мають багато параметрів (біля 100). Розглянемо основні з них.

1) Статичні параметри:

- струм вмикання $I_{вм}$;
- струм утримання I_{ym} (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 $1V$.

2) Граничні параметри:

- максимально допустиме значення середнього струму через тиристор за певних умов охолодження I_{cp} , складає $(0,1 \div 2000)A$;
- максимально допустиме амплітудне значення зворотної напруги:
 $U_{зв} = (100 \div 24000)V$;

- струм робочого перевантаження, сягає $3I_{cp}$;
- ударний струм у відкритому стані, що не повторюється, сягає $20I_{cp}$;
- допустима середня потужність втрат у відкритому стані.

3) Динамічні параметри:

- час вмикання $\tau_{вм}$ (час переходу тиристора з непровідного стану у провідний), що становить $(1 \div 10)$ мкс;
- 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 $(10 \div 500)$ мкс;
- 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 $(du/dt)_{крит} = 20 \div 500$ В/мкс (для гарантованого забезпечення непере-вищення 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 $(di/dt)_{крит} = 10 \div 70$ А/мкс (для гарантованого забезпечення неперевищення 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 $I_{кер} = (0,3 \div 0,7)$ А).

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

У випадку, коли неможливо підібрати тиристор за номінальними параметрами використовують паралельне (за $I_p > I_{np}$) або послідовне (за $U_{зв.мах.p} > U_{зв.мах}$) 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 тиристори;
У - тріодні тиристори.
- 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 тиристори (Н):

- малої потужності (прямий струм до 0,3А) 1
- середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А) 2

Тріодні тиристори (У):

- не запірні малої потужності (прямий струм до 0,3А) 1
 - не запірні середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А) 2
 - запірні малої потужності (прямий струм до 0,3А) 3
 - запірні середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А) 4
 - не запірні симістори малої потужності (прямий струм до 0,3А) 5
 - не запірні симістори середньої потужності (прямий струм від 0,3А 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. 4.1):

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

Таблиця 4.1- Вихідні дані для розрахунку задачі 1

Цифри номера залікової книжки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	одиниці										
	$R_n, \text{Ом}$	10	16	20	24	30	36	47	51	56	62
$U_{жс}, B$		6	9	12	24	6	9	12	24	6	9
U_m, B		220									
	$\alpha, \text{ел. гр.}$	10	15	20	25	30	35	40	50	55	60

Примітка. Вибір варіанту задачі 4.1 здійснюється за двома останніми цифрами залікової книжки студента.

Приклад вибору варіанта для номера залікової книжки 132:

з колонки 3 маємо - $U_{жс} = 24\text{В}$; $U_m = 220\text{В}$;

з колонки 2 - $R_n = 20\text{Ом}$; $\alpha = 20$ 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:

$$U_{зв.м} = \sqrt{2} U_M K_3 = \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,25 = 669,75 \text{ В}, \quad (4.1)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує можливі перенапруги (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:

$$I_{a0} = \frac{\sqrt{2} U_M}{\pi R_H} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{7,5 \cdot \pi} = 22,75 \text{ А}. \quad (4.2)$$

Амплітудне значення:

$$I_{am} = \frac{\sqrt{2} U_M}{R_H} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{7,5} = 71,44 \text{ А}. \quad (4.3)$$

Вибираємо тиристор, що відповідає вимогам:

$$U_{зв.д} > U_{зв.м}; \quad (4.4)$$

$$I_{c0} > I_{a0} \quad (4.5)$$

де $U_{зв.д}$ - допустима зворотна напруга на тиристорі, (амплітудне значення); I_{c0} - 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:

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

- $I_{c0} = 25 \text{ А} > 22,75 \text{ А}$.

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

$T_{max доп} = 140^\circ \text{ С}$.

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.

$$\Delta P = U_o I_a + R_D I_T^2 \quad (4.6)$$

де $I_T = 1,5 \cdot I_{a0} = 1,5 \cdot 22,75 = 34,12 \text{ А}$

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

$$\Delta P = 1,02 \cdot 19,42 + 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 34,12^2 = 21,78 \text{ Вт.} \quad (4.7)$$

При цьому втратами потужності в колах керування нехтуємо.

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

$$\Delta T = R_T \Delta P = 3,4 \cdot 21,78 = 74,05 \text{ }^\circ\text{С.} \quad (4.8)$$

Тоді найбільша температура напівпровідникової структури тиристора складе ($T_c = 25^\circ\text{С}$ – температура середовища, в якому працює тиристор):

$$T_{max} = T_c + \Delta T = 25 + 74,05 = 99,05 \text{ }^\circ\text{С} < T_{max\ доп} = 140^\circ\text{С,} \quad (4.9)$$

Умови перевірки для вибраного тиристора виконуються, отже приймаємо остаточно у схемі тиристор Т10-80-8, технічні параметри якого наведені вище:

Знаходимо величину опору додаткового резистора у колі керування тиристора:

$$R_{ДК} = \frac{U_{Ж} - U_{К}}{I_{К}} = \frac{12 - 4}{0,15} = 53,33 \text{ Ом.} \quad (4.10)$$

За табл. Д1 вибираємо найближче стандартне значення - 56 Ом з ряду Е24 (можна застосовувати точніші значення з ряду Е48).

Потужність, що розсіюється на цьому резисторі:

$$P_{ДК} = R_{ДК} I_{К}^2 = 56 \cdot 0,15^2 = 1,2 \text{ Вт.} \quad (4.1)$$

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

Розрахункова схема однопівперіодного керованого випрямляча на тиристорі наведена на рис. 4.3.

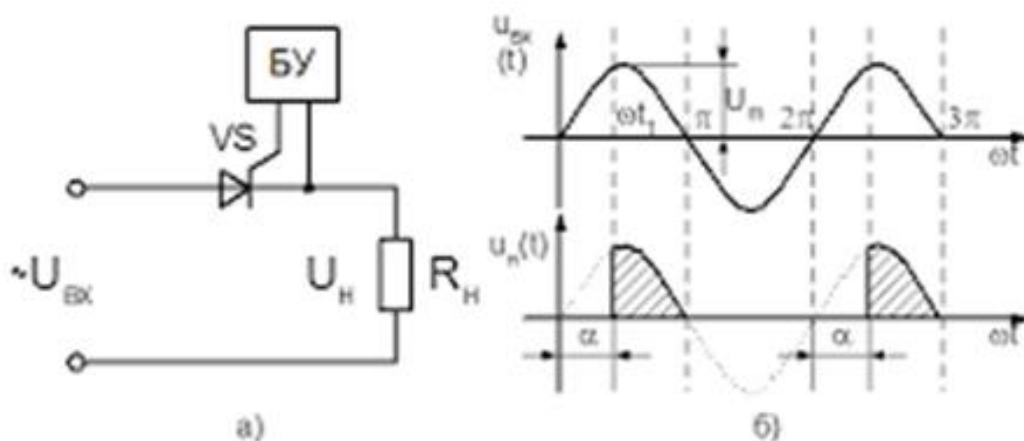


Рис. 4.3 - Схема однопівперіодного керованого випрямляча на тиристорі а) і часові діаграми, що пояснюють принцип його роботи б).

ДОДАТКИ

Таблиця Д1 - Ряди номінальних значень

Індекс ряду	Позиції ряду	Допустиме відхилення від номінальної величини, %
Е6	1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8	±20
Е12	1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2	± 10
Е24	1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1	± 5
Е48	1,0; 1,05; 1,1; 1,15; 1,21; 1,27; 1,33; 1,4; 1,47; 1,54; 1,62; 1,69; 1,78; 1,87; 1,96; 2,05; 2,15; 2,26; 2,37; 2,49; 2,61; 2,74; 2,87; 3,01; 3,16; 3,32; 3,48; 3,65; 3,83; 4,02; 4,22; 4,42; 4,64; 4,87; 5,11; 5,36; 5,62; 5,9; 6,19; 6,49; 6,81; 7,15; 7,5; 7,87; 8,25; 8,66; 9,09; 9,53	± 2

Таблиця Д3 - Постійні резистори

Тип резистора	Діапазон опорів	Номінальна потужність, Вт
МЛТ	1 Ом ÷ 3,01 МОм	0,025; 0,05; 0,125
	1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,25; 0,5
	1 Ом ÷ 10 МОм	1; 2
С2-33	1 Ом ÷ 3 МОм	0,125
	1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,25
	0,1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,5
	1 Ом ÷ 10 МОм	1
	1 Ом ÷ 22 МОм	2
ПЕВ-2; 5	45 Ом ÷ 430 кОм	2; 5
ПЕВ-8	5 Ом ÷ 33 кОм	8
ПЕВ-10; 16; 25	5 Ом ÷ 10 кОм	10; 16; 25

Таблиця Д12 – Основні параметри тиристорів типу Т10

Параметр	Позначення	Тиристор						Умови режиму
		T10-10	T10-16	T10-25	T10-40	T10-63	T10-80	
Зворотна напруга, В (для всіх тиристорів)	$U_{зв.д}$	50; 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200						-
Граничний струм (середнє значення), А	I_z	10	16	25	40	63	80	Штучне охолодження температура корпусу 85°C
Граничний струм з типовим охолоджувачем (середнє значення), А	I_{z0}	8	10	12	14	20	25	Охолодження природне повітряне; температура оточуючого середовища 25°C
Ударний струм, А	$I_{yд}$	240	240	600	960	1300	1500	Тривалість імпульсу струму 10 мс
Порогова напруга, В	U_0	1,64	1,44	1,26	1,16	1,094	1,02	-
Динамічний опір у відкритому стані, МОм	R_d	10	7	6,4	4,4	1,8	1,7	-
Відмикаючий струм керування, не більше, А	I_k	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	За прямої напруги на тиристорі
Відмикаюча напруга керування, не більше, В	U_k	3	3	3	4	4	4	-
Загальний встановлений тепловий опір, °С/Вт	R_T	5,9	5,3	4,9	3,69	3,5	3,4	З типовим охолоджувачем за природного повітряного охолодження