

Лекція 3. ПЕРЕМІКАЮЧІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ

3.1. Динистори

3.2. Тринистор

3.3. Спеціальні типи тиристорів

3.4. Електростатичні тиристори

3.5. Запірний тиристор з МОН-керуванням

Тиристор (від грецького *thyra* - двері + резистор) – це напівпровідниковий прилад, що має багат шарову структуру і ВАХ якого має ділянку з негативним опором.

Тиристор використовують як перемикач струму.

Умовне позначення тиристора – VS.

Тиристори бувають двоелектродні (або діодні) – динистори та триелектродні (або тріодні) – триністори.

3.1. Динистори

Динистор має чотиришарову структуру, як зображено на рис. 3.1. У нього є три *p-n* переходи, причому, за зазначеної полярності джерела напруги U_A , два крайні з них (Π_1 і Π_3) зміщені у прямому напрямку, а середній (Π_2) – у зворотному (рис. 3.1, а).

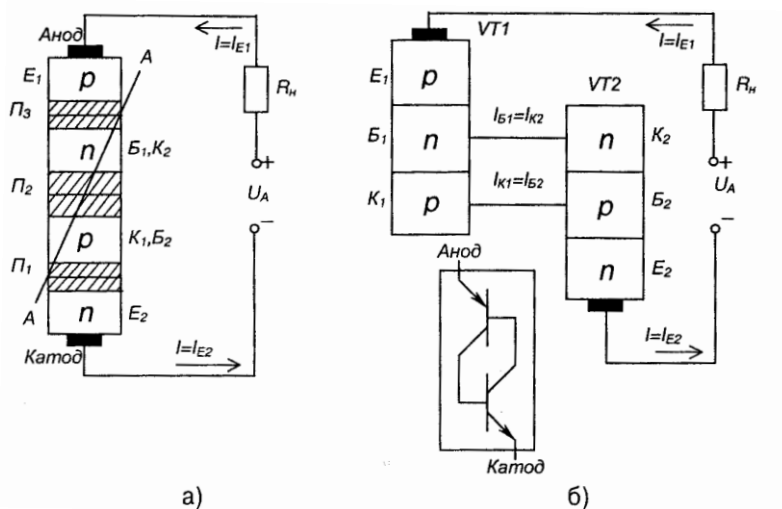


Рис. 3.1 - Структура динистора (а) та його модель у вигляді двох транзисторів (б)

Таку структуру можна представити у вигляді еквівалентної схеми (моделі), що складається з двох транзисторів $VT1$ та $VT2$ *p-n-p* та *n-p-n* типу відповідно (рис. 3.1, б). Цю модель можна отримати, якщо подумки розітнути прилад уздовж площини *A-A*, а потім обидві частини електрично з'єднати. При цьому виходить, що переходи Π_1 і Π_3 є емітерними переходами цих транзисторів, а перехід Π_2 для обох транзисторів є колекторним.

Зона бази B_1 , транзистора $VT1$ одночасно є колекторною зоною транзистора $VT2$, а зона бази B_2 транзистора $VT2$ – колекторною зоною транзистора $VT1$. Відповідно колекторний струм першого транзистора є базовим для другого $I_{K1}=I_{B2}$, а колекторний струм другого транзистора – базовим для першого $I_{K2}=I_{B1}$. Таке вмикання забезпечує внутрішній позитивний зворотний зв'язок: якщо

увімкнеться хоча б один транзистор, то надалі вони будуть підтримувати один одного в увімкненому стані.

Струм динистора – це емітерний струм першого транзистора I_{E1} або другого I_{E2} . У той же час він складається з двох колекторних струмів $I_{K1} = \alpha_1 \cdot I_{E1}$ та $I_{K2} = \alpha_2 \cdot I_{E2}$, де α_1 і α_2 – коефіцієнти передачі емітерного струму транзисторів $VT1$, $VT2$. Крім того, до складу струму динистора I входить початковий некерований (тепловий) струм колекторного переходу I_{K0} .

Таким чином, можна записати:

$$I = \frac{I_{K0}}{1 - (\alpha_1 \alpha_2)} . \quad (3.1)$$

ВАХ динистора наведена на рис. 3.2, на якій позначено:

$U_{вм}$ – напруга вмикання динистора;

$I_{вм}$ – струм вмикання;

$I_{ут}$ – струм утримання;

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

$U_{гр}$ – падіння напруги на динисторі, що відповідає $I_{гр}$.

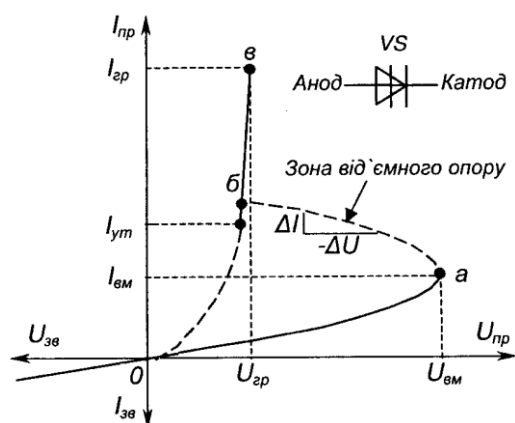


Рис. 3.2 - ВАХ динистора та його умовне позначення

Ділянка oa ВАХ відповідає закритому стану динистора. Ділянка ab – лавиноподібному перемицанню 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 динистора (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 динистора:

- напруга вмикання динистора $U_{вм}$, (становить 20÷4000 В);
- максимальне середнє значення прямого струму за заданих умов охолодження $I_{пр\ max}$, (становить 0,1÷2 А);
- струм утримання $I_{ут}$ – мінімальний прямий струм увімкненого динистора, за подальшого зниження якого динистор переходить у непровідний стан, (становить 0,01÷0,1 А);
- максимальне допустиме амплітудне значення зворотної напруги $U_{зв\ max}$, сягає до 1000В;

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

3.2. Тринистор (керований діод)

Динистри не знайшли широкого розповсюдження (використовувались для фіксування досягнення напругою певного значення). Але тріодний тиристор (тринистор), який є керованим перемикаючим приладом і частіше називається просто тиристором, став основою енергетичної електроніки 80-х років минулого століття.

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

Структура та умовне позначення тринистора (надалі – тиристор) наведені на рис. 3.3.

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. 3.4.

Схема вмикання тиристора зображена на рис. 3.5. Якщо подати на керуюче коло імпульс прямої напруги, тиристор вмикається і залишається увімкненим після зняття сигналу керування.

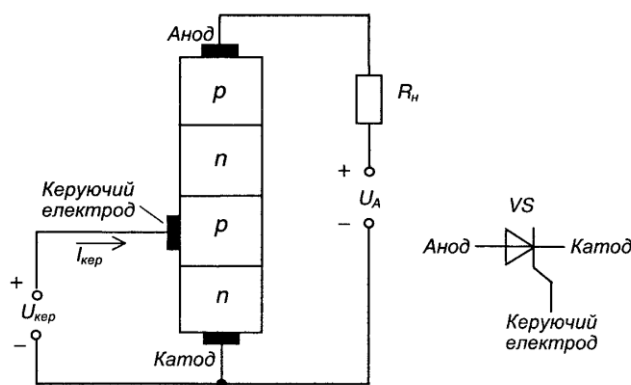


Рис. 3.3 - Структура та умовне позначення тиристора

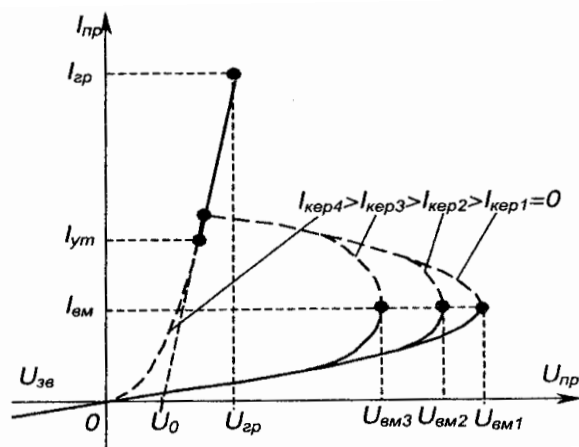


Рис. 3.4 - ВАХ тиристора

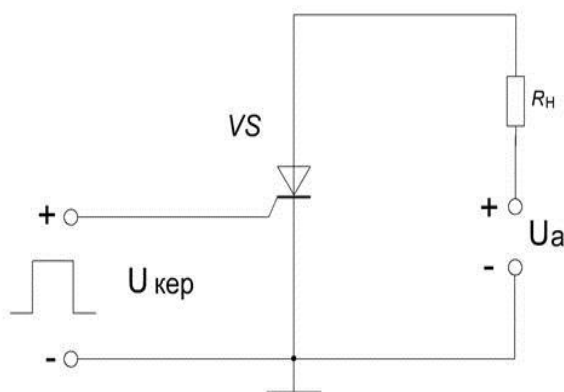


Рис. 3.5 - Найпростіша схема вмикання тиристора

Вимкнути тиристор можна лише зниженням струму у його анодному колі нижче струму утримання $I_{ут}$. У колах постійного струму вимкання тиристора здійснюється шляхом вмикання паралельно тиристорі попередньо зарядженого конденсатора з напругою, полярність якої зворотна щодо увімкненого стану тиристора (примусова комутація).

У колах змінного струму вимкання тиристора здійснюється природно в момент проходження струму через нуль (невимушена комутація) – тому найширшого використання тиристори набули саме у колах змінного струму як напівкеровані електронні перемикачі.

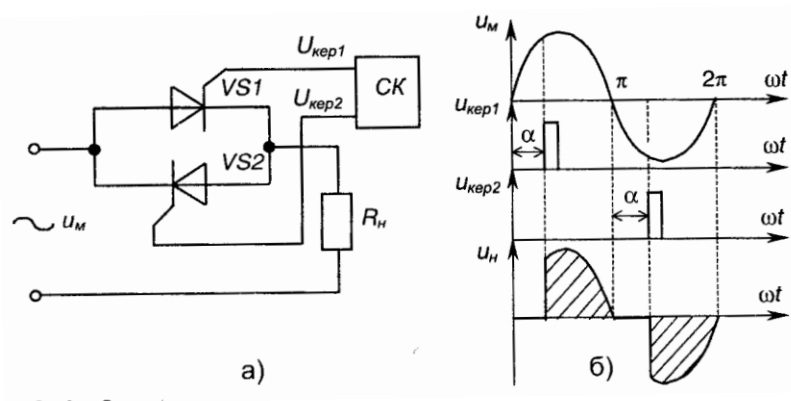


Рис. 3.6 - Однофазний регулятор: а) електрична схема; б) часові діаграми роботи

На рис. 3.6 наведено схему найпростішого однофазного регулятора та часові діаграми його роботи. Змінюючи затримку подачі сигналу керування відносно переходу напруги мережі U_m через нуль – кут керування α – від 0 до π , можна регулювати напругу на навантаженні U_n від нуля до максимуму.

Тиристори мають багато параметрів (біля ста). Наведемо 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 $0,01 \div 0,7$)А;

- порогова напруга U_0 , досягає до 1В.

2) Граничні параметри:

- максимально допустиме значення середнього струму через тиристор за певних умов охолодження I_{cp} , складає $(0,1 \div 2000)$ А;

- максимально допустиме амплітудне значення зворотної напруги $U_{зв} = (100 \div 24000)$ В;

- струм робочого перевантаження, сягає $3I_{cp}$;

- ударний миттєвий струм у відкритому стані, 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 (при паразитній ємності) та внутрішнього додатного зворотного зв'язку $(du/dt)_{крит.} = 20 \div 500$ В/мкс (для гарантованого забезпечення не перевищення 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 не перевищення 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, що зазвичай складає $(15 \div 20)$ мкс для активного навантаження.

3.3. Спеціальні типи тиристорів

Симистор або симетричний тиристор – прилад, який є керованим як за позитивної, так і за негативної напруги на ньому. ВАХ симистора та його умовне позначення наведено на рис. 3.7.

Прилад являє собою п'ятишарову структуру. Його параметри подібні до параметрів тринистора.

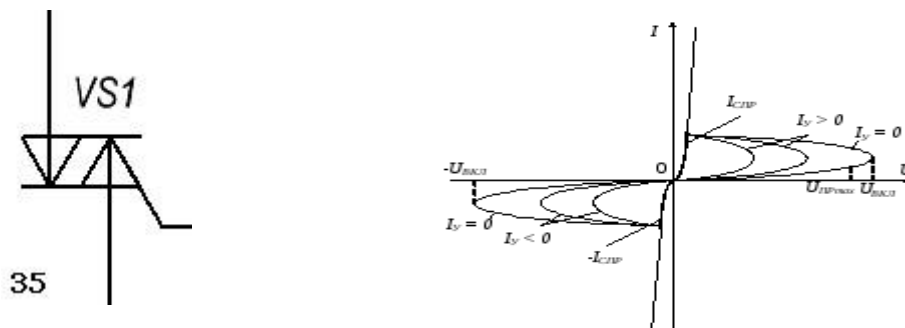


Рис. 3.7- Умовне графічне позначення та ВАХ симистора .

Фототиристор – НП прилад, в якому збільшення кількості носіїв заряду, які необхідні для його відкриття, здійснюється не за рахунок струму управління, а за рахунок освітлення приладу світловим потоком. Параметри його силового кола приблизно такі ж, як і у тринистора. Умовне позначення фототиристора наведено на рис.3.8, а.

Двоопераційний тиристор – прилад, що не тільки вмикається, але й вимикається керуючим сигналом: вмикається як звичайний тиристор, а вимикається подачею в коло керування імпульсу від'ємної напруги, чим забезпечується переривання струму в структурі за рахунок відведення об'ємного заряду з бази. Умовне позначення двоопераційного тиристора наведено на рис. 3.8, б.

Оптронний тиристор – це поєднання світлодіода та фототиристора в одному корпусі. Якщо через світлодіод пропускати струм (під дією $U_{кер}$), він генеруватиме світловий потік, який, падаючи на структуру тиристора в зоні керуючого $p-n$ переходу, призведе до генерації в НП вільних носіїв заряду. Ці носії під дією прикладеної до тиристора напруги створюють струм керування і тиристор вмикається. Головна перевага оптронних тиристорів (як і фототиристорів) – це відсутність гальванічного зв'язку між колом керування та силовим колом. Умовне позначення оптронного тиристора наведено на рис. 3.8, в.

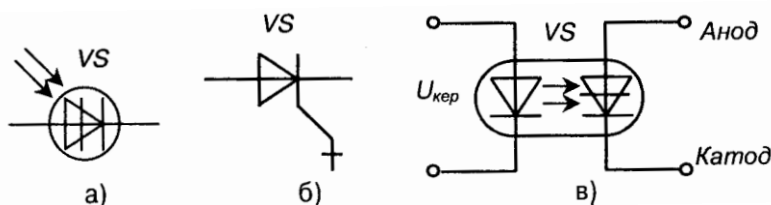


Рис. 3.8 - Умовні позначення фототиристора (а), двоопераційного (б) та оптронного (в) тиристорів

Наявність у тиристорів внутрішнього додатного зворотного зв'язку (зона від'ємного опору на ВАХ) надає їм декілька важливих властивостей. Основна з них: для вмикання тиристора достатньо в його коло керування подати короткий імпульс струму невеликої потужності. Далі відкритий стан підтримується за рахунок внут-рішнього додатного зворотного зв'язку.

Порівняно з транзисторами, тиристори стійкіші до перевантажень, але мають досить вузький діапазон робочих частот (до сотень герц).

3.4. Електростатичні тиристори

Окрім розглянутих вище, останнім часом в енергетичній електроніці використовують і деякі новітні види тиристорів, що з'явилися завдяки досягненням напівпровідникової технології. Це, наприклад, електростатичні тиристори (або *SITH* – тиристори – *Static Induction Thyristor*). Еквівалентну схему і позначення такого тиристора наведено на рис. 3.9.

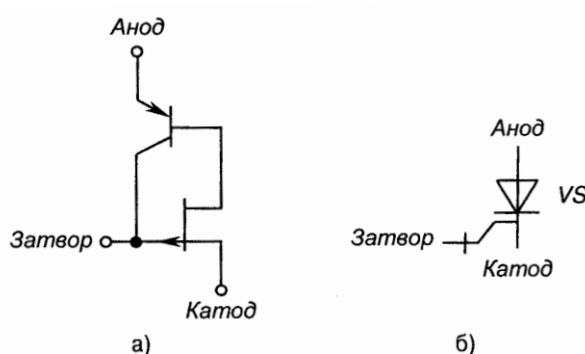


Рис. 3.9 - Еквівалентна схема (а) і позначення (б) електростатичного тиристора

У нормальному стані він проводить струм. Вимикання здійснюється подачею на керуючий електрод позитивної відносно катода напруги.

Технологія їх виготовлення настільки складна, що опанована у світі лише декількома фірмами. Відповідно їх вартість досить висока.

3.5. Запiрний тиристор з МОН-керуванням

Найбiльш перспективним iз тиристорiв є тиристор, керований напругою – запiрний тиристор з МОН-керуванням (*MCT-MOS – Controlled Thyristor*). Його еквiвалентну схему i позначення наведено на рис. 3.10. Він мiстить МОН-структури з *n*-каналом (*VT4*) та *p*-каналом (*VT1*) i тиристорну чотиришарову структуру *p-n-p-n* (*VT2, VT3*). Вмикають його по затвору *n*-канального МОН-транзистора *VT1*. Вимикання здiйснюється по затвору *p*-канального МОН-транзистора *VT4*, що на короткий час шунтує катодний перехiд тиристорної структури: емiтерний перехiд транзистора *VT2*. Це забезпечує малу потужнiсть кола керування приладу i його сумiснiсть iз цифровими пристроями керування.

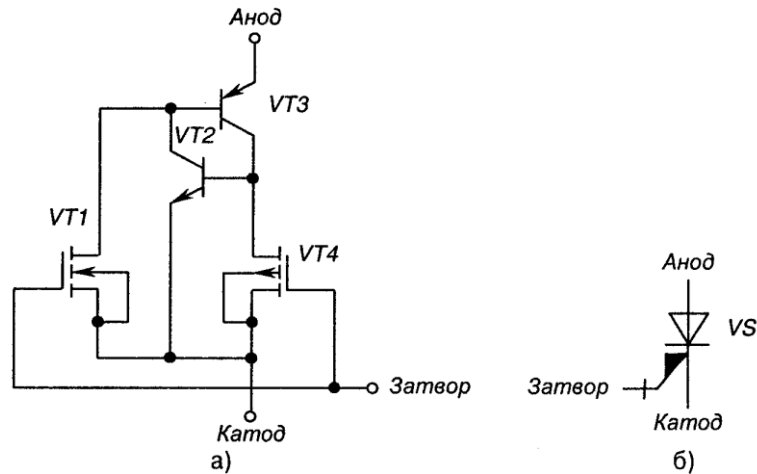


Рис. 3.10 - Еквiвалентна схема (а) i позначення (б) запiрного тиристора з МОН-керуванням