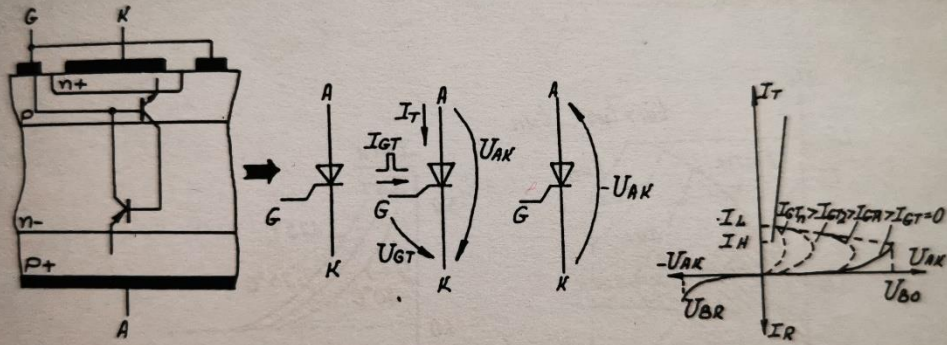


1.3. СИЛОВИ ТИРИСТОРИ

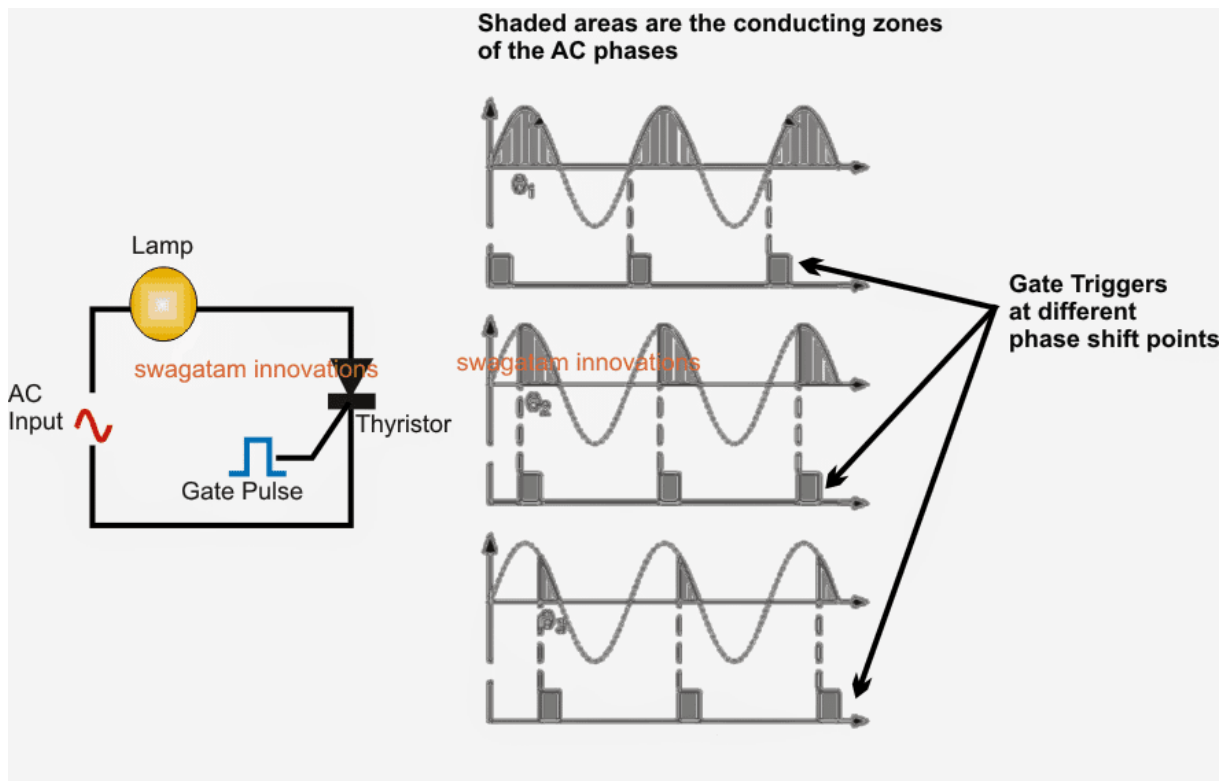
1.3.1. Еднооперационни тиристори

Структурата, начинът на работа и ВАХ на тиристора са представени на фиг. 1.11.



Фиг. 1.11

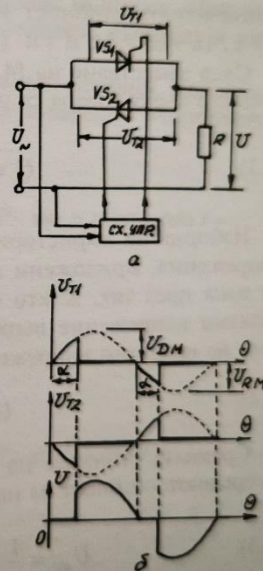
Четирислойната структура с три $p-n$ прехода често се представя като свързване на два биполярни транзистора, което улеснява анализа на действието на прибора. При липса на управляващо напрежение на гей-



4.2. ТИРИСТОРЕН ЕДНОФАЗЕН ПРОМЕНЛИВОТОКОВ РЕГУЛАТОР (ТЕПТР) С ФАЗОВ МЕТОД НА РЕГУЛИРАНЕ ПРИ АКТИВЕН ТОВАР

4.2.1. Принцип на действие

На фиг. 4.2а е дадена основната схема на тиристорен еднофазен променливотоков регулатор (ТЕПТР), реализирана по така нареченото анти-паралелно свързване на тиристорите, а на фиг. 4.2б – времедиаграмите на напреженията. В положителния полупериод, до появата на управляващ сигнал на тиристора VS_1 , мрежовото напрежение е приложено върху него и изходното напрежение е нула. За тиристора VS_2 в същия интервал същото напрежение е обратно и той е запушен. При фаза на входното напрежение, отговаряща на ъгъл α , във веригата на управляващия електрод (УЕ) се подава управляващ импулс, той се отпушва и напрежението, приложено върху него спада до стойността на падението в права посока в отпушено състояние (U_{TM}). При идеализиране на характеристиката това напрежение може да се приеме равно на нула, поради което изходното напрежение става равно на входното. През VS_1 преминава ток със стойност определена от вход-



Фиг. 4.2

ното напрежение и товара. Когато моментната стойност на входното напрежение клони към нула, токът през тиристора също ще намалява (при активен товар токът и напрежението съвпадат по фаза) и в определен момент, когато токът стане по-малък от тока на задържане на тиристора във включено състояние, той се изключва. През отрицателния полупериод до момента на включване на VS2 върху VS1 ще бъде приложено обратно напрежение, равно на входното, а след това – до края на полупериода – обратно напрежение, равно на правото падение в отпушения тиристор VS2. Аналогични са процесите и през отрицателния полупериод, когато се включва и работи тиристорът VS2.

От гледна точка на мощността, отдавана в товара, най-голям интерес представляват ефективните стойности на напрежението и тока в него. Ефективната стойност на напрежението в товара се намира от израза

$$(4.1) \quad U = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\omega t) d\omega t},$$

в който

$$(4.2) \quad u(\omega t) = \sqrt{2}U_- \sin \omega t$$

е моментната стойност на напрежението върху товара в интервалите $\alpha \div \pi$, $(\pi + \alpha) \div 2\pi$ и т.н. ($\omega t = \theta$ е текущия ъгъл).

След заместване на (4.2) в (4.1) за ефективната стойност на напрежението върху товара се намира

$$(4.3) \quad U = U_- \sqrt{\frac{1}{2\pi} [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha]}.$$

Изборът на тиристорите по напрежение става чрез максималните напрежения, приложени върху тях, а по ток – чрез средната стойност на тока през тях. Както се вижда от фиг. 4.2, максималното право и обратно напрежение върху тиристора е равно на максималната стойност на входното напрежение:

$$(4.4) \quad U_{DRM} = U_{RRM} = \sqrt{2}U_-.$$

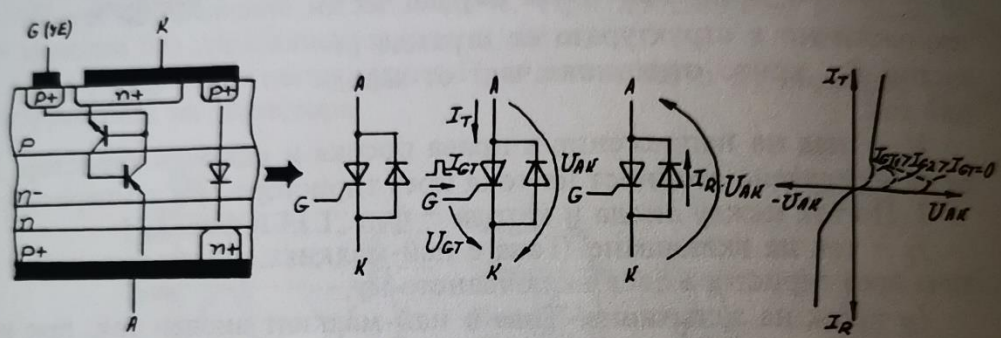
Средната стойност на тока през тях може да се намери въз основа на средната стойност на напрежението върху товара за един полупериод:

$$(4.5) \quad U_{av} = \frac{1}{\pi} \int u(\omega t) d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_- (1 + \cos \alpha).$$

U_{GT} и I_{GT} – постоянни напрежение и ток, които осигуряват включване на всички тиристори от даден тип. Дават се за определена температура; P_{GTM} – максимално допустима мощност.

5. Параметри, характеризиращи процеса на превключване – най-важно е времето t_q (виж фиг. 1.13). След изтичането му към тиристора може да се приложи напрежение в права посока с определена скорост, без опасност той да остане включен.

1.3.2. Тиристор – обратен диод (тиристор с обратна проводимост)

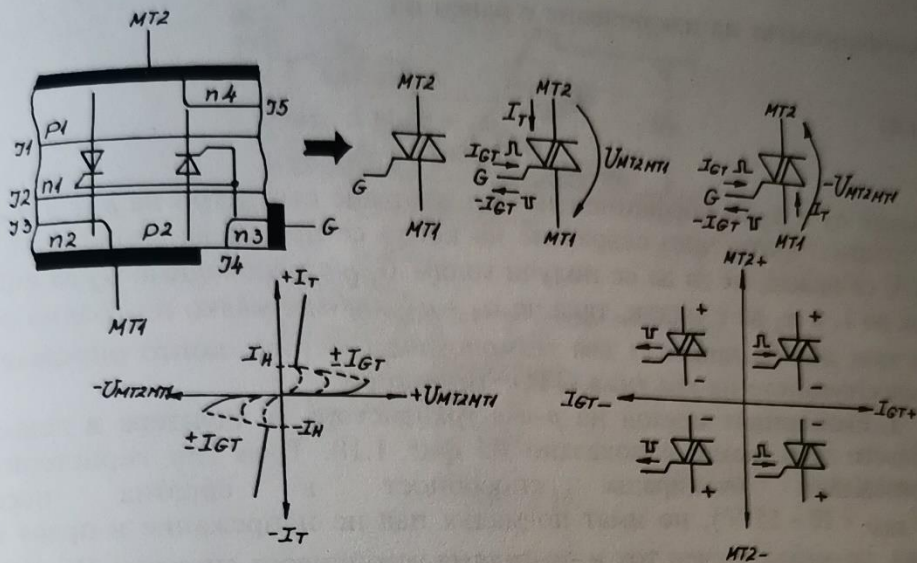


Фиг. 1.16

Както се вижда от фиг. 1.16, при прилагане на напрежение в права посока поведението на прибора е като на тиристор, а при прилагане на напрежение в обратна посока – като на диод.

1.3.3. Симетричен тиристор (триак, симистор)

Както се вижда от приложените фигури и волтамперна характеристика, поведението на прибора е като на тиристор, независимо от поляритета на напрежението между двата електрода MT1 и MT2. Включването може да стане с положителен или отрицателен токов импулс на гейта. Изключването обаче става при спадане на тока през триака под тока на задържане I_H . На фиг. 1.17 е илюстрирана работа в четирите квадранта: I квадрант – под действие на положителния токов импулс преходът J_3 е в права посока и се включва структурата $p_1-n_1-p_2-n_2$. II квадрант – под действие на отрицателния токов импулс преходът J_4 е в права посока. Електроните от n_3 попадат в p_2 , а от там през обратен поляризирания J_2 – в n_1 , като предизвикват приток на дупки от p_1 . Последните проникват в p_2 , предизвикват инжекция на електрони през J_3 и J_4 и се развива лавинообразен процес на включване на структурата $p_1-n_1-p_2-n_2$. III квадрант – инжектираните от n_3 през J_4 електрони попадат от p_2 в n_1 , като увеличават правото напрежение върху J_2 . Това



Фиг. 1.17

предизвиква инжекция на дупки от p_2 в n_1 , те попадат в p_1 , предизвикват инжекция на електрони от n_4 и лавинообразно се включва структурата $p_2-n_1-p_1-n_4$. IV квадрант – под действие на положителния токов импулс на гейта електрони се инжектират от n_2 през J_3 в p_2 и се развива лавинообразен процес както при работа в III квадрант, като се включва структурата $p_2-n_1-p_1-n_4$.

При работа във II квадрант триакът има най-голям ток на задържане, а при работа в IV квадрант изисква най-голям управляващ ток за включване.

1.3.4. Тиристор, изключван по управляващ електрод (GTO – gate turn off)

Характерна особеност на тези тиристори е възможността да бъдат включени посредством положителен и изключени чрез отрицателен токов импулс на гейта, поради което често се наричат двуоперационни. Основен параметър е т.нар. коефициент на изключване G_{GQ} :

$$(1.3) \quad G_{GQ} = \frac{I_{TQ}}{I_{GQ}},$$

където: I_{TQ} е стойността на тока през тиристора, който трябва да бъде изключен;

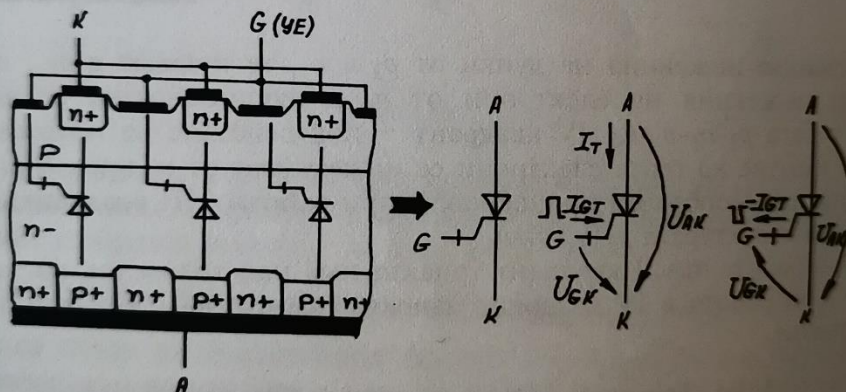
I_{GQ} е необходимият за това ток на гейта.

Коефициентът на изключване е равен на

$$(1.4) \quad G_{GQ} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 - 1},$$

където α_1 и α_2 са коефициентите на усилване съответно на $p-n-p$ и $n-p-n$ транзисторите, чрез свързване на които се представя тиристорът. От (1.4) се вижда, че за да се получи голям G_{GQ} е необходимо α_2 да е близък до 1, а α_1 да е малък, така че $\alpha_1 + \alpha_2$ да бъде малко по-голяма от 1. За тази цел се прилагат два технологични метода, които определят и съществуването на два типа GTO-тиристори:

1. Емитерният преход на $p-n-p$ транзистора се шунтира в локални области така, както е показано на фиг. 1.18. Този тип тиристори не притежават блокираща способност в обратна посока ($U_{RRM} < 10 - 15 \text{ V}$), но имат по-малък пад на напрежение в права посока, по-малък утечен ток и по-голяма устойчивост спрямо (dU_D/dt).



Фиг. 1.18

2. В n -областта се въвеждат допълнителни центрове на рекомбинация под формата на ценни метали (Au, Pt). Те притежават блокираща способност в обратна посока ($U_{RRM} \approx U_{DRM}$). Недостатъците им се свеждат до по-голям пад на напрежение в права посока и по-ниски допустими стойности на (dU_D/dt).

На фиг. 1.19 е показан процесът на изключване на GTO-тиристор, като са означени свързаните с него най-важни параметри:

I_{TGQ} – периодичен изключваем чрез гейта аноден ток;

I_{TQT} – начален аноден ток на заключителния етап на изключване;

