

## Тиристорлар

Тиристор – жабық күйден ашық күйге және керісінше қосыла алатын, үш немесе одан да көп ауысуы болатын, екі тұрақты күйі бар жартылай өткізгіш құрылғы.

Тиристордың жабық күйі – нөлдік нүктемен коммутация нүктесінің арасындағы ВАС-ның тікелей тармағына сәйкес келетін тиристордың күйі. Бұл күйде тиристорлар жоғары кедергіге ие және олар арқылы шағын ток жүреді.

Тиристордың ашық күйі – ВАС-ның тікелей тармағының төменгі вольтті және төменгі омды аймағына сәйкес тиристордың күйі. Ашық күйде тиристорлардың кедергісі аз болады, сондай-ақ одан жоғары ағымды токтар жүреді.

Тиристорлардың бірнеше түрлері бар, олардың арасында ең көп таралғандары келесілер:

Диодты тиристор (динистор) – жартылай өткізгіш құрылымның анодты және катодты аймақтарынан екі шығысы бар тиристор.

Триодты тиристор (тринистор) – жартылай өткізгіш құрылымның анодты және катодты аймақтарынан екі шығысы және бір басқарушы шығысы бар тиристор.

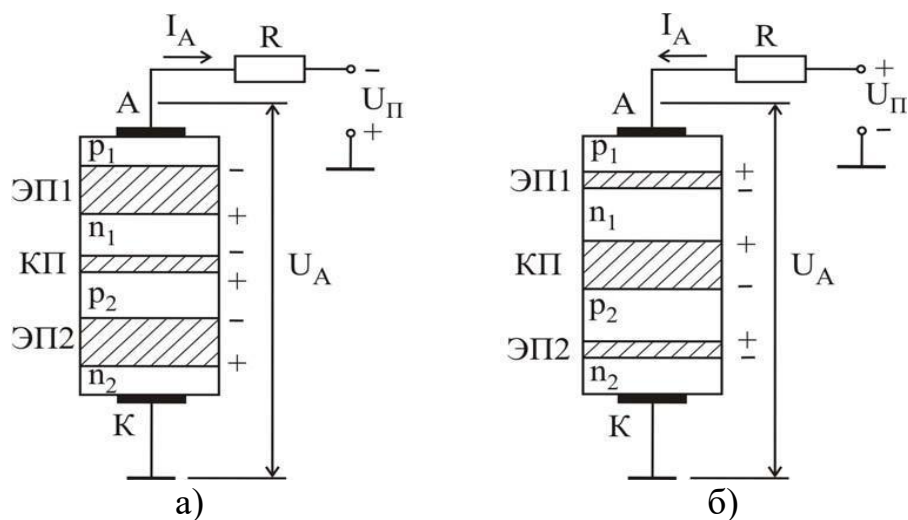
Симметриялы диодты тиристор (диак) – тікелей және керісінше бағытта қосыла алатын диодты тиристор.

Симметриялы триодты тиристор (триак) – басқарушы электродына сигнал берілгенде тікелей қосылғандағыдай, кері бағытта да қосыла алатын триодты тиристор.

Сурет-6.26 а, б ВАС-ның кері және тікелей тармақтарын түсіру схемасына қосылғандағы, динистордың жартылай өткізгіштік құрылымы көрсетілген. Динистор құрылымында электрөткізгіштіктің кезектесетін типінің 4 жартылай өткізгіштік аумағы бар. Динистор ВАС сурет-6.27 көрсетілген.

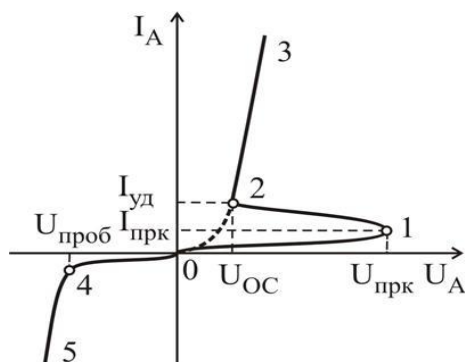
Жоғары қоспалық концентрациясы бар құрылымның сыртқы  $p_1$  және  $n_2$  - аумақтары – эмиттер, ал қоспалық концентрациясы біршама азырақ ортаңғы  $n_1$  және  $p_2$  - аумақтар – база деп аталады. Динистордың сыртқы электронды-тесікті ауысулары – эмиттерлік, ал ішкі ауысулар – коллекторлық деп аталады. Динистор екі омды эмиттерлі металл-жартылайөткізгіш байланысқа ие.

Динистордың р эмиттеріне қосылған электроды – анод, ал n эмиттеріне қосылғаны – катод деп аталады.



Сурет-6.26. Динистордың жартылай өткізгіштік құрылымы

Динистордың анодты шығысына катодқа қатысты теріс кернеу ( $U_{\text{проб}} < U_A < 0$ ) берілгенде, эмиттерлік ауысулар кері бағытта ығысады, ал коллекторлық ауысулар – тікелей бағытта.



Сурет-6.27. Динистор ВАС-ы

Бұл режимде динистор ВАС-сы, кері бағытта ығыстырылған, кезектесе қосылған екі эмиттерлі ауысудың сипаттамасы болып келеді (сурет-6.26 а). Динистор арқылы өтетін ток үлкен емес және осы ауысулардағы негізгі емес заряд тасушылардың экстракция мен термогенерация процестерімен анықталады. Кері кернеудің мәні, тесіп кернеу  $U_{\text{тес}}$  деп деп аталатын, белгілі бір критикалық аумаққа жеткенде, эмиттерлі ауысуларда электр тесіптері пайда болады және динистор арқылы өтіп жатқан ток кенет өсіп кетеді. Мұндай режим жұмыс істемейтін режим болып табылады. ВАС кері тармағы екі аумақтан тұрады (сурет-6.27). 0 - 4 аумағы кері қосылған тиристордың жабық күйіне сәйкес келеді, ал 4-5 аумағы динистордың тесілуіне сәйкес келеді.

Динисторда сыртқы кернеу болмағанда ( $U_A=0$ ), p және n аумағында тасымалдаушылардың концентрациясының айырма есебінен әрбір p-n ауысуда диффузия тогы жүреді. Пайда болған ауқымды электр зарядтары,

негізгі тасымалдаушылардың диффузиясын болдырмайтын және негізгі емес тасымалдаушылардың дрейфті тогын тудыратын, өрісті туғызады. Нәтижесінде әр ауысуда термодинамикалық тепе-теңдік күйі орнығады және жалпы ағымдағы ток әр ауысу сайын нөлге тең болады.

Динисторға тікелей кернеу берілген жағдайда  $U_A > 0$  (6.26, б сурет), яғни катодқа қатысты анодта оң кернеу болғанда, эмиттерлі ауысу тікелей бағытта ығысады, ал коллекторлық ауысулар – кері бағытта ығысады. Бұл тасымалдаушылардың эмиттерлі аумақтан базалыққа инжекциялануына алып келеді.  $n_1$  және  $p_2$  базалық аумақтардың қалыңдығы негізгі емес заряд тасушылардың диффузиялық ұзындығынан кіші ( $W_1 < L_{\text{диф з}}, W_2 < L_{\text{диф н}}$ ), сондықтан эмиттерлі ауысулар арқылы инжекцияланған электрондар мен тесіктер коллекторлы ауысуға диффузияланады.  $p_1$  эмиттердің тесіктері, кері бағытқа коллекторлық ауысуларға жетіп, оның жеделдету өрісі арқасында  $p_2$  базасына түседі және онда артық оң зарядтарды туғызады. Соған ұқсас түрде  $n_2$  эмиттердің электрондары  $n_1$  базасына түсіп, онда артық теріс зарядтарды туғызады.  $p_2$  базасының артық оң заряды ЭП2 эмиттерлік ауысуының энергетикалық бөгетін төмендетеді, сонымен қатар  $n_2$  эмиттерінен  $p_2$  базасына электрондардың инжекциясын арттырады.  $n_1$  базасының артық теріс зарядтары ЭП1 эмиттерлік ауысуының энергетикалық бөгетін төмендетіп,  $p_1$  эмиттерінен  $n_1$  базасына тесіктердің инжекциясын ұлғайтады.

Осылайша, динисторда токтың оң кері байланысы болады, бір эмиттерлі ауысу арқылы токты ұлғайту, токтың басқа эмиттерлі ауысу арқылы ұлғаюына алып келеді.  $n_1$  және  $p_2$  базасында зарядтар жинақталғанда, сыртқы өрісті ішінара өтейтін және потенциалды бөгеттерді төмендететін, коллекторлы ауысудың ішкі электрлік өрісі пайда болады. Бұл динистор арқылы өтетін токтың ұлғаюына әкеледі. Анодтық кернеудің ұлғаюы, КА ішкі өрісінің өсуіне алып келеді. Анодты кернеумен,  $U_A = U_{\text{прк}}$  коммутация кернеуі деп аталатын, белгілі бір аумаққа жеткенде КА сыртқы өрісі ішкі өрісін өтейді. Коллекторлық ауысу ашылады, динистор құрылымының кедергісі азаяды, ал ток күрт өсіп кетеді. Динистордың жабық күйден ашық күйге ауысуы жүреді. Бұл режимде кедергі аз болғандықтан, құрылымның анодты тогы негізі кернеу көзі мен анодты тармақтың кедергісінің аумағымен анықталады:

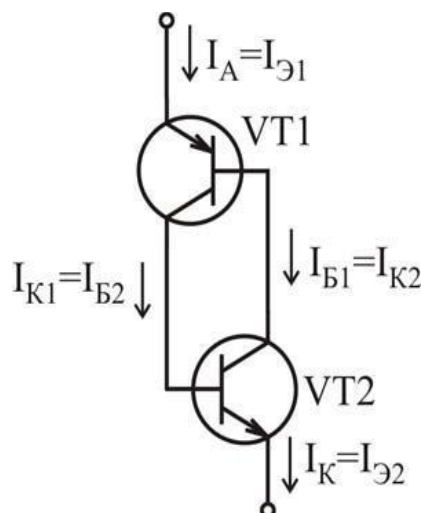
$$I_A \approx \frac{U_{\text{п}}}{R} \quad (6.37)$$

Анодты кернеуді одан ары ұлғайту анодты токтың сызықты өсуіне алып келеді. Бұл жағдайда анодты кернеу динистордың ашық күйіндегі кернеуі  $U_A = U_{\text{OC}}$  деп аталады және аз мәнге ие.

Динистордың ВАС тікелей тармағында екі сипаттамалық нүктені айыруға болады (сурет-6.27). 1-ші нүкте коммутация кернеуі мен тогымен сипатталады  $U_{\text{прк}}, I_{\text{прк}}$ , 2-ші нүкте – ашық күй кернеуі ( $U_{\text{ашық}}$ ) мен ұстап тұру тогымен  $I_{\text{уд}}$ . ВАС-ның 0-1 аумағы тиристордың жабық күйіне сәйкес. 1-2

аумағы теріс дифференциалды кедергімен сипатталады және динистордың коммутациясына сәйкес. 2-3 аумағы динистордың ашық күйіне сәйкес.

Динистордың өшірілуі, яғни динистордың ашық күйден жабық күйге өтуі қолданбалы кернеудің полярлығын ауыстыру немесе тоқты кішірейту арқылы жүзеге асады.



Сурет-6.28. Эквивалентті сұлба

Динистордың ВАС-ның түрін екі транзисторлық құрылым түріндегі эквивалентті сұлбамен түсіндіруге болады (сурет-6.28).

VT1 және VT2 транзисторларының коллекторлы тогын белгілі өрнектерді пайдалана отырып, эмиттер тогы арқылы анықтауға болады.

$$I_{K1} = h_{21B1}I_{Э1} + I_{KB01} \quad (6.38)$$

$$I_{K2} = h_{21B2}I_{Э2} + I_{KB02} \quad (6.39)$$

мұндағы  $h_{21B1}$ ,  $h_{21B2}$  VT1 және VT2 транзисторларының эмиттер тогының жеткізілуінің статикалық коэффициенттері.  $I_{KB01}$ ,  $I_{KB02}$  VT1 және VT2 транзисторларының кері (жылулық) тогы. Динистордың құрылымның анодты тогы (сурет-6.28) VT1 және VT2 коллекторлы токтарының суммасы болып табылады:

$$\begin{aligned} I_A = I_{K1} + I_{K2} &= h_{21B1}I_{Э1} + h_{21B2}I_{Э2} + I_{KB01} + I_{KB02} = \\ &= h_{21B1}I_{Э1} + h_{21B2}I_{Э2} + I_{KB0} \quad (6.40) \\ I_A &= I_{Э1} + I_{Э2}, \quad (6.41) \end{aligned}$$

бұл теңдік дұрыс болғандықтан (6.42) теңдеуін мына түрде жазуға болады.

$$I_A = h_{21B1}I_{Э1} + h_{21B2}I_{Э2} + I_{KB0} \quad (6.42)$$

Анодты ток мынандай түрге келеді:

$$I_A = \frac{I_{КБ0}}{1 - (h_{21Б1} + h_{21Б2})} \quad (6.43)$$

Динистордың коллекторлы ауысуында иондалу процесі болған жағдайда (6.42) теңдеу келесі түрге ауысады:

$$I_A = \frac{M I_{КБ0}}{1 - M(h_{21Б1} + h_{21Б2})} \quad (6.44)$$

мұндағы  $M$  – коллекторлы ауысулардағы тасымалдаушылардың көшкінді көбею коэффициенті.

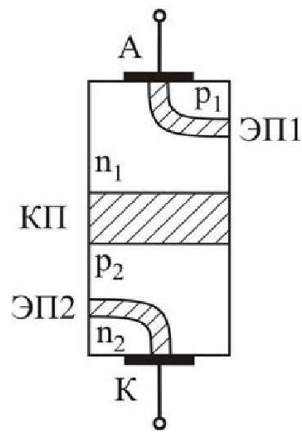
Аздаған тікелей кернеуде  $U_A$ , (6.43) мен (6.44) теңдеулерінің бөлімінің екінші бөлігі бірден кіші болады.  $M = f(U_A)$  және  $h_{21Б} = f(I_Э) = f(I_A)$  болғандықтан, сонымен бірге кернеуді  $U_A$  ұлғайтқанда  $M$  мәні де өседі. Ал инжекция тоғын  $I_Э$  ұлғайту  $h_{21Б}$  ұлғаюына алып келеді, осыған байланысты  $U_A$  өсуі динистордың коллекторлы ауысуындағы кернеуі ұлғаяды және анодты ток  $I_A$  өседі. Коммутация кернеуінде  $M(h_{21Б1} + h_{21Б2})$  аумағы бірге дейін жетсе, бөлімі нөлге дейін кішірейеді, ал динистордың анодты тоғы шексіздікке ұмтылады. Алайда, анодты тармақта  $R$  кедергінің болуы, (6.37) теңдеуіне сәйкес, анодты тоқты белгілі бір аумақпен шектейді.

Аздаған кернеудің мәнінде  $U_A < U_{прк}$ , (6.43) және (6.44) теңдеулерінің бөлімі бірден кіші болуы үшін,  $h_{21Б1} < 0.5$  және  $h_{21Б2} < 0.5$  шарты орындалуы қажет. Мұны екі жолмен қамтамасыз етуге болады: динистордың базалық аумақтарының керекті қалыңдығын таңдау және құрылымның эмиттерлі ауысуын базалық аймақпен шунттау арқылы.

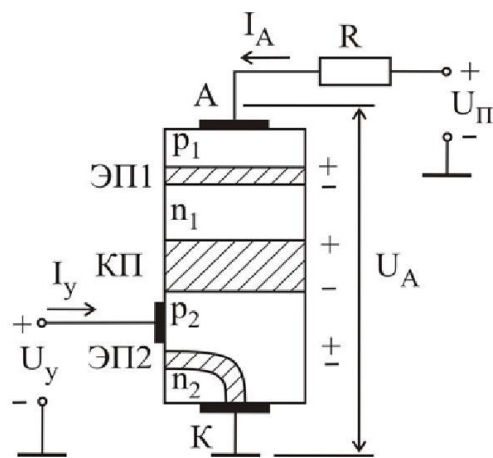
$h_{21Б1}$  және  $h_{21Б2}$  статикалық коэффициенттердің бастапқы мәндерін өзгертуді, базалық аумақтардың ұзындығын көбейту арқылы қамтамасыз етуге болады. Бұл тасымалдаушылардың база бойымен диффузиялануы кезінде, базаға инжекцияланған тасымалдаушылардың рекомбинациясының ұлғаюына алып келеді. Соған байланысты олардың аздағаны коллекторлы ауысуға жетіп отырады.

Эмиттерлі ауысуларды базалық аумақпен сурет-6.29 көрсетілгендей шунттағанда, олардың кедергісі кішірек болады, бұдан көретініміз тікелей кернеу азырақ беріледі, яғни, аумағы жағынан кіші инжекция тоғы жүретін болады. Сондықтан  $h_{21Б1}$  және  $h_{21Б2}$  коэффициенттері аз мөлшерде болады. Бұл екі жолды қолдану әр түрлі мөлшерлі  $U_{прк}$  коммутация кернеуі бар динисторды жасауға, яғни коммутациялық кернеу арқылы технологиялық басқаруларды іске асыруға мүмкіншілік береді.

Коммутациялық кернеуді басқару, тинисторда жасалынғандай, электрлік жолмен асыруға болады. Сурет-6.30 ВАС-ның тікелей тармағын түсіру сұлбасына қосылғандағы, тринистордың жартылай өткізгіштік құрылымы көрсетілген.



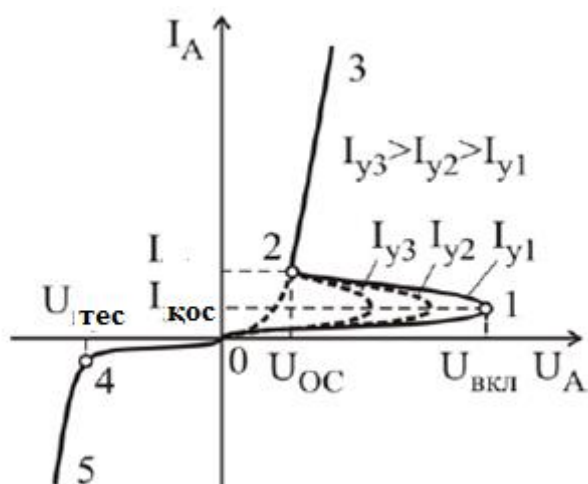
Сурет-6.29. Эмиттерлі ауысулар



Сурет-6.30. Тринистордың жартылай өткізгіштік құрылымы

Тринисторың динистордан өзгешелігі, тринисторда құрылымның бір базалық аумағынан істелінетін тағы бір басқарушы – электрод бар. Егер басқарушы электрод (БЭ) p-базасына қосылу болса (сурет-6.30), онда құрылғы катод бойынша басқарылатын тринистор деп аталады. Егер басқарушы электрод (БЭ) n-базасына қосылу болса, онда құрылғы анод бойынша басқарылатын тринистор деп аталады. Тринистордың ВАС сурет-6.31 көрсетілген. Тиристордың қосылуы – басқарушы токты берген кезде тиристордың жабық күйден ашық күйге өтуі.

БЭ кернеуін  $U_B$  өзгерте отырып, басқару тогын өзгертуге, яғни қосылу кернеуімен  $U_{қос}$  басқаруға болады (сурет-6.31). БЭ болған жағдайда (6.44) теңдеу мынандай түрге келеді:



Сурет-6.31. Тринистордың ВАС-ы

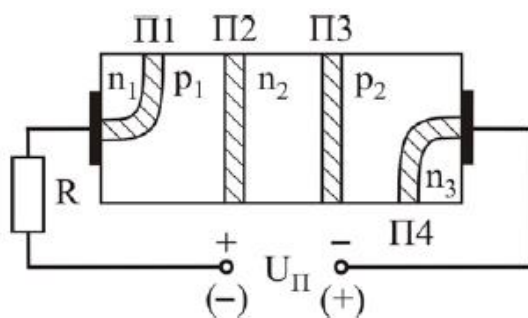
$$I_A = \frac{M \cdot I_{KB0} + h_{21B2} \cdot I_y}{1 - M(h_{21B1} + h_{21B2})} \quad (6.45)$$

мұндағы  $I_y$  – басқару тогы.

(6.45) теңдеу басқарушы токтың кернеудің  $U_{кос}$  мөлшеріне әсерінің механизмін көрсетеді. Сурет-6.30 көрсетілгендей полярлықпен қосылған басқарушы кернеу ( $U_y$ ) ЭП2 ашады, бұл осы ауысу арқылы жүретін токты сурет-6.31 ұлғайтады, яғни  $h_{21B2}$  жеткізудің статикалық коэффициентінің өсуіне алып келеді. Басқарушы кернеу берілгенде (6.45) теңдеудің бөлімі, азырақ анодты кернеуде, нөлге ұмтыла бастайды, яғни  $U_{кос}$  қосылу кернеуі азаяды. Басқарушы кернеу ( $U_y$ ) өссе, ЭП2 арқылы өтетін ток және  $h_{21B2}$  коэффициенті де өседі, ал кернеу  $U_{кос}$  азаяды (сурет-6.31).

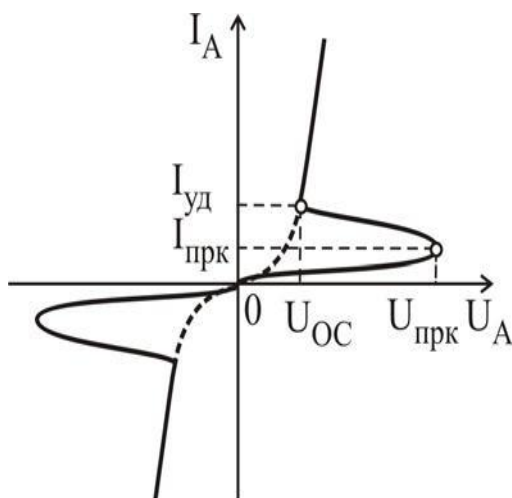
Тринистордың өшірілуін, динисторға қолданылатын амалдардан басқа, басқарушы кернеудің полярлығын өзгерту арқылы іске асыруға болады. Алайда, құрылғының жабылуы жүретін, кері басқарушы ток анодты токпен мөлшерлес. Құрылғыны өшіру үшін эмиттерлі ауысудың инжекция тогын, (6.45) бөлімі нөлден үлкен болатындай етіп, белгілі бір мөлшерге дейін кішірейту керек. Басқарушы кернеудің полярлығын өзгерту, тринистордың р-базасына жинақталған, зарядтың тарауына мүмкіндік береді, бірақ та, кері басқарушы ток бұл жағдайда аумағы жағынан анодты токпен мөлшерлес. Мұндай өшіру режимі энергетикалық жағынан пайдалы емес болғандықтан қолданылмайды.

Қазір БЭ-қа соған сәйкес полярлықпен басқарушы сигнал берілгенде, ашық күйден жабық күйге және керісінше ауысып қосыла алатын тиристорлар шығарылады. Олардың конструкциясы кәдімгі тринисторлардың конструкциясына ұқсас.



Сурет-6.32. Симметриялы диодты тиристор

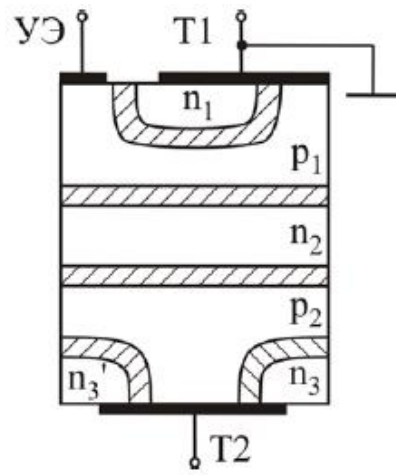
Симметриялы диодты тиристор (диак) – төрт электронды-тесікті ауысуы бар бес қабатты құрылымнан тұратын құрылғы (сурет-6.32). Диактың кернеуінің полярлығына байланыстыне П1 ауысу ( $U_{\Pi}$  кернеуінің жоғары полярлығында) не П4 ауысу ( $U_{\Pi}$  сурет-6.32 кернеудің төменгі полярлығында) жабық болады және олардың кедергісі үлкен болады. Бұл жағдайда олар, тікелей кернеуі қоса берілген динисторы болып табылатын, құрылымның қалған бөлігіне  $p_1 - n_2 - p_2 - n_3$  ( $n_1 - p_1 - n_2 - p_2$ ) әсерін тигізбейді. Бұл былай түсіндіріледі, жабық П1 (П4) ауысуларына, кедергісі төмен,  $p_1$  ( $p_2$ ) аумақтары параллельді түрде қосылған. Сондықтан, сурет-6.33 көрсетілген, сурет- 6.33 диактың ВАС координата басына симметриялы.



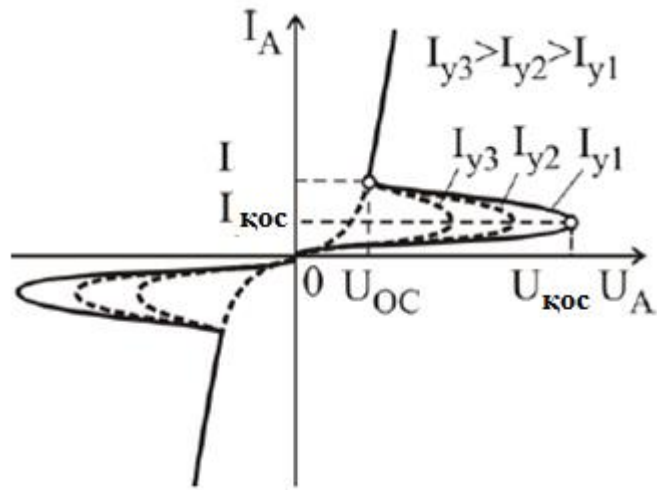
Сурет-6.33. Диактың ВАС-ы

Кернеудің полярлығына қарамастан, диак, тікелей кернеумен берілген динистор секілді. Триактың құрылымы және оның ВАС сурет-6.34 және 6.35 көрсетілген. Бұл құрылғыда коммутация кернеуін басқару, Т1 электродына қатысты оң болатын, БЭ кернеуін өзгерту арқылы жүзеге асады. Бұл басқару Т2 электродындағы кернеудің, Т1 электродына қатысты оң болатын кернеуге секілді, терісіне де бола береді.





Сурет-6.34. Триактың құрылымы



Сурет-6.35. Триактың ВАС-ы

