

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Құттыбай Н.Б.

Электроника негіздері

«Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар», «Өндірістік электроника және басқару жүйелері» мамандықтары бойынша білім алушы студенттерге арналған

Алматы

10 Дәріс

Тақырыбы: Тиристорлар. Динисторлар. Симисторлар.

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Тиристорлар, динисторлар және симисторлар сияқты жартылай өткізгіш қуаттық құрылғылардың құрылымы мен жұмыс істеу принциптерін түсіну, олардың негізгі сипаттамаларын, түрлерін және қолданылу салаларын меңгеру. Сонымен қатар, бұл құрылғыларды практикалық электрлік және электрондық жүйелерде тиімді пайдалану дағдыларын қалыптастыру.

Міндеттері:

1. Тиристорлар, динисторлар және симисторлардың құрылымы мен жұмыс істеу принципін түсіндіру.
2. Қуатты басқару элементтері ретінде олардың негізгі сипаттамаларын, түрлерін және артықшылықтарын анықтау.
3. Тиристорлар мен олардың туындыларының қолдану салаларын қарастыру: қуат реттегіштер, моторларды басқару, инверторлар, тұрмыстық және өндірістік автоматтандыру.
4. Басқару сигналдарының ерекшеліктерін және құрылғылардың ұстап тұру, ашылу кернеуі, ток сипаттамаларын зерттеу.

Түйінді ұғымдар мен терминдер:

- Тиристор (SCR – Silicon Controlled Rectifier)
- Динистор (DIAC)
- Симистор (TRIAC)
- Басқару электроды (Gate, G), Анод (A1, A2), Катод (K)
- Локктау немесе өзін-өзі ұстап тұру күйі (Latch-up)
- Ашылу кернеуі (Breakover voltage, V_{BO})
- Ұстап тұру тогы (Holding current, I_H)
- Басқару сигналының фазалық ығысуы (Phase control)
- Айнымалы токты екі бағытта басқару мүмкіндігі
- Қуат реттегіштер, диммерлер, мотор басқару жүйелері
- RC-фазалық ығыстыру тізбектері

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Тиристорлар
2. Динисторлар
3. Симисторлар

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

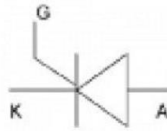
Әдебиеттер тізімі

Кіріспе

Тиристорлар, динисторлар және симисторлар — бұл қазіргі заманғы электроникада кеңінен қолданылатын жартылай өткізгіш құрылғылар. Олар қуатты басқару, жабдықты қорғау, кернеу мен токты реттеу сияқты көптеген міндеттерді орындайды. Бұл құрылғылардың барлығы да басқарылатын ауысу элементтері болып табылады және электр тізбектерінде қосқыш ретінде қолданылады.

1. Тиристорлар

Тиристор — бұл төрт қабатты (P-N-P-N) жартылай өткізгіш құрылғы, үш электрондық шығуы бар: анод (A), катод (K) және басқару электроды (гейт, G). Ол бастапқыда ток өткізбейтін күйде болады, бірақ басқару сигналы берілген кезде токты өткізетін күйге ауысады және бұл күйде ток тоқтамайынша қалып қояды.



1.1. Құрылымы мен жұмыс принципі

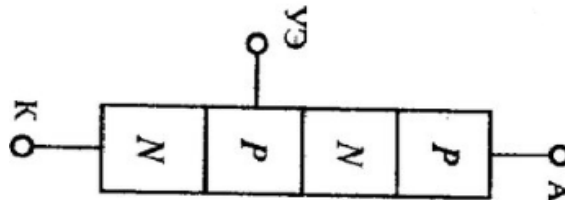
Тиристор құрылымы P-N-P-N типті төрт қабатты болып келеді және ішінде үш p-n ауысуы болады:

❖ P1 – N1 – P2 – N2

Бұл құрылым шартты түрде екі биполярлы транзистордың (npn және pnp) бірігуі ретінде де қарастырылады. Яғни:

❖ Бірінші транзистор (T1) – pnp типті

❖ Екінші транзистор (T2) – npn типті

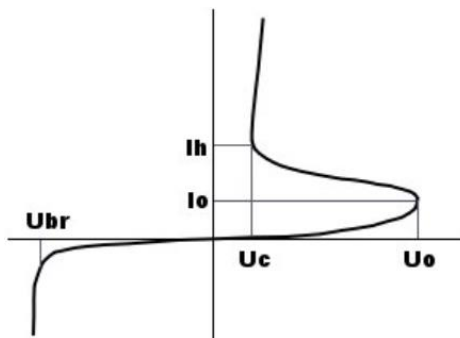


Жұмыс істеу механизмі:

1) Тиристор бастапқыда жабық күйде (off-state).
2) Басқару электродына (гейтке) қысқа ток импульсі берілгенде, транзисторлар тізбегі іске қосылып, құрылғы ашылады.

3) Ашылғаннан кейін, басқару сигналы тоқтаған болса да, тиристор ток ағыны тоқтамайынша өткізгіш күйде қалады (бұл күй – latch-up немесе өзін-өзі ұстап тұру күйі).

4) Тек қана ток ұстап тұру тогынан (I_{hold}) төмен түскенде ғана тиристор қайта жабылады.



1.2. Тиристордың сипаттамалары

- ❖ Жоғары кернеу және токпен жұмыс істеу мүмкіндігі
- ❖ Жоғары жылу тұрақтылығы
- ❖ Қарапайым құрылым және сенімділік
- ❖ Өзін-өзі ұстап тұру қасиеті (ішкі ток арқылы ашық күйді сақтау)

1.3. Тиристордың негізгі түрлері

а) Күштік тиристор (SCR – Silicon Controlled Rectifier)

- ❖ Кеңінен қолданылатын түрі.
- ❖ Тек бір бағытта ток өткізеді.
- ❖ Басқару сигналы тек оң жарты толқында беріледі.
- ❖ Қолдану саласы: тұрақты ток жүйелерінде, түзеткіштерде, үлкен қуатты түрлендіргіштерде.

б) Шимистор (Schockley Diode)

- ❖ Алғашқы қарапайым тиристорлардың бірі.
- ❖ Басқару электроды жоқ (екіэлектродты).
- ❖ Өздігінен қосылып, ток азайғанда сөнеді.
- ❖ Қазіргі таңда сирек қолданылады.

в) Триак (Triode for Alternating Current)

- ❖ Айнымалы токпен жұмыс істеуге арналған.
- ❖ Қос бағытта да ток өткізеді (екі бағытта симметриялы).
- ❖ Басқару сигналы оң немесе теріс болуы мүмкін.
- ❖ Тұрмыстық техникада жиі қолданылады (диммерлер, жылытқыштар, электр плиталар).

1.4. Тиристорлардың қолданылу салалары

1) Қуат реттегіштер:

Тиристорлар арқылы электр қуатын біртіндеп арттыруға немесе азайтуға болады. Бұл әдіс жарық шамдарының жарықтығын реттеуге немесе жылытқыштардың температуралық режимін басқаруға мүмкіндік береді. Мысалы, жарық диммерлері тиристорларды қолдану арқылы шам қуатын біртіндеп өзгертеді.

2) Инверторлар мен түрлендіргіштер:

Тиристорлар тұрақты токты айнымалы токқа немесе керісінше түрлендіру құрылғыларында қолданылады. Осындай жүйелерге:

- Инверторлар ($DC \rightarrow AC$)
- Түзеткіштер ($AC \rightarrow DC$)

- DC-DC түрлендіргіштер жатады.

3) Моторларды басқару:

Тиристорлар қозғалтқыш жылдамдығын реттеуге мүмкіндік береді. Тиристорлы басқару жүйелері арқылы мотордың іске қосылуын жеңілдетуге және айналу моментін басқаруға болады.

4) Доғалық пештер мен дәнекерлеу жабдықтары:

Тиристорлар жоғары қуатты тұтынатын электр доғалық процестерді басқаруға да жарамды. Бұл пештер мен дәнекерлеу машиналары үшін өте маңызды.

5) Төлем жүйелері мен релелік қорғаныс:

Кейбір тиристорлар қысқа тұйықталу және кернеу шамадан тыс артқанда автоматты түрде сөндірілетін қорғаныс жүйелерінде қолданылады.

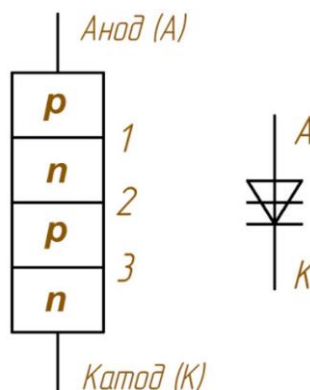
2. Динисторлар

Динистор (ағылш. *diode thyristor*, кейде *DIAC* деп те аталады) — бұл екіэлектродты, екі бағытта да ток өткізетін, екі немесе төрт қабатты жартылай өткізгіш құрылғы. Динистор негізінен тиристорлар мен симисторларды басқару мақсатында немесе импульстік схемаларда, кернеуден қорғау құрылғыларында қолданылады.

2.1. Құрылымы мен жұмыс істеу принципі

Құрылымы:

- ❖ Екі негізгі p-n ауысуынан тұрады.
- ❖ Классикалық төрт қабатты құрылым: P-N-P-N, бірақ басқару электроды жоқ.
- ❖ Электродтар тек анод пен катодтан тұрады (кейбір типтерде терминдер A1 және A2 ретінде белгіленеді).
- ❖ Симметриялы құрылым, яғни екі бағытта да бірдей жұмыс істей алады.

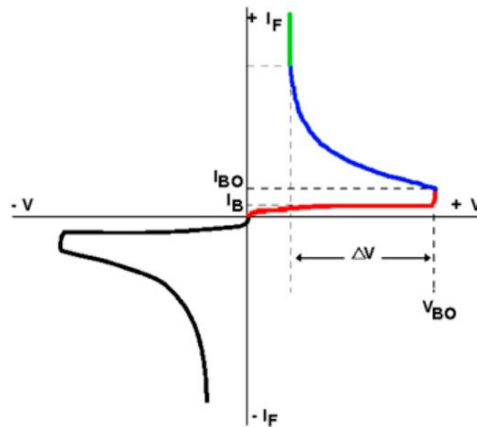


Жұмыс принципі:

- ❖ Динистор бастапқыда жабық күйде (ток өткізбейді).
- ❖ Егер кернеу белгілі бір шекті мәнге (V_{break}) жетсе, құрылғы кенеттен ашылады (лавиналық пробой механизмі арқылы) және ток өткізе бастайды.
- ❖ Ашылғаннан кейін, ол ұстап тұру тогы (I_{hold}) деп аталатын белгілі бір деңгейден төмен түспейінше ашық күйде қалады.
- ❖ Егер ток I_{hold} мәнінен азайса, құрылғы автоматты түрде сөнеді.

2.2. Негізгі сипаттамалары

- ❖ Басқару сигналы жоқ: динистор тек сыртқы кернеудің деңгейіне байланысты қосылып-сөнеді.
- ❖ Симметриялы: оң және теріс жарты толқында да бірдей жұмыс істей алады.
- ❖ Шекті кернеу: белгілі бір кернеуден төмен құрылғы қосылмайды.
- ❖ Қарапайым және сенімді құрылым.
- ❖ Төмен баға және шағын өлшем.



2.3. Динистор түрлері

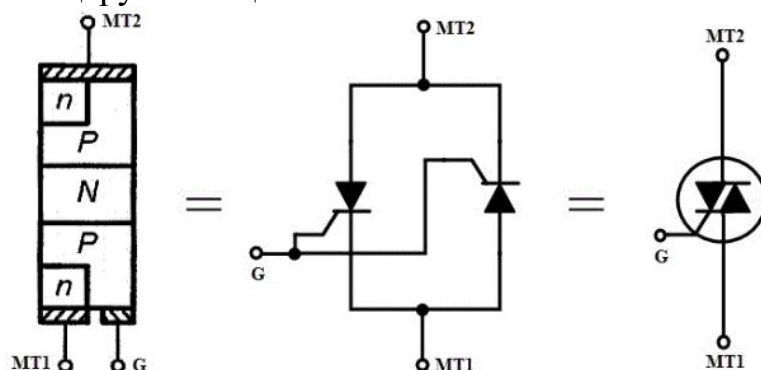
- ❖ DIAC (диак): Екі бағытты динистор, жиі симисторларды басқаруда қолданылады.
- ❖ Shockley Diode (екіэлектродты тиристор): Динисторлардың алғашқы қарапайым түрі, қазіргі таңда сирек қолданылады.

2.4. Қолданылу салалары

- 1) Импульстік генераторлар мен релаксациялық генераторларда:
 - ❖ Динисторлар кернеу шегіне жеткенде автоматты түрде қосылып, разряд процесін бастайды.
 - ❖ Бұл қасиет оларды релаксациялық генераторларда (мысалы, жарқыл шамдарын басқаруда) өте тиімді етеді.
 - ❖ Импульстік разряд тізбегінде динистор кернеу жинақталып, белгілі бір деңгейге жеткенде тез разрядталып, жоғары жиілікті немесе белгілі бір уақыт аралығымен қайталанатын импульс тудырады.
- 2) Симисторды басқаруда:
 - ❖ Симисторлар (triac) айнымалы токты екі бағытта да басқара алады, бірақ оларды дәл және сенімді түрде ашу үшін басқару сигналы қажет.
 - ❖ Бұл мақсатта динистор қолданылады: айнымалы ток кернеуі өскенде, динистор ашылып, қысқа басқару импульсін симисторға жібереді.
- 3) Кернеуден қорғау құрылғыларында:
 - ❖ Кенет кернеу секірулері (кернеу импульстері) кезінде динистор ашылып, тізбекті қысқа тұйықтап, басқа құрылғыларды қорғауға көмектеседі.
 - ❖ Бұл тұрғыда динистор варистор сияқты кернеуден қорғау элементі рөлін атқарады.
- 4) Жарықтандыру жүйелерінде:
 - ❖ Жоғары кернеулі жарқыл шамдарын (мысалы, ксенонды шамдар) басқаруда.
 - ❖ Электронды диммерлер құрамында симистормен бірге жұмыс істейді.

3. Симисторлар

Симистор (ағылш. *Silicon Controlled Switch for AC* немесе *TRIAC* – Triode for Alternating Current) — бұл тиристордың ерекше түрі, ол айнымалы токпен жұмыс істеуге арналған және екі бағытта да ток өткізе алады. Симисторлар электр тогын екі бағытта басқару мүмкіндігіне ие болғандықтан, айнымалы ток тізбектерін басқаруға өте қолайлы.



3.1. Құрылымы мен жұмыс принципі

Құрылымы:

1) Симистор — үш электродты құрылғы. Электродтары:

- ❖ A1 (анод 1)
- ❖ A2 (анод 2)
- ❖ G (гейт – басқару электроды)

2) Жартылай өткізгішті құрылымы — бұл екі тиристордың бір корпуста қарама-қарсы қосылған аналогы.

3) Ішкі құрылымы күрделірек, бірақ сыртқы байланысы қарапайым.

Жұмыс істеу принципі:

1) Симистор жабық күйде (OFF) болады.

2) Басқару электродына (G) қысқа басқару сигналы түскенде құрылғы ашылады және A1-A2 арасында ток өткізе бастайды.

3) Айнымалы токтың кез келген жарты толқынында жұмыс істей алады:

- ❖ Оң жарты толқында да,
- ❖ Теріс жарты толқында да ток өткізуге қабілетті.

4) Симистор ашылғаннан кейін, ток белгілі бір ұстап тұру тогынан (I_{hold}) төмендегенше ашық күйде қалады.

3.2. Негізгі сипаттамалары

Ток өткізудің екіжақты мүмкіндігі - айнымалы токтың оң және теріс жарты толқынында да жұмыс істейді;

Басқару сигналы - аз токпен (миллиамперлермен) басқаруға болады;

Ашылу кернеуі - белгілі бір деңгейден кейін ғана ашылады;

Ашылу уақыты - өте қысқа – микросекундтармен өлшенеді;

Қуаттылығы - орташа және жоғары қуатты тізбектерге арналған модельдері бар.

3.3. Артықшылықтары мен кемшіліктері

Артықшылықтары:

- ❖ Айнымалы ток тізбектерінде екі бағытты басқаруға мүмкіндік береді.

❖ Басқару сигналы аз токпен беріледі, сондықтан микроэлектроникамен оңай үйлеседі.

❖ Қарапайым құрылғы, сенімді жұмыс істейді.

❖ Диммерлер мен қуат реттегіштерде тиімді жұмыс істейді.

❖ Қосымша реле немесе механикалық элементтерді қажет етпейді.

Кемшіліктері:

❖ Жоғары жиілікті немесе күрделі сигнал пішіндерін басқаруда шектеулер бар.

❖ Кернеудің күрт өзгеруінен (dV/dt) немесе токтың жылдам өсуінен (dI/dt) өздігінен ашылып кетуі мүмкін.

❖ Индуктивті жүктемелермен (мысалы, қозғалтқыштармен) жұмыс істегенде арнайы қорғау тізбектері қажет болуы мүмкін.

3.4. Қолданылу салалары

Симисторлар тұрмыстық, өндірістік, және автоматты басқару салаларында кеңінен қолданылады.

1) Жарық реттегіштер (диммерлер):

❖ Үйдегі жарық шамдарының жарықтығын өзгерту үшін.

❖ Симистор фаза импульсін басқара отырып, шамға түсетін қуатты реттейді.

2) Электрқыздырғыштарды басқару:

❖ Пеш, жылытқыш, үтіктеу құрылғыларында.

❖ Температураны автоматты басқару жүйелерінде.

3) Қуат реттегіштер:

❖ Қозғалтқыштардың айналу жиілігін өзгерту.

❖ Желдеткіштер мен сорғылардың жылдамдығын басқару.

❖ Электрмен жабдықтауды кезеңдік қосу/өшіру.

4) Автоматтандырылған тұрмыстық құрылғыларда:

❖ Кір жуғыш машиналарда, микротолқынды пештерде.

❖ Тоңазытқыш компрессорларының іске қосылуын басқаруда.

5) Индустриялық автоматтандыруда:

❖ Жылытқыштар мен дәнекерлеу машиналарында.

❖ Айнымалы ток кернеуін реттеу жүйелерінде.

3.5. Симисторларды басқару ерекшеліктері

❖ Симисторды тиімді басқару үшін көбіне диак (динистор) қолданылады.

❖ Басқару сигналы айнымалы ток кернеуінің белгілі бір фазасында берілуі керек.

❖ Басқару сигналының берілу уақытына байланысты жүктеме қуаты өзгеріп отырады (фазалық басқару әдісі).

❖ Жиі RC-фазалық ығыстыру тізбектері қолданылады.

Білімді бекітуге арналған сұрақтар:

1. Тиристордың P-N-P-N құрылымы қандай сипаттамаларға мүмкіндік береді?
2. Тиристор ашылғаннан кейін ток неге тоқтамай қалып қояды?

3. SCR мен TRIAC арасындағы негізгі айырмашылықтар қандай?
4. Динистор мен симистор арасындағы өзара байланыс қалай жүзеге асады?
5. Симисторды фазалық басқару арқылы жарық шамының қуатын қалай реттеуге болады?
6. Тиристордың ұстап тұру тогы мен ашылу кернеуінің маңызы неде?
7. Динистордың ашылу механизмі қандай және ол қандай жағдайда қолданылады?
8. Тиристор, динистор және симисторлардың айнымалы және тұрақты ток тізбектерінде қолданылуы қалай ерекшеленеді?
9. Басқару сигналы аз токпен берілгенде симистордың артықшылығы қандай?
10. Қуатты тиристорларды индустриялық автоматтандыруда және тұрмыстық электр құрылғыларында қолданудың практикалық артықшылықтары қандай?

Қорытынды:

Тиристорлар, динисторлар және симисторлар — қуатты басқаруға арналған жартылай өткізгіш құрылғылар. Олар электр тізбектерінде токты қосу, өшіру және реттеу үшін қолданылады. Тиристорлар бір бағытта, симисторлар екі бағытта ток өткізеді, ал динисторлар қарапайым қосқыш ретінде қызмет етеді. Бұл элементтер заманауи электроникада — әсіресе автоматтандыру, жарық және жылу жүйелерін басқару салаларында кеңінен қолданылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. К. Б. Бахтияров. Электроника негіздері. – Алматы: Білім, 2019.
2. С. А. Назаров, Н. К. Абдуллаев. Электр және электроника негіздері. – Алматы: Эверо, 2020.
3. Малинин В. В. Полупроводниковые приборы и их применение. – М.: Энергоатомиздат, 2018.
4. А. П. Ключин. Электронные приборы и устройства. – М.: Высшая школа, 2021.
5. Sedra A., Smith K. Microelectronic Circuits. – Oxford University Press, 2020.
6. Рашид М.Х. Силовая электроника: схемы, устройства и применение. – М.: Лань, 2021.
7. Гальперин И. М., Лазарев Е. И. Силовые полупроводниковые приборы. – М.: Энергия, 2017.
8. Datasheets: Thyristors, DIACs, TRIACs – STMicroelectronics, ON Semiconductor, Vishay Semiconductors.