

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Құттыбай Н.Б.

Аналогты электронды схемалар

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

Алматы

3 Дәріс. Диодтар және олардың қолданылуы

Дәрістің мақсаты: Диодтардың құрылымын, жұмыс принциптерін және негізгі сипаттамаларын түсіндіру арқылы студенттерге электрондық құрылғылардағы диодтардың рөлі мен маңыздылығын ашып көрсету. Сонымен қатар, диодтардың әртүрлі түрлері мен олардың қолдану салаларын таныстыру, олардың практикалық қолданылуы мен электроникадағы орны туралы білім беру.

1. Кіріспе

Диод — бұл екі электродтан тұратын негізгі электрондық құрылғы, оның басты ерекшелігі – электр тогын тек бір бағытта жақсы өткізуі және кері бағытта ток ағуына кедергі жасауы. Диодтың бұл қасиеті оны көптеген электрондық схемаларда тоқты басқару үшін таптырмас компонент етеді.

Диодтың құрылымы негізінен екі түрлі жартылай өткізгіш материалдың (р-аймақ және n-аймақ) қосылуынан тұрады. Бұл р-n түйіспе арқылы диод электр тогының ағымын белгілі бір бағытта шектейді немесе жүргізеді. Тікелей қосқанда диод тоқты оңай өткізеді, ал кері қосқанда ток ағуына жол бермейді, осылайша электр тізбектерін қорғау немесе басқару міндетін орындайды.

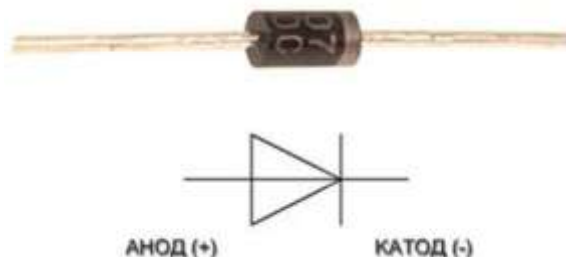
Қазіргі заманғы электроникада диодтар сан алуан функцияларды атқарады:

- ❖ Тұрақты ток көздерін жасау үшін айнымалы тоқты түзету,
- ❖ Тізбектерді кернеу шектерімен қорғау,
- ❖ Жиіліктерді сүзу немесе модуляциялау,
- ❖ Жарық шығару (светодиодтар арқылы) және фотосигналдарды қабылдау (фотодиодтар арқылы).

Диодтың қарапайым құрылысы мен сенімді жұмысы оны тұрмыстық техникадан бастап өнеркәсіптік жабдықтарға дейін, байланыс жүйелерінен бастап медициналық аспаптарға дейінгі әртүрлі салаларда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, диодтар электрондық құрылғылардың жұмыс істеу тұрақтылығы мен тиімділігін арттыруда шешуші рөл атқарады.

Диодтың көптеген түрлері (стандартты р-n диоды, зер диод, Шоттки диоды, светодиод, варикап, фотодиод және т.б.) әртүрлі арнайы міндеттерді шешуге бағытталған. Бұл әртүрлілік диодтарды қолдану аясын одан әрі кеңейтеді.

Осы лекция барысында біз диодтардың жұмыс принциптерін, олардың түрлерін, сипаттамаларын және әртүрлі қолдану салаларын қарастырамыз.



2. Диодтың құрылымы мен жұмыс принципі

Диодтың құрылымы екі түрлі жартылай өткізгіш материалдан тұрады:

- ❖ р-аймақ – оң зарядталған тесіктердің (вакансиялар) көп мөлшерде болатын аймақ. Мұнда негізгі заряд тасымалдаушылар — тесіктер.

- ❖ n-аймақ – еркін электрондардың көп мөлшерде болатын аймақ. Мұнда негізгі заряд тасымалдаушылар — электрондар.

Бұл екі аймақты біріктіргенде р-n өткелі (немесе р-n қосылысы) пайда болады. Түйіскен кезде екі аймақтың шекарасында ерекше процесс жүреді:

- ❖ Электрондар n-аймақтан р-аймаққа ауысып, сол жерде тесіктермен рекомбинацияланады.

- ❖ Тесіктер р-аймақтан n-аймаққа жылжиды да, сонда электрондармен рекомбинацияланады.

Нәтижесінде түйіскен шекарада өткізбейтін қабат (depletion region) немесе барьерлік қабат түзіледі. Бұл қабатта бос заряд тасымалдаушылар болмайды, тек бекітілген оң және теріс иондар қалады. Бұл қабат табиғи түрде электр өрісін тудырады, ол әрі қарай тасымал процесін тежейді.

Диодтың жұмыс істеу режимдері

1) Тікелей қосу (Forward Bias)

Тікелей қосқанда, яғни:

- ❖ р-аймаққа оң кернеу,

- ❖ n-аймаққа теріс кернеу беріледі.

Бұл жағдайда:

- ❖ Қолданылған сыртқы электр өрісі ішкі электр өрісін әлсіретеді.

- ❖ Өткізбейтін қабаттың ені азаяды.

- ❖ Электрондар n-аймақтан р-аймаққа, ал тесіктер р-аймақтан n-аймаққа оңай өтеді.

- ❖ Нәтижесінде диод арқылы ток еркін ағады.

Тікелей токтың негізгі механизмі: заряд тасымалдаушылардың (электрондар мен тесіктердің) қозғалысы және олардың шекарадағы рекомбинациясы.

2) Кері қосу (Reverse Bias)

Кері қосқанда, яғни:

- ❖ р-аймаққа теріс кернеу,

- ❖ n-аймаққа оң кернеу беріледі.

Бұл жағдайда:

- ❖ Қолданылған сыртқы электр өрісі ішкі өрісті күшейтеді.

- ❖ Өткізбейтін қабаттың ені үлкейеді.

- ❖ Заряд тасымалдаушылардың өтуі қиындайды.

- ❖ Тек өте аз мөлшерде кері ағымдағы ток (minority carriers тоқы) өтеді.

Бұл ток өте әлсіз және идеал жағдайда ток мүлде болмайды деуге болады.

3. Диодтың негізгі сипаттамалары

Диодтың жұмысын толық түсіну үшін оның негізгі электрлік сипаттамаларын білу қажет. Бұл сипаттамалар диодтың әртүрлі режимдердегі мінез-құлқын сипаттайды және оны нақты қолданбаларда дұрыс тандап қолдануға мүмкіндік береді.

1) Тікелей кернеу (Forward Voltage Drop)

Тікелей қосу кезінде диод арқылы ток ағуы үшін белгілі бір минималды кернеу қажет. Бұл кернеу диодтың материалына және оның құрылымына байланысты болады.

- ❖ Кремний диодында тікелей кернеу шамамен 0,7 В.

- ❖ Германий диодында тікелей кернеу шамамен 0,3 В.

Бұл кернеу заряд тасымалдаушылардың (электрондар мен тесіктердің) өткізбейтін қабаттағы электр өрісін жеңіп өтуіне қажет. Басқаша айтқанда, бұл — диодты "ашу" үшін керек шекті кернеу. Тек осы шекті мәннен асқан кезде ғана диод арқылы ток елеулі түрде аға бастайды.

- ❖ Аз ток кезінде кернеу түсуі аз болады, бірақ ток артқан сайын диодтың ішкі кедергілеріне байланысты аздап өседі.

- ❖ Светодиодтарда (LED) бұл тікелей кернеу әдетте 1,8 В - 3,3 В аралығында болады, түсіне байланысты.

2) Кері ток (Reverse Leakage Current)

Кері қосу режимінде (яғни, диодқа кері кернеу қолданылғанда) идеал жағдайда ток ағуы тиіс емес. Алайда шынайы диодтарда әрдайым аздаған ток ағады, ол кері ток деп аталады.

Кері токтың ерекшеліктері:

- ❖ Ол өте аз мөлшерде болады (микроампер немесе наноампер деңгейінде).

- ❖ Бұл ток негізінен азшылық заряд тасымалдаушылардан (minority carriers) пайда болады.

- ❖ Температура жоғарылағанда кері ток өседі, сондықтан температураның әсерін ескерген жөн. Кері ток өте аз болса да, өте сезімтал электрондық құрылғыларда бұл токтың болуы маңызды рөл атқаруы мүмкін, себебі ол шу деңгейін арттырады немесе тізбекке қосымша ағып кететін ток береді.

3) Тесіп өту кернеуі (Breakdown Voltage)

Егер диодқа берілген кері кернеу белгілі бір шекті мәннен асып кетсе, өткізбейтін қабат бұзылады да, диод арқылы үлкен кері ток аға бастайды. Бұл құбылыс тесіп өту (breakdown) деп аталады.

Breakdown Voltage сипаттамасы:

- ❖ Әрбір диод үшін өндіруші көрсететін арнайы мән бар.

- ❖ Мысалы, жалпы мақсаттағы кремний диодында тесіп өту кернеуі 50 В, 100 В немесе 400 В болуы мүмкін.

- ❖ Зенер диодтары арнайы осы тесіп өту режимінде тұрақты кернеу көздерін жасау үшін пайдаланылады.

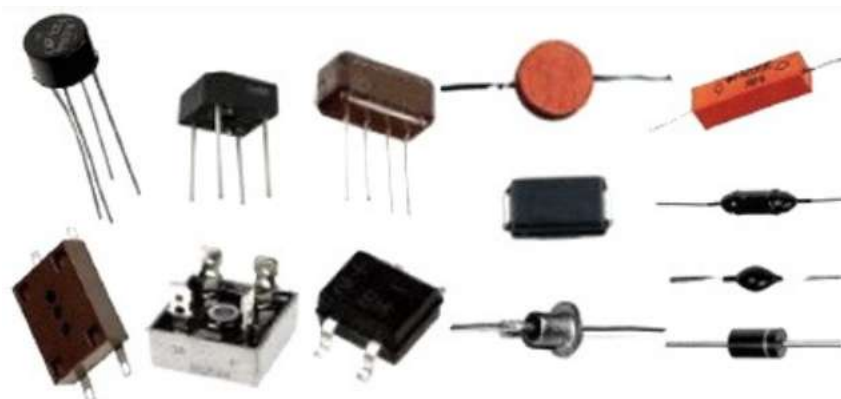
Тесіп өтудің екі негізгі механизмі:

❖ Аваланч-эффект (Avalanche breakdown): Жоғары кернеуде заряд тасымалдаушылар үдеу алып, басқа атомдарды иондайды. Бұл процесс лавина сияқты өседі.

❖ Зенер эффектi (Zener breakdown): Негізінен төмен кернеулерде байқалады (5 В-қа дейін). Электрондар туннельдік эффект арқылы өткізбейтін қабатты өтеді.

❖ Кәдімгі диодта breakdown жағдайы диодты зақымдауы мүмкін.

❖ Ал арнайы жасалған Зенер диодтар breakdown режимінде жұмыс істей алады.



4. Диод түрлері

Электроникада әртүрлі мақсаттар үшін қолданылатын көптеген диод түрлері бар. Әр диодтың өзіне тән құрылымы мен ерекшеліктері болады, және олар белгілі бір қолдану салаларына бағытталған.

Стандартты p-n диод — ең қарапайым және кең таралған диод түрі. Оның негізгі қызметі — электр тогын бір бағытта өткізу және екінші бағытта бөгету. Мұндай диодтар көбінесе түзеткіш схемаларда, яғни айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіру үшін қолданылады.

Зенер диод — арнайы түрде жасалған диод, ол белгілі бір кернеу деңгейіне жеткенде кері бағытта ток өткізе бастайды. Бұл қасиеті оны кернеу тұрақтандырғыштарында қолдануға мүмкіндік береді. Зенер диодтар тұрақты кернеу көздерін жасау үшін жиі пайдаланылады.

Шоттки диод — металл мен жартылай өткізгіш арасында құрылған өткелі бар диод. Оның негізгі ерекшелігі — өте аз тікелей кернеу түсуі (шамамен 0,2-0,4 В) және өте жылдам әрекет етуі. Сондықтан Шоттки диодтар жоғары жиілікті схемаларда және жылдам коммутация қажет болатын құрылғыларда қолданылады.

Светодиод (LED) — ток өткен кезде жарық шығаратын диод түрі. Светодиодтың құрылымы арнайы материалдардан жасалады, олар рекомбинация процесінде фотондар шығарады. Светодиодтар көрсеткіш шамдарда, дисплейлерде, жарықтандыру жүйелерінде кеңінен қолданылады.

Фото диод — жарық энергиясын электр тогына түрлендіретін диод. Фото диод жарық түскен кезде кері токтың шамасы артады. Ол негізінен фотосенсорлар мен қабылдағыш құрылғыларда пайдаланылады, мысалы, камераларда, оптикалық байланыс жүйелерінде.

Варикап диод (немесе Варикап) — кері кернеу өзгерген сайын өзінің сыйымдылығын өзгертетін диод. Бұл қасиеті оны жиілікті реттеу схемаларында, мысалы, радиоқабылдағыштардың немесе генераторлардың контурларын баптау үшін қолдануға мүмкіндік береді.



5. Диодтың қолданылуы

Диодтар түрлі салаларда кеңінен қолданылатын маңызды компоненттер болып табылады. Олардың әртүрлі түрлері әртүрлі қолдану мақсаттарына арнайы бейімделген. Диодтардың ең кең тараған қолдану аймақтары төменде келтірілген.

5.1. Түзеткіш схемаларда

Диодтар түзеткіш схемаларда негізгі рөл атқарады, олар айнымалы токты (AC) тұрақты токқа (DC) түрлендіру үшін қолданылады. Айнымалы токтың бір бағытта ғана ағып өтуін қамтамасыз ететін диодтың қасиеті арқылы айнымалы токтың теріс жартысы кесіліп, тек оң жартысы ғана өткізіледі. Бұл процесс тұрақты ток көзі алу үшін қажет.

Мысал:

❖ Қуат көздерінің түзеткіштері: Компьютерлер мен теледидарлар сияқты тұрмыстық техникалардағы қуат көздерінде диодтар қолданылады. Олар айнымалы токты қабылдап, оны тұрақты токқа түрлендіреді, бұл құрылғылардың жұмыс істеуіне қажет тұрақты токты қамтамасыз етеді.

Түзеткіш схемалардың бірқатар түрлері бар: жарты толқынды түзеткіш, толық толқынды түзеткіш, көп көпірлік түзеткіш. Әрбір түрі өзінің ерекшеліктерімен және тиімділік деңгейімен ерекшеленеді.

5.2. Кернеуді тұрақтандыру

Зенер диодтар кернеуді тұрақты деңгейде ұстап тұру үшін қолданылады. Бұл диодтар кері бағытта жұмыс істейді және белгілі бір кернеу шегінде тұрақты кернеу көрсетеді. Мұндай диодтар кернеуді тұрақтандыру схемаларында қолданылады, онда кернеудің өзгеруін болдырмау керек. Әдетте бұл диодтар кері кернеуде жұмыс істейді және жоғары кернеулерден қорғау үшін қолданылады.

Мысал:

❖ Кернеу тұрақтандырғыштары: Бұл құрылғыларды электр тізбектерінде тұрақты кернеу қамтамасыз ету үшін пайдаланады. Зенер диодтар белгілі бір кернеу мәніне жеткенде диодты өткізгіштік жағдайға

ауыстырып, кері бағытта ток өткізе бастайды, осылайша кернеудің артуына жол бермейді.

Зенер диодтар көбінесе параллель қосылымда қолданылып, тұрақты кернеу көздері үшін өте тиімді.

5.3. Сигналдарды бөлу және қорғау

Диодтар көбінесе жоғары кернеуден қорғау схемаларында қолданылады. Олар құрылғыларды артық кернеуден, қысқа тұйықталудан немесе импульс әсерінен қорғауға мүмкіндік береді. Диодтың өткізбейтін қабаты кері кернеуді қабылдаған кезде диод оны өткізуге мүмкіндік бермейді, осылайша ол қорғаныс рөлін атқарады.

Мысал:

❖ Жоғары кернеуден қорғау: Көптеген қорғаныс схемаларында, мысалы, денсаулық сақтау құрылғыларында немесе индустриалды жабдықтарда, артық кернеудің әсерін болдырмау үшін диодтар қолданылады. Олар жүйеге кіретін кернеудің қауіпсіз деңгейде қалуын қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, диодтар логикалық тізбектерде сигналдарды бөлу үшін де пайдаланылады. Мұндай жағдайда диодтар көп арналы сигналдарды оқшаулап немесе жүйе ішіндегі ақпаратты бағыттауды жүзеге асырады.

5.4. Жарық шығару

Светодиодтар (LED) — ең көп таралған жарық шығаратын диодтар. Олар токтың өтуі кезінде жарық шығарады және энергияны өте тиімді пайдаланатын қасиетке ие. Светодиодтар түрлі түстерде жарық шығара алады, бұл оларға кең қолдану аясын береді.

Мысал:

❖ Жарық шамдары мен экрандар: Светодиодтар қазіргі заманғы жарықтандыру жүйелерінде жиі қолданылады. Олар көше шамдарынан бастап, үйлердегі жарықтандыруға дейін қолданылады. Сондай-ақ, олар индикаторлық шамдарда, дисплейлерде және экрандарда қолданылуы өте кең.

❖ Телевизорлар мен мониторлар: LED технологиясы LCD экрандарында жиі пайдаланылады, өйткені олар төмен энергия тұтынумен жоғары жарықтықты қамтамасыз етеді.

Светодиодтардың артықшылықтары — жоғары тиімділік, ұзақ қызмет мерзімі және аз энергия тұтынуы.

5.5. Радиоэлектроника

Диодтар радиоэлектрониканың әртүрлі салаларында да маңызды рөл атқарады. Әсіресе, олар жиілік модуляциясы (FM) және жиілікті реттеу салаларында қолданылады. Диодтардың сыйымдылығы өзгеруі олардың жиілікті басқаруға мүмкіндік береді, бұл радиоқабылдағыштар мен басқа да радиоэлектронды құрылғыларда пайдалы.

Мысал:

❖ Варикап диодтары: Жиілік модуляциясында және радиоқабылдағыштардың жиіліктерін баптауда қолданылады. Варикап диоды кері кернеу арқылы өзінің сыйымдылығын өзгерте алады, сондықтан ол жиілік регуляторларының негізгі элементі болып табылады.

❖ Шоттки диодтары: Бұл диодтар жоғары жиіліктегі сигналдармен жұмыс істейтін схемаларда қолданылады. Олардың жылдам әрекет ету қабілеті оларды жоғары жиілікті схемаларда және импульс қосылымдары мен жоғары жылдамдықты сигналдарды өңдеу үшін өте тиімді етеді.

Шоттки диодтарының ерекшелігі — олар өте аз тікелей кернеу түсуі мен жылдам жауап беру қасиеттеріне ие, бұл оларды жоғары жиілікті қосымшаларға өте қолайлы етеді.

6. Диодтың вольт-амперлік сипаттамасы (ВАХ)

Диодтың вольт-амперлік сипаттамасы — бұл диодтың ток пен кернеудің арасындағы қатынасын көрсететін график немесе математикалық функция. Бұл сипаттама диодтың жұмыс режимін, оның ток өткізу қабілетін және кернеуге қалай жауап беретіні туралы маңызды ақпарат береді. Диодтың ВАХ негізінен үш негізгі аймаққа бөлінеді: тікелей қосылу аймағы, кері қосылу аймағы және тесіп өту аймағы.

1) Тікелей қосылу аймағы (Forward Bias)

Тікелей қосылу кезінде диодтың оң электродына (р-аймақ) оң кернеу, ал теріс электродына (n-аймақ) теріс кернеу беріледі. Бұл жағдайда диодтың ток өткізу қасиеті байқалады, себебі оң кернеу р-аймақтың тесіктерін, ал теріс кернеу n-аймақтың электрондарын қозғалысқа келтіреді, осылайша екі аймақ арасында ток ағады. Тікелей қосылу аймағында:

❖ Кернеу мен токтың қатынасы: Ток өте аз кернеу түсуімен тез өседі. Кернеу шамамен 0.7 В (кремний диоды үшін) немесе 0.3 В (германий диоды үшін) жеткенде ток айтарлықтай артады.

❖ Өсу жылдамдығы: Кернеу арта отырып, токтың өсуі жылдамдалады. Осы аймақта токтың өсуі экспоненциалды түрде жүреді, яғни кернеудің аз ғана өсуі токтың үлкен өзгеруіне әкеледі.

❖ Диодтың өткізгіштік режимі: Диод тікелей қосылғанда ол өткізгіш болып табылады және токты бір бағытта өткізеді. Сондықтан бұл аймақ диодтың жұмыс аймағы болып табылады.

2) Кері қосылу аймағы (Reverse Bias)

Кері қосылу кезінде диодтың оң электродына теріс кернеу, ал теріс электродына оң кернеу беріледі. Бұл жағдайда диодтың өткізгіштік қабілеті жоғалады, себебі оң зарядталған тесіктер мен теріс зарядталған электрондар бір-бірінен қашықтайды. Кері қосылу аймағында:

❖ Кері ток: Кері кернеу әсерінен диодтың өткізбейтін қабаты (depletion region) кеңейеді, бұл токтың өте аз мөлшерде ағуына әкеледі. Осылайша, кері қосылу аймағында ток шамамен нөлге тең болады.

❖ Кері токтың мәні: Кері ток өте төмен, бірақ ол кері ағып өтуі мүмкін (кері токтың бұзылу шегіне жеткенде).

❖ Диодтың өткізбейтін режимі: Диод кері қосылғанда оның өткізгіштік қабілеті тоқтатылады, сондықтан бұл аймақта диод ток өткізбейді және жоғары кернеулерге қарсы қорғаныс ретінде жұмыс істейді.

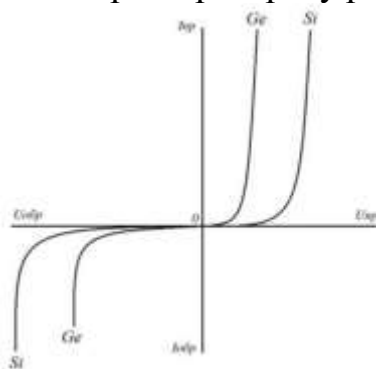
3) Тесіп өту режимі (Breakdown Mode)

Тесіп өту режимі кері қосылу кезінде диодқа өте үлкен кернеу берілгенде басталады. Егер кері кернеу диодтың төзімділік шегінен асып кетсе, онда диодтың өткелі (р-п өткелі) бұзылады және ток күрт өседі. Тесіп өту кезінде:

- ❖ Токтың күрт өсуі: Кері кернеу тым жоғары болғанда, электр өрісі өте күшті болады, бұл жартылай өткізгіштің құрылымында айтарлықтай өзгерістерге әкеледі. Бұл кезде токтың ағыны күрт артады.

- ❖ Кернеу мен токтың қатынасы: Кері кернеу тым жоғары болғанда, токтың өсуі күрт байқалады. Бұл жағдайда токты тежеу өте қиын болады және диод бұзылады, яғни оның ток өткізгіштік қасиеті жойылады.

- ❖ Диодтың жұмыс еместігі: Тесіп өту режимі диодтың нормалық жұмыс режиміне қарама-қарсы болып табылады. Бұл диодтың бұзылуына әкелуі мүмкін, сондықтан тек белгілі бір жағдайларда ғана арнайы конструкциялар қолданылады (мысалы, Зенер диодтары кері кернеу режимінде жұмыс істейді).



Қорытынды:

Диод — электроникада маңызды және кеңінен қолданылатын құрылғы, оның негізгі ерекшелігі токты тек бір бағытта өткізетін қасиетінде жатыр. Диодтың құрылымы, жұмыс принципі мен негізгі сипаттамалары оны әртүрлі электрондық жүйелерде қолдануға мүмкіндік береді. Тікелей қосылу кезінде диод токты жақсы өткізсе, кері қосылу кезінде оның өткізгіштігі тоқтайды. Ал тесіп өту режимі кері кернеудің тым жоғары болғанда токтың күрт өсуіне алып келеді, бұл диодтың бұзылуына әкелуі мүмкін.

Диодтар түрлі түрлерде болады, мысалы, стандартты р-п диодтар, зенер диодтар, Шоттки диодтар, светодиодтар және басқа да арнайы диодтар, олардың әрқайсысы белгілі бір мақсатта қолданылады. Олар тек қана түзеткіш схемаларда емес, сонымен қатар кернеуді тұрақтандыру, сигналдарды бөлу, жарық шығару және радиотехникалық құрылғыларда жиілікті реттеу сияқты көптеген басқа салаларда да қолданылады.

Диодтың вольт-амперлік сипаттамасы оның жұмыс принципін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді, ал әртүрлі жұмыс режимдері оның қолданылу аясын кеңейтеді. Диодтардың әртүрлі қасиеттері мен түрлері қазіргі заманғы электроникада маңызды рөл атқарады, оларды дұрыс қолдану көптеген инженерлік тапсырмаларды тиімді шешуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Алешин, В. А., & Липатов, С. И. (2017). Основы электроники и электротехники. М.: Академический проект.
2. Смирнов, В. В., & Иванов, Н. А. (2019). Электронные устройства: теория и практика. М.: Диалектика.
3. Бондаренко, Ю. А. (2018). Основы полупроводниковой электроники. М.: Физматлит.
4. Харольд, П., & Кроуфорд, В. (2015). Semiconductor Devices: Physics and Technology. Wiley.
5. Гонченко, П. П. (2016). Диоды и транзисторы. Теория и применение. Санкт-Петербург: Питер.
6. Беляев, М. В. (2019). Электронные компоненты и устройства. М.: Энергия.
7. Streetman, B. G., & Banerjee, D. (2020). Solid State Electronic Devices. Pearson Education.
8. Klaassen, A. (2018). Electronics: Principles and Applications. McGraw-Hill.
9. Цыганков, А. Н. (2014). Электронные устройства и схемы. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана.
10. Петров, В. Л. (2017). Основы схемотехники и микросхемотехники. М.: Высшая школа.