

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

4 Дәріс

Тақырыбы: Биполярлы транзисторлар

Дәрістің мақсаты мен міндеттері

Дәрістің мақсаты: Биполярлы транзисторлардың жұмыс принциптерін және құрылымдық ерекшеліктерін егжей-тегжейлі қарастыру, сондай-ақ олардың қазіргі заманғы электроникадағы әртүрлі қолданылуын түсіндіру. Лекцияда транзисторлардың функционалдық сипаттамаларын, олардың әртүрлі жұмыс режимдеріндегі мінез-құлқын және күшейткіштер, логикалық схемалар мен басқа да электрондық құрылғыларды жобалаудағы рөлін түсіну үшін қажетті барлық мәліметтер қамтылған. Сондай-ақ, биполярлы транзисторлардың радиотехника, мобильді технологиялар және есептеу техникасы сияқты салалардағы практикалық қолданылуына ерекше назар аударылған. Бұл аспектілерді түсіну электроника саласындағы күрделі тақырыптарды меңгеруге және жаңа инновациялық шешімдер әзірлеуге негіз болады.

Міндеттері:

- Биполярлы транзистордың құрылымы мен $p-n-p$ немесе $n-p-n$ типтерін түсіндіру;
- Транзистордың негізгі жұмыс режимдерін сипаттау (төменгі, орташа, қаныққан режимдер);
- Транзисторлардың күшейткіш, логикалық және коммутациялық қасиеттерін талдау;
- Радиотехника, мобильді байланыс және есептеу техникасындағы практикалық қолданылуын көрсету;
- Электрондық схемаларды жобалау кезінде транзисторлардың рөлін түсіндіру.

Түйінді ұғымдар мен терминдер

- Биполярлы транзистор (BJT)
- $n-p-n$ және $p-n-p$ құрылымы
- Коллектор, база, эмиттер
- Активті режим, қаныққан режим, ажыратылған режим
- Күшейткіш коэффициенті
- Ток күшейткіші (β)
- Коммутация және логикалық қолдану

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Биполярлы транзистордың құрылымы
2. Биполярлы транзистордың жұмыс принципі
3. Транзистордың қолданылуы
4. Биполярлы транзистордың артықшылықтары мен кемшіліктері

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

Әдебиеттер тізімі

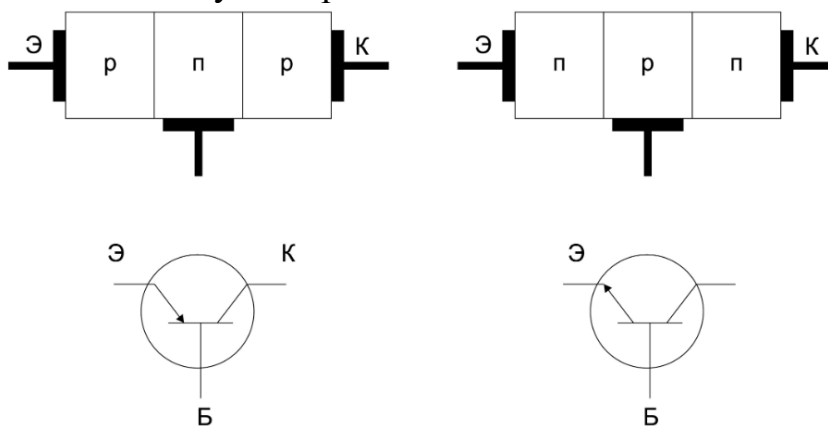
Кіріспе

Биполярлы транзисторлар (БТ) – бұл үш қабаттан тұратын жартылай өткізгіш құрылғылар. Олар электрлік сигналдарды күшейту үшін қолданылатын негізгі элементтердің бірі болып табылады. Биполярлы транзисторлар негізінен екі түрге бөлінеді: NPN және PNP транзисторлар.

Бұл лекцияда біз биполярлы транзисторлардың жұмыс принципі, құрылымы, жұмыс режимдері және қолданылуын қарастырамыз.

1. Биполярлы транзистордың құрылымы

Биполярлы транзистор (БТ) — бұл жартылай өткізгіш материалдан жасалған үш қабатты құрылғы. Әрбір қабаттың ерекше қызметі мен электрлік қасиеттері бар. Биполярлы транзисторларда ток тасымалдаушылар ретінде электрондар мен саңылаулар (жоғалған электрондар) қатысады. Осыған байланысты оларды «биполярлы» деп атайды, себебі транзисторларда екі түрлі электрлік зарядты тасымалдаушылар қолданылады.



1.1. Транзистордың негізгі қабаттары

Биполярлы транзистор үш негізгі қабаттан тұрады:

1) Эмиттер

(Emitter):

Эмиттер қабаты транзистордың бірінші бөлігі болып табылады және токты сыртқа шығарады. Эмиттерде электрондар (NPN транзисторлар үшін) немесе саңылаулар (PNP транзисторлар үшін) көбірек болады. Эмиттер қабатының құрамында көп мөлшерде заряд тасымалдаушылар орналасқан, себебі ол токты сыртқа шығару үшін ерекше дәрежеде тығыз материалмен жасалады. Бұл қабаттың қызметі — базиске немесе коллекторға заряд тасымалдаушыларды жіберу.

2) Базис

(Base):

Базис — бұл өте жұқа қабат, ол эмиттер мен коллектор арасындағы аралық болып табылады. Базис материалдың өте жұқа болуы, электрлік байланыс кезінде заряд тасымалдаушылардың тез өтуін қамтамасыз етеді. Базис көбінесе эмиттермен салыстырғанда әлсіз қосылған, сондықтан базис арқылы өтетін ток өте аз. Осы аз токты эмиттерден коллекторға жеткізу үшін транзистордың күшейту мүмкіндігі пайдаланылады. Әдетте, базис аз мөлшерде доғал немесе оң заряд тасымалдаушылардан тұрады.

3) Коллектор

(Collector):

Коллектор — бұл транзистордың үшінші бөлімі, оның басты қызметі — заряд

тасымалдаушыларды жинау. Эмиттер мен базис арасында өтетін ток көбейіп, коллектор арқылы өтеді. Коллектор көбінесе транзистордың ең үлкен бөлімі болып табылады, себебі оның негізгі мақсаты — өтетін токты қабылдап, жинау.

1.2. Транзистордың түрлері

Биполярлы транзисторлардың екі негізгі түрі бар: NPN және PNP транзисторлары. Екі түрінің арасында құрылымдық айырмашылықтар бар, бірақ олардың жұмыс принциптері бірдей. Тек қана токтың бағыты мен заряд тасымалдаушылардың түрі өзгеріп отырады.

1.2.1. NPN транзисторы:

❖ Құрылымы:

NPN транзисторының құрылымында эмиттер (E) N түрінде, базис (B) P түрінде және коллектор (C) тағы да N түрінде болады.

- Эмиттер (E): N типті жартылай өткізгіш материал, онда көп мөлшерде электрондар бар.

- Базис (B): P типті өте жұқа қабат, онда саңылаулардың концентрациясы жоғары болады. Базис тым жұқа болғандықтан, эмиттерден келген электрондар базис арқылы оңай өтеді.

- Коллектор (C): N типті қабат, онда электрондарды жинау үшін кеңірек аймақ қарастырылған.

❖ Жұмыс

принципі:

NPN транзисторында эмиттерден шығатын электрондар базиске өтеді және өте аз мөлшерде базистен коллекторға өтеді. Электрондардың осы қозғалысы нәтижесінде транзистор күшейтуші болып жұмыс істейді. Базиске ағатын токтың аз мөлшері, коллектор арқылы өтетін токтың көп мөлшерін басқаруға мүмкіндік береді.

1.2.2. PNP транзисторы:

❖ Құрылымы:

PNP транзисторының құрылымында эмиттер (E) P түрінде, базис (B) N түрінде және коллектор (C) тағы да P түрінде болады.

- Эмиттер (E): P типті жартылай өткізгіш материал, онда көп мөлшерде саңылаулар бар.

- Базис (B): N типті өте жұқа қабат, онда электрондардың концентрациясы жоғары болады.

- Коллектор (C): P типті қабат, онда саңылауларды жинайтын аймақ бар.

❖ Жұмыс

принципі:

PNP транзисторында эмиттерден шығатын саңылаулар базиске өтеді, содан кейін базистен коллекторға өтеді. Бұл қозғалыс транзистордың күшейтуші режимінде жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. PNP транзисторында токтың бағыты NPN транзисторына қарама-қарсы болады.

1.3. Транзисторлардың құрылымындағы электрлік ауысулар

Биполярлы транзистордың жұмыс істеуі үшін екі ауысу қабатының болуы маңызды:

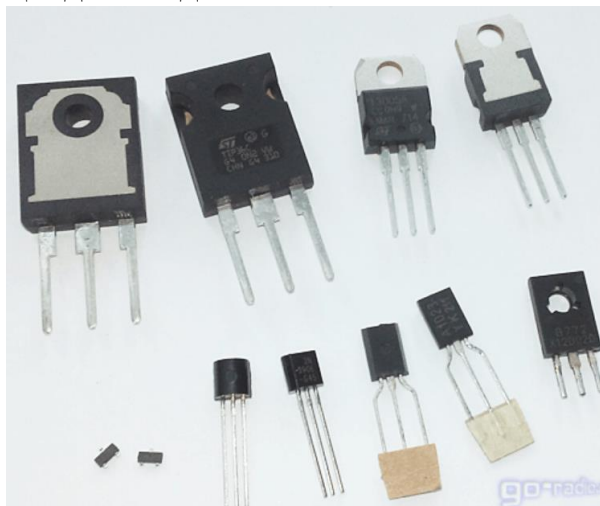
Бұл ауысу қабатының әрекеті эмиттерден базиске заряд тасымалдаушылардың өтуін қамтамасыз етеді. Эмиттерден базиске өтетін токтың бағытында электрлік өріс пайда болады, ол заряд тасымалдаушыларды басқарады.

Бұл ауысу қабаты заряд тасымалдаушылардың базистен коллекторға өтуін басқарады. Базистен коллекторға өтетін ток эмиттер мен базис арасындағы кішкене токтың күшеюі нәтижесінде мүмкін болады.

Биполярлы транзисторлар әртүрлі қосылым түрлерінде қолданылады, олардың ең кең таралғаны:

Биполярлы транзистор ток күшейткіш ретінде пайдаланылады, өйткені оның арқылы өтетін ток өте үлкен, ал базаға келген ток өте аз.

Транзисторларды қосарланған схемаларда, мысалы, ток көзі мен жүктеме арасында қолдануға болады. Мұндай қосылу көбінесе күшейткіш немесе ажыратқыш ретінде қолданылады.



Биполярлы транзистордың жұмыс принципі оның құрылымындағы үш қабаттың өзара әрекеттесуіне негізделеді. Транзистордың жұмысы екі негізгі элементтің — электрондардың және саңылаулардың (электрондардың жоқтығы) қозғалысына байланысты болады. Бұл қозғалыстар электр өрісінің әсерінен жүзеге асады және осының арқасында транзистор токты күшейтуші элемент ретінде қызмет етеді.

Биполярлы транзистордың негізгі жұмыс принципі — бұл токтың бір бөлігінің басқа бөлігін күшейту қабілеті. Эмиттерден базиске өтетін ток өте аз болғанымен, ол коллектор арқылы өтетін токты айтарлықтай арттырады. Транзистордың жұмысын түсіну үшін оның екі ауысу қабатының әрекетін талдайық:

1) Эмиттер-базис ауысуы (Emitter-Base Junction): Бұл ауысу қабатының жұмысы, эмиттерден базиске өтетін заряд тасымалдаушылардың қозғалысына негізделген. Әдетте, эмиттерде көп мөлшерде электрондар немесе саңылаулар бар, олар электр өрісінің әсерімен базиске өтеді. Бұл өтетін заряд тасымалдаушылар аз болса да, олар коллекторға өтетін үлкен токты басқаруға мүмкіндік береді.

2) Базис-коллектор ауысуы (Base-Collector Junction): Бұл ауысу қабатының жұмысы, заряд тасымалдаушылардың базистен коллекторға өтуіне негізделген. Бұл процессте базиске өткен заряд тасымалдаушылар коллектор арқылы үлкен токтармен өтеді. Коллекторға өтетін ток эмиттерден бастап базиске өтетін токтан көп есе артық болады.

Транзистордың жұмысын басқару үшін әртүрлі жұмыс режимдерінде қолданылатын кернеулер мен токтар өте маңызды.

2.2. Транзистордың жұмыс режимдері

Биполярлы транзистор әртүрлі жұмыс режимдерінде жұмыс істей алады. Әр режимде оның электрлік қасиеттері өзгереді, бұл оның күшейту қабілетін және ток өткізу мүмкіндігін анықтайды.

2.2.1. Қосымша режим (Active Mode)

❖ Сипаттама:

Бұл режимде транзистор эмиттер-базис ауысуының алдыңғы бағытында және базис-коллектор ауысуының артқы бағытында жұмыс істейді. Басқаша айтқанда, эмиттерден базиске өтетін ток өте аз болғанымен, ол коллектор арқылы өтетін токты бірнеше есе арттырады.

❖ Қалай жұмыс істейді:

Эмиттерден шыққан электрондар (NPN транзисторында) базиске өтеді. Базистің өте жұқа қабаты болғандықтан, ол электрондарды толықтай жұтып алмайды, тек аз мөлшерін ғана қабылдайды. Осы кезде электрондардың көп бөлігі базистен өтіп, коллекторға барады. Коллектор арқылы өтетін ток эмиттерге келген токтан бірнеше есе көп болады. Сондықтан транзистор активті күйде өте тиімді күшейткіш ретінде жұмыс істейді. Бұл күйде транзисторда күшейту коэффициенті (β) үлкен болады, яғни оның күшейту мүмкіндігі жоғары.

❖ Қолданылуы:

Қосымша режимде транзисторлар күшейткіш ретінде қолданылады, мысалы, аудио сигналдарын немесе радио сигналдарын күшейту үшін.

2.2.2. Қосарланған режим (Saturation Mode)

❖ Сипаттама:

Қосарланған режимде транзистор толық ашық күйде болады. Бұл жағдайда, эмиттер мен базис арасындағы кернеу жоғары, ал базис пен коллектор арасындағы кернеу тым аз. Транзистор толыққанды «жұмыс істеп тұрған» жағдайда болады, бірақ оның күшейту қасиеті өте төмен. Яғни, бұл кезде транзистор өте аз күшейтумен жұмыс істейді.

❖ Қалай жұмыс істейді:

Эмиттер мен коллектор арасындағы кернеулер соншалықты жоғары, олар транзистордың ішкі ауысуларын толығымен ашып жібереді. Бұл жағдайда

коллектор мен эмиттер арасындағы ток кедергісіз өтеді, ал транзистор толықтай «ашық» болып, төмен қарсылық көрсетеді. Мұнда транзистор токты ешбір күшейтусіз өткізеді.

❖ Қолданылуы:

Қосарланған режим транзисторды өткізгіш қосқыш ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай режимде транзистор токты толығымен өткізеді, бірақ күшейту мүмкіндігі өте төмен болады. Бұл режим әсіресе цифрлық логикалық схемаларда, ажыратқыштар мен реле элементтерінде қолданылуы мүмкін.

2.2.3. Кедергі режимі (Cutoff Mode)

❖ Сипаттама:

Кедергі режимде транзистор толық жабық күйде болады. Эмиттер мен базис арасындағы кернеу тым төмен, сондықтан транзистордың жұмысы тоқтайды және токтың өтуі тоқтатылады. Бұл режимде транзисторда күшейту болмайды.

❖ Қалай жұмыс істейді:

Бұл жағдайда эмиттер мен базис арасындағы кернеу төмен немесе нөлге тең болады, сондықтан эмиттерден базиске заряд тасымалдаушылар өтуі мүмкін емес. Осы себептен транзистор ток өткізбейді. Бұл күй транзисторды толық жабық күйде ұстайды, яғни ешқандай токтың өтуі болмайды.

❖ Қолданылуы:

Кедергі режимі транзисторларды тек «жабық» күйде қолдану қажет болған жағдайларда қолданылады. Мысалы, логикалық «0» сигналын қалыптастыру немесе ток өтуін тоқтату кезінде.

2.3. Транзистордың жұмыс режимдеріндегі токтардың өзгеруі

Транзистордың жұмыс режимдері оның электрлік қасиеттеріне әсер етеді. Әр режимде коллектор арқылы өтетін токтар, эмиттер мен базиске түскен токтардың өзгеруі байқалады:

❖ Қосымша режимде эмиттерден өтетін ток өте аз болғанымен, ол коллектордағы токты көбейтеді.

❖ Қосарланған режимде транзистор барлық токты толықтай өткізеді, бірақ күшейту мүмкіндігі төмен.

❖ Кедергі режимінде транзистор ток өткізбейді, сондықтан коллектордағы ток нөлге тең болады.

3. Транзистордың қолданылуы

Биполярлы транзисторлар – электрлік схемалар мен құрылғыларда кеңінен қолданылатын өте маңызды компоненттер. Олардың негізгі қолданылуы – электрлік сигналдарды басқару және күшейту. Бұл құрылғылар аналогтық және цифрлық техникада, сондай-ақ әртүрлі электрондық құрылғыларда кездеседі. Төменде транзисторлардың қолданылу салаларының толық сипаттамасы берілген.

3.1. Күшейткіштерде қолданылуы

❖ Сигналдарды күшейту:

Биполярлы транзисторлардың негізгі қолданылуы – бұл сигналдарды күшейту, әсіресе аудио және радиожіліліктерде. Олар әдетте күшейткіш схемаларда

қолданылады, себебі олардың басты ерекшелігі – кішігірім токтың өзгерісін үлкен токтың өзгерісіне айналдыру қабілеті.

❖ **Аудио**

күшейткіштерде:

Аудио күшейткіштер – бұл белгілі бір жиіліктердегі сигналды күшейтуге арналған құрылғылар. Биполярлы транзисторлар осы схемалардың негізгі элементтерінің бірі болып табылады, себебі олар жоғары жиіліктерде де тұрақты жұмыс істей алады және жоғары тиімділікпен жұмыс істейді. Транзисторлар аудио сигналдарды күшейтіп, динамикаларды немесе басқа да шығару құрылғыларын басқаруға мүмкіндік береді.

❖ **Радиожииілікті**

күшейткіштерде:

Радиожииіліктерді күшейту үшін транзисторлар жиі қолданылады. Олар радиоқабылдағыштарда немесе байланыс жүйелерінде жоғары жиіліктегі сигналдарды күшейту үшін маңызды компоненттер болып табылады. Мұндай қолдануларда транзисторлар жоғары дәлдікпен сигналды ұлғайтады, бұл өте маңызды, себебі радиосигналдардың қуаты шектеулі болуы мүмкін.

3.2. Өтпелі қосқыштарда қолданылуы

❖ **Аналогтық және цифрлық сигналдардың араласуында:**

Транзисторлар өтпелі қосқыштар ретінде де қолданылады. Олар аналогты сигналдарды цифрлық жүйелерге немесе цифрлық сигналдарды аналогтық жүйелерге түрлендіруге мүмкіндік береді. Мысалы, транзисторлар аналогты сигналдарды цифрлық күйге көшіру үшін қолданылатын АЦП (аналог-цифрлық түрлендіргіштер) және ЦАП (цифрлық-аналогтық түрлендіргіштер) схемаларында маңызды рөл атқарады.

❖ **Электрлік құрылғылардың жұмысын басқару:**

Транзисторлар электрлік құрылғылардың қосылу және өшірілуін басқару үшін өтпелі қосқыштар ретінде қызмет етеді. Бұл қосқыштар кез келген сигналды қабылдап, оны тексеріп, сәйкесінше басқару әрекетін жасайды. Өтпелі қосқыштар негізінен автоматты басқару жүйелерінде, мысалы, жарықтандыруды немесе жылу жүйелерін басқару кезінде пайдаланылады.

3.3. Логикалық схемаларда қолданылуы

❖ **Логикалық**

операциялар:

Биполярлы транзисторлар цифрлық логикада, логикалық схемаларда кеңінен қолданылады. Олар AND, OR, NOT және басқа да негізгі логикалық операцияларды жүзеге асыратын элементтер болып табылады. Транзисторлар осы операцияларды орындау үшін ең қарапайым және тиімді құралдар болып табылады.

❖ **Қолданылуы:**

Логикалық транзисторлар негізінде, мысалы, цифрлық компьютерлерде, есептеу машиналарында және басқа да цифрлық құрылғыларда логикалық шешімдер қабылданады. Олар сандық есептеуіш жүйелерінде және әртүрлі логикалық блоктарда ақпаратты өңдеу үшін пайдаланылады. Транзисторлардың кіру және шығу мәндерін өзгертуі арқылы жүйелер ақпаратты өңдейді.

❖ **Жады элементтері мен санауыштар:**

Транзисторлар тек логикалық операцияларды ғана емес, сондай-ақ жад

элементтерін (мысалы, триггерлерді) және санауыштарды жасау үшін де пайдаланылады. Бұл компоненттер цифрлық есептеу мен өңдеуде негізгі роль атқарады.

3.4. Электрондық құрылғыларда қолданылуы

❖ Мобильді құрылғылар:

Биполярлы транзисторлар мобильді құрылғыларда (смартфондар, планшеттер) маңызды рөл атқарады. Олар құрылғылардың қуат көздерін басқару үшін, сондай-ақ мәліметтерді өңдеу және тасымалдау үшін қолданылады. Транзисторлар мобильді құрылғылардың ішкі электрондық схемаларында негізгі жұмыс элементтері болып табылады.

❖ Радиоқабылдағыштарда:

Транзисторлар радиоқабылдағыштар мен радиожиілік жүйелерінде қолданылатын маңызды компоненттер болып табылады. Олар радиосигналдарды қабылдап, оны күшейтіп, пайдаланушыға қажетті дыбыс сигналын береді. Радиоқабылдағыштағы биполярлы транзисторлар негізінен сигналды қабылдау, күшейту және өңдеу үшін қолданылады.

❖ Компьютерлер мен басқа да электрондық құрылғыларда: Компьютерлер мен басқа да күрделі электрондық құрылғыларда транзисторлар көптеген компоненттерде қолданылады. Олар процессорларда, жад құрылғыларында және кіріс-шығыс жүйелерінде маңызды роль атқарады. Әсіресе жоғары жылдамдықтағы цифрлық процессорлар мен микросхемалар транзисторлардың көмегімен жұмыс істейді.

4. Биполярлы транзистордың артықшылықтары мен кемшіліктері

Артықшылықтары:

- ❖ Жоғары күшейту қабілеті.
- ❖ Нақты жұмыс сипаттамалары және тұрақтылығы.
- ❖ Өртүрлі қосымшаларда кеңінен қолданылуы.

Кемшіліктері:

- ❖ Жоғары кернеу мен токтың әсерінен транзистордың жылу бөлінуі.
- ❖ Қазіргі уақытта MOSFET сияқты басқа транзисторларға қарағанда үлкен қуат тұтыну.

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

1. Биполярлы транзистордың құрылымы қандай бөліктерден тұрады?
2. $n-p-n$ және $p-n-p$ транзисторларының айырмашылығы неде?
3. Транзистордың негізгі жұмыс режимдері қандай?
4. Күшейткіш коэффициенті (β) дегеніміз не?
5. Транзисторларды күшейткіш және коммутациялық құрылғыларда қалай қолдануға болады?
6. Радиотехникадағы және мобильді байланыстағы транзисторлардың рөлі қандай?

Қорытынды:

Лекцияда биполярлы транзисторлардың негізгі жұмыс принциптері мен құрылымдық ерекшеліктері, сондай-ақ олардың әртүрлі электрондық салалардағы қолданылуы қарастырылды. Биполярлы транзисторлар қазіргі заманғы электрондық құрылғыларды, оның ішінде күшейткіштер, логикалық схемалар мен мобильді технологияларды жасау үшін маңызды рөл атқарады. Транзисторлардың жұмысын және олардың функционалдық ерекшеліктерін түсіну электрониканың күрделі жүйелерін меңгеру және инновациялық шешімдер жасау үшін қажетті негіз болып табылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Миллер, Э. "Электроника и электротехника". М.: Издательство "Наука", 2015.
2. Бендер, М. "Основы микроэлектроники". М.: Издательство "Энергия", 2018.
3. Грей, П., Хамильтон, Р. "Микроэлектроника". М.: Издательство "Мир", 2017.
4. Круг, Дж. "Электронные устройства и схемы". М.: Издательство "ВШ", 2016.
5. Шатен, С., Тиберг, Г. "Транзисторы и их применение". СПб.: Издательство "БХВ-Петербург", 2014.
6. Линдер, В. "Основы электроники". М.: Издательство "Физматлит", 2019.
7. Смит, Р. "Транзисторы в аналоговой электронике". М.: Издательство "Юрайт", 2020.
8. Бутковский, А. "Теория и практика работы биполярных транзисторов". М.: Издательство "Радио и связь", 2018.
9. Тобан, М. "Микроэлектронные системы: от транзисторов до интегральных схем". М.: Издательство "Интернаука", 2017.
10. Нойманн, Й. "Основы полупроводниковой электроники". М.: Издательство "Техносфера", 2018.