

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

8 Дәріс. Биполярлық транзисторлар. Биполярлы транзистордың вольт-амперлік сипаттамалары. Биполярлы транзистордың қосылу схемалары.

Дәрістің мақсаты: Биполярлық транзисторлардың құрылымын, жұмыс істеу принципін, вольт-амперлік сипаттамаларын және қосылу схемаларын меңгеру. Транзистордың негізгі жұмыс режимдерін түсіндіріп, оларды әртүрлі электрондық құрылғыларда қолдану тәсілдерін үйрену.

1. Биполярлы транзистор

Биполярлық транзистор (БТ) — бұл үш қабатты, үш аймақтан тұратын жартылай өткізгіш құрылғы, оның басты қызметі — электр сигналын күшейту және коммутация (ауыстырып қосу). Транзистор — қазіргі заманғы электрониканың негізі, ол барлық күшейткіштерде, аналогтық және цифрлық құрылғыларда кеңінен қолданылады.



Түрлері:

Құрылымына қарай екі негізгі типке бөлінеді:

1. n-p-n транзистор

Құрылымы: n (эмиттер) — p (база) — n (коллектор)

❖ Эмиттер мен коллектор – n-типті жартылай өткізгіштен, база – p-типті жартылай өткізгіштен тұрады.

❖ Бұл транзисторда негізгі заряд тасымалдаушылар – электрондар.

2. p-n-p транзистор

Құрылымы: p (эмиттер) — n (база) — p (коллектор)

❖ Эмиттер мен коллектор – p-типті жартылай өткізгіштен, база – n-типті.

❖ Бұл жағдайда негізгі заряд тасымалдаушылар – кемтіктер.

Екі тип транзистор да бірдей принциппен жұмыс істейді, тек токтың бағыты және кернеу полярлығы өзгеше болады.

Биполярлық транзисторларда екі типтегі заряд тасымалдаушылар — электрондар мен кемтіктер — токтың берілуіне қатысады.

Мысалы, n-p-n транзисторда:

❖ Эмиттерден базаға электрондар өтеді (негізгі тасымалдаушы).

❖ Базада аз мөлшерде кемтіктер (көмекші тасымалдаушылар) болады.

Сол себепті мұндай транзисторлар "биполярлық" (екі полюсті) деп аталады — оларда ток екі түрлі тасымалдаушы арқылы жүзеге асады.

Бұл қасиет биполярлық транзисторды өрістік транзисторлардан (MOSFET және т.б.) ерекшелендіреді, өйткені соңғыларында ток тек бір типті заряд тасымалдаушылар арқылы өтеді (монополярлы құрылғылар).

Транзистордың схемалық белгіленуі:

❖ n-p-n

транзистор:

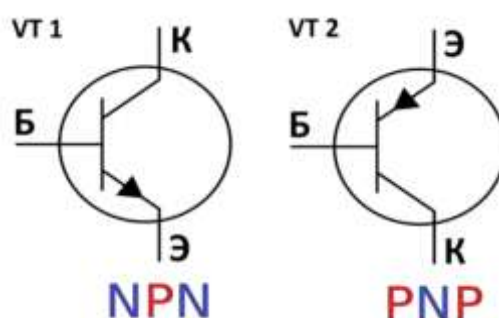
Кестеде эмиттер стрелкасы сыртқа бағытталған

❖ p-n-p

транзистор:

Стрелка ішке бағытталған

Осы бағыттар токтың қозғалатын бағытын көрсетеді (эмиттерден базаға).



2. Биполярлық транзистордың жұмысы

Транзистордың негізгі функциясы – кіші токтың (базалық ток) көмегімен үлкен токты (коллектор ток) басқару. Бұл процесс транзистордың күшейткіш қасиетін қамтамасыз етеді.

Аймақтардың қызметі:

1. Эмиттер (E)

- ❖ Эмиттер — бұл заряд тасымалдаушылардың көзі.
- ❖ Егер n-p-n транзисторды алсақ, эмиттер негізінен электрондардан тұрады (n-тип).
- ❖ Егер p-n-p болса, эмиттер кемтіктерді (p-тип) береді.
- ❖ Эмиттер күшті легирленген (қоспамен байытылған), сондықтан ол көп мөлшерде заряд тасымалдаушыларды базаға айдай алады.

2. База (B)

- ❖ База — өте жұқа және әлсіз легирленген аймақ.
- ❖ Оның негізгі рөлі – эмиттерден келген заряд тасымалдаушылардың көп бөлігін коллекторға өткізу.
- ❖ Базаның қалыңдығы әдейі өте кішкентай етіп жасалады (шамамен бірнеше микрометр), сондықтан эмиттерден келген тасымалдаушылардың ~95% - 99% база арқылы еш кедергісіз өтіп кетеді.

❖ Тек аз ғана бөлігі базада рекомбинацияланып, базалық токты (I_b) құрайды.

3. Коллектор (C)

- ❖ Коллектор – заряд тасымалдаушыларды база арқылы қабылдайтын аймақ.

❖ Ол базаға қарағанда үлкенірек және жақсы жылу тарататын етіп жасалған, себебі ол транзистордағы негізгі ток жүктемесін көтереді.

❖ Коллектор әлсіз легирленген, бұл оның кері бағытта қосылған базаға қатысты потенциалды тиімді тартып тұруын қамтамасыз етеді.

Қосылу бағыты:

Эмиттер-база қосылысы:

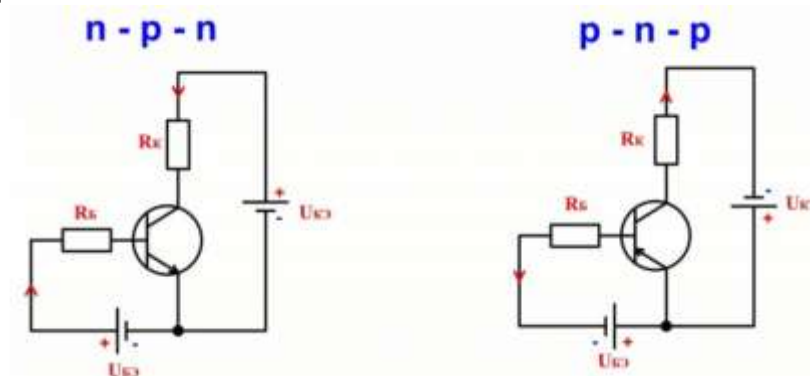
❖ Тура бағытта қосылады (мысалы, n-p-n транзисторда эмиттер – теріс, база – оң).

❖ Бұл қосылу заряд тасымалдаушылардың базаға еркін өтуіне мүмкіндік береді.

Коллектор-база қосылысы:

❖ Кері бағытта қосылады (мысалы, коллектор – оң, база – теріс).

❖ Бұл потенциал айырмашылығы база арқылы өткен заряд тасымалдаушыларды коллекторға тартып, негізгі токтың қозғалысын қамтамасыз етеді.



Токтардың өзара байланысы:

Биполярлық транзисторда үш негізгі ток бар:

$I_{\text{э}}$ – эмиттер тогы

$I_{\text{б}}$ – база тогы

$I_{\text{к}}$ – коллектор тогы

Олар мына теңдеумен байланысады:

$$I_{\text{э}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}}$$

Яғни, эмиттер тогы – база мен коллектор тогының қосындысы.

Күшейту механизмі:

Күшейту мына принципке негізделген:

❖ Базалық ток өте аз болса да, ол эмиттер-база қосылысында заряд тасымалдаушылардың қозғалуын тудырады.

❖ Бұл қозғалыс нәтижесінде үлкен коллектор тогы пайда болады.

❖ Осылайша, аз базалық ток арқылы үлкен коллектор тогын басқаруға болады — яғни транзистор күшейткіш ретінде жұмыс істейді.

Мысал (n-p-n транзистор үшін):

1. Эмиттер теріс полюске, база оң полюске қосылады → тура бағыт

2. Коллектор оң кернеуге қосылады, база теріске қарағанда аздап теріс

→ кері бағыт

3. Эмиттерден электрондар базаға өтеді.

4. Электрондардың көпшілігі база арқылы өтіп, коллекторға тартылады.

5. Нәтижесінде коллектор тогы ағады.

3. Биполярлық транзистордың вольт-амперлік сипаттамалары (BAC)

Биполярлық транзистордың вольт-амперлік сипаттамалары (BAC) – бұл транзистордағы токтар мен кернеулердің арасындағы тәуелділікті график түрінде бейнелейтін маңызды сипаттамалар. Олар транзистордың әртүрлі жұмыс режимдерінде қалай жұмыс істейтінін түсінуге мүмкіндік береді.

Екі негізгі BAC түрі:

1. Коллекторлық сипаттама

Коллекторлық сипаттама – бұл транзистордың коллектор тогының (I_K) коллектор-эмиттер кернеуіне ($U_{КЭ}$) тәуелділігін көрсететін график.

❖ График әдетте бірнеше қисық сызықтардан тұрады, әрқайсысы базалық токтың (I_6) нақты мәніне сәйкес келеді.

❖ Яғни, база тогы артқан сайын, коллектор тогы да артады, бұл транзистордың күшейткіш ретіндегі қасиетін көрсетеді.

Бұл сипаттама негізгі үш аймаққа бөлінеді:

❖ Белсенді (қалыпты) аймақ: коллектор-база қосылысы кері, эмиттер-база қосылысы тура. Транзистор күшейткіш ретінде жұмыс істейді.

❖ Қанығу аймағы: екі қосылыс та тура бағытта. Транзистор ашық күйде, ток шектеулі емес – коммутациялық құрылғыларда қолданылады.

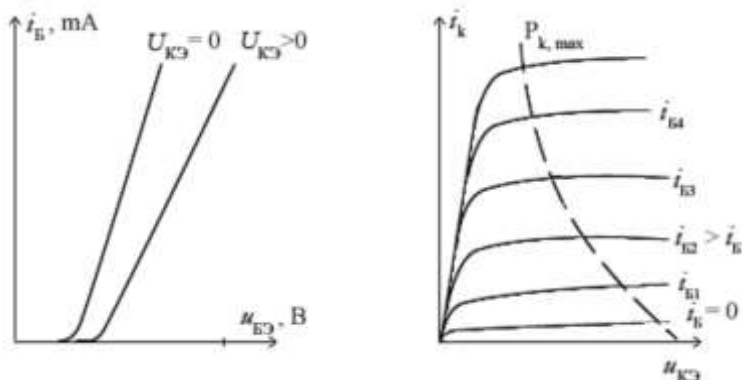
❖ Бөгеу (кесу) аймағы: екі қосылыс та кері бағытта. Транзистор жабық күйде, ток жоқ немесе өте аз.

2. Базалық сипаттама

Базалық сипаттама – база тогының (I_6) база-эмиттер кернеуіне ($U_{БЭ}$) тәуелділігін сипаттайды.

❖ Бұл сипаттама диодтың тура бағыттағы сипаттамасына ұқсас, өйткені эмиттер-база қосылысы тура бағытта қосылады.

❖ Яғни, база тогы экспоненциалды түрде артады, егер $U_{БЭ}$ белгілі бір шекті мәннен (шамамен 0.6 – 0.7 В) асса (n-p-n транзистор үшін).



Биполярлық транзистордың жұмыс режимдері

Биполярлық транзистордың жұмыс істеу режимі оның қосылыстарының (эмиттер-база және коллектор-база) қалай қосылғанына байланысты анықталады.

Режим	Эмиттер-база қосылысы	Коллектор-база қосылысы	Сипаттама
Қалыпты күшейту режимі	Тура бағыт	Кері бағыт	Ең жиі қолданылатын режим. Транзистор тоқты күшейтеді. Базалық ток арқылы үлкен коллектор тогы басқарылады.
Қанығу режимі	Тура бағыт	Тура бағыт	Транзистор "ашық" күйде. Коллектор тогы шектеулі емес. Көбінесе коммутациялық (қосқыш) режимде қолданылады.
Бөгеу (кесу) режимі	Кері бағыт	Кері бағыт	Транзистор "жабық" күйде. Коллектор тогы жоқ немесе өте аз. Бұл режимде транзистор тоқтатылады.
Инверсия режимі	Кері бағыт	Тура бағыт	Бұл сирек қолданылатын режим, мұнда ток коллектордан эмиттерге қарай ағады. Қалыпты жұмыста пайдаланылмайды.

ВАС практикалық маңызы

- ❖ ВАС графиктерін талдау арқылы транзистордың нақты қандай режимде жұмыс істеп тұрғанын анықтауға болады.
- ❖ Мысалы, егер I_k айтарлықтай жоғары және $U_{kэ}$ тұрақты болса, бұл қалыпты күшейту режимі.
- ❖ Егер I_k шамамен тұрақты мәнде, бірақ $U_{kэ}$ өте төмен болса – қанығу режимі болуы мүмкін.
- ❖ Ал ток мүлде жоқ болса – бұл бөгеу режимі.

4. Қосылу схемалары (Схема қосу түрлері)

Биполярлық транзистордың жұмыс істеу тәсілі оның сұлбада қалай қосылғанына байланысты өзгереді. Электрлік сұлбада транзистордың бір электродын ортақ элемент ретінде қолдануға болады. Осыған байланысты үш негізгі қосылу схемасы бар:

1. Ортақ база (ОБ)
2. Ортақ эмиттер (ОЭ)
3. Ортақ коллектор (ОК)

Әрбір қосылу схемасы транзистордың күшейту қасиеттеріне, кіріс/шығыс кедергілеріне және қолданылу аймағына әсер етеді.

4.1. Ортақ база (ОБ)

Сипаттамасы:

- ❖ Бұл сұлбада база – ортақ (жерге немесе сілтемелік нүктеге) қосылады.
- ❖ Сигнал эмиттер арқылы енгізіліп, коллектордан алынады.

Электрлік қасиеттері:

- ❖ Кіріс кедергісі өте төмен (жүздеген Ом).
- ❖ Шығыс кедергісі жоғары.
- ❖ Кернеу күшейтуі жоғары.
- ❖ Ток күшейтуі шамамен бірге тең немесе бірден сәл кіші ($\beta \approx 1$).

Қолданылуы:

❖ Жоғары жиілікті күшейткіштерде қолданылады, себебі бұл схема транзистордың өткізу жиілігін барынша пайдалануға мүмкіндік береді.

❖ Фазасы өзгермейді (шығыс сигналы кіріспен бірдей фазаға ие).

4.2. Ортақ эмиттер (ОЭ)

Сипаттамасы:

❖ Бұл схема ең көп қолданылатын қосылу тәсілі.

❖ Эмиттер ортақ элемент ретінде жерге қосылады.

❖ Кіріс сигнал базаға беріледі, ал шығыс сигнал коллектордан алынады.

Электрлік қасиеттері:

❖ Кіріс кедергісі орташа (кейде бірнеше кОм).

❖ Шығыс кедергісі орташа немесе жоғары.

❖ Ток та, кернеу де күшейтіледі – яғни қуат күшейткіші ретінде өте тиімді.

❖ Фаза 180° -қа өзгереді – яғни, шығыс сигналы кіріске кері фазада болады.

Қолданылуы:

❖ Күшейткіш каскадтарда (дыбыстық, радиожиілік сигналдар).

❖ Логикалық элементтерде, инверторларда.

❖ Электрондық құрылғыларда ең кең таралған қосылу түрі.

4.3. Ортақ коллектор (ОК) немесе эмиттерлік қайталағыш

Сипаттамасы:

❖ Бұл схема бойынша коллектор ортақ элемент ретінде қосылады.

❖ Кіріс сигнал базаға беріледі, ал шығыс сигнал эмиттерден алынады.

Электрлік қасиеттері:

❖ Кернеу күшейтуі ≈ 1 (яғни кернеу өзгермейді).

❖ Ток күшейтуі бар (β – үлкен).

❖ Кіріс кедергісі өте жоғары.

❖ Шығыс кедергісі төмен.

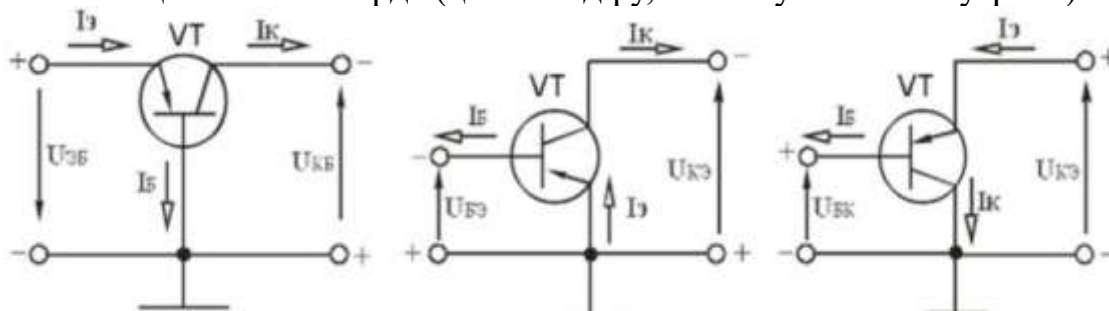
❖ Фаза сақталады (0° фаза ығысуы).

Қолданылуы:

❖ Буферлік каскад ретінде қолданылады.

❖ Жүктемені сәйкестендіру мақсатында (мысалы, жоғары кедергіні төменге түрлендіру үшін).

❖ Сигнал қайталағыштарда (қайта өндіру, жоғалтусыз жеткізу үшін).



Қосылу схемаларының салыстырмалы кестесі:

Қосылу схемасы	Кіріс кедергісі	Шығыс кедергісі	Ток күшейтуі	Кернеу күшейтуі	Фаза ығысуы	Қолданылуы
----------------	-----------------	-----------------	--------------	-----------------	-------------	------------

Ортақ база (ОБ)	Төмен	Жоғары	≈ 1	Жоғары	0°	Жоғары жиілік
Ортақ эмиттер (ОЭ)	Орташа	Орташа/жоғары	Жоғары	Жоғары	180°	Әмбебап
Ортақ коллектор (ОК)	Жоғары	Төмен	Жоғары	≈ 1	0°	Буфер, сәйкестендіру

Қорытынды:

Биполярлық транзисторлар – электрониканың негізгі элементтерінің бірі. Олар сигналдарды күшейту мен басқару үшін кеңінен қолданылады. Транзистордың құрылысы, жұмыс істеу принципі, сипаттамалары мен қосылу тәсілдері оның функционалдық мүмкіндіктерін анықтайды. Оларды дұрыс түсіну – түрлі электрондық құрылғылар мен жүйелерді жобалаудың негізі болып табылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Сивухин Д.В. — Общий курс физики. Электричество. — М.: Наука, 2004.
2. Титченко А.Н. — Электроника: Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 2006.
3. Гроб Л. — Основы электроники. Биполярные и полевые транзисторы. — М.: Додэка-XXI, 2007.
4. Боров С.В. — Электроника и микроэлектроника. — М.: Академия, 2010.
5. Sedra A.S., Smith K.C. — Microelectronic Circuits, 7th edition. — Oxford University Press, 2015.
6. Floyd T.L. — Electronic Devices (Conventional Current Version), 10th Edition. — Pearson Education, 2017.
7. Мақұлбаев А.Ж., Байболов Б.Т. — Электроника негіздері. — Алматы: Қазақ университеті, 2020.