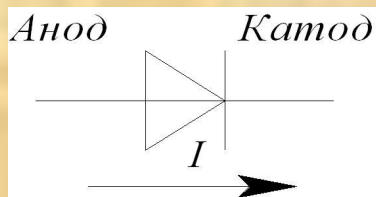


Модуль 1. Жартылай өткізгішті аспаптар

Тақырып 3. Биполярлы және полярлы транзисторлар.

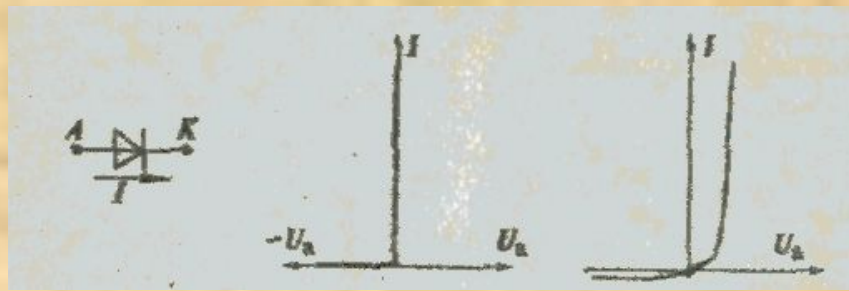
Диод – екі электродты, бір бағытта ғана ток өткізетін аспап.



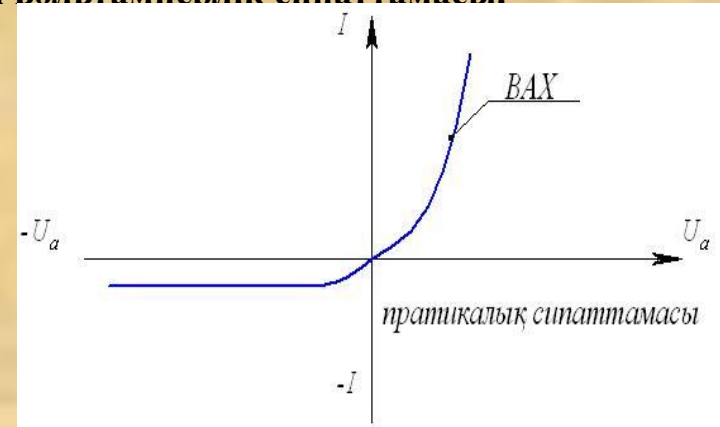
Жартылай өткізгіштік диодтың дамуы өткен ғасырдың екінші жартысында басталады. Оған неміс ғалымы Браунның 1874 жылы металл мен күкірті қорғасынның түйісу нүктесінде болатын құбылыстарды түсіндіруге жасаған тәжірибесі себеп болды. Зерттей келгенде, аталған түйісу қабаты бір бағытта ғана ток өткізетін, вентильдік қасиеті бар қазіргі Шотки – диодтары тобының бірінші өкілі болып шықты.

Әйтсе де, бұл диодтардың өндірісте кең пайдаланылуы жартылай өткізгіштік электрондық аспаптардың негізгі буыны – транзистордың ашылуын күткендей, біздің ғасырымыздың ортасына дейін кең өріс ала алмады. Оның себебі, сол кездердегі қарапайым да, төменгі сатылы технологиялық әдістермен жасалынған диодтың сапасының төмендігінде болып, олардың электрвакуумдық диодтың «тегеурініне» төтеп бере алмауы еді.

Жартылай өткізгіштік диод тәсімдерде жебе белгісіне ұқсас үшбұрышпен белгіленіп (1, а сурет), оның бағыты токтың өту бағытын көрсетеді.



1 сурет: а – диодтың шартты белгісі; б - диодтың идеалды біржақтылық (вентильдік) сипаттамасы; б – диодтың нақты вольтамперлік сипаттамасы.



Ұшбұрыштың үш жағы *катод (K)* да, сырт жағы *анод (A)* деп аталады. Ток әрқашанда анодтан катодқа қарай ағады. Идеалдық тұрғыдан қарағанда диодтың біржақтылық (вентильдік) вольтамперлік сипаттамасы 3.1,б-суреттегідей болуы керек: егер де анод мпен катод арасындағы керену оң болса, ток шексіздікке, ал теріс болса, нөлге ұмтылады, яғни

$U_a > 0$ болса, онда $I \rightarrow \infty$;

$U_a \leq 0$ болса, онда $I = 0$.

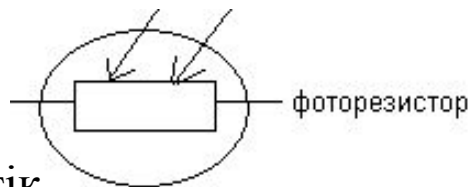
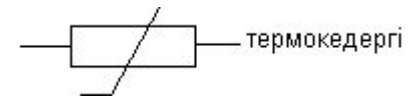
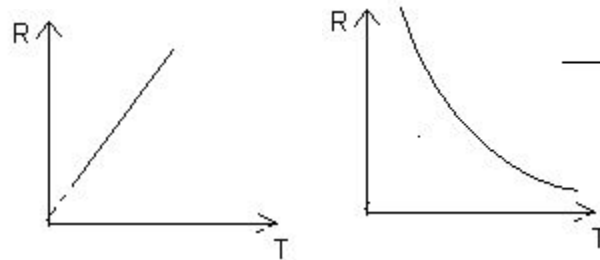
Жартылай өткізгіштік диодтардың (бұдан былай - диод) көпшілігінің негізі, 1940 жылдары келген, *p-n* ауысуы болып табылады. Енді осы ауысуда өтетін физикалық процестерге тоқталып өтелік.

Жартылай өткізгіштердегі электр тогы

Жартылай өткізгіштердің металдардан айырмашылығы

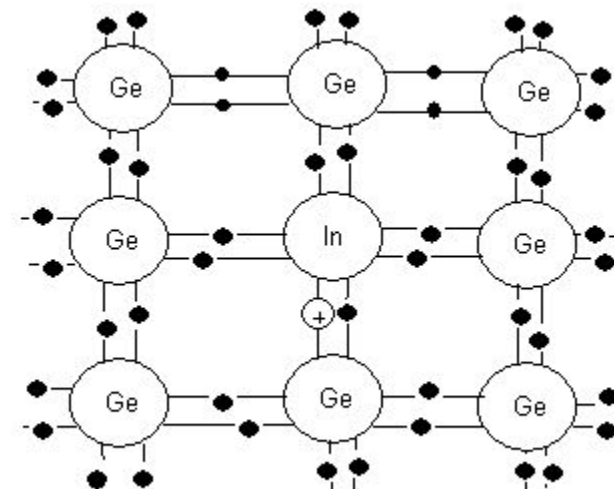
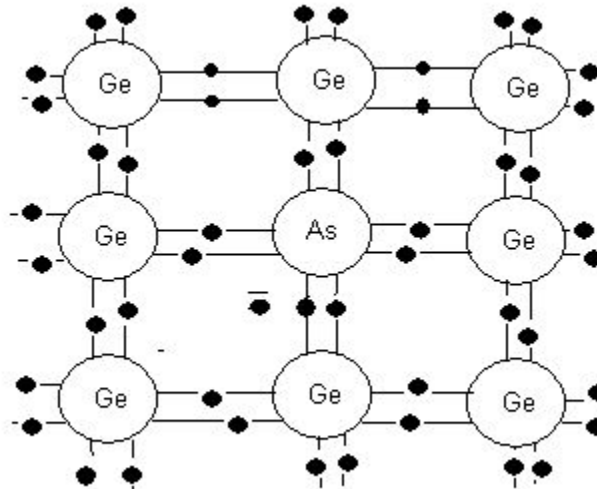
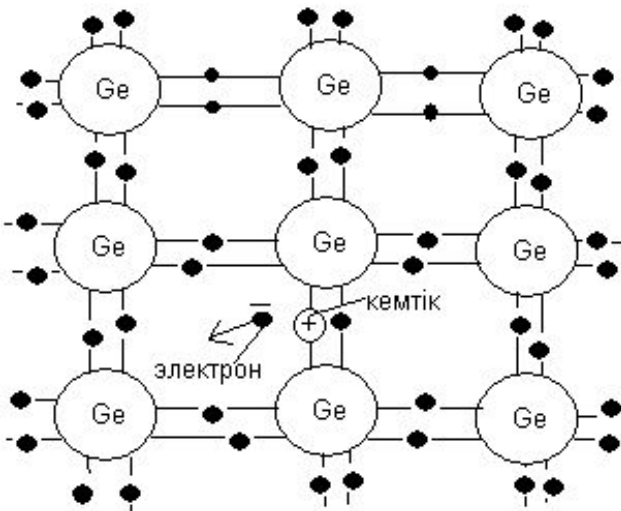
- а) әртүрлі меншікті кедергі
- ә) $R(t)$ – тәуелділігі әртүрлі
- б) жартылай өткізгіштердегі “R” жарықтандыруға байланысты (ішкі фотоэффект)

$$\rho_{мет} < \rho_{ж/о} < \rho_{диэл}$$



Өзіндік өткізгіштік

Қоспалы өткізгіштік



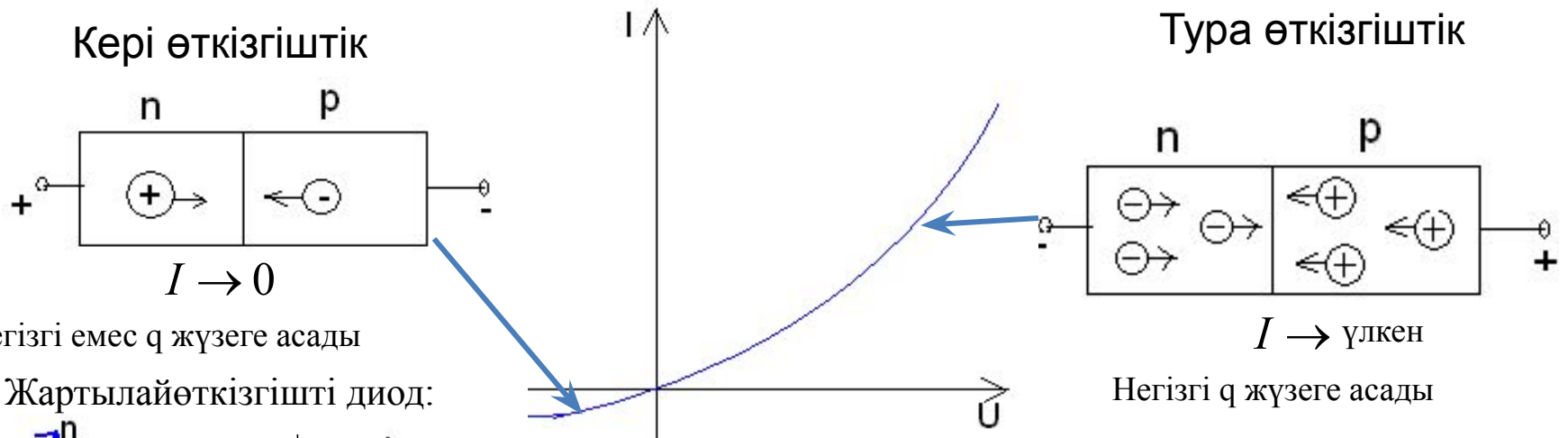
Коваленттік байланыс
Электронды- кемтіктік өткізгіштік

5валентті → 4валентті
Электронды өткізгіштік
n- типті. Кемтіктер аз

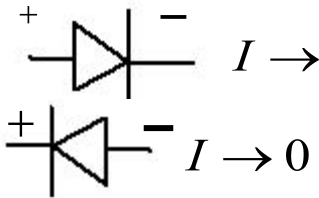
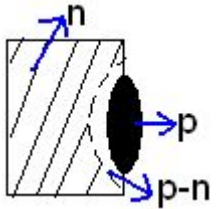
3валентті → 4валентті
Кемтікті өткізгіштік
p- типті. Электрондар аз

Жартылай өткізгіштердегі электр тогы

2 жартылай өткізгіштің түйісуі

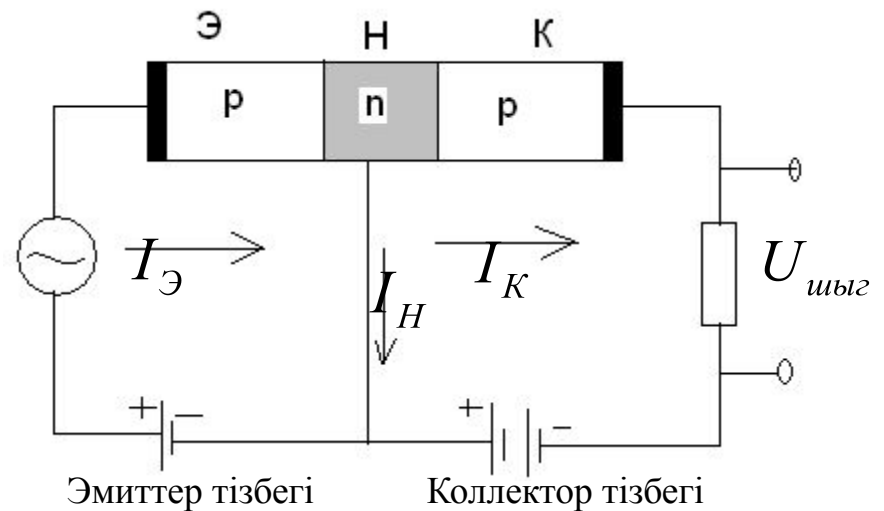
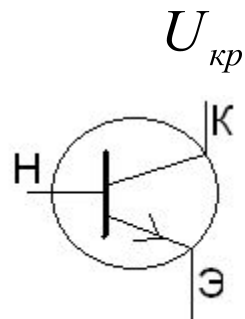
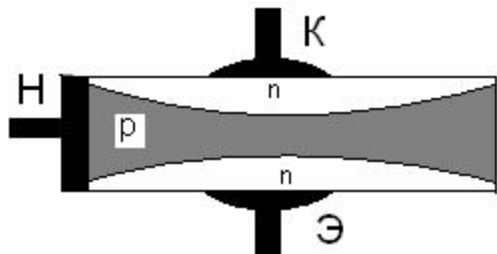


Жартылай өткізгішті диод:



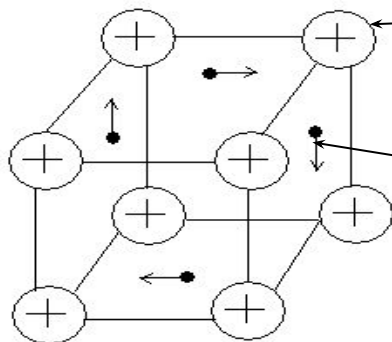
3 жартылай өткізгіштің түйісуі

Жартылай өткізгішті транзистор:



Металдардағы электр тогы

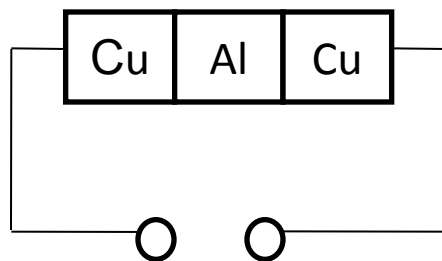
Заряд тасушылар



иондар

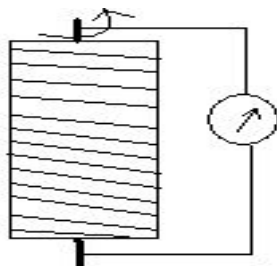
электрондар

Рикке тәжірибесі



Қала желісі – 1жыл- $Q=3,5$ млн.Кл
Салмағын өлшеу
Заряд тасымалдауда иондар
қатыспайды.

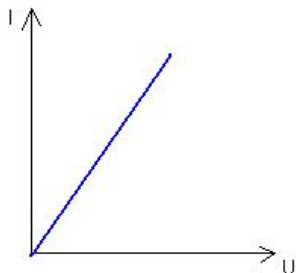
Мандельштам-Папалекси
(1913ж) Стюарт-Толмен(1916ж)



Үдету-тежеу-инерция-ток
 $L=500$ м $v=300$ м/с

$$\frac{e}{m_e} = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ Кл / кг}$$

Вольт-амперлік
сипаттама



Металдағы заряд
тасушылар- электрондар!

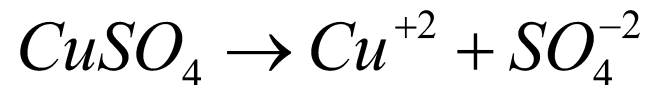
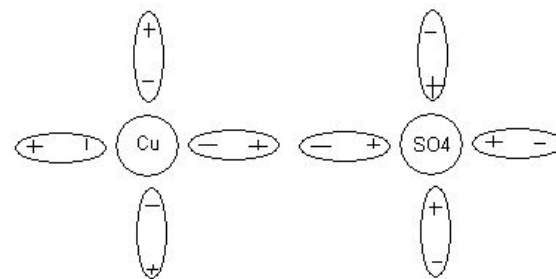
Сұйықтардағы электр тогы

Диэлектриктер-дистелген су.

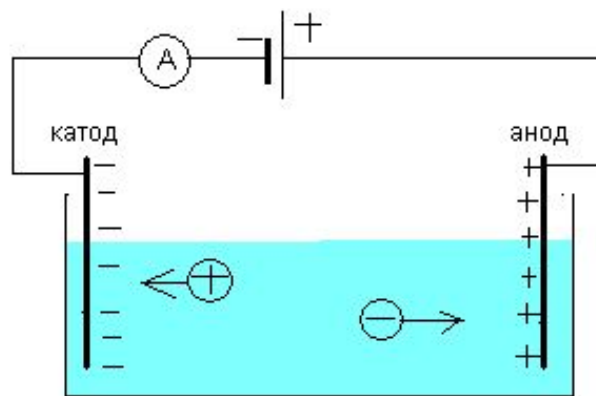
Өткізгіштер- тұздардың, қышқылдардың судағы ерітінділері.

Жартылай өткізгіштер-балқытылған селен

Электролиттік диссоциация(бөлу)



Электролиз

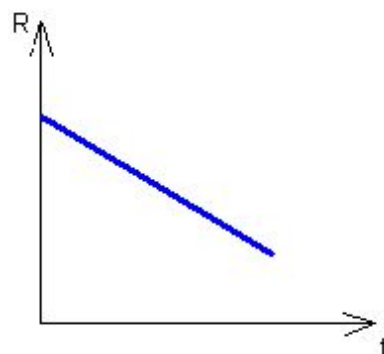
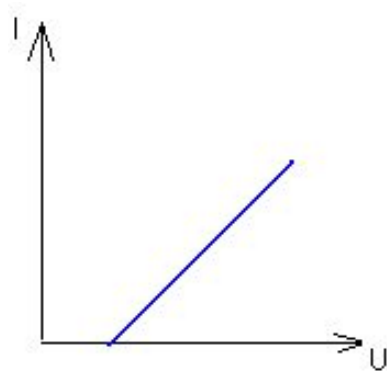


Фарадей заңы

$$m = m_0 N_i = \frac{M}{N_A} \cdot \frac{q}{q_{0i}} = \frac{MI\Delta t}{N_A en} = kI\Delta t$$

$$k = \frac{M}{N_A en}$$

Вольт-амперлік сипаттама



Иондық өткізгіштік!
Зат тасымалдануы

Қолданылуы:

1. Таза металдарды алу.
2. Гальваностегия.
3. Гальванопластика

Газдардағы электр тогы

Ауа - диэлектрик

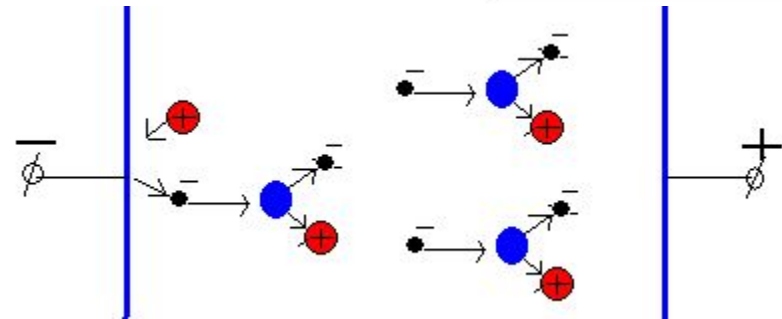
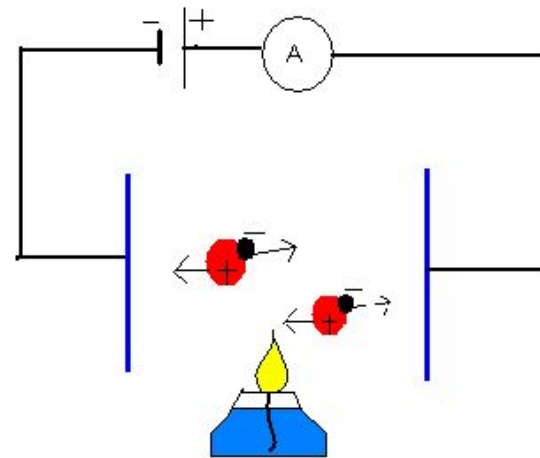
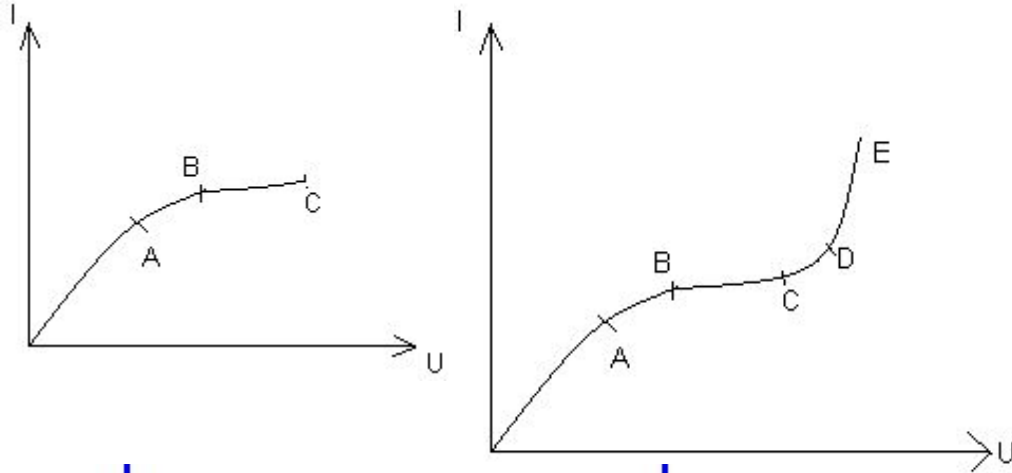
- электр тасымалдау желілері
- ауалық конденсатор
- контактілі қосқыштар

Ионизатордың әсерінен газ өткізгішке айналады.

Ауа - өткізгіш
найзағай
электр ұшқыны
- металды пісіру

Ионизаторлар: жалын,
ультракүлгін, рентген,
радиоактивті сәулелер

$$U \uparrow \Rightarrow E \uparrow \Rightarrow F \uparrow \Rightarrow a \uparrow \Rightarrow v \uparrow \Rightarrow n \uparrow \Rightarrow I \uparrow$$
$$E = \frac{U}{d} \quad F = qE \quad a = \frac{F}{m} \quad v = at \quad n = v \cdot t \quad I = \frac{nq}{t}$$



Газдағы разряд түрлері:
А) солғын разряд
Ә) доғалық разряд
Б) тәждік разряд
В) ұшқындық разряд

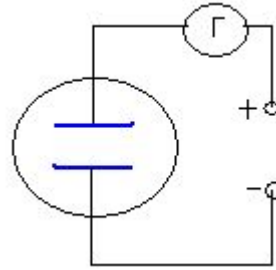
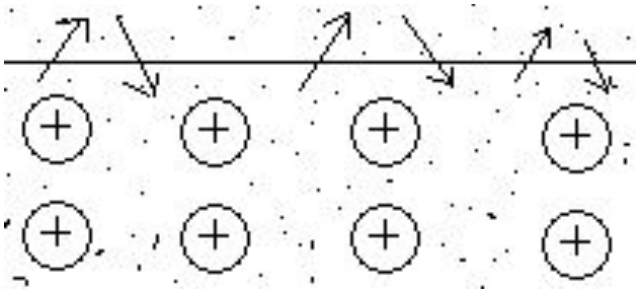
Вакуумдегі электр тогы

Вакуум

$$p \ll p_{атм}$$

10^{-13} мм.сын.баг

Термоэлектрондық эмиссия



$$I = 0$$

q тасушылар жоқ

Катодты қыздырсاق , ток пайда болады

Керек:

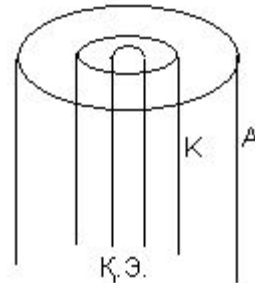
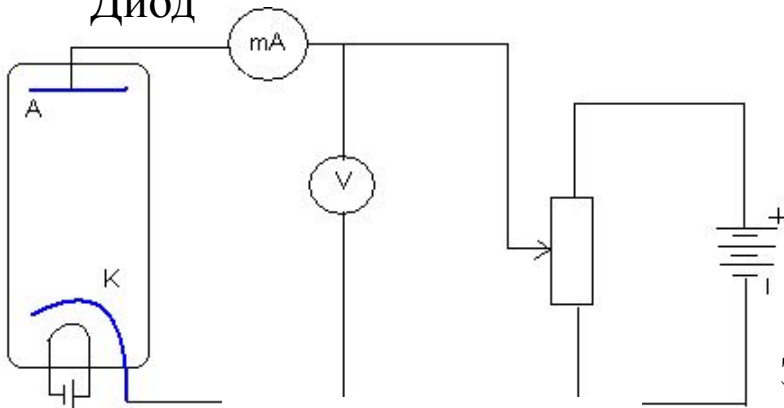
$$\frac{mv^2}{2} \geq A_{шығ}$$

$f(0t)$

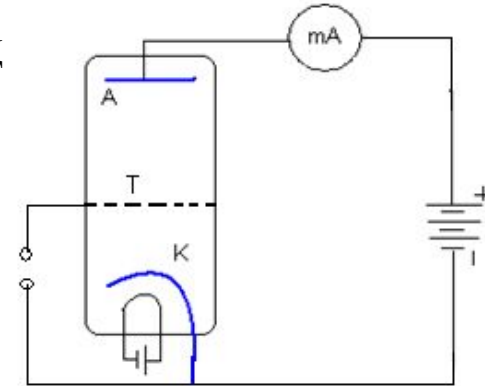
$f(zam)$

Т.Э.Э.- t ↑ еркін электрондардың “булануы”

Диод

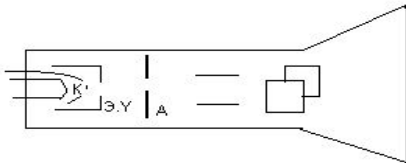


Триод



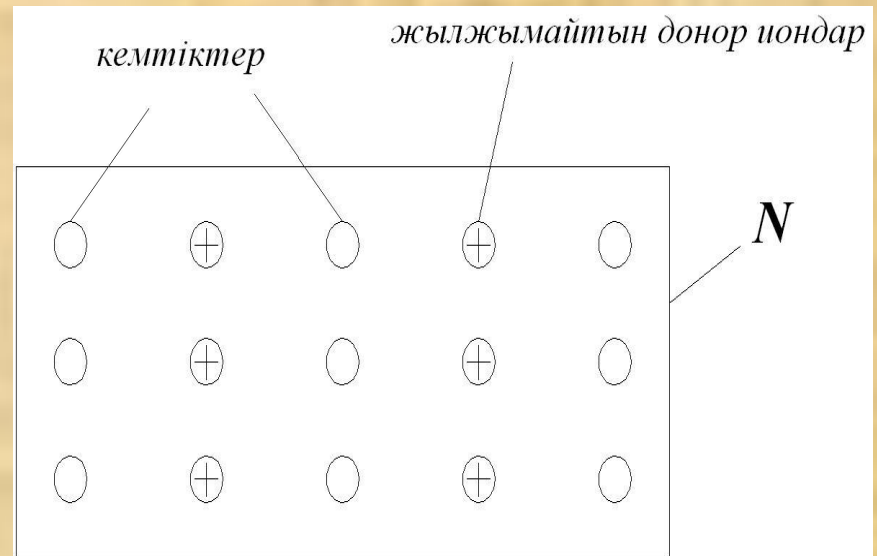
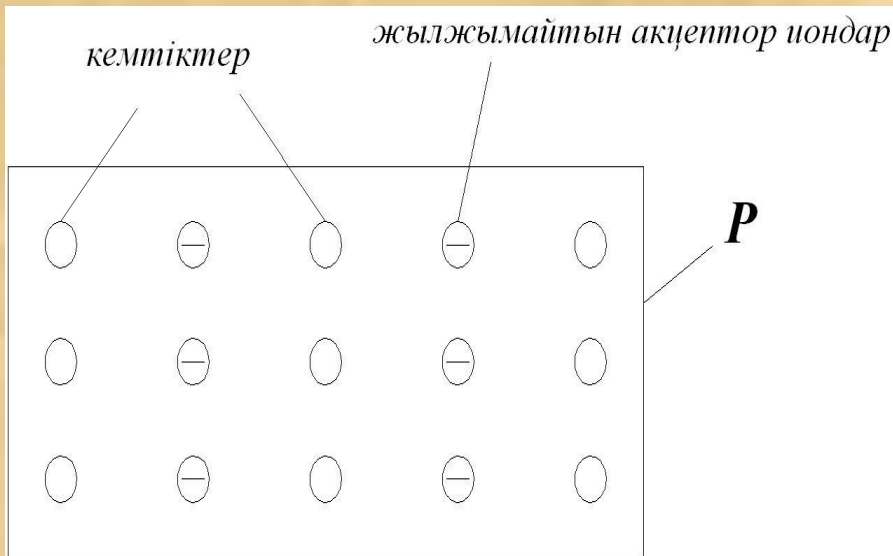
Электрондық шоқтар. Э.С.Т.

-денеге тигенде оларды қыздырады;
e -тежелген кезде рентгендік сәулелер шығады;
кейбір заттардың жарқырауы;
магнит өрісінде ауытқиды

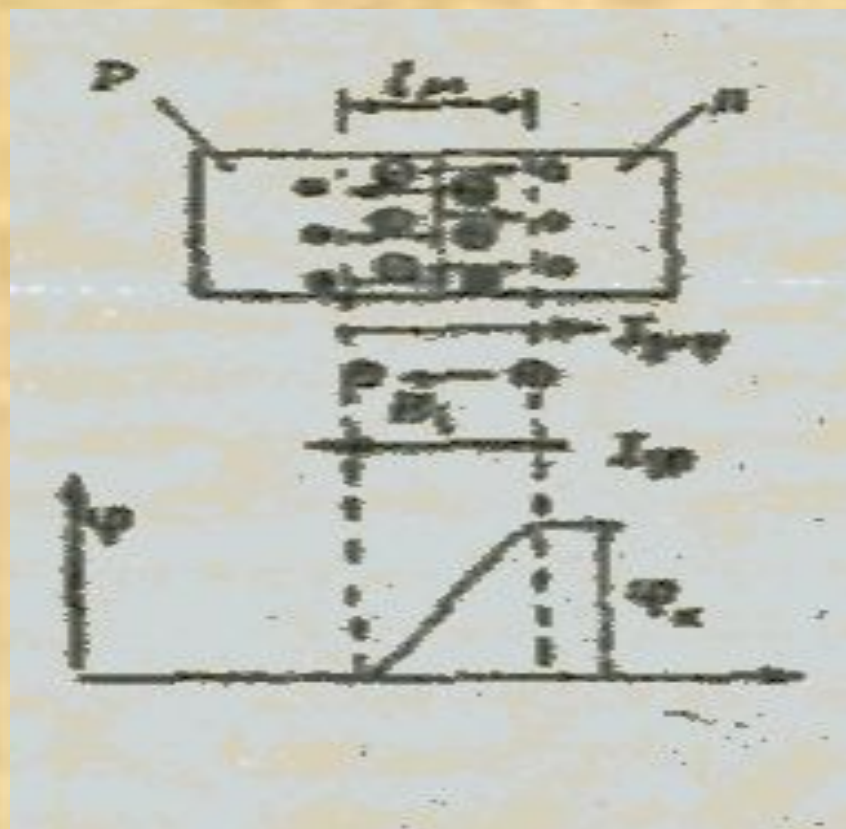
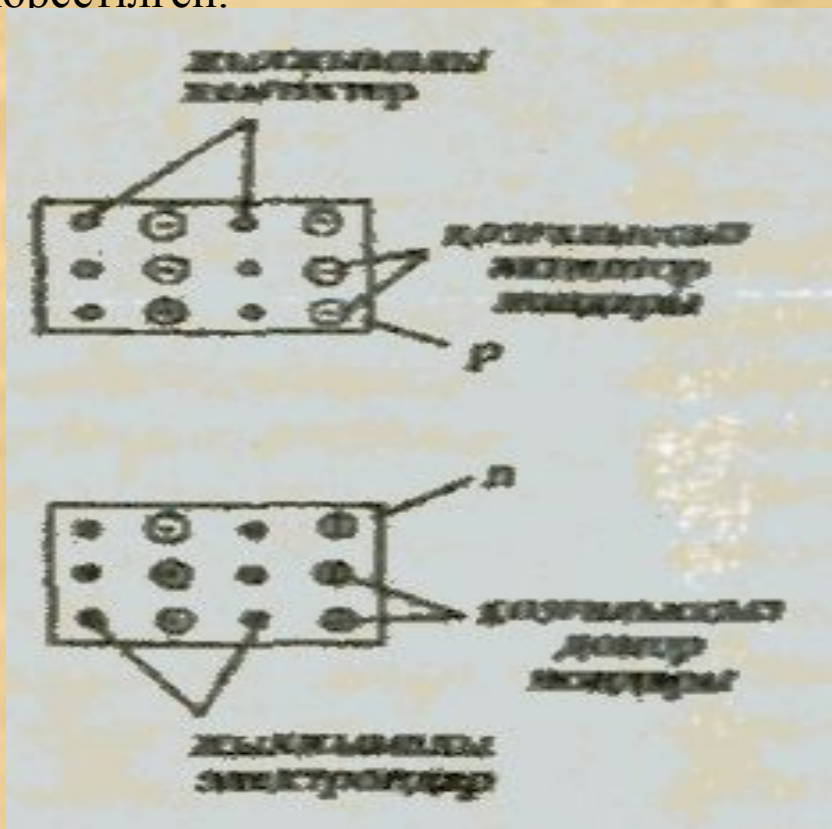


p-n ауысуындағы физикалық процестер

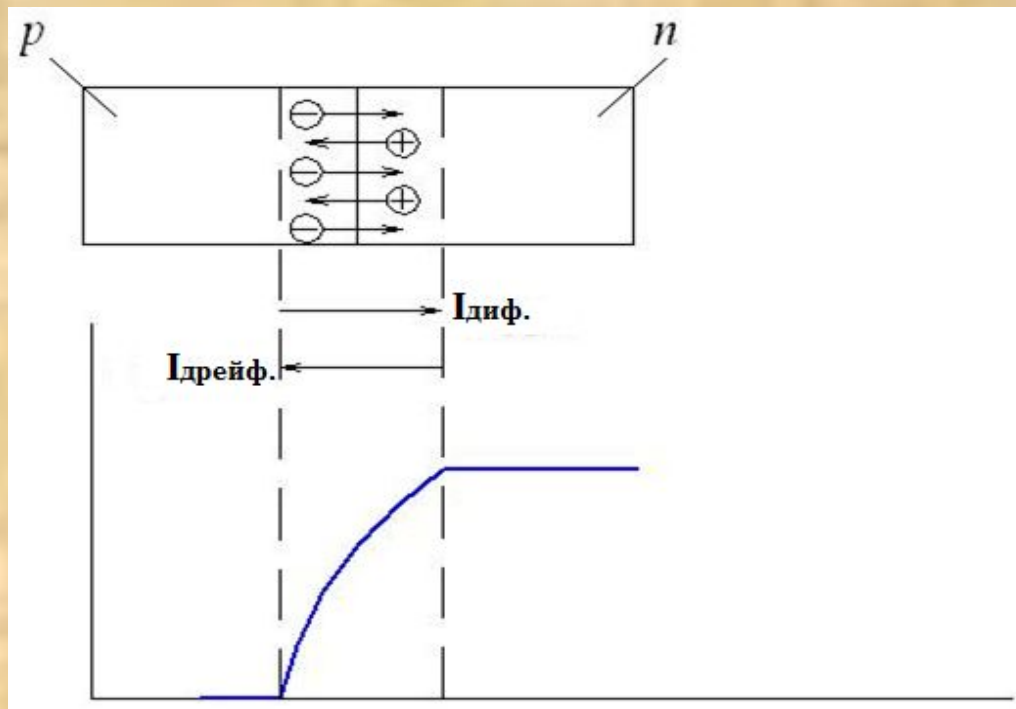
p-n ауысуы *p* және *n* жартылай өткізгіштерінің өзара қосылуымен пайда болады. Жеке алғанда *p* жартылай өткізгіші болсын, *n* - жартылай өткізгіші болсын, электр зарядтары жағынан өзара бейтарап келеді (2 а, б - суреттер). Мысалы, 2 а-суретте көрсетілген *p* жартылай өткізгішінің оң зарядталған кемтіктері толығымен теріс акцептор иондармен бейтараптанған. Осы оң зарядталған кемтіктері жекеше бөліп алған жағдайда, олардың орнында қозғалмайтын теріс акцептор иондары қалар еді. Осыған сәйкес *n* - жартылай өткізгішнен жылжымалы электрондар кететін болса, олардың орнына қозғалмайтын оң зарядты донор иондары қалады (2 б - сурет). Осындай бейтарап жартылай өткізгіштерді өзара түйістірген кезде, ондағы жылжымалы заряд бөлшектері бір-біріне ауыса түсіп (қысымы үлкен ауаның қысымы аз жаққа ауысқаны секілді), *диффузия тоғын* тудырып, түйіспе маңында жылжымайтын қоспа иондарын қалдырады (2 б- сурет).



Суреттен көріп отырғанымыздай, оң зарядтар сол жақта (жылжитыны бар, жылжымайтыны бар) жиналып, конденсатор құрылысына ұқсас құрылым туғызады. Зарядтардың бұлай іркіле жиналуы ішкі электр өрісін E туғызады да, ол жылжымалы зарядтарды кері айдайды. Осыдан пайда болған ток дрейф тоғы деп аталады. Егер сырттан кернеу түсірілмейтін болса, онда дрейф тоғы мен диффузия тоғы тепе – теңдікте болып, жалпы ток нөлге тең болады, бұл 2 б- суреттің төменгі бөлігінде көрсетілген.

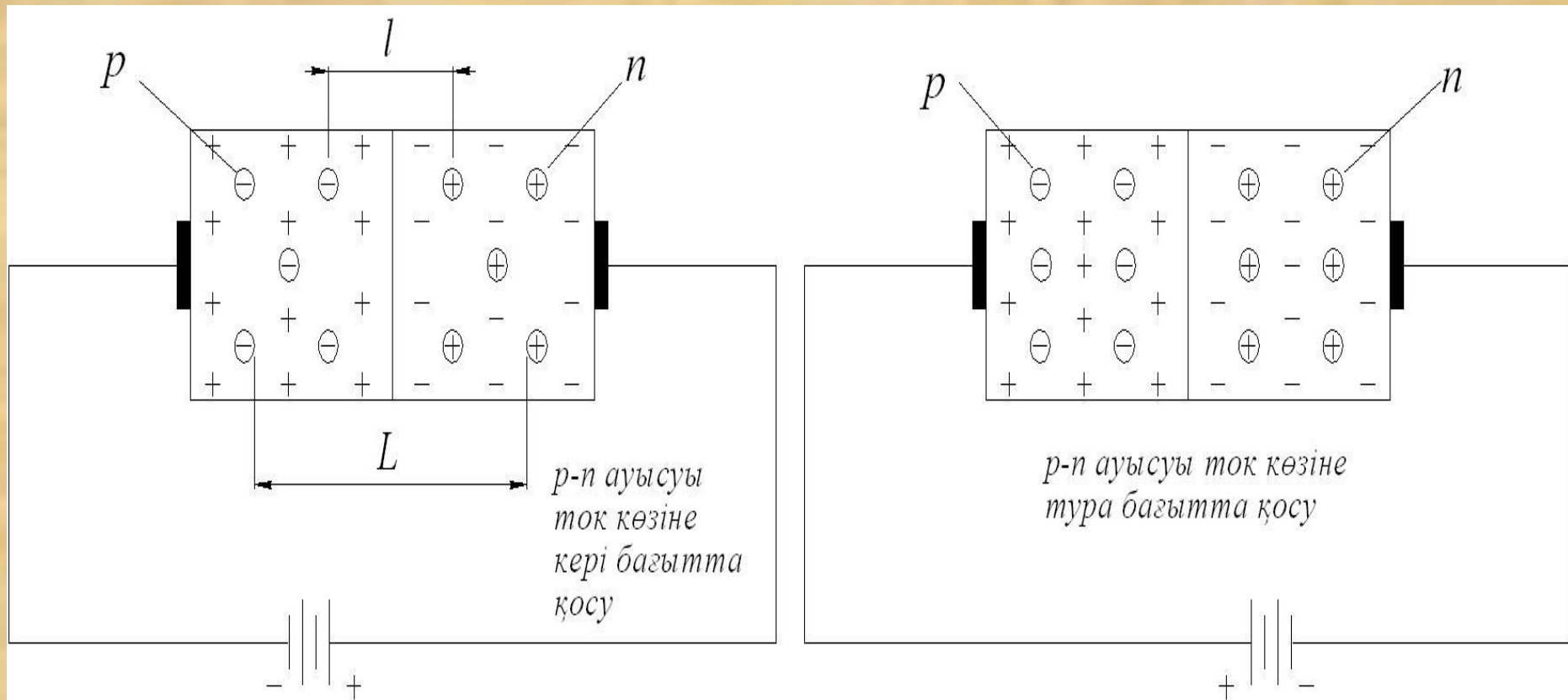


2 сурет - p және n жартылай өткізгіштеріндегі зарядтар құрамы (а, б) және p - n ауысуындағы олардың қозғалысы (в) мен ондағы потенциал диаграммасы (г).



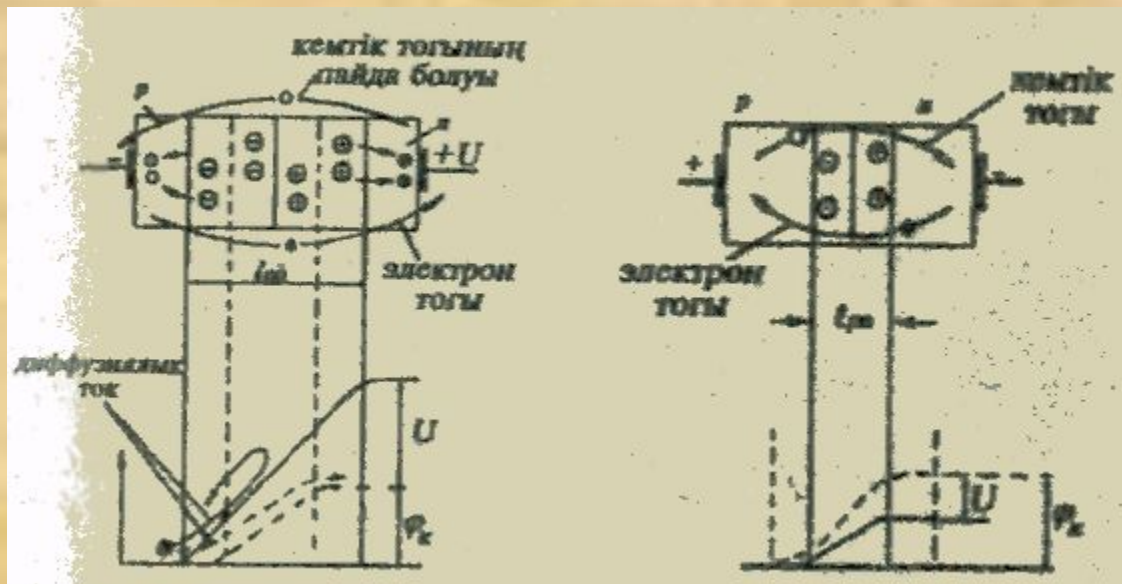
Жалпы алғанда, p - n ауысуы жылжымалы зарядтарынан айрылған, қозғалыссыз иондардан тұратын орталық бөлік. Оның ұзындығы 2 б- суреттің жоғарғы бөлігінде көрсетілгендей $l_{p-n-ге}$ тең болады. Зарядтардың екі жаққа бөліне жиналуынан потенциалдар айырымы туады. Оның диаграммасы 2 в- суретте көрсетілген.

Потенциалдар айырымы ϕ_k -ге тең де, түйісу потенциалдар айырымы немесе биіктігі деп аталады. Потенциал диаграммасы кішігірім асуға ұқсас келеді де, оның биіктігі негізгі заряд бөлшектерінің диффузиялық қозғалысына тосқауыл ретінде әсер етеді. Сондықтан да p - n түйісуін p - n асуы деп атаса да болатын сияқты.



Эквиваленттік ұқсастыққа жүгінетін болсақ, диффузия қозғалысы металл шариктерінің екпінді қозғалысына ұқсас, ал потенциал өзгерсі кәдімгі биік асуға пара-пара: асу неғұрлым биік болып, ал металл шаригінің (электронның, кемтіктің) кинетикалық энергиясы неғұрлым төмен болса, соғұрлым оның екінші бетке өту мүмкіндігі аз болады. Қорыта айтқанда, негізгі заряд тасушыларының диффузиялық ток мүмкіндігі потенциал асуының биіктігіне тікелей байланысты.

Енді жоғарыда көрсетілген *p-n* ауысуын ток көзіне қосып көрелік. Ток көзінің оң полюсін *n* жартылай өткізгішіне, ал сол полюсін *p* жартылай өткізгішіне жалғайық (3 а-сурет).



3 сурет - *p-n* ауысуының кері (а) және тура (б) қосылуы

Суретте бастапқы кернеу жоқ кездегі *p-n* ауысуының ұзындығы мен потенциал биіктігі үзікті сызықпен, ал кернеу түсірілгеннен кейінгі шамалары тұтас сызықпен шектелген. Сырттан түсірілген кернеудің әсерінен *p* аймағындағы кемтіктер ток көзінің сол жақ полюсіне тартылып, өз орындарында қосымша теріс акцептор иондарын қалдырады. Осыған орай *n* аймағында донор иондары пайда болып, *p-n* ауысуы кеңіп, ұзындығы арта түседі. Потенциал асуының биіктігі сырттан түсірілген кернеу шамасына (U) артып, негізгі заряд тасушыларының диффузиялық қозғалысын одан сайын қиындығы түседі. Жоғарыда келтірілген физикалық ұқсастыққа жүгінсек, асудың биіктігі артып, металл шаригінің биікке шығу қабілеті төмендеп, ол тіпті осындай мүмкіндіктен біржолата айырылу мүмкіндігіне дейін жақындайды (суретте кері қайтқан жебемен көрсетілген). Ал осындай жағдайда ток болуы мүмкін бе? Ток бола қалса, оның шамасы қандай?

Бұл сұраққа былай жауап беруге болады: тоқ бар, бірақ оның шамасы жоқтың қасы. Өйткені сырттан түсірілген кері кернеу ішкі электр өрісін (E_i) өрістете түскенімен (3 б - суреттегі потенциал асуының биіктігі $\phi_k + U$), тоқ тудыратын бөлшектердің жоқтығынан, оның шамасын өзгерте қоймайды. Өзіңіз ойлап қараңызшы! Қаралып отырған жағдайда тоқ қалай пайда болуы мүмкін?

Ол тек n аймағындағы кемтіктерден немесе p аймағындағы электрондардан ғана (3 б - суретте доғалық жебелермен көрсетілген), яғни тек негізгі емес заряд тасушыларының тууы мүмкін. Ал бұл заряд тасушыларының саны өте аз екендігі айдан анық. Олай болса, токтың шамасы да жоқтың қасында. Сондықтан да жоғарыда келтірілген кернеудің қосылу бағыты, *p - n ауысуының кері бағытта қосылуы* деп аталады. Кернеудің түсуі бағытын қарама – қарсыға ауыстыратын болсақ (+ - p аймағына, - n аймағына), *p - n ауысуының тура бағытта қосылуын* аламыз. 3 б - суретте көрсетілгендей, бұл қосылу негізгі заряд тасушыларының диффузиялық қозғалысына сәйкес келеді. Ал негізгі заряд тасушыларының негізгі емес заряд тасушыларына қарағанда әлдеқайда көп екендігін ескерсек (мысалы, p аймағындағы негізгі заряд тасушылар - кемтіктер саны $p = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, ал негізгі емес заряд тасушылар – электрондар саны $n = 10^{10} \text{ см}^{-2}$, сонда кемтіктер саны $p/n = 10^{17} / 10^{10} = 10^7$ есе артық), тура қосылу тоғының сан мәні кері қосылу тоғынан әлдеқайда артық болады. Сондықтан *p - n ауысуы тура қосылуда ток шамасын тежемейді* деп есептейміз.

Сондықтан, қорытындылай келгенде, *p - n ауысуы кері қосылуда ток өткізбейді* де, ал тура қосылуда токқа кедергі жасамайды.

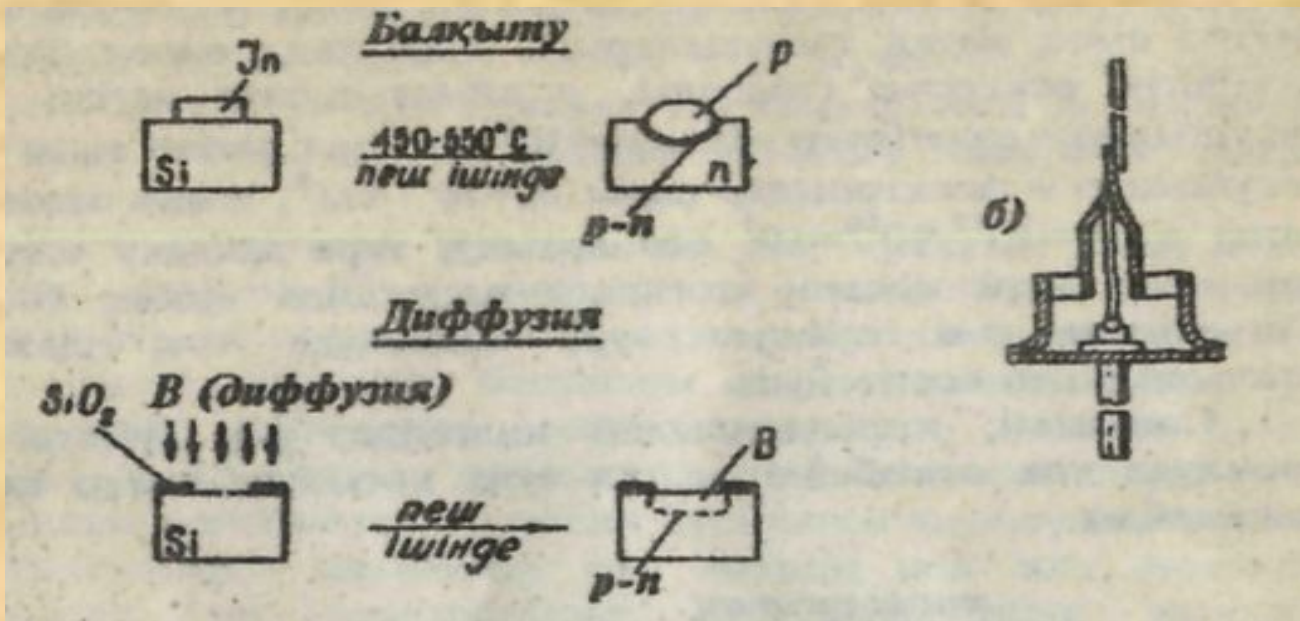
Идеалдық тұрғыдан қарағандағы вентильдің біржақты өткізгіштік сипаттамасын біз 1 б - суретте көрсеткен едік. Ал енді $p-n$ ауысуының нақты вольт-амперлік сипаттамасы экспонента заңына бағынып, 1 б- суреттегідей болады. Өндірістік электроникада жартылай өткізгіштік приборлардың көптеген түрлері қолданылады. Оларды төмендегідей топтарға жіктеуге болады:

- Жартылай өткізгіштік кедергілер;
- Жартылай өткізгіштік диодтар;
- Биполярлық транзисторлар;
- Тиристорлар.

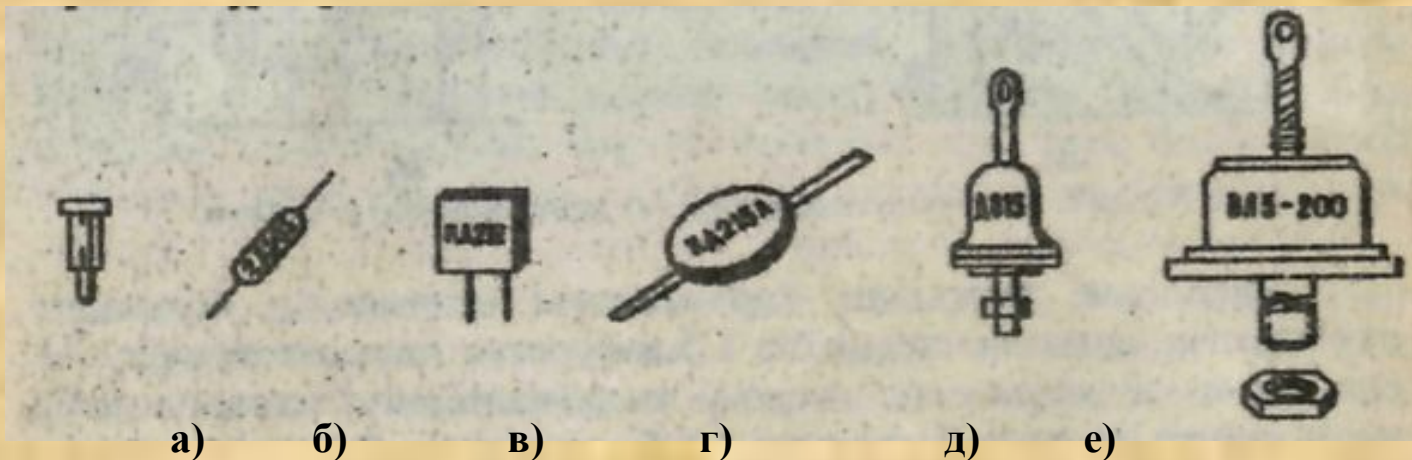
Диодтың жасалу әдістері мен сипаттамалары.

Жартылай өткізгіштік диод $p-n$ ауысуынан немесе Шотки түйіспесінен тұрады. Жасалу негізі балқыту немесе диффузия технологиясына негізделген. Балқыту технологиясы бойынша жартылай өткізгіш бетіндегі қоспа балқытылып, ыстық вакуум пешінің ішінде $p-n$ ауысуын құрады (4 а-сурет). Осы алынған ауысуды ауасы жоқ корпус ішіне орналастырып, екі жағынан анод пен катод электродтарын шығаратын болсақ, диодымыз дайын болды деп есептеуге болады (4 б - сурет).

Жалпы жасалынған $p-n$ ауысуын корпус ішінде орналастырмаса да болады. Мұндай корпуссыз диодтар интегралдық тәсімдерді жиі қолданылады. Диодтар әртүрлі корпусстарда орналасуы мүмкін. Олардың өндірісте жиі тараған түрлері 3.5 - суретте көрсетіліп отыр.



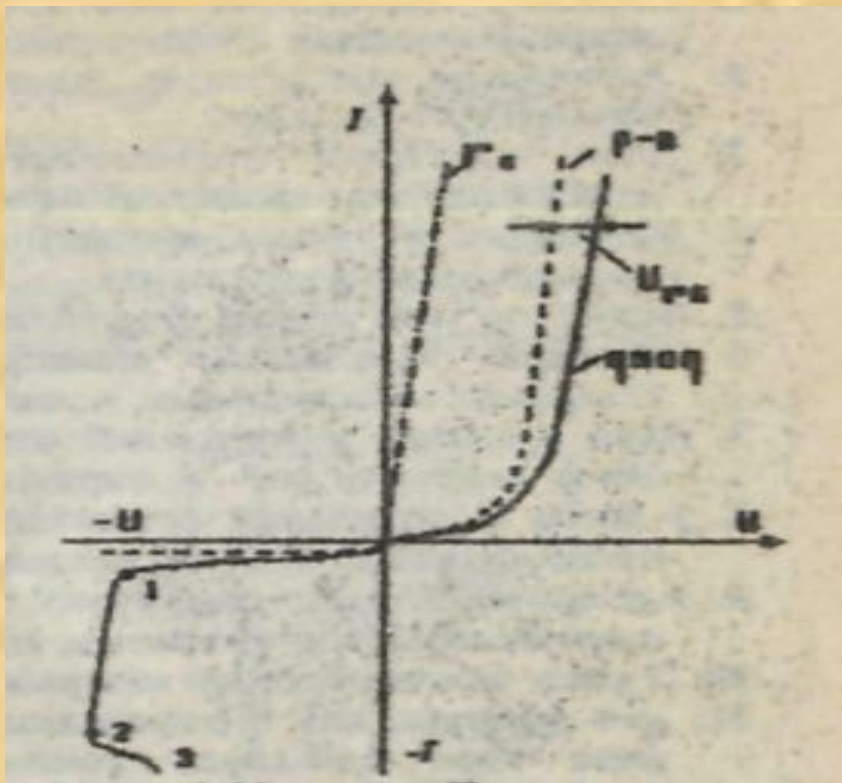
4 сурет - Диодтың жасалу әдістері мен құрылымы: а – балқыту технологиясы; б - диффузия технологиясы; в – диодтың құрылымы



5 сурет - Диодтардың түрлері: а - өте жоғары жиіліктік детекторлық диод; б - жоғары жиіліктік аз қуатты импульстік диод; в, г – орташа қуатты импульстік диодтар; д-орташа қуатты стабилитрон; е – жоғары қуатты вентиль (диод).

Диодтың вольтамперлік сипаттамасы $p-n$ ауысуының жоғарыда (1 б - сурет) келтірілген сипаттамасына ұқсас келеді. Дегенмен де олардың айырмашылықтары да бар. Мысалы, егер біз $p-n$ ауысуындағы p және n бөліктерінің меншікті кедергілерін ескетерін болсақ, онда $p-n$ ауысуының тура қосылу кезінде кернеулік түсуі бұрынғыдан да арта түсер еді. Бұл өзгеріс 6 - суреттің I шаршымасында көрсетілген.

Көріп отырғанымыздай, диодтасы кернеудің түсуі база кедергісі (R_b) мен $p-n$ ауысуындағы кеереулердің қосындысына тең. База деп диодтың қоспасы аз (кедергісі жоғары) бөлігін (әрдайым бұл n аймағы) айтады).



$p-n$ ауысуынның кері қосылуына келетін болсақ (III шаршыма), мұндағы өзгеріс одан да күшті. Біріншіден, $p-n$ ауысуын диод ретінде пайдалағанда, ол тек белгілі бір кернеу шамасына ғана төтеп беріп, одан ары электрлік және жылулық тесіп өтуге ұшырауы мүмкін. Электрлік тесіп өту кезінде (6 - суретте 1-2 нүктерлер аралығы) ток мәнінің елеулі өзгеруіне қарамастан кернеу шамасы тұрақты қалады.

6 сурет – Диодтың вольтамперлік сипаттамасы

Бұл құбылыс өндірісте кернеуді тұрақтандыруға пайдаланылып, ал диод кремнийлік стабилитрон (негізінен Si – ден жасалынатын болғандықтан) деп аталады. Дегенмен, токтың шамасы тежеусіз өсе беретін болса, электрлік тесіп өту жылулық тесіп өтуге ауысып (токтың әсерінен жылудың көп бөлінуіне байланысты), электрондық аспап толық істен шығуы мүмкін (сипаттамада 2-3 нүктелер аралығы).

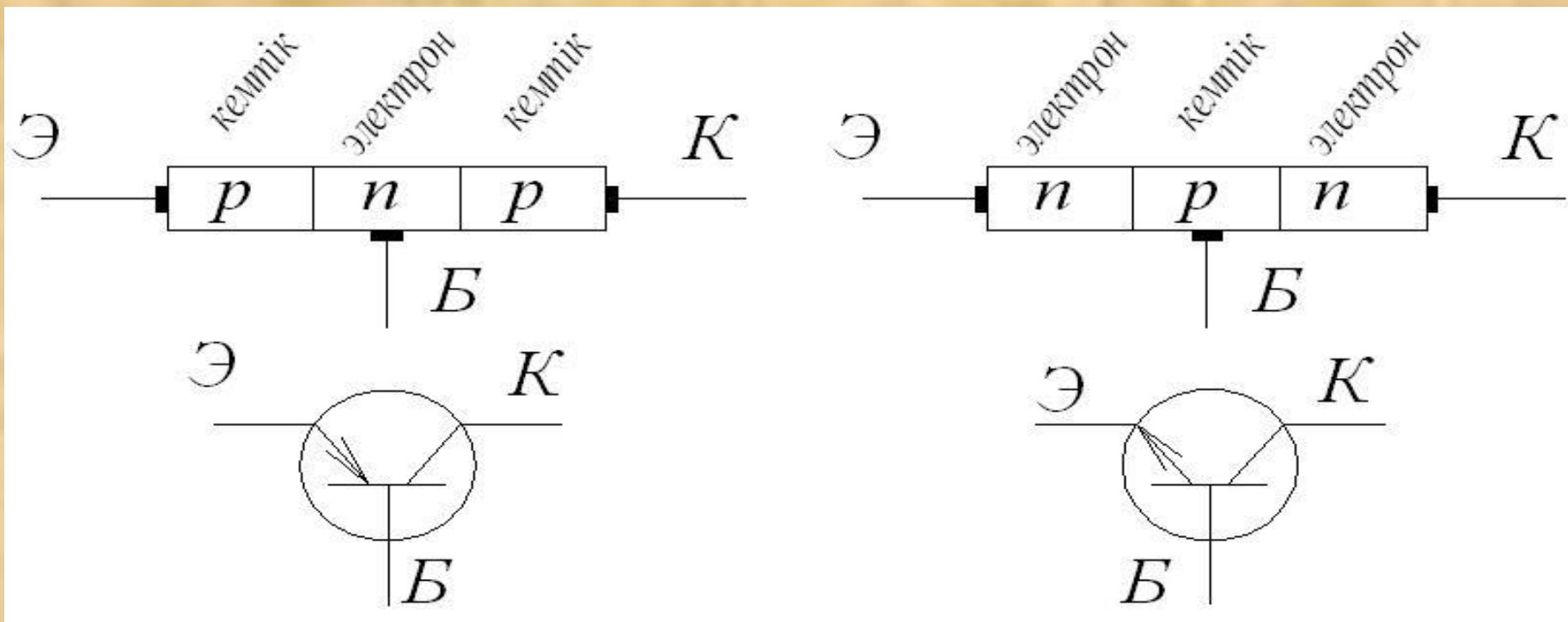
Сонымен диодтың негізгі сипаттамасы оның 6 - суретте келтірілген вольт-амперлік сипаттамасы болып табылады. Ал оның температураға байланысты тәуелділігін зерттейтін болсақ, оны жартылай өткізгіш кедергісінің өзгерісіне байланысты анықтауға болады.

Жартылай өткізгіш кедергісінің температура өскен сайын төмендей түсетінін ескере отырып, диодтың қай қосылуында болмасын (тура, кері) токтың да өсе түсетінін білеміз. Осы өзгеріс едәуір шамаға детіп, өмірде жартылай өткізгіштік электрондық аспаптардың ең бір басты кемшілігі – температуралық тұрақсыздыққа әкеп соқтырады.

Жартылай өткізгіштік триод – транзистор.

Жартылай өткізгіш приборлардың ішіндегі ең маңыздысы – транзисторлар.

Транзистор – үш электродты, электр сигналдарын күшейту мен түрлендіруге арналған жартылай өткізгіштік аспап немесе транзистор деп – күшейткіш қасиеті негізгі емес заряд тасушылардың инжекциясымен экстракциясына (қабылдағыш, втягивание, тартылуы) негізделген бір-бірімен өзіне әсер алатын (р-п) ауысуы болатын жартылай өткізгішті приборды айтады.



Ток түзуге қатыстытын заряд тасушыларына байланысты транзистор биполяр және униполяр екіге бөлінеді. Біріншісінде ток екі түрлі («би» - екі) заряд тасушыларынан: кемтіктер мен электрондардан тұратын болса, екіншісінде тек электрондардан немесе кемтіктерден құрылады.

Транзистор үш қабаттан тұрады және белгілі жағдайда тоқты және кернеуді күші алатын қасиеті бар. Қасиетіне байланысты қазіргі кезде радиотехникада, электроникада кеңінен қолданып отыр.

Оның **транзистор** - деген аты (transistor) екі ағылшын сөзден алынған:

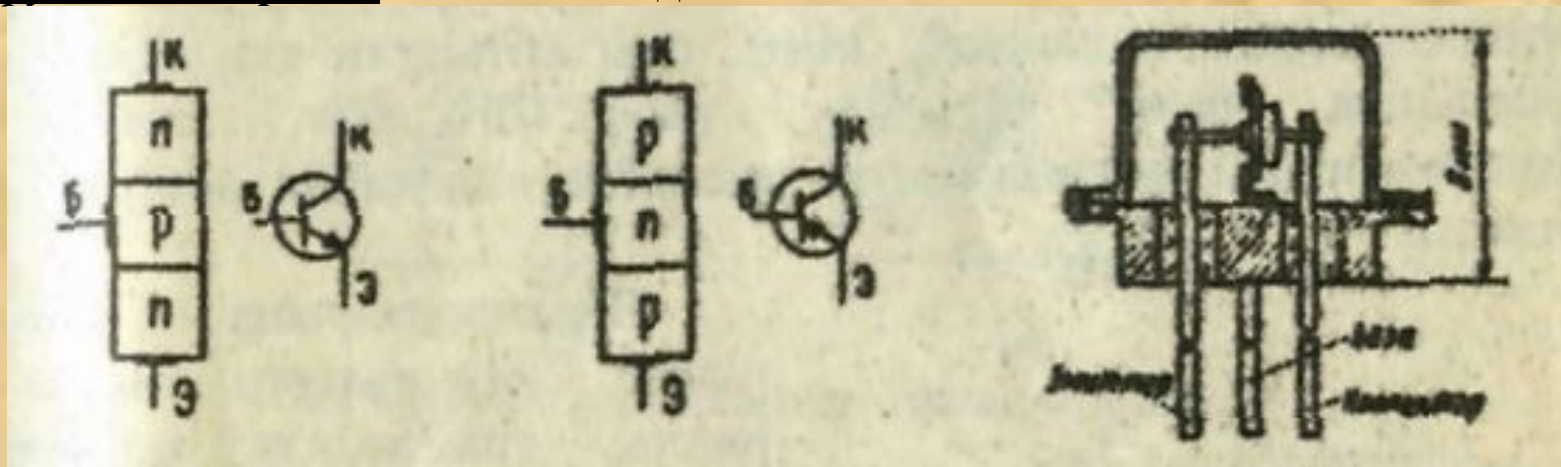
- transit (тапсыру, өткізу, тасымалдау);
- resistor (кедергі).

Тоқ жасауға (тізуге) қатысатын заряд тасушына байланысты транзистор биполярлы және өрістік болып екіге бөлінеді.

Биполярлық транзистор. Жұмыс істеу принципі.

Өндірісте жиі кездесетін биполярлық транзистор кезектесе орналасқан үш p және n аймақтарынан тұрады. Осы аймақтардың өзара орналасуына байланысты олар $n-p-n$ немесе $p-n-p$ болып екіге жіктеліп, тәсімдерде өздеріне шартты белгілерімен кескінделеді (4.1 - сурет).

Әр аймақтан тоқ жүретін шықпалар (электродтар) шығарылып, олар *эмиттер* (Э), *коллектор* (К) және *база* (Б) деп аталады. Латын тілінен *аударғанда* *emitto* – *эмиттер* – «шығарушы» да, транзисторды заяд тасушылармен қамтамасыз ететін электрод болып табылады; *collector* – *коллектор* - «жинаушы» ретінде эмиттерден шыққан заряд тасушыларын қабылдайды. Ал заряд тасушыларының эмиттерден коллекторға қарай қозғалысын реттейтін – *база*. Ол транзистордың *реттеуші, басқарушы электроды* болып саналады.



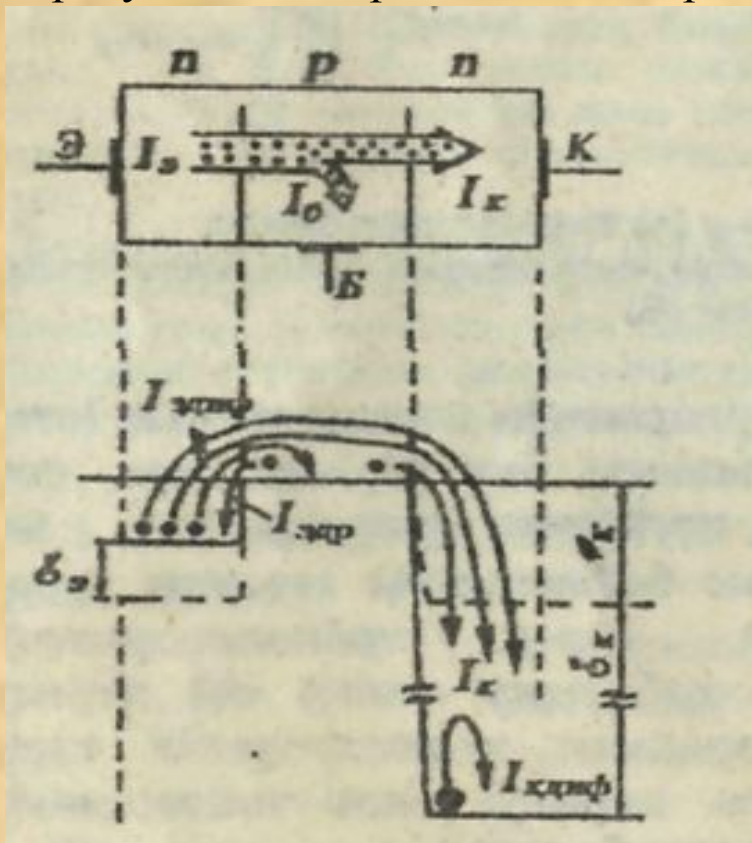
а)

б)

в)

4.1 сурет - $n-p-n$ (а) және $p-n-p$ (б) транзисторларының құрылымдық суреттері, шартты белгілері және биполяр транзисторының құрылысы (в).

$n-p-n$ және $p-n-p$ транзисторларының жалпы жұмыс істеу принциптері бірдей, айырмашылығы тек біріншісінде, ток түзетін заряд тасушылары негізінен электрондар да, екіншісінде - кемтіктер, осыған байланысты аталған заряд тасушыларын жинау үшін $n-p-n$ транзисторының коллекторына (электрондарды қабылдау үшін) оң керену түсіріледі де, $p-n-p$ транзисторының коллекторына теріс кернеу беріледі. Олардың база кернеуі мен токтарының бағыттары да қарама – қарсы бағытта болады.



4.2 сурет – Биполяр транзисторындағы ток жолдары (а) мен ондағы заряд тасушыларының қозғалысы (б)

Өндірісте жиі қолданылуына байланысты $n-p-n$ транзисторының жұмыс атқару принципіне жеке тоқталып өтейік. 4.2 - суретте $n-p-n$ транзисторының құрылымы келтіріліп, ондағы ток жолдары аумақты жебелермен көрсетілген. (Тек еске ұстайтын жайт: жебе бағыттары заряд тасушылары – электрондардың қозғалыс бағытын көрсетеді, ал ток бағыты оған қарама – қарсы).

Суретте көрсетілгендей эмиттер тоғы ($I_э$) коллектор ($I_к$) және база ($I_б$) токтарының қосындысына тең: $I_э = I_к + I_б$. Оның үстіне $I_к$ – ның сан мәні $I_э$ -ге жақын да, $I_б$ өте аз болады. Транзистордың күшейткіштік қасиетінің өзі осында: өте аз шамалы база тоғымен үлкен коллектор тоғын басқаруға мүмкіндік аламыз.

Ал база тоғының пайда болу себебі, ондағы электрондар мен кемтіктердің бір – бірімен қосылып, өзара бейтарап бөлшектер құруы болғандықтан (бұл процесті рекомбинация деп атайды), осы құбылыстың әсерін азайтуға тырысады.

Ол екі түрлі жолмен жүргізіледі: *біріншіден*, база аймағының қоспа мөлшерін эмиттер қоспасынан әлдеқайда аз жасап, эмиттерден келген электрондарға базадан табылатын кемтіктерді жеткіліксіз етеді; *екіншіден*, эмиттерден келген электрондардың базадағы кемтіктермен рекомбинацияға түсіп үлгермей коллекторға бірден өтіп кетуі үшін базаның енін өте тар жасады (микрондармен өлшінеді). Міне, осы айтылған екі себептің арқасында база тоғының шамасын өте азайтын транзистордың күшейткіштік қасиетін әлдеқайда арттыруға болады.

Электрондарына түсірілген кернеулерге байланысы транзистор әртүрлі қанығу, күшейту және токсыз режимдерде жұмыс істей алады. Өмірде жиі қолданылатын күшейткіштік режимдегі база, коллектор кернеулерінің қосылуы 4.3 - суретте көрсетілген.

Дәлірек айтқанда, аталған режимге көшу үшін эмиттерлік $p-n$ ауысуын тура, ал коллекторлық $p-n$ ауысуын кері қосылуға жеткізу керек. Аталған ауысуларды шартты түрде диод белгілерімен белгілеп, сәйкесінше ЭД (эмиттер диоды) және КД (коллектор диоды) деп атап, түсірілген кернеулердің әсерін қарайтын болсақ, шындығында күшейткіштік режимде тұрғағымызға көзіміз жетеді (4.3 б - суретті қараңыз).



4.3 сурет – Транзистордың тәсімдік қосылуы.

Енді осы режимде өтетін физикалық процестерге көз жүгіртіп өтейік (4.2 - сурет). Эмиттерлік p-n ауысуының тура қосылуына байласнысты, ондағы тоқ негізінен диффузия тоғына ($I_{эдиф}$) тұратын болады. Бұл ауысудағы дрейф тоғын мүлде жоқ деуге болмайды. Дегенмен шамасының өте аздығына байланысты оны есепке алмаса да болады ($I_{эдр}$, 4.2 - суретті қараңыз).

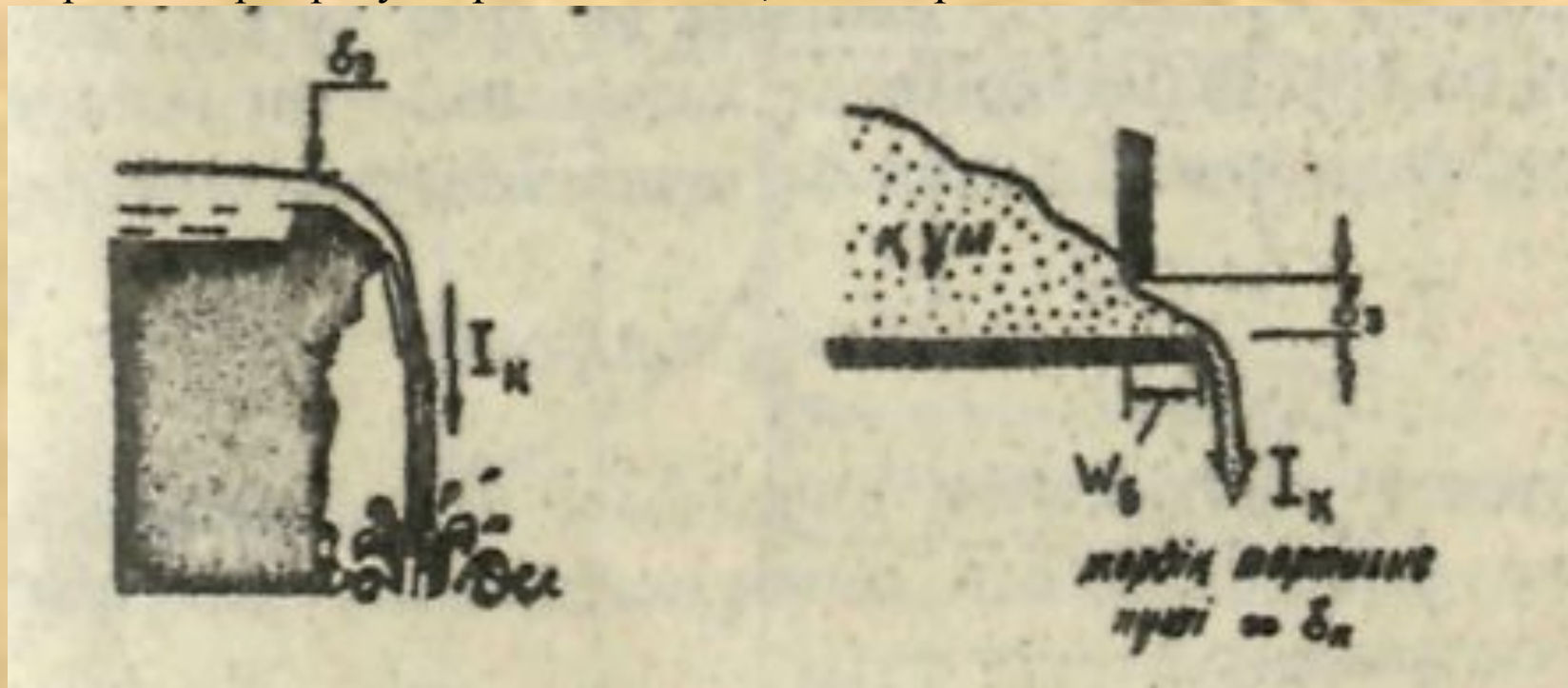
Эмиттерден келген электрондардың бәріне бірдей база аймағынан кемтік табыла бермейді. Сондықтан да олардың дерлік көпшілігі коллектор ауысуына жетіп, коллектор тоғының тікелей өтетін бөлігін (I_k) құрайды. Коллекторға түсірілген электр қозғаушы күші E_k бұл бөлшектердің қозғалысына қосымша әсер етіп, олардың жылдамдығын күшейте түседі.

Ал коллектор ауысуын келетін болсақ, онда потенциал псуының биіктей түсуіне байланысты, ондағы диффузия қозғалысы мүлдем жойылуы мүмкін (кері қайтқан $I_{кдиф}$ -мен көрсетілген).

Физикалық ұқсастыққа жүгінетін болсақ, бұл өзен сарқырамасына ұқсайды (4.4 а - сурет): өзен суын тек сарқырама деңгейіне жеткізсек болды (Еэ кернеуінің күшімен), одан ары су өздігінен, жердің тартылыс күшіне (E_k – ның әсері) байланысты төмен қарай құлдырай ағады.

Ал осы суды сарқырама деңгейінің төмен тұсынан тоқтатуға болар ма еді? Тосқауылдап кедергі қойсақ су тасқыны өзгерер ме еді? Өзгермейді! Демек, коллектор тізбегіне кедергі жалғасаңыз (мысалы, R – ді, 4.3 - суреттегі коллектор тізбегін қараңыз), одан коллектор тоғының шамасы өзгермейді, ал бірақ жалғанған кедергіге сәйкес алынатын кернеудің шамасын өсіруге мүмкіндік туады.

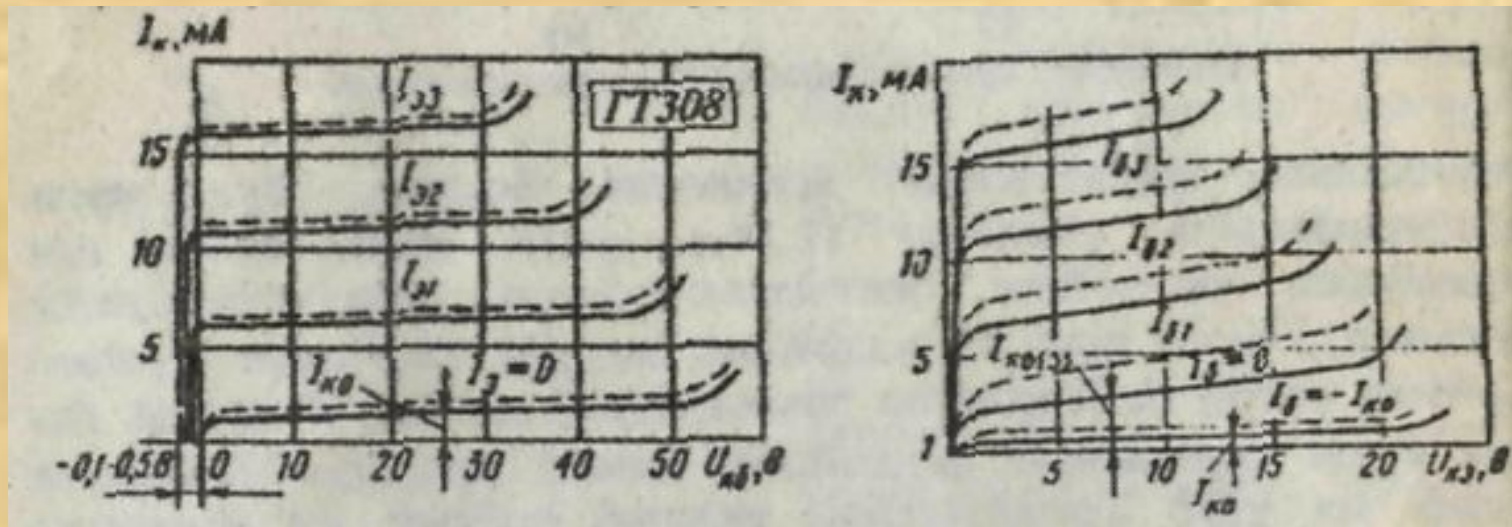
«Транзистор кернеуді күшейте алады», - деген ұғым осыдан пайда болған.



4.4 сурет - Транзистордағы процестердің табиғи баламалары

Тағы бір физикалық ұқсастыққа жүгіне отырып транзистордағы әртүрлі шамалардың бір – біріне сәйкестігін және коллектор тоғына деген олардың әсерін байқауға болады. Егерде үстел үстіндегі құмның төгіліп жатқан ағынын (4.4 б - суретті қараңыз) коллектор тоғына баласақ онда жердің тартылыс күші құм бөлшектерінің жылдамдығын аздап болса да арттыра түскенімен, жерге түскен құм мөлшерін, яғни коллектор тоғын онша өзгерте қоймайды

Жердің тартылыс күшін коллектор кернеуіне баласақ, онда I_k – нің U_k – ға тәуелділігі шамалы деуге болады. Сондықтан да осы тәуелділіктің сипаттамасын алып қарағанда (4.5, а- сурет), айтқан болжамымыздың дәл келгенін көреміз. Дегенмен бұл тәуелсіздік транзистордың тек ортақ базалы естен шығармағанымыз жөн! Сонымен қатар транзистордың ортақ эмиттерлі (ОЭ) схемасында бұл тәуелсіздік онша қатаң сақтала қоймайды (4.5 б- сурет).



4.5 сурет - Транзистордың ортақ базалы (а) және ортақ эмиттерлі (б) тәсімдерінің шығыс сипаттамалары.

Сипаттамалар тобынан көріп отырғанымыздай, $I_{\text{э}}$ шамасын арттыра түссек, $I_{\text{к}}$ шамасы да арта түседі. Ал осы екі токтың өзгеру шамаларының қатынасы транзистордың ток беру коэффициенті деп аталып, α әрпімен белгіленеді, яғни $\alpha = d I_{\text{к}} / d I_{\text{э}} \approx \Delta I_{\text{к}} / \Delta I_{\text{э}}$.

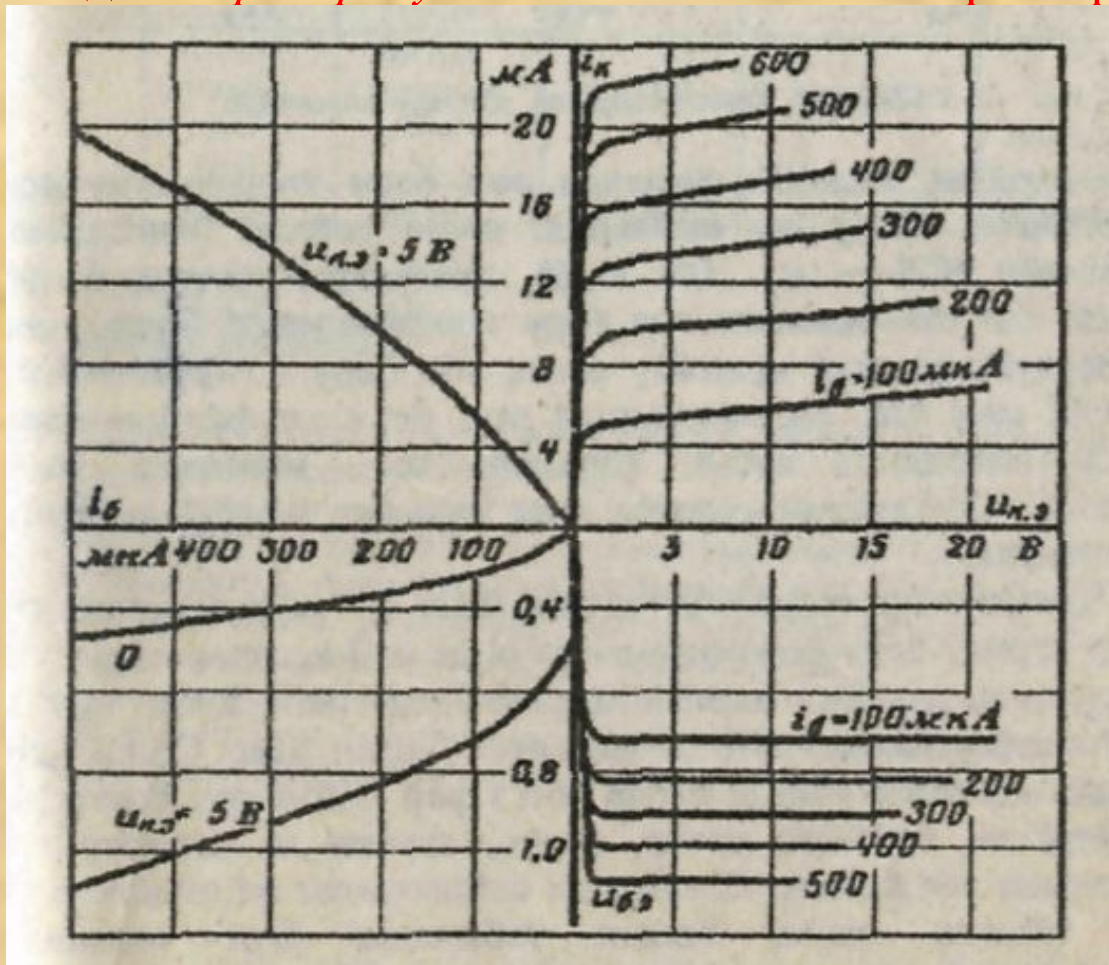
Суретте келтірілген сипаттама транзистордың шығыс сипаттамасы деп аталып, оның негізі сипаттамаларының бірі болып саналады.

4.4 – суретке қайта оралатын болсақ, төменгі тақтайдың жоғарғы тақтайдан асып тұрған бөлігі $\omega_{\text{б}}$ – мен, ал олардың бір – бірінен ара қашықтығы $\varepsilon_{\text{э}}$ – мен белгіленіпті. Мұндағы $\omega_{\text{б}}$ – транзистор базасының ені де, $\varepsilon_{\text{э}}$ – эмиттер ауысыуна түсірілген кернеу шамасы. Құмдағы ұқсастыққа қарай отырып, коллектор тоғының аталған шамаларға өте тәуелді болатындағын байқауға болады.

Оның үстіне төгіліп жатқан құмды белгілі бір қима арқылы (мысалы, құбырмен өткізетін болсақ, онда осы қиманың ауданы коллектор кедергісінің рөлін атқарады: құмды қанша көп құйғанымызбен оны құбыр қимасынан артық мөлшерде өткізуге болмайды, яғни белгілі бір күйге жеткеннен кейін транзисторды қанша ашқанымызбен де ($\varepsilon_{\text{э}}$ арқылы) коллектор тізбегінде $I_{\text{кк}} = \varepsilon_{\text{к}} / R$ тоғынын артық ток ала алмаймыз.

Бұл режим транзистордың қаңығу режимі, ал $I_{\text{кк}}$ – коллектордың қаңығу тоғы деп аталады.

Транзистордың ОЭ тәсіміне арналған сипаттамалар тобы 4.6 – суретте келтірілген. Онда бірінші шаршыда (квадрантта) жағарыда көрсетілген шығыс сипаттамасы келтірілсе, екінші шаршыда оның ток беріліс сипаттамасы оның ток беріліс сипаттамасы, үшінші шаршыда – кіріс, ал төртінші шаршыда – кері кернеу байланыс сипаттамалары берілген.



4.6 сурет - ОЭ тәсімінің бір графикте жинақталған сипаттамалары

Биполярлық транзисторының қосылу тәсімдері мен сипаттамалары.

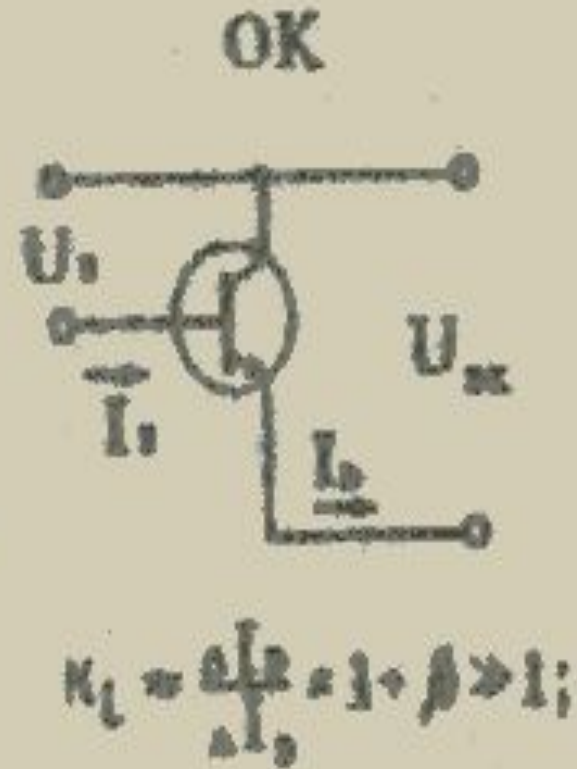
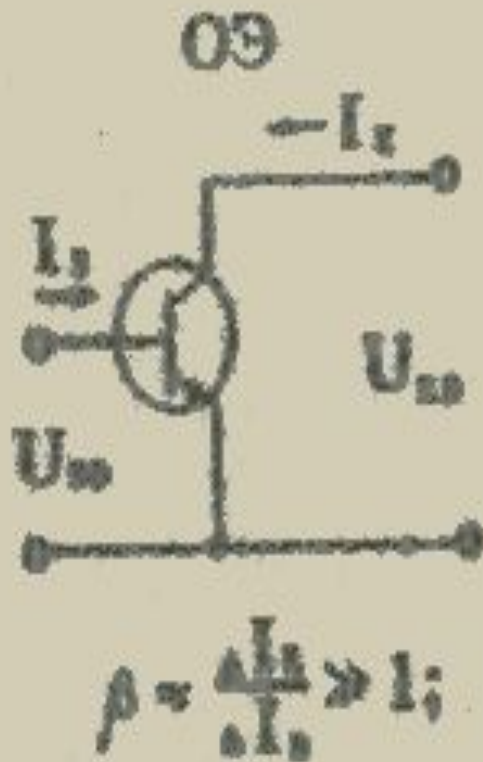
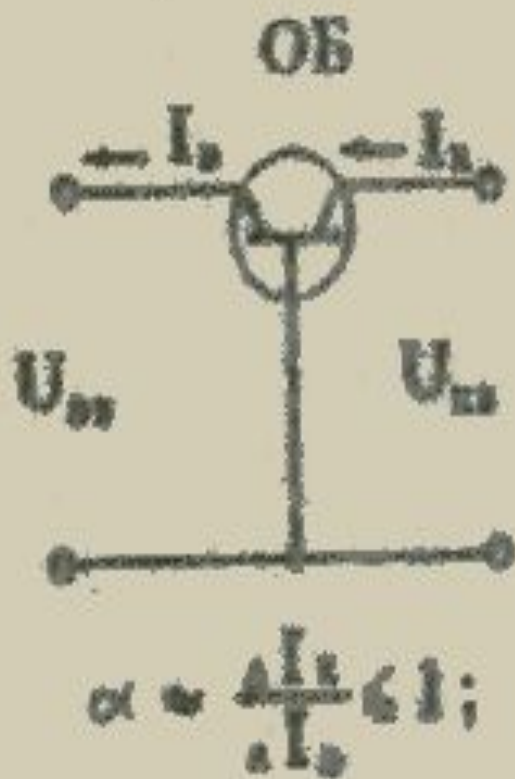
Кіріс, шығыс нүктелерінің өзара орналасуына байланысты транзистор әртүрлі қосылу тәсімдерінде жұмыс істеуі мүмкін. Мысалы, жоғарыда қарастырылған транзистордың ену нүктесі эмиттерде, шығу нүктесі коллекторда болса, ол ортақ нүктесінің базада болатынына байланысты ортақ базалы (ОБ) тәсім деп аталады.

Эмиттері ортақ болса, ортақ эмиттері (ОЭ), ал коллекторы ортақ болса, ортақ коллекторы (ОК) тәсім болып саналады. Бұл тәсімдердің қарапайым түрлері 4.7 – суретте бейнеленген.

Схемалардың төменгі жағында ток беру коэффициенттері көрсетілген. Олар әр тәсімнің өзіне сәйкес белгілермен белгіленіп (ОБ – α , ОЭ - β), шамалары әртүрлі болып келеді.

ОБ тәсімінің ток беру коэффициенті бірден кем (сондықтан да ток күшейту емес, ток беру коэффициенті).

Ал ОЭ мен ОК тәсімдерінің ток беру коэффициенттері бірден әлдеқайда артық (бірнеше жүз, мыңдарға жетуі мүмкін). Сондықтан оларды ток күшейту коэффициенттері деп атайды.



4.7 сурет - Транзистордың қосылу тәсімдері

Транзистор теориясында тоқ беру коэффициенттерімен қатар кернеу беру коэффициенттері де жиі қолданылады. ОБ тәсімінде тоқ беру коэффициенті бірден кем болса, кернеу беру коэффициенті ОК тәсімінде бірден кем. Сондықтан мұндай схемалар өмірде онша көп тарай қоймаған. Токты да, кернеуі де, сонымен қатар, әрине, қуатты да күшейту ОЭ тәсіміне тән қасиет. Сонысына байланысты ол өндірісте ең көп тараған тәсім болып табылады.

Бұл тәсімнің кемшіліктері де жоқ емес. Оларға ОЭ тәсімінің – көрсеткіштерінің тұрақсыздығы (температурадан, режимнен) мен сипаттамаларының бейсызықтығы жатады. Мысалы, ОЭ тәсімінің шығыс сипаттамасын (4.5, б – сурет) алатын болсақ, біріншіден, токтың керенуге тәуелділігінің біршама екеің көреміз; екіншіден, база тоғының бірдей өзгерістеріне коллектор тоғының бірдей өзгерістері сәйкес келе бермейді. (Ток шамасы өскен сайын сипаттамалар жиілігі арта түседі.) Оның үстіне осы сипаттаманың температуралық тұрақсыздығын да атап өткен жөн. Транзистордың әртүрлі тәсімдерде қосылуының салыстырмалық көрсеткіштері 1 кестеде жинақталған.

1 кесте - Транзистордың әртүрлі тәсімдерде қосылуының салыстырмалық көрсеткіштері

Қосылу схемалары	Кіріс кедергісі	Шығыс кедергісі	Ток беру коэффициенті	Кернеу беру коэффициенті	Қуат күшейтуі
ОБ	төмен(ондаған Ом(ондаған Ом))	өте жоғары (ондаған МОм)	0,92 – 0,999	жоғары	жоғары
ОЭ	төмен (ондаған, жүздеген Ом)	жоғары (жүздеген кОм)	10 – 1000	жоғары	өте жоғары
ОК	жоғары	төмен	10 - 1000	< 1	жоғары

ОБ және ОЭ тәсімдерінің кіріс сипаттамасы (кіріс тоғының кіріс кернеуіне тәуелділігі) диодтың вольтамперлік сипаттамасын еске түсіреді. Оның себебі де түсінікті: өйткені транзистордың кіріс жолы эмиттерлік диодтан (ЭД) тұрады.