

Х.К. АРИПОВ, А.М. АБДУЛЛАЕВ, Н.Б. АЛИМОВА

ЭЛЕКТРОНИКА ВА СХЕМОТЕХНИКА

5521900 “Информатика ва ахборот технологияси”
5523600 “Электрон тижорат”
5523500 “Ахборот хавфсизлиги”
5522200 “Телекоммуникация”
5522100 “Телевидение, радиоалоқа ва радиоэшиттириш”
5522000 “Радиотехника”
5140900 “Касб таълими” (телекоммуникация)
5521900 “Касб таълими” (информатика ва ахборот технологиялари)
йўналишларида таълим олаётган бакалаврлар учун

ўқув қўлланма

Х.К. Арипов, А.М. Абдуллаев, Н.Б. Алимова. **Электроника ва схемотехника.** Ўқув қўлланма – Тошкент: ТАТУ, 2008, 137 б, 2007-2008 ўқув йили режаси

Тақризчилар: **Ш.З. Таджибаев**, техника фанлари номзоди, доцент
Р.К. Каримов, техника фанлари номзоди, доцент

Ўқув қўлланмада яримўтказгичли электроника қурилмаларининг негиз элементлари кўриб чиқилган. Дiodлар, транзисторларнинг синфланиши, вольт - ампер ва бошқа характеристикалари, асосий уланиш схемалари ва уларни турли ишчи режимларида аниқ бир қурилмаларда қўлланилиш хоссалари келтирилган. Аналог ва рақамли қурилмаларнинг ясаиш принципларига алоҳида эътибор қаратилган. Уларнинг ишлашининг математик ифодалаш усуллари, ҳамда берилган техник кўрсаткичларга эга бўлган қурилмаларни анализ ва синтез асослари келтирилган.

Электрон асбоблар ва аналог ва рақамли схемотехника қурилмаларининг баъзиларининг асосий характеристика ва параметрларини аниқлашга имкон берадиган лаборатория ишлари келтирилган.

Ўқув қўлланма тегишли йўналишларда таълим олаётган талабалар учун мўлжалланган.

КИРИШ

Электроника – электронларни электр майдони билан таъсирини ва ахборот узатиш, қайта ишлаш ва сақлашда қўлланиладиган электрон асбоб ва қурилмаларни яратиш усуллариини ўрганиш билан шуғулланадиган фан.

Электроника, авваламбор инсон жамиятининг ахборотга бўлган талабларини қондиришга мўлжалланган. Ишлаб чиқариш кучларининг ва ишлаб чиқариш муносабатларининг ривожланиши техника ва технологиянинг янги турларини яратишга асосланган ва ахборот воситаларининг ривожланиши билан кучли равишда боғлиқ. Инсонлар ўртасидаги ахборот алмашиш қурилмаларининг ривожланиш тарихи бир неча босқичлардан иборат: ҳаракат ва мимика, товуш, ёзув, китоб босмаси, электроника. Ҳозирги кунда ахборот узатиш, қайта ишлаш ва сақлаш қурилмаларининг барчаси инсон жамияти томонидан ишлатилмоқда. Ахборот узатишнинг янги усулига ўтиш доим жамиятда ишлаб чиқариш кучларини кескин ўсишига олиб келган. Электроника узоқ масофаларга узатилаётган ахборотнинг узатиш тезлиги ва ҳажмини кескин ортирди. Электроника ривожланиш жаарёнида тўрт босқични босиб ўтди.

Биринчи босқич 1895 йилда А.С. Попов томонидан симсиз телеграф – радио ихтиро қилиниши билан бошланди. Бу даврдаги алоқа қурилмалари пассив элементлардан: симлар, индуктивлик ғалтаклари, магнитлар, резисторлар, конденсаторлар, электромеханик қурилмалар (алмашлаб улагичлар, реле ва бошқалар) дан иборат эди.

Иккинчи босқич 1906 йили Л.де Форест томонидан биринчи актив электрон асбоб - триод лампасининг яратилиши билан бошланди. Триод – электр сигналларини турли ўзгартириш усулларига эга бўлган, асосан – қувват кучайтириш хоссасига эга бўлган биринчи актив электрон асбоб бўлди. Кучсиз сигналларни электрон лампалари ёрдамида кучайтириш ҳисобига телефон орқали суҳбатларни узоқ масофаларга узатиш имконияти юзага келди. Электрон лампалари радио орқали товуш, мусиқа, кейинчалик эса телевидение орқали тасвирларни ҳам узатишга ўтишга имкон яратди. Иккинчи босқич электроника аппаратуралари элементларига – электрон лампалар, резисторлар, конденсаторлар, трансформаторлар кирази.

Учинчи босқич 1948 йили Дж. Бардин, В. Браттейн ва В. Шоклилар томонидан қаттиқ жисмли (ярим ўтказгичли) электрониканинг асосий актив (кучайтиргич) элементи бўлган - биполяр транзисторнинг кашф этилиши билан бошланди. Транзистор электрон лампанинг барча функцияларини бажаришга қодир.

Транзистор яратилиши билан, унинг алмашлаб улагич вазифасини бажара олиш хоссаси, кичик ўлчамлари ва юқори ишончилига кўра бир неча минг электр радиоэлементлардан (ЭРЭ) ташкил топган мураккаб электрон қурилма ва тизимларни яратиш имконияти туғилди. Бундай қурилмаларни лойиҳалаш жуда осон, лекин хатосиз йиғиш ва ишлашини таъминлаш эса деярли мумкин эмас эди. Гап шундаки, ҳар бир ЭРЭ алоҳида яратилган эди (дискрет элементлар) ва бошқа элементлар билан индивидуал боғланишни (монтажни) талаб қилар эди. Ҳатто жуда аниқ монтажда ҳам узилиш, қисқа туташув каби хатоликлар юзага келар ва тизимни дарҳол ишга тушишини таъминламас эди. Масалан, 50 йиллар сўнгида яратилаётган ЭХМлар ўнлаб резистор ва конденсаторларни ҳисобга олмаганда, 100 мингга яқин диодлар ва 25 мингтача транзисторлардан иборат эди.

Дискрет элементлар қуйидаги хоссаларга эга: ўртача қуввати 15 мВт, ўлчамлари (боғланишлари билан) 1 см^3 , ўртача оғирлиги 1 г ва бузилиш эҳтимоллиги 10^{-5} с^{-1} . Натижада дискрет элементлардан тузилган ЭХМнинг сочилиш қуввати 3 кВт, ўлчамлари $0,2\text{ м}^3$, оғирлиги 200 кг бўлиб, ҳар бир соатда ишдан чиқар эди. Бу албатта ЭХМ иш қобилиятини кичиклигидан далолат беради. Бундай дискрет транзисторли техника ёрдамида мураккаб электрон қурилмаларни яратиш имкони мавжуд эмас. Демак, бузилишлар эҳтимоли, ўлчамлари ва оғирлиги, таннархи ва бошқалар бир неча даражага кичик бўлган сифатли янги элемент база яратиш талаб қилинар эди. Интеграл микросхемалар худди шундай элемент база талабаларига жавоб берди.

Тўртинчи босқич интеграл микросхемалар (ИМС) асосида қурилма ва тизимлар яратиш билан бошланди ва **микроэлектроника даври** деб аталади.

Микроэлектрониканинг биринчи маҳсулотлари – интеграл микросхемалар 60 йиллар сўнгида пайдо бўлди. Ҳозирги кунда ИМСлар уч хил конструктив – технологик усулларда яратилади: қалин пардали ва юпқа пардали гибрид интеграл микросхемалар (ГИС) ва ярим ўтказичли интеграл микросхемалар.

Интеграл микросхемалар радио электрон аппаратураларда элементлараро уланишларни таъминлаш билан биргаликда, уларнинг кичик ўлчамларини, энергия таъминотини, масса ва материал ҳажмини таъминлайдилар. Кўп сонли чиқишлар ва қобикларнинг йўқлиги радио электрон аппаратураларнинг ҳажми ва массасини кичрайтиради.

1.1. Энергетик зоналар

Замонавий электроника қурилмалари ярим ўтказгичли материаллардан тайёрланади. Ярим ўтказгичлар кристалл, аморф ва суюқ бўлади. Ярим ўтказгичли техникада асосан кристалл ярим ўтказгичлар (10^{10} асосий модда таркибида бир атомдан ортиқ бўлмаган киритма монокристаллари) қўлланилади. Одатда ярим ўтказгичларга солиштира электр ўтказувчанлиги σ металллар ва диэлектриклар оралиғида бўлган ярим ўтказгичлар киради (уларнинг номи ҳам шундан келиб чиқади). Хона температурасида уларнинг солиштира электр ўтказувчанлиги 10^{-8} дан 10^5 гача См/м (метрга Сименс)ни ташкил этади. Металларда $\sigma = 10^6$ - 10^8 См/м, диэлектрикларда эса $\sigma = 10^{-8}$ - 10^{-13} См/м. Ярим ўтказгичларнинг асосий хусусияти шундаки, температура ортган сари уларнинг солиштира электр ўтказувчанлиги ҳам ортиб боради, металлларда эса камаёди. Ярим ўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги ёруғлик билан нурлантириш ва ҳатто жуда кичик киритма миқдорига боғлиқ. Ярим ўтказгичларнинг хоссалари **қаттиқ жисм зона назарияси** билан тушунтирилади.

Ҳар бир қаттиқ жисм кўп сонли бир-бири билан кучли ўзаро таъсирлашаётган атомлардан таркиб топган. Шу сабабли бир бўлак қаттиқ жисм таркибидаги атомлар мажмуаси ягона тузилма деб қаралади. Қаттиқ жисмда атомлар боғлиқлиги атомнинг ташқи қобиғидаги электронларни жуфт бўлиб бирлашишлари (валент электронлар) натижасида юзага келади. Бундай боғланиш **ковалент боғланиш** деб аталади.

Атомдаги бирор электрон каби валент электрон энергияси W ҳам дискрет ёки квантланган бўлади, яъни электрон **энергетик сатҳ** деб аталувчи бирор рухсат этилган энергия қийматига эга бўлади. Энергетик сатҳлар электронлар учун таъқиқланган энергиялар билан ажратилган. Улар **таъқиқланган зоналар** деб аталади. Қаттиқ жисмларда қўшни электронлар бир-бирига жуда яқин жойлашганлиги учун, энергетик сатҳларни силжиши ва ажралишига олиб келади ва натижада **рухсат этилган энергетик зоналар** юзага келади. Энергетик зонада рухсат этилган сатҳлар сони кристалдаги атомлар сонига тенг бўлади. Рухсат этилган зоналар кенглиги одатда бир неча электрон – вольтга тенг (электрон – вольт – бу 1В га тенг бўлган потенциаллар фарқини енгиб ўтган электроннинг олган энергияси). Рухсат этилган зонадаги минимал энергия сатҳи туби (W_c), максимал энергия эса шипи (W_v) деб аталади.

1.1-расмда ярим ўтказгичнинг зона диаграммаси келтирилган. Таъқиқланган зона кенглиги ΔW_t ярим ўтказгичнинг асосий параметри бўлиб ҳисобланади.



1.1 – расм.

Электроникада кенг қўлланиладиган ярим ўтказгичларнинг таъқиқланган зона кенгликлари ΔW_t (эВ) қуйидагига тенг: германий учун – 0,67, кремний учун – 1,12 ва галлий арсениди учун – 1,38.

Диэлектрикларда таъқиқланган зона кенглиги $\Delta W_t \geq 2$ эВ, металлларда эса рухсат этилган зоналар бир – бирига кириб кетган бўлади, яъни мавжуд эмас.

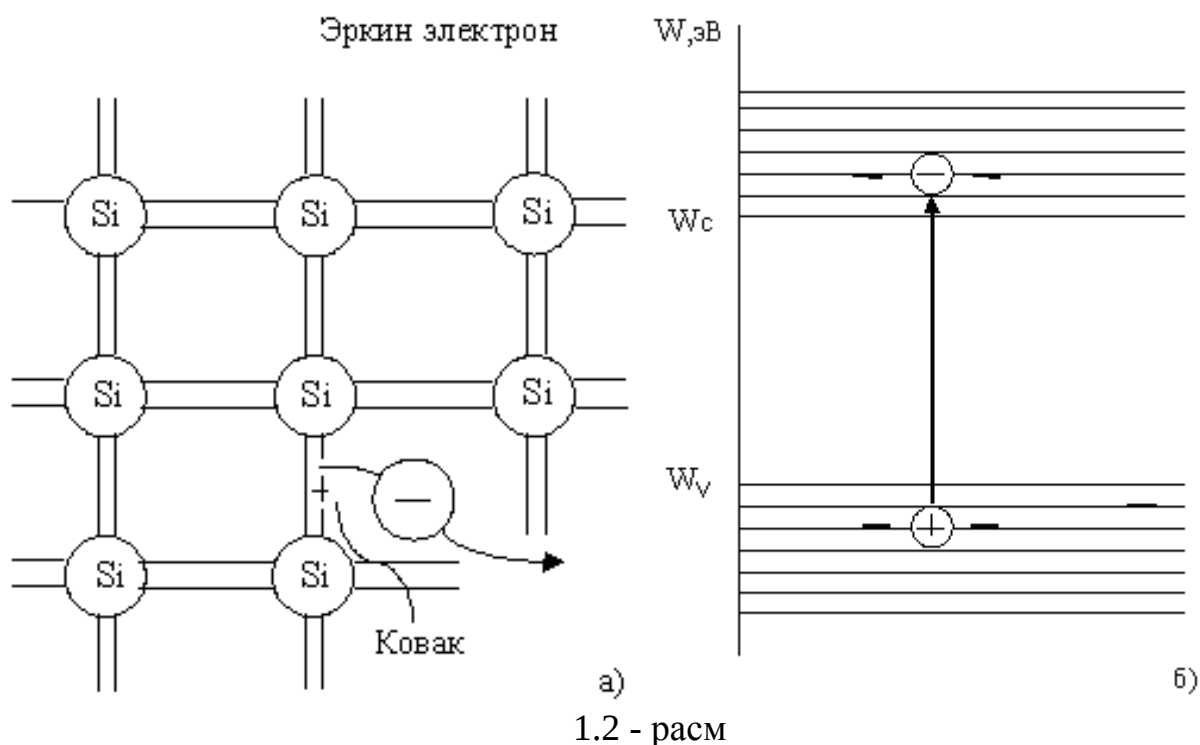
Юқоридаги рухсат этилган зона **ўтказувчанлик зонаси** деб аталади, яъни мос энергияга эга бўлган электронлар, ташқи электр майдони таъсирида ярим ўтказгич ҳажмида ҳаракатланишлари мумкин, бунда улар электр ўтказувчанлик юзага келтирадилар. Ўтказувчанлик зонасидаги бирор энергияга мос келадиган электронлар **ўтказувчанлик электронлари** ёки **эркин заряд ташувчилар** деб аталадилар. Қуйидаги рухсат этилган зона **валент зона** деб аталади.

Абсолют ноль температурада (0 К) ярим ўтказгичнинг валент зонасидаги барча сатҳлар электронлар билан тўлган, ўтказувчанлик зонасидаги сатҳлар эса электронлардан холи бўлади.

1.2. Хусусий электр ўтказувчанлик

Ярим ўтказгичли электроника маҳсулотларининг деярли 97 % кремний асосида ясалади. 1.2 – расмда киритмасиз кремний панжарасининг соддалаштирилган модели (а) ва унинг зона энергетик диаграммаси (б) келтирилган. Агар ярим ўтказгич кристалли таркибида киритма умуман бўлмаса ва кристалл панжаранинг тузулмасида нуқсонлар (бўш тугунлар,

панжара силжиши ва бошқалар) мавжуд бўлмаса, бундай ярим ўтказгич хусусий деб аталади ва i ҳарфи билан белгиланади.



1.2 - расм

1.2 – расмдан кўриниб турибдики, кремний хусусий кристаллида унинг атомининг тўртта валент электрони кремнийнинг қўшни атомининг тўртта электрони билан боғланиб, мустаҳкам саккиз электронли қобик (тўғри чизик) ҳосил қилади. 0 K температурада бундай ярим ўтказгичда эркин заряд ташувчилар мавжуд бўлмайди. Лекин температура ортиши билан ёки ёруғлик нури туширилганда ковалент боғланишларнинг бир қисми узилади ва валент электронлар ўтказувчанлик зонасига ўтиш учун етарлича энергия олади (1.2 б-расм).

Натижада валент электрон эркин заряд ташувчига айланади ва кучланиш таъсир эттирилса, у ток ҳосил қилишда иштирок этади. Электрон йўқотилиши натижасида атом мусбат ионга айланади.

Бир вақтнинг ўзида валент зонада бўш сатҳ ҳосил бўлади ва валент электронлар ўз энергияларини ўзгартиришларига, яъни валент зонасининг бирор рухсат этилган сатҳидан бошқасига ўтишига имкон яратилади. Шундай қилиб, у ток ҳосил бўлиш жараёнида қатнашиши мумкин. Температура ортган сари кўпроқ валент электронлар ўтказувчанлик зонасига ўтадилар ва электр ўтказувчанлик ортиб боради.

Валент зонадаги эркин энергетик сатҳ ёки эркин валент боғланиш ковакли деб аталади ва у электрон зарядининг абсолют қийматига тенг бўлган эркин мусбат заряд ташувчи ҳисобланади. Ковакнинг ҳаракатланиши валент электрони ҳаракатига қарама – қарши бўлади.

Шундай қилиб, атомлар орасидаги ковалент боғланишнинг узилиши бир вақтнинг ўзида эркин электрон ва электрон ажралиб чиққан атом

яқинида ковак ҳосил бўлишига олиб келади. Электрон – ковак жуфтлигининг ҳосил бўлиш жараёнига **заряд ташувчилар генерацияси** деб аталади. Агар бу жараён иссиқлик таъсирида амалга ошса, у иссиқлик генерацияси деб аталади. Ўтказувчанлик зонасида электроннинг ҳосил бўлиши ва валент зонасида ковакнинг юзага келиши 1.2 б-расмда мос ишоралар ёрдамида айланалар кўринишида тасвирланган. Стрелка ёрдамида электроннинг валент зонасидан ўтказувчанлик зонасига ўтиши кўрсатилган.

Генерация натижасида юзага келган электронлар ва коваклар ярим ўтказич кристаллида яшаш вақти деб аталадиган бирор вақт мобайнида тартибсиз ҳаракатланадилар, сўнгра эркин электрон тўлиқ бўлмаган боғланишни тўлдиради ва боғланиш ҳосил бўлади. Бу жараён **рекомбинация** деб аталади.

Ўзгармас температурада (бошқа ташки таъсирлар мавжуд бўлмаганда) кристалл мувозанат ҳолатда бўлади. Яъни, генерацияланган заряд ташувчилар жуфтлиги сони рекомбинацияланган жуфтликлар сонига тенг бўлади. Бирлик ҳажмдаги заряд ташувчилар сони, яъни уларнинг концентрацияси, солиштирама электр ўтказувчанлик қийматини беради. Хусусий ярим ўтказгичларда электронлар концентрацияси коваклар концентрациясига тенг бўлади ($n_i = p_i$). n (negative сўзидан) ва p (positive сўзидан) ҳарфлари мос равишда электрон ва ковакка мос келади. Киритмасиз ярим ўтказгичда ҳосил бўлган электрон ва коваклар **хусусий эркин заряд ташувчилар** ва уларга асосланган электр ўтказувчанлик эса – **хусусий электр ўтказувчанлик** деб аталади.

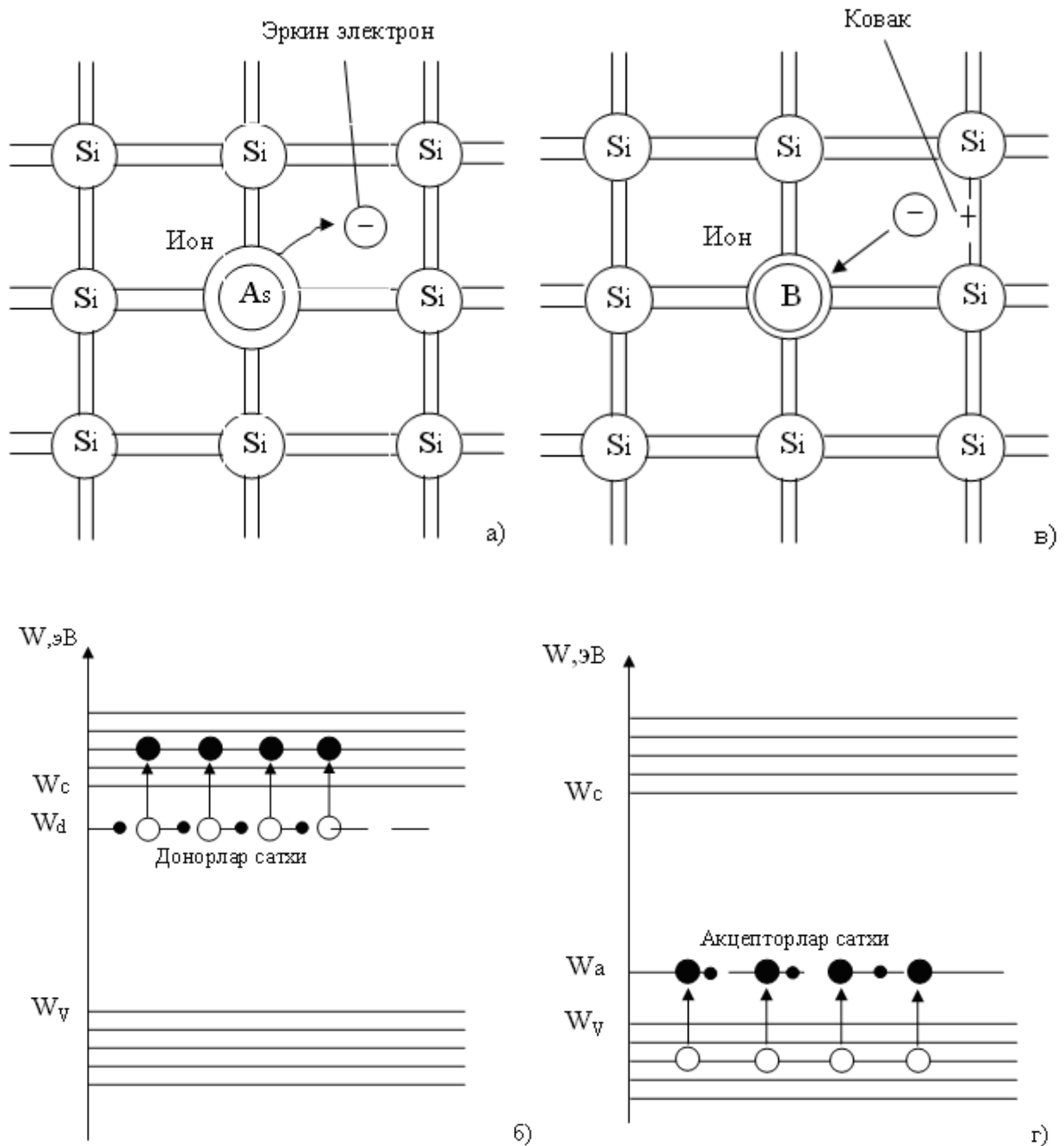
1.3. Киритмали электр ўтказувчанлик

Ярим ўтказгичли асбобларнинг кўп қисми киритмали ярим ўтказгичлар асосида яратилади. Электр ўтказувчанлиги киритма атомлари ионизацияси натижасида ҳосил бўладиган заряд ташувчилар билан асосланган ярим ўтказгичлар – **киритмали ярим ўтказгичлар** дейилади.

Кремний атомига Д.И. Менделеев даврий элементлар тизимидаги V гуруҳ элементлари (масалан, маргумуш As) киритилса унинг 5та валент электронидан тўрттаси кўшни кремний атомининг тўртта валент электронлари билан боғланиб - саккиз электрондан ташкил топган мустаҳкам қобик ҳосил қиладилар. Бешинчи электрон ортиқча бўлиб, ўзининг атоми билан кучсиз боғланган бўлади. Шунинг учун кичик иссиқлик энергияси таъсирида у узилади ва эркин электронга айланади (1.3 а - расм), бу вақтда ковак ҳосил бўлмайди. Энергетик диаграммада бу жараён электроннинг донор сатҳи W_d дан ўтказувчанлик зонасига ўтишига мос келади (1.3 б - расм). Киритмали атом мусбат зарядланган кўзгалмас ионга айланади. Бундай киритма **донор** деб аталади.

Ярим ўтказгичли асбоблар ясашда кўп киритма атомлари киритилади (1 см^3 ҳажмга 10^{14} - 10^{18} даражадаги атомлар). Хона температурасида киритманинг ҳар бир атоми биттадан эркин электрон ҳосил қилади. Коваклар

эса хусусий ярим ўтказичлардаги каби кремний атоми электронларининг ўтказувчанлик зонасига ўтишидаги термогенерация ҳисобига ҳосил бўлади.



1.3 – расм.

Ярим ўтказгич таркибига катта даражадаги донор киритманинг киритилиши эркин электронлар концентрациясини оширади, коваклар концентрацияси эса хусусий ярим ўтказгичдагига нисбатан сезиларли камаяди. Эркин заряд ташувчилар концентрациясининг кўпайтмаси n - p ўзгармас температурада ўзгармас қолади ва фақат ярим ўтказгич таъқиқланган зона кенглиги билан аниқланади. Шуни ёдда тутиш керакки, $T=300 \text{ К}$ (хона температурасида) кремнийда $np \cong 0,64 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, германийда эса $np \cong 4 \cdot 10^{26} \text{ см}^{-3}$. Шундай қилиб, агар кремний кристаллига

концентрацияси 10^{16} см^{-3} бўлган донор киритма киритилса, $T=300 \text{ К}$ да электронлар ўтказувчанлиги $n=10^{16} \text{ см}^{-3}$, ковакларники эса – атиги 10^4 см^{-3} га тенг бўлади. Демак бундай киритмали ярим ўтказгичда электр ўтказувчанлик асосан электронлар ҳисобига амалга оширилади, ярим ўтказгич эса – **электрон ёки n - турдаги электр ўтказувчанлик** деб аталади. n –турдаги ярим ўтказгичда электронлар - асосий заряд ташувчилар, коваклар эса - асосий бўлмаган заряд ташувчилар деб аталади.

Кремний атомига Д.И. Менделеев даврий элементлар тизимидаги III гуруҳ элементлари (масалан, бор В) киритилса унинг валент электронлари қўшни кремний атомлари валент электронлари билан учта тўлиқ боғлиқлик ҳосил қиладилар. Тўртинчи боғланиш эса тўлмай қолади. Унча катта бўлмаган иссиқлик энергияси таъсирида қўшни кремний атомининг валент электронлари бу боғланишни тўлдиради. Натижада борнинг ташқи қобиғида ортиқча электрон ҳосил бўлади, яъни у манфий зарядга эга бўлган қўзғалмас ионга айланади. Кремний атомининг тўлмаган боғланиши – бу ковакдир (1.3 в - расм). Энергетик диаграммада бу жараён электроннинг валент зонадан акцептор сатҳи W_a га ўтишига ва валент зонада ковак ҳосил бўлишига мос келади (1.3 г - расм). Бу вақтда эркин электрон ҳосил бўлмайди. Бундай киритма – акцепторли деб аталади, акцептор атомлари киритилган ярим ўтказгич эса – **ковак ёки p – турдаги электр ўтказувчанлик** деб аталади. p -турдаги ярим ўтказгич учун коваклар – асосий заряд ташувчилар, электронлар эса - асосий бўлмаган заряд ташувчилар ҳисобланади.

Ферми сатҳи. Берилган температурада ҳаракатчан ва қўзғалмас заряд ташувчилар концентрацияси Ферми сатҳи W_F ҳолати билан аниқланади. Бу сатҳ бир электронга мос келувчи жисмнинг ўртача иссиқлик энергиясига мос келади. Абсолют ноль температурадан фарқли температурада бу сатҳнинг тўлиш эҳтимоли 0,5 га тенг.

Электронлар ва ковакларнинг ўртача иссиқлик энергияси ярим ўтказгич температураси билан аниқланади ва kT га тенг, бу ерда k – Больцман доимийси, T – абсолют температура. Қаттиқ жисмда заррачалар ҳаракатини ифодалайдиган Больцман қонунига асосан, n – ярим ўтказгичдаги энергияси W_i кичик бўлмаган электронлар қуйидагига тенг:

$$n = n_n \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right), \quad (1.1)$$

бу ерда n_n – эркин электронларнинг тўлиқ концентрацияси. Худди шундай ифодалар ковакларни энергия бўйлаб тақсимотини ифодалайди. (1.1) дан кўриниб турибдики, заррача энергиясининг ортиши билан, заррачалар сони кескин камаяди.

Иккала ишорадаги эркин заряд ташувчилар концентрацияси тенг бўлган хусусий ярим ўтказгичлар учун Ферми сатҳи таъқиқланган зонанинг ўртасидан ўтади. Электронли ярим ўтказгичда электронларнинг (бутун ярим ўтказгичнинг) ўртача энергияси юқори бўлади, демак Ферми сатҳи ўртадан

ўтказувчанлик зонаси туби томонга силжийди ва донор киритма концентрацияси қанча юқори бўлса, шунча ўтказувчанлик зонаси туби томонга яқинлашади. Р- турдари ярим ўтказгичда Ферми сатҳи таъқиқланган зона ўртасидан валент зона шипи томонга силжийди ва акцептор киритма концентрацияси қанча юқори бўлса, шунча валент зонаси шипи томонга яқинлашади.

Баъзи ярим ўтказгичли асбобларда (туннель диодлари, туннель тешилишли стабилитронлар) **ажралмаган ярим ўтказгичлар** қўлланилади. Бундай ярим ўтказгичларда Ферми сатҳи рухсат этилган зоналарда: электронли ярим ўтказгич учун – ўтказувчанлик зонасида, ковакли ярим ўтказгич учун – валент зонада жойлашади. Ажралмаган ярим ўтказгичлар жуда катта киритма концентрацияси ($10^{19} - 10^{21} \text{ см}^{-3}$) ҳисобига ҳосил қилинади.

Заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги. Заряд ташувчиларнинг ҳаракатчанлиги μ - бу электр майдон кучланганлиги $\vec{E} = 1 \text{ В/см}$ бўлгандаги ярим ўтказгичдаги заряд ташувчиларнинг ўртача йўналтирилган тезлиги. Электронлар ҳаракатчанлиги μ_n доим коваклар ҳаракатчанлиги μ_p дан юқори бўлади. Бундан ташқари зарядлар ҳаракатчанлиги ярим ўтказгич турига ҳам боғлиқ бўлади. Шундай қилиб, кремнийдаги электронлар ҳаракатчанлиги $\mu_n = 1500 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, германийда $\mu_n = \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, галлий арсенидида $\mu_n = \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Агар ярим ўтказгичда электр майдони ҳосил қилинса, у ҳолда эркин заряд ташувчилар силжиши юзага келади. Бундай силжиш **дрейф ҳаракати** деб аталади. **Дрейф тезлиги** $\vec{v}_{др}$ электр майдон кучланганлиги $\vec{E}$ га пропорционал бўлади

$$\vec{v}_{др} = \mu \cdot \vec{E} \quad (1.2)$$

Электрон ва коваклар дрейф токининг натижавий зичлиги

$$\vec{j}_{др} = q(n\mu_n + p\mu_p)E. \quad (1.3)$$

Диффузия коэффиценти. Ярим ўтказгичда электр токи ҳосил бўлишига фақат электр майдони эмас, балки ҳаракатчан заряд ташувчилар градиенти ҳам сабаб бўлади. Ярим ўтказгич ҳажмида тенг тақсимланмаган эркин заряд ташувчилар ҳаракатининг йўналиши **диффузия ҳаракати** деб аталади.

Электрон ва ковак диффузия тоқларининг зичлиги қуйидагига тенг

$$\vec{j}_{n\text{ДДИ}} = qD_n \left(\frac{dn}{dx} \right); \quad \vec{j}_{p\text{ДИФ}} = -qD_p \left(\frac{dp}{dx} \right). \quad (1.4)$$

бу ерда q – электрон (ковак) заряди, D_n и D_p – мос равишда электрон ва ковак диффузия коэффициентлари, dn/dx и dp/dx – мос равишда электрон ва ковак концентрация градиентлари.

Дрейф ва диффузия ҳаракати параметрлари ўзаро *Эйнштейн нисбати* билан боғланган

$$Dn = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_n = \varphi_T \mu_n;$$

$$Dp = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_p = \varphi_T \mu_p. \quad (1.5)$$

(1.4) ифодадаги пропорционаллик коэффициентлари $\varphi_T = kT/q$ потенциал ўлчам бирлигига тенг (вольт) ва иссиқлик потенциаллари деб аталади. Хона температурасида ($T=300\text{ K}$) $\varphi_T = 0,026\text{ В} = 26\text{ мВ}$.

Яшаш вақти τ . Заряд ташувчининг яшаш вақти деганда унинг генерациясидан рекомбинациясигача бўлган вақт тушунилади. Ярим ўтказгичнинг бу параметри ярим ўтказгичли асбобларни (биполяри транзисторлардаги база кенглиги, майдоний транзисторларда канал узунлиги) конструкциялашда катта аҳамиятга эга. Яшаш вақтида заряд ташувчининг диффузия ҳаракати натижасида диффузия узунлиги деб аталувчи, ўртача масофаси маълум L га тенг бўлган масофани босиб ўтади.

Назорат саволлари

1. Ярим ўтказгичларни ўзига хос хусусиятларини айтиб беринг.
2. Ярим ўтказгич зона диаграммасини изоҳлаб беринг.
3. Эркин заряд ташувчи (ЭЗТ) деганда нимани тушунаси?
4. Валент зонадаги электронларнинг ҳаракати қандай ифодаланади? Электрон ва ковак ўтказувчанликка таъриф беринг.
5. Хусусий электр ўтказувчанлик нима? Хусусий ярим ўтказгичдаги ЭЗТ концентрацияси.
6. Ярим ўтказгич характеристикасига қандай киритмалар таъсир кўрсатади?
7. Донор ва акцептор киритмалари нима?
8. Электрон ва ковак ярим ўтказгичларга таъриф беринг.
9. Қандай ЭЗТ – асосий ва қайсилари – асосий бўлмаган деб аталади?
10. Температура ўзгарганда ярим ўтказгичдаги ЭЗТ концентрацияси нима сабабли ва қандай ўзгаришини тушунтириб беринг.

II БОБ. ЭЛЕКТРОН – КОВАК ЎТИШ (*p-n* ўтиш)

2.1. *P-n* ўтишнинг ҳосил бўлиши

Ярим ўтказгичли асбобларнинг кўпчилиги бир жинсли бўлмаган ярим ўтказгичлардан тайёрланади. Хусусий ҳолатда бир жинсли бўлмаган ярим ўтказгич бир соҳаси *p*-турдаги, иккинчиси эса *n*-турдаги монокристалдан ташкил топади.

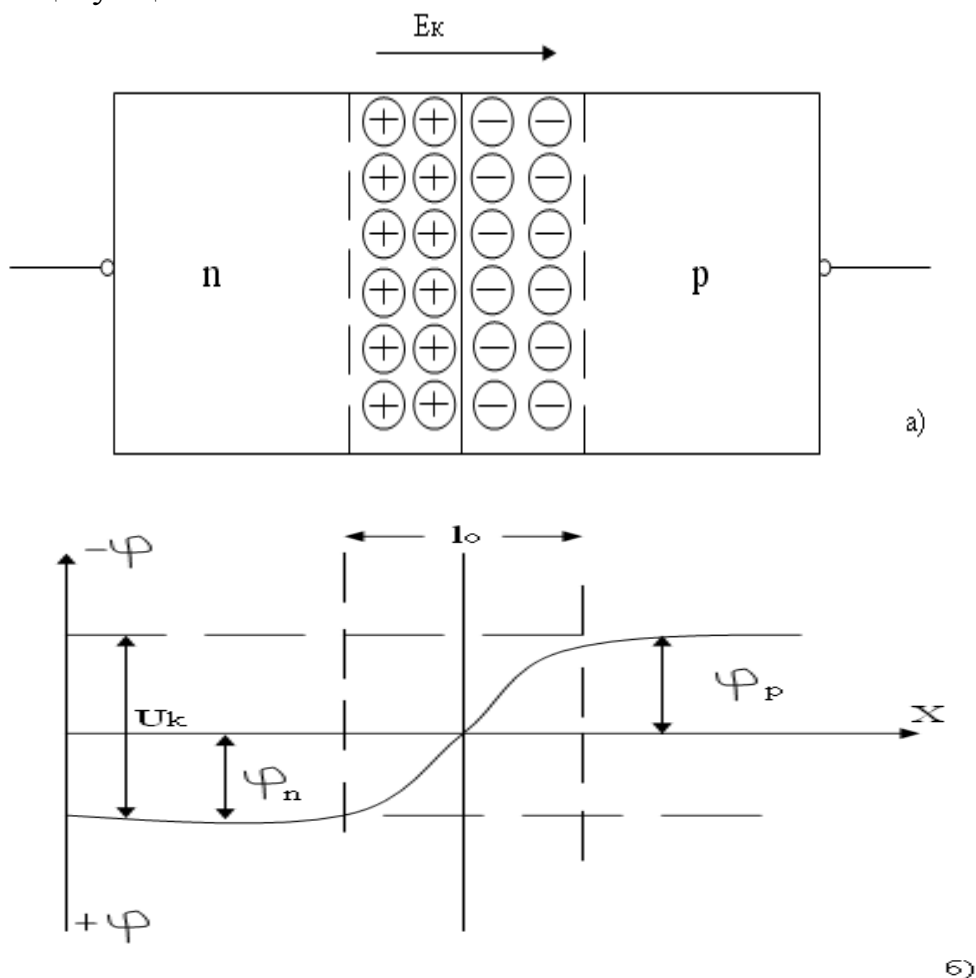
Бундай бир жинсли бўлмаган ярим ўтказгичнинг *p* ва *n* – соҳаларининг ажралиш чегарасида ҳажмий заряд қатлами ҳосил бўлади, бу соҳалар чегарасида ички электр майдони юзага келади ва бу қатлам **электрон – ковак ўтиш** ёки ***p-n* ўтиш** деб аталади. Кўп сонли ярим ўтказгичли асбоблар ва интеграл микросхемаларнинг ишлаш принципи *p-n* ўтиш хоссаларига асосланган.

P-n ўтиш ҳосил бўлиш механизмини кўриб чиқамиз. Соддалик учун, *n*-соҳадаги электронлар ва *p*-соҳадаги коваклар сонини тенг оламиз. Бундан ташқари, ҳар бир соҳада унча катта бўлмаган асосий бўлмаган заряд ташувчилар миқдори мавжуд. Хона температурасида *p*-турдаги ярим ўтказгичда акцептор манфий ионларининг концентрацияси N_a коваклар концентрацияси p_p га, *n*-турдаги ярим ўтказгичда донор мусбат ионларининг концентрацияси N_d электронлар концентрацияси n_n га тенг бўлади. Демак, *p*-ва *n*-соҳалар ўртасида электронлар ва коваклар концентрациясида сезиларли фарқ мавжудлиги туфайли, бу соҳалар бирлаштирилганда электронларнинг *p*-соҳага, ковакларнинг эса *n*-соҳага диффузияси бошланади.

Диффузия натижасида *n*-соҳа чегарасида электронлар концентрацияси мусбат донор ионлари концентрациясидан кам бўлади ва бу соҳа мусбат зарядлана бошлайди. Бир вақтнинг ўзида *p*-соҳа чегарасидаги коваклар концентрацияси камайиб боради ва у акцептор киритмаси билан компенсацияланган ион зарядлари ҳисобига манфий зарядлана бошлайди (2.1 –расм). Мусбат ва манфий ишорали айланалар мос равишда донор ва акцептор ионларини тасвирлайди.

Ҳосил бўлган икки ҳажмий заряд қатлами *p-n* ўтиш деб аталади. Бу қатлам ҳаракатчан заряд ташувчилар билан камбағаллаштирилган. Шунинг учун унинг солиштирма қаршилиги *p*- ва *n*-соҳа қаршиликлариغا нисбатан жуда катта. Баъзи адабиётларда бу қатлам **камбағаллашган** ёки ***i* – соҳа** деб аталади.

Ҳажмий зарядлар турли ишораларга эга бўладилар ва p - n ўтишда кучланганлиги $\vec{E}$ га тенг бўлган электр майдон ҳосил қиладилар. Асосий заряд ташувчилар учун бу майдон тормозловчи бўлиб таъсир кўрсатади ва уларни p - n ўтиш бўйлаб эркин ҳаракат қилишларига қаршилиқ кўрсатади. 2.1 б-расмда ўтиш юзасига перпендикуляр бўлган, X ўқи бўйлаб потенциал ўзгариши кўрсатилган. Бу вақтда ноль потенциал сифатида чегаравий соҳа потенциали қабул қилинган.



2.1 – расм.

Расмдан кўриниб турибдики, p - n ўтишда вольтларда ифодаланадиган **контакт потенциаллар фарқи**га $U_K = \varphi_n - \varphi_p$ тенг бўлган потенциал тўсиқ юзага келади. U_K катталиги дастлабки ярим ўтказгич материал таъқиқланган зона кенлиги ва киритма концентрациясига боғлиқ бўлади. p - n ўтиш контакт потенциаллар фарқи: германий учун $U_K \approx 0,35$ В, кремний учун эса $U_K \approx 0,7$ В.

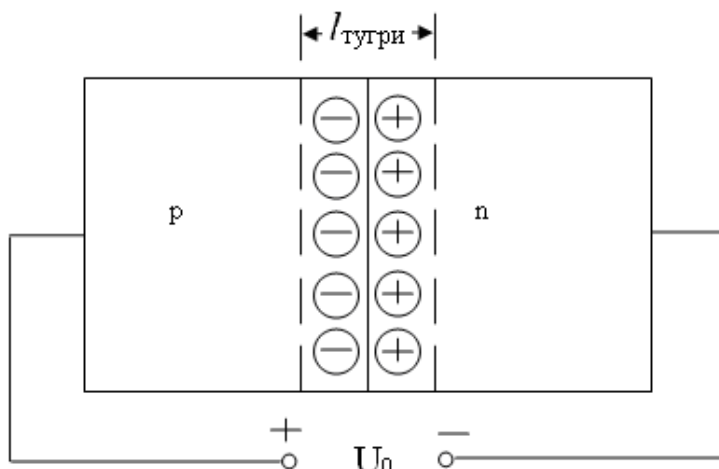
P - n ўтиш кенлиги $l_0 \propto \sqrt{U_K}$ га пропорционал бўлади ва мкмнинг ўнлиги ёки бирлик қисмларини ташкил этади. Тор p - n ўтиш ҳосил қилиш учун катта киритма концентарцияси киритилади, l_0 ни катталаштириш учун эса кичик киритмалар концентрацияси қўлланилади.

p - n ўтиш токлари. $U_i = \frac{U_R}{q}$ энергияга эга бўлган кўпгина заряд

ташувчилар (1.1- расмга қаранг) p - n ўтиш орқали қўшни соҳаларга диффузия ҳисобига p - n ўтиш майдонига қарама–қарши равишда силжийдилар. Улар **диффузия токини** юзага келтирадилар. Асосий заряд ташувчиларнинг p - n ўтиш орқали ҳаракати билан бир вақтда, p - n ўтиш улар учун тезлатувчи бўлиб таъсир кўрсатаётган майдон таъсирида асосий бўлмаган заряд ташувчилар ҳам ҳаракатланадилар. Асосий бўлмаган заряд ташувчилар оқими **дрейф токини** юзага келтиради. Ташқи майдон таъсир этирилмаганда динамик мувозанат ўрнатилади, яъни диффузия ва дрейф тоқларининг абсолют қийматлари тенг бўлади. Лекин диффузия ва дрейф тоқлари ўзаро қарама–қарши йўналишда йўналганлиги учун, p - n ўтишдаги натижавий ток нольга тенг бўлади.

2.2. P - n ўтишнинг тўғри уланиши

Агар p - n ўтишга ташқи кучланиш манбаи U уланса, у ҳолда мувозанат шarti бузилади ва ток оқиб ўта бошлайди. Агар кучланиш манбаининг мусбат кутби p -турдаги соҳага, манфий кутби эса n -турдаги соҳага уланса, бундай уланиш **тўғри уланиш** деб аталади (2.2 - расм).



2.2 – расм.

Кучланиш манбаининг электр майдони контакт майдон томонга йўналган бўлади, шу сабабли p - n ўтишдаги натижавий майдон кучланганлиги камаяди. Майдон кучланганлигининг камайиши потенциал тўсиқ баландлигини кучланиш манбаи қийматига камайишига олиб келади: $U_K = U_0$. Бу вақтда p - n ўтиш кенглигини ҳам камайишини кўриш мушкул эмас.

Потенциал тўсиқ баландлигининг камайиши шунга олиб келадики, p - n ўтиш орқали ҳаракатланаётган асосий заряд ташувчиларни сони ҳам ортади, яъни диффузия токи ортади. Ҳар бир соҳада ортиқча асосий бўлмаган заряд ташувчилар концентрацияси юзага келади – n -соҳада коваклар, p -соҳада

электронлар. Бирор ярим ўтказгич соҳасига асосий бўлмаган заряд ташувчиларни сиқиб киритиш жараёни **инжекция** деб аталади.

Кучланиш ўзгариши билан диффузия токининг ўзгариши экспоненциал конун асосида рўй беради:

$$I_{\text{диф}} = I_0 e^{qU_0/kT} \quad (2.1)$$

бу ерда I_0 – дрейф токи бўлиб, уни ***p-n ўтишининг тескари токи*** деб ҳам аташади.

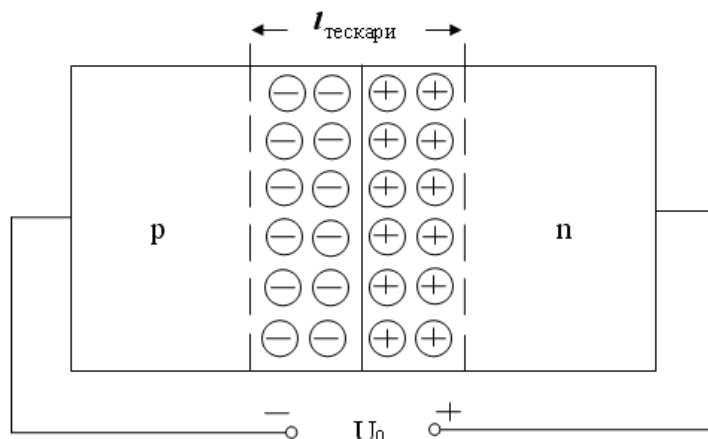
Тўғри кучланиш берилганда потенциал тўсиқ баландлигига тескари ток таъсир кўрсатмайди, чунки бу ток фақат *p-n* ўтиш орқали бирлик вақт ичида тартибсиз иссиқлик ҳаракати туфайли олиб ўтилаётган асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг сони билан белгиланади. Диффузия ва дрейф токлари бир-бирига нисбатан қарама-қарши йўналган бўлади, шу сабабли *p-n* ўтиш орқали оқиб ўтаётган натижавий (тўғри) ток (2.1) дан келиб чиққан ҳолда

$$I_{\text{тўғ}} = I_{\text{диф}} - I_0 = I_0 (e^{qU_0/kT} - 1). \quad (2.2)$$

I_0 токи германийли *p-n* ўтишларда ўнлаб мкА ёки кремнийли *p-n* ўтишларда наноамперларни ташкил этади ва температура ортиши билан кучли равишда ток ҳам ортади. Лекин I_0 қийматидаги катта фарқ таъқиқланган зона кенглиги билан аниқланади.

2.3. *P-n* ўтишининг тескари уланиши

Бу ҳолатда ташқи кучланиш манбаининг мусбат қутби *n*-соҳага уланади (2.3 - расм).



2.3 - расм

Кучланиш манбаининг электр майдони ўтишининг контакт майдони йўналган томонга йўналган. Шу сабабли потенциал тўсиқ баландлиги ортади ва $U_K = U_0$ га тенг бўлади. Тескари кучланиш қийматининг ортиши *p-n* ўтиш

кенглигининг кенгайишига олиб келади ($I_{T\dot{U}T} \prec I_{TECK}$). Амалий ҳисобларда қуйидаги ифодадан фойдаланиш қулай:

$$I = I_0 \sqrt{\frac{U_0}{U_K}} \quad , \quad (2.3)$$

бу ерда $I_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0}{q} U_K \left(\frac{1}{Na} + \frac{1}{Nd} \right)}$ - ташқи майдон таъсир этмагандаги p - n кенглиги, ϵ - ярим ўтказгич нисбий диэлектрик доимийси, ϵ_0 - электр доимий.

Потенциал тўсиқнинг ортиши диффузия токининг камайишига олиб келади. Диффузия токининг ўзгариши экспоненциал қонун асосида рўй беради

$$I_{диф} = I_0 e^{-qU_0/kT} \quad . \quad (2.4)$$

Дрейф токи потенциал тўсиқ баландлигига боғлиқ эмаслиги ва I_0 га тенг бўлганлиги сабабли, p - n ўтишдан ўтаётган натижавий ток

$$I_{TECK} = I_0 e^{-qU_0/kT} - I_0 = I_0 (e^{-qU_0/kT} - 1). \quad (2.5)$$

Тескари уланишда контактлашувчи ярим ўтказгичлардан асосий бўлмаган заряд ташувчилар чиқариб олинади (экстракция). Шу сабабли тескари ток **экстракция токи** деб аталади.

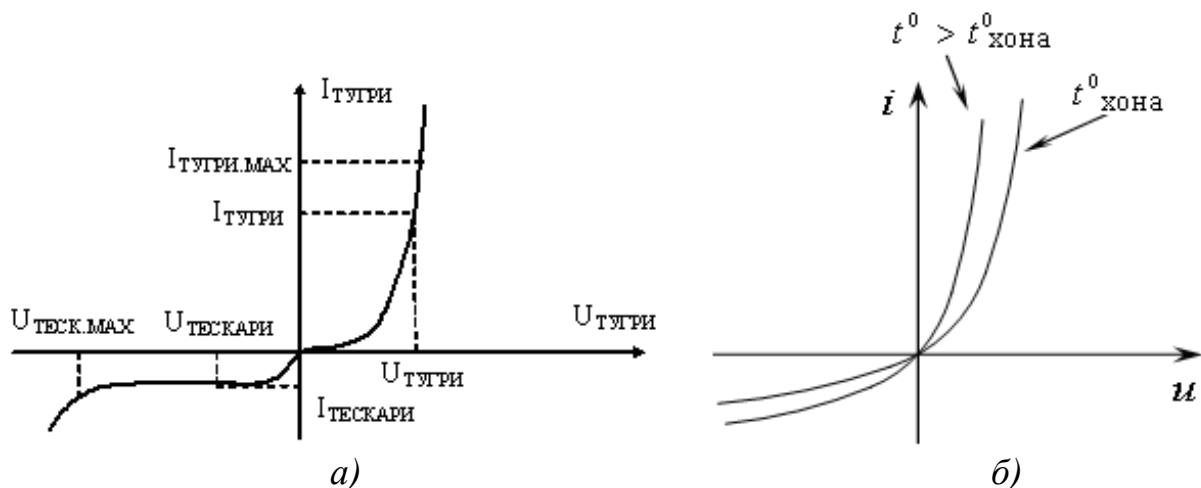
2.4. P - n ўтишнинг вольт – ампер характеристикаси (ВАХ)

P - n ўтиш токининг унга берилаётган кучланишга боғлиқлиги $I=f(U)$ вольт–ампер характеристика (ВАХ) дейилади. (2.2) ва (2.5) лар асосида умумий ҳолда экспоненциал боғлиқлик ёрдамида ифодаланади (2.4. a - расм).

$$I = I_0 (e^{\pm qU_0/kT} - 1). \quad (2.6)$$

Агар p - n ўтишга тўғри кучланиш берилган бўлса, U_0 кучланиш ишораси – мусбат, тескари кучланиш берилган бўлса эса - манфий бўлади.

$U_{TUT} \geq 0,1$ В бўлса экспоненциал сонга нисбатан бирни ҳисобга олмаса ҳам бўлади ва кучланиш ортиши билан ток ҳам экспоненциал ортиб боради. Тескари кучланиш берилганда эса -0,2 В кучланиш қийматида ток I_0 қийматига етиб келади ва кейинчалик кучланиш қиймати ўзгармайди. I_0 катталиги шу сабабли тескари уланган **p - n ўтишнинг тўйиниш токи** деб ҳам аталади.



2.4 - расм

Тескари ток тўғри токка нисбатан бир неча даражага кичик, яъни p - n ўтиш тўғри йўналишда токни яхши ўтказиши, тескари йўналишда эса ёмон. Демак, p - n ўтиш тўғриловчи ҳаракат билан характерланади ва уни ўзгарувчи токни тўғрилашда қўллашга имкон беради.

Экспоненциал ташкил этувчи $e^{qU_0/kT}$ температура ортиши билан камайишига қарамай ВАХ тўғри шахобчасидаги қиялик ортади (2.4. б-расм). Бу ҳодиса I_0 ни температурага кучли тўғри боғлиқлиги билан тушунтирилади. Тўғри кучланиш берилганда температура ортиши билан ток ортишига олиб келади. Амалиётда p - n ўтиш ВАХга температуранинг боғлиқлиги **кучланишнинг температура коэффиценти (КТК)** деб аталадиган катталиқ билан баҳоланади. КТКни аниқлаш учун температурани ўзгартириб бориб, ўзгармас токдаги p - n ўтиш кучланишини ўзгариши ўлчаб борилади. Одатда КТК манфий ишорага эга, яъни температура ортиши билан ўтишдаги кучланиш камаёди. Кремнийдан ясалган p - n ўтиш учун КТК 3 мВ/град даражани ташкил этади.

(2.6) ифода идеаллаштирилган p - n ўтиш ВАХ сини ифодалайди. Бундай ўтишда p ва n -соҳаларнинг ҳажмий қаршилиги нольга тенг ва ток ўтиш вақтида p - n ўтишда рекомбинация жараёни содир бўлмайди деб ҳисобланади. Реал ўтишда эса база қаршилиги ўнлаб Омга тенг бўлади. Шу сабабли (2.6) ифодага p - n ўтишдаги ва ташқи кучланиш U_0 орасидаги фарқни ҳисобга олувчи ўзгартириш киритилади

$$I = I_0 \left(e^{q(U_0 - r_B I)/kT} \right) \quad (2.7)$$

P - n ўтиш сиғими. Паст частоталарда p - n ўтиш токи фақат электрон – ковак ўтишнинг актив қаршиликлари ҳамда ярим ўтказгичнинг p ва n – соҳаларининг қаршилиги (r_B) билан аниқланади. Юқори частоталарда p - n ўтишнинг инерцияси унинг сиғими билан аниқланади. Одатда p - n ўтишнинг иккита асосий сиғими ҳисобга олинади: диффузия ва тўсик (барьер).

Тўғри уланган p - n ўтишда қўшни соҳаларга асосий бўлмаган заряд ташувчилар инжекцияланади. Натижада p - n ўтишнинг юпқа чегараларида қиймати жиҳатидан тенг лекин қарама-қарши ишорага эга бўлган қўшимча асосий бўлмаган заряд ташувчилар $Q_{диф}$ юзага келади. Кучланиш ўзгарса инжекцияланаётган заряд ташувчилар сони, демак заряд ҳам ўзгаради. Берилаётган кучланиш таъсиридаги бундай ўзгариш, конденсатор қопламаларидаги заряд ўзгаришига айнан ўхшайди. Базага асосий бўлмаган заряд ташувчилар диффузия ҳисобига тушганликлари сабабли, бу сифим **диффузия сизими** деб аталади ва қуйидаги ифодадан аниқланади

$$C_{дф} = \frac{qI\tau}{kT} . \quad (2.8)$$

(2.8) ифодадан кўриниб турибдики, p - n ўтишдан оқиб ўтаётган ток ва базадаги заряд ташувчиларнинг яшаш вақти τ қанча катта бўлса, диффузия сизими ҳам шунча катта бўлади

Икки электр қатламга эга бўлган электрон – ковак ўтиш зарядланган конденсаторга ўхшайди. Ўтиш сизими ўтиш юзаси S , унинг кенглиги ва диэлектрик доимийси ϵ билан аниқланади. Ўтиш сизими **тўсиқ сизими** деб аталади ва қуйидаги ифодадан аниқланади

$$C_{то} = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon q N d}{2U_K \left(1 + \frac{Nd}{Na}\right)}} . \quad (2.9)$$

Ўтишга кучланиш берилса, бу вақтда ўтиш кенглиги ўзгарганлиги сабабли, сифим ҳам ўзгаради. Сифимнинг берилаётган кучланиш U қийматига боғлиқлиги қуйидагича

$$C_B = C_{Bo} \sqrt{\frac{U_K}{U_K \pm U}} . \quad (2.10)$$

Тўғри уланган ўтишда мусбат ишораси, тескари уланганда эса манфий ишора олинади. C_B берилаётган кучланишга боғлиқлиги сабабли p - n ўтишни ўзгарувчан сифимли конденсатор сифатида қўллаш мумкин.

Тўғри кучланиш берилганда диффузия сизими тўсиқ сизимидан анча катта бўлади, тескари кучланишда эса тескари. Шунинг учун тўғри кучланиш берилганда p - n ўтиш инерцияси диффузия сизими билан, тескари уланганда эса тўсиқ сизими билан аниқланади.

2.5. *P-n* ўтишнинг тешилиш турлари

Юқорида айтиб ўтилганидек, унча катта бўлмаган тескари кучланишларда I_0 қиймати катта эмас. Тескари кучланиш маълум чегаравий қийматга $U_{ЧЕГ}$ етганда, тескари ток кескин ортиб кетади, ўтишнинг электр тешилиши юз беради.

Ўтишнинг тешилиш турлари икки гуруҳга бўлинади: электр ва иссиқлик. Электр тешилишининг икки механизми мавжуд: кўчкисимон ва туннель тешилиш.

Кўчкисимон тешилиш нисбатан кенг *p-n* ўтишларда содир бўлади. Бундай ўтишда тескари кучланишда электрон ва коваклар зарба ионизацияси учун етарли бўлган энергия оладилар ва натижада кўшимча электрон-ковак жуфтлар ҳосил бўлади. Бу жуфтликларнинг ҳар бир ташкил этувчиси, ўз навбатида, электр майдонида тезлашиб, яна янги жуфтликни юзага келтиради ва х.з. Заряд ташувчиларнинг бундай кўчкисимон кўпайиши натижасида ўтишдаги ток кескин ортади.

Тор *p-n* ўтишга эга бўлган ярим ўтказгичларда туннель эффектига асосланган **туннель тешилиш** содир бўлади. $U_{ТЕС} \geq U_{ЧЕГ}$ етганда заряд ташувчиларнинг бир соҳадан иккинчисига энергия сарф қилмасдан ўтишига имкон яратилади (туннель эффекти). $U_{ЧЕГ}$ нинг янада ортиши билан шунча кўп заряд ташувчилар туннель ўтиши содир этадилар ва тескари ток кескин ортиб боради.

P-n ўтишда **иссиқлик тешилиши** тескари ток ўтиш натижасида ўтишнинг қизиши ҳисобига содир бўлади. Тескари ток, иссиқлик токи бўлиб, у ортган сари қизиш ҳам ортади. Бу ҳолат токнинг кўчкисимон ортишига олиб келади, натижада *p-n* ўтишда иссиқлик тешилиши юз беради ва у ишдан чиқади.

Назорат саволлар

1. *P-n* ўтиш нима ва у қандай аниқланади ?
2. *P-n* ўтишга тўғри ва тескари кучланиш берилганда қандай ҳодисалар содир бўлади ?
3. Асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг инжекцияси ва экстракцияси нима?
4. Ўтишдаги кучланиш ўзгарганда инжекция ва экстракция токлари қандай ўзгаради ?
5. Нима сабабли *p-n* ўтиш тўсиқ сизими деб аталадиган сизимга эга ?
6. Тескари кучланиш орттирилса *p-n* ўтишдани тўсиқ сизими қандай ўзгаради?
7. *P-n* ўтишнинг диффузия сизими нима ?
8. Реал диод тузилмаси иделлаштирилган *p-n* ўтишдан нимаси билан фарқ қилади ?
9. *P-n* ўтиш токи температурага қандай боғлиқ ?
10. *P-n* ўтишда қандай тешилиш турлари мавжуд ва улардаги фарқ нимада ?

III БОБ. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛИ ДИОДЛАР

Диод деб одатда бир ёки бир неча электр ўтишлар ва ташқи занжирга уланиш учун иккита чиқишга эга бўлган электр ўзгартиргич асбобга айтилади. Ярим ўтказгичли диодлар маълумотномаларда радиоэлектрон аппаратураларда қўлланилиш соҳалари ёки вазифасига кўра синфланадилар.

3.1. Тўғриловчи диодлар

Тўғриловчи диодлар кучланиш манбаи ўзгарувчан кучланишини ўзгармасга ўгиришда қўлланилади. Тўғриловчи диодларнинг асосий хоссаси— бир томонлама ўтказувчанлик бўлиб, унинг мавжудлиги тўғрилаш эффекти билан аниқланади.

Тўғриловчи диодларнинг ишлатилиш частота диапазони жуда кенг. Шу сабабли улар ишчи частота диапазони бўйича синфланадилар.

Паст частотали тўғриловчи диодлар (ПЧ диодлар) саноат частотасидаги (50 Гц) ўзгарувчан токи ўзгармасга ўгиришда қўлланилади. ПЧ диодларига қўйиладиган асосий талаб — бу катта қийматга эга бўлган тўғриланган тоklar олиш. Тўғриловчи диодлар одатда 0,3 А гача, 0,3 А дан 10 А гача ва 10 А дан юқори бўлган тўғриланган тоklarга мўлжалланган кичик, ўрта ва катта қувватли диодларга бўлинади. ПЧ диодлари катта *p-n* ўтиш билан характерланадилар.

Юқори частотали тўғриловчи диодлар (ЮЧ диодлар) ўн ва юз мегагерц частотагача бўлган сигналларни ночизикли электр ўзгартiriшга мўлжалланган. ЮЧ диодлари юқори частота сигналлари детекторлари, аралаштиргичлар, частота ўзгартиргич схемалар ва бошқаларда қўлланилади. Юқори частота диодлари кичик инерцияга эга, чунки кичик юзага эга бўлган нуқтавий *p-n* ўтишга эга ва шу сабабли уларнинг тўсиқ сифими пикофараднинг бир қисмини ташкил этади.

Шоттки тўсиғили диодлар кучланиш манбаи қайта улагичларида кенг тарқалган, чунки улар қайта уланиш ишчи частотасини 100 кГц ва ундан юқorigа орттиришга, радиоэлектрон аппаратура оғирлиги, ўлчамларини кичрайтиришга ва кучланиш манбаи ФИК оширишга имкон яратадилар. Шоттки тўсиғи металлни ярим ўтказгич билан контакти натижасида ҳосил қилинади. Ярим ўтказгич материал сифатида кўп ҳолларда *n*—турдаги кремний, металл сифатида эса Al, Au, Mo ва бошқалар қўлланилади. Бу вақтда металл чиқиш иши кремний чиқиш ишидан катта

бўлиши талаб қилинади. Бундай диодларда диффузия сиғими нольга тенг, тўсиқ сиғими эса 1 пФ дан ошмайди.

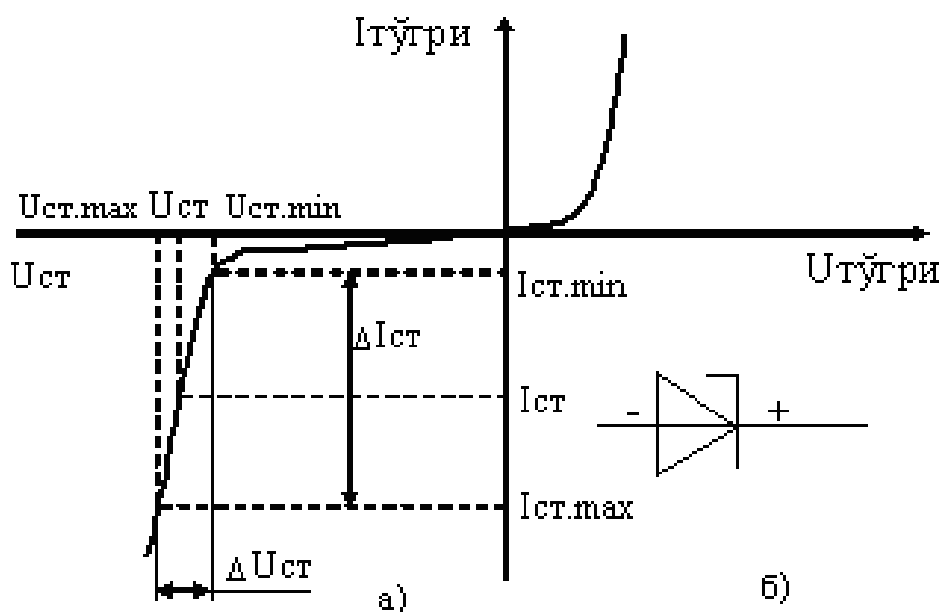
3.2. Стабилитронлар

Стабилитрон - ярим ўтказгичли диод бўлиб, унинг ишлаш принципи $p-n$ ўтишга тескари кучланиш берилганда электр тешилиш соҳасида токнинг кескин ортиши кучланишнинг унча катта бўлмаган ўзгаришига олиб келишига асосланган. Стабилитроннинг шартли белгиси 3.1.б –расмда келтирилган. Стабилитрон схемаларда кучланишни барқарорлаш учун ишлатилади.

Стабилитроннинг асосий параметри бўлиб, токнинг $I_{CT.min}$ дан $I_{CT.max}$ гача кенг ўзгариш оралиғида барқарорлаш кучланиши U_{CT} ҳисобланади (3.1 а- расм).

Стабилитрон ВАХ сидаги ишчи соҳа электр тешилиш соҳасида жойлашади. Барқарорлаш кучланиши диод базасидаги киритма концентрацияси билан аниқланадиган $p-n$ ўтишга боғлиқ. Агар юқори концентрацияга эга бўлган ярим ўтказгич қўлланилса, у ҳолда $p-n$ ўтиш тор бўлади ва туннель тешилиш кузатилади. U_{CT} ишчи кучланиши 3-4 В дан ошмайди.

Юқори вольтли стабилитронлар кенг $p-n$ ўтишга эга бўлиши керак, шунинг учун улар кучсиз легирланган кремний асосида ясаладилар. Уларда кўчкисимон тешилиш содир бўлади, барқарорлаш кучланиши эса 7 В дан ортмайди. U_{CT} 3 дан 7 В гача бўлган ораликда тешилишнинг иккала механизми ишлайди. Саноатда барқарорлаш кучланиши 3 дан 400 В гача бўлган стабилитронлар ишлаб чиқарилади.



3.1 - расм

Стабилитроннинг электр тешилиш соҳасидаги дифференциал қаршилиги r_D барқарорлаш даражасини характерлайди. Бу қаршилиқ қиймати диоддаги кичик кучланиш ўзгариши қийматининг диод токи ўзгаришига нисбати билан аниқланади (3.1 а- расм). r_D қиймати қанча кичик бўлса, барқарорлаш шунча яхши бўлади.

$$r_D = \frac{\Delta U_{CT}}{\Delta I_{CT}}$$

Стабилитроннинг асосий параметри бўлиб барқарорлаш кучланишининг температура коэффиценти (КТК) ҳисобланади. КТК – бу температура бир градусга ўзгарганда барқарорлаш кучланишининг нисбий ўзгариши. Кўчкисимон тешилиш кузатиладиган кичик вольтли стабилитронлар одатда мусбат КТКга эга. КТК қиймати одатда 0,2 -0,4 % /град дан ошмайди.

3.3. Варикаплар

Варикап электр ёрдамида бошқариладиган сиғим сифатида қўлланишга мўлжалланган. Варикапнинг ишлаш принципи электр ўтиш тўсиқ сиғимининг тескари кучланишга боғлиқлигига асосланган.

Варикаплар асосан тебранма контурларни частотасини электрон қайта созлашда қўлланилади. Варикапларнинг бир неча тури мавжуд. Масалан, параметрик диодлар ўта юқори частота сигналларини кучайтириш ва генерациялашда, кўпайтирувчи диодлар эса кенг частота диапазонида эга бўлган кўпайтиргичларда қўлланилади.

3.4. Туннель диодлари

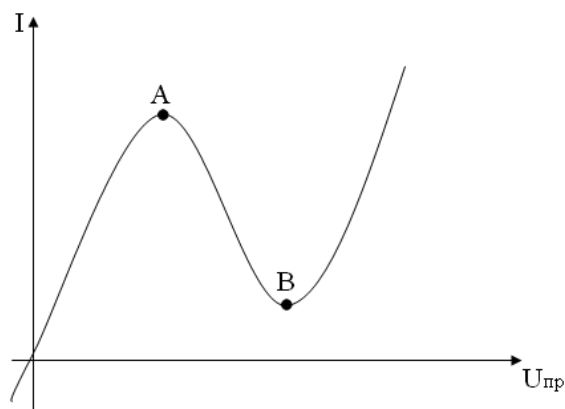
Туннель диоди деб кўзғотилган ярим ўтказгич асосида лойиҳаланган ярим ўтказгичли асбобга айтилади. Унда тескари ва унча катта бўлмаган тўғри кучланишда туннель эффекти юзага келади ва вольт–ампер характеристикада манфий дифференциал қаршилиққа эга бўлган соҳа мавжуд бўлади.

Туннель диодлар бошқа турдаги диодлардан сезиларли фарқ қилмайди, лекин уларни яшаш учун 10^{20} см⁻³ киритмага эга бўлган ярим ўтказгичли материаллар қўлланилади.

ВАХ нозичлиқли бўлса, унинг ҳар бир кичик соҳаси тўғри чизик деб қаралади ва характеристиканинг бу нуқтасида $R_i = \frac{dU}{dI}$ дифференциал қаршилиқ киритилади. Агар характеристика камаювчи бўлса, бу соҳада қаршилиқ R_i манфий қийматга эга бўлади.

Туннель диоди ВАХ 3.2 – расмда келтирилган. АВ соҳа манфий дифференциал қаршилиқ билан характерланади. Агар туннель диоди тебранма контур электр занжирига уланса, у ҳолда контур ва шу занжирдаги манфий қаршилиқ катталиги ўртасидаги маълум нисбатларда тебранишлар

кучайиши ёки генерацияланиши мумкин. Туннель диодлари асосан 3-30 ГГц диапазонда ЎЮЧ генераторлар қуришда, ҳамда махсус ҳисоб қурилмалари ва мантиқий юта юқори тезликда ишлайдиган схемаларда қўлланилади.



3.2 - расм

3.5. Генератор диодлар

Генератор диодларидан бири бўлиб **кўчкили-учма диодлар (КУД)** ҳисобланади. Унинг ВАХсида p - n ўтишдаги кўчкисимон тешилишда юқори частоталарда манфий қаршиликка эга бўлган соҳа юзага келади. Агар КУД резонаторга жойлаштирилса, унда частотаси 100 ГГцгача бўлган сўнмайдиган тебранишлар юзага келади. Тебранишларнинг чиқиш қуввати ($f=1$ ГГц бўлганда) 10 Втгача етиши мумкин. КУДнинг ФИК 30-50 %га етади.

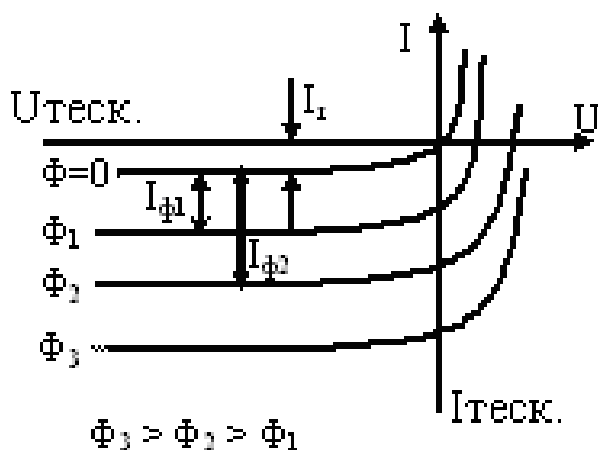
Генератор диодининг яна бир тури бўлиб **Ганн диоди** ҳисобланади, у узунлиги 10^{-2} - 10^{-3} смдан иборат (p - n ўтишсиз) бўлган бир жинсли ярим ўтказгич пластинка кўринишида бўлади. Пластинканинг ён қисмларига катод ва анод деб аталувчи металл контактлар суртилади. Ганн диодларини яшаш учун n -турдаги ўтказувчанликка эга бўлган интерметалл бирлашмалар - GaAs, InSb, InAs ва InPлар қўлланилади. Диод тебранма контурга жойлаштирилади. Контактларга ўзгармас кучланиш берилганда Ганн диодида кучланганлиги $3 \cdot 10^3$ В/см бўлган электр майдон ҳосил қиладиган частотаси 60 ГГц бўлган электр тебранишлар юзага келади. Тебранишлар қуввати 10 – 15 Втгача етиши мумкин, ФИК эса 10-12 % га етади.

3.6. Оптоэлектроника диодлари

Оптоэлектроника – электрониканинг бир бўлими бўлиб, ахборотни қабул қилиш, узатиш ва қайта ишлаш жараёнлари ёруғлик сигналларини электр сигналларга айлантириш ва аксинчага асосланган қурилмаларни назарияси ва амалиётини ўрганади. Оптоэлектроника элементлари бўлиб фотодиод ва ёруғлик диоди ҳисобланадилар.

Фотодиод деб битта $p-n$ ўтишга эга бўлган фото-электр асбобга айтилади. Фотодиод ташқи кучланиш манбаили (фотодиодли режим), ҳамда ташқи кучланиш манбаисиз схемаларга уланиши мумкин. Ташқи кучланиш манбаи шундай уланадики, $p-n$ ўтиш тескари силжиган бўлсин. Ёруғлик тушурилмаганда диод орқали жуда кичик “қоронғулик” экстракция токи I_0 оқиб ўтади ва у берилаётган кучланишга боғлиқ бўлмайди. n -база соҳасига таъқиқланган зона кенглигидан анча катта бўлган $h\nu$ энергияли фотонлардан ташкил топган ёруғлик тушурилганда, электрон–ковак жуфтликлар генерацияланади. Агар жуфтликлар ўтишдан диффузия узунлигидан ошмайдиган ораликда ҳосил бўлсалар, ёруғлик таъсирида генерацияланган коваклар ўтишнинг электр майдони таъсирида экстракцияланадилар ва тескари ток унинг “қоронғулик” қийматига нисбатан ортади. Ёруғлик оқими Φ қанча интенсив бўлса, диод тескари токи I_ϕ қиймати шунча катта бўлади.

3.3 – расмда турли ёруғлик оқими қийматларидаги фотодиод ВАХси келтирилган. Ёруғликнинг кенг нурланиш чегараларида фототок ёруғлик оқимиغا деярли чизиқли боғлиқ бўлади.



3.3 – расм.

Пропорционаллик коэффициенти $K_\phi = \frac{dI_\phi}{d\Phi}$ бир неча мА/мм ни ташкил этади ва **фотодиод сезгирлиги** деб аталади. Фотодиод турли ўлчаш қурилмаларида ёруғлик оқимини қабул қилгич, ҳамда оптик – толали алоқа линияларида қўлланилади.

Фотодиод режимидан ташқари фотодиоднинг вентиль (фотовольтаик) режими кенг қўлланилади. Бу режимда фотодиод ташқи кучланиш манбаига уланмасдан ишлайди ва қуёш энергиясини бевосита электр сигналга айлантиришга хизмат қилади. Диод вентиль режимида нурлатилганда унинг чиқишларида вентиль кучланиш юзага келади. Фотодиод бу ҳолатда **қуёшли айлантиргич** деб аталади. Бир бири билан электр жиҳатдан боғланган айлантиргич ва батареялар космик аппаратлар ва ер усти қурилмаларидаги РЭАларни таъминлаш учун электр энергия манбаи сифатида қўлланилиши мумкин.

Ёруғлик диоди – бу электр энергиясини некогерент ёруғлик нурига айлантирадиган, битта p - n ўтишга эга бўлган ярим ўтказгичли асбоб. Ёруғлик нури электрон – ковак жуфтларининг рекомбинацияси натижасида юзага келади. Рекомбинация, p - n ўтиш тўғри уланганда кузатилади. Рекомбинация доим ҳам нурлатувчи бўлавермайди ва тўғри зонали ярим ўтказгичларда, жумладан галлий арсенидида содир бўлади. Бундай ярим ўтказгичлар специфик хона диаграммасига эга бўладилар.

Нурланаётган ёруғлик тўлқин узунлиги λ квант энергияси билан аниқланади. У эса нурланувчи рекомбинацияда ярим ўтказгичнинг таъқиқланган зона кенглигига деярли тенг бўлади. Галлий арсенидидан тайёрланган ёруғлик диодлари учун $\lambda = 0,9-1,4$ мкм. Қизил, сариқ ва яшил ранг нурлатувчи диодлар галлий фосфати, сиёхранг нурлатувчи диодлар эса – кремний карбиди асосида ясаладилар ва х.з.

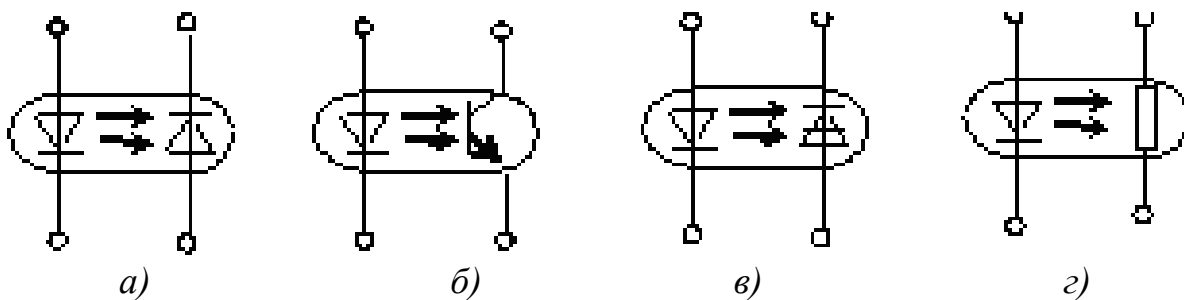
Ёруғлик диодининг энергетик характеристикаси бўлиб **квант чиқиши** (эффektivлиги) ҳисобланади. У занжир бўйлаб ўтаётган ҳар бир электронга ёруғлик диоди чиқишида қанча ёруғлик кванти мос келишини кўрсатади. Замонавий ёруғлик диодлари учун квант чиқиши 0,01-0,04 ни, икки ва уч ярим ўтказгичли бирикмалардан ясалган гетероўтишли ёруғлик диодларида эса анча катта (0,3 гача) бўлади. Лекин доим бирдан кичик бўлади. Вольт – ампер характеристикаси оддий диодники каби экспоненциал боғлиқлик билан ифодаланади. Ёруғлик диоди 10^{-7} - 10^{-9} с да қайта уланади, яъни юқори тезликда ишловчи ёруғлик манбаи ҳисобланади.

Ёруғлик диодлари оптик алоқа линиялари, индикатор қурилмалар, оптопаралар ва х.з.ларда қўлланилади.

Оптоэлектрон жуфтлик, ёки оптопара, конструктив жиҳатдан оптик муҳитда боғланган ёруғлик нурлатувчи ва фото қабул қилгичдан ташкил топган. Ёруғлик нурлатувчи ва фото қабул қилгич орасидаги тўғри оптик алоқа барча турдаги электр алоқаларни бартараф этади.

3.7. Оптронлар

Кириш электр сигнали таъсирида ёруғлик диоди ёруғлик нурлатади, фото қабул қилгич (фотодиод, фоторезистор ва х.з.) эса ёруғлик таъсирида ток генерациялайди.



3.4-расм.

3.4-расмда ёруғлик диоди ва фотодиод (а), фототранзистор (б), фототиристор (в), фоторезистор (г) дан ташкил топган оптопаралар келтирилган. Оптопаралар рақамли ва импульс қурилмалар, аналог сигналларни узатиш қурилмалари, юқори вольтли манбаларни контактсиз бошқариш автоматик тизимлари ва бошқаларда ажратувчи элемент сифатида қўлланилади.

Назорат саволлари

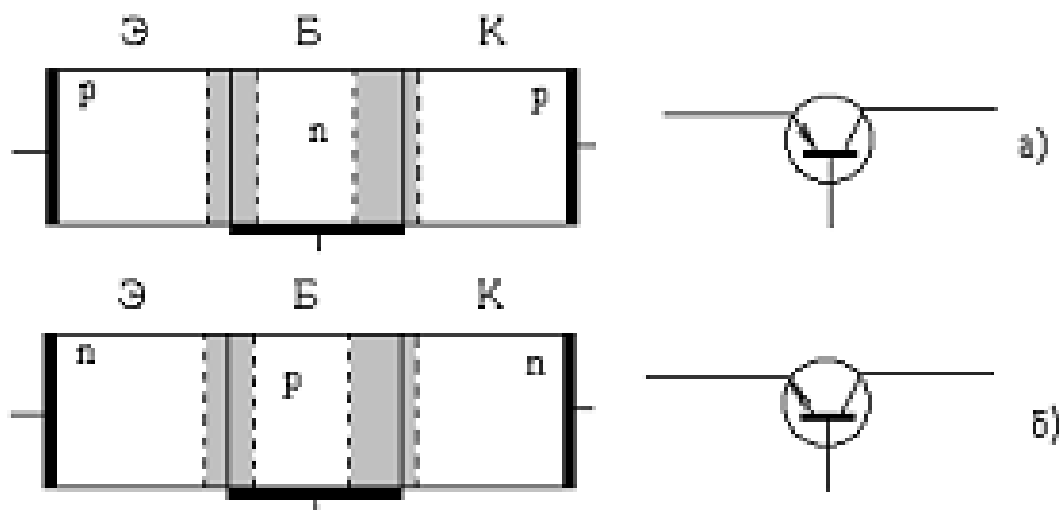
1. Стабилитронларда қандай электр тешилиш турлари қўлланилади ?
2. Сиз диоднинг қандай турларини биласиз ? Уларнинг шартли белгиларини келтиринг.
3. Ярим ўтказгичли диод ва транзисторларни белгиланиш принципини тушунтиринг.
4. Тўғриловчи диодларнинг ишлашини тушунтиринг.
5. Варикап нима ва у қаерларда қўлланилади ?
6. Электр занжирида стабилитронни қўлланиши қандай қилиб чиқиш кучланишини барқарорлайди ?
7. Тўғриловчи ва туннель диодларининг ажратиб турувчи хоссалари нимада?
8. Оптоэлектрон асбоб нима ва улар қаерларда ишлатилишини тушунтиринг.
9. Фотодиод ишлаш принципи ва асосий характеристикасини тушунтиринг.
10. Ёруғлик диоди ишлаш принципи ва асосий характеристикасини тушунтиринг.

4.1. Умумий маълумотлар

Биполяр транзистор деб ўзаро таъсирлашувчи иккита p - n ўтиш ва учта электрод (ташки чиқишлар)га эга бўлган ярим ўтказгич асбобга айтилади. Транзистордан ток оқиб ўтиши икки турдаги заряд ташувчилар - электрон ва ковакларнинг ҳаракатига асосланган.

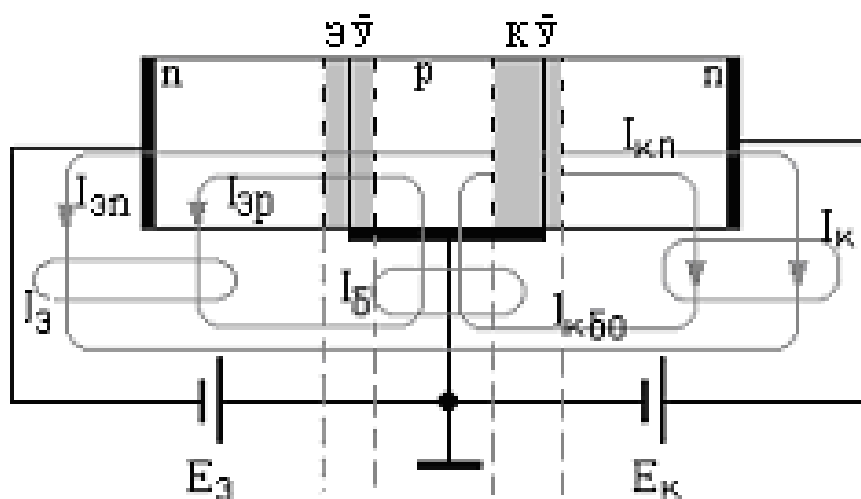
Биполяр транзистор p - n - p ва n - p - n ўтказувчанликка эга бўлган учта ярим ўтказгичдан ташкил топган (4.1 а ва б-расм). Эндиликда кенг тарқалган n - p - n тузилмали биполяр транзисторни кўриб чиқамиз.

Транзисторнинг кучли легирланган чекка соҳаси (n^+ - соҳа) **эмиттер** деб аталади ва у заряд ташувчиларни **база** деб аталувчи ўрта соҳага (p - соҳа) инжекциялайди. Кейинги чекка соҳа (n - соҳа) **коллектор** деб аталади. У эмиттерга нисбатан кучсизроқ легирланган бўлиб, заряд ташувчиларни база соҳасидан экстракциялаш учун хизмат қилади (4.2- расм). Эмиттер ва база оралиғидаги ўтиш эмиттер ўтиш, коллектор ва база оралиғидаги ўтиш эса - коллектор ўтиш деб аталади.



4.1 – расм.

Ташқи кучланиш манбалари ($U_{ЭБ}$, $U_{КБ}$) ёрдамида эмиттер ўтиш тўғри йўналишда, коллектор ўтиш эса – тескари йўналишда силжийди. Бу ҳолда транзистор **актив** ёки нормал режимда ишлайди ва унинг кучайтириш хоссалари намоён бўлади.

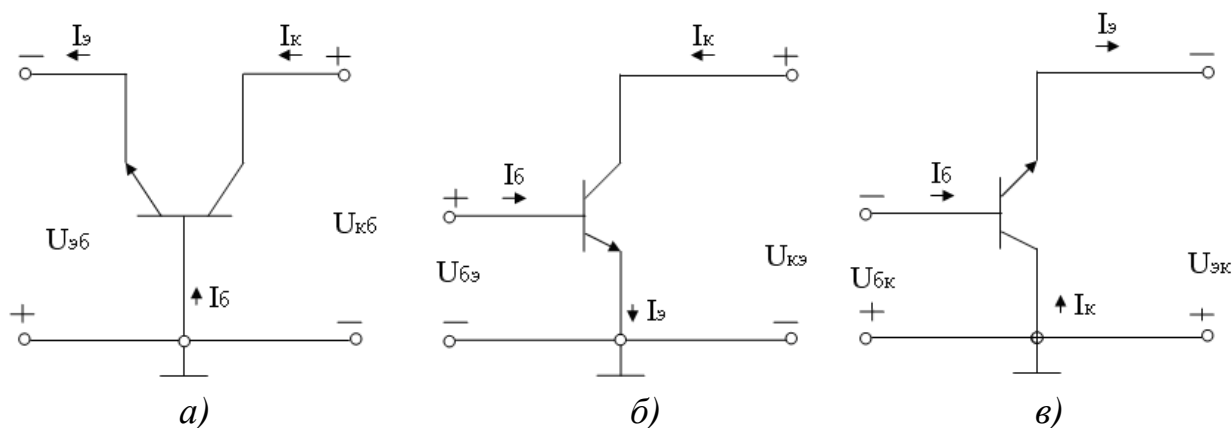


4.2 – расм.

Агар эмиттер ўтиш тескари йўналишда, коллектор ўтиш эса тўғри йўналишда силжиган бўлса, у ҳолда бу транзистор **инверс** ёки тескари уланган деб аталади. Транзистор рақамли схемаларда қўлланилганда у **тўйиниш** режимда (иккала ўтиш ҳам тўғри йўналишда силжиган), ёки **берк** режимда (иккала ўтиш тескари силжиган) ишлаши мумкин.

4.2. Биполяр транзисторнинг уланиш схемалари

Транзистор схемага уланаётганда чиқишларидан бири кириш ва чиқиш занжири учун умумий қилиб уланади, шу сабабли қуйидаги уланиш схемалари мавжуд: **умумий база (УБ)** (4.3 а-расм); **умумий эмиттер (УЭ)** (4.3 б-расм); **умумий коллектор (УК)** (4.3 в-расм). Бу вақтда умумий чиқиш потенциаллари нольга тенг деб олинади. Кучланиш манбаи кутблари ва транзистор тоқларининг йўналиши транзисторнинг актив режимига мос келади. УБ уланиш схемаси қатор камчиликларга эга бўлиб, жуда кам ишлатилади.



4.3 – расм.

Биполяр транзисторнинг актив режимда ишлаши. УБ уланиш схемасида актив режимда ишлаётган *n-p-n* тузилмали диффузияли қотишмали биполяр транзисторни ўзгармас токда ишлашини қўриб чиқамиз (4.3 *a*-рasm). Биполяр транзисторнинг нормал ишлашининг асосий талаби бўлиб база соҳасининг етарлича кичик кенглиги W ҳисобланади; бу вақтда $W < L$ шarti албатта бажарилиши керак (L -базадаги асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузия узунлиги).

Биполяр транзисторнинг ишлаши учта асосий ҳодисага асосланган:

- эмиттердан базага заряд ташувчиларнинг инжекцияси;
- базага инжекцияланган заряд ташувчиларни коллекторга ўтиши;
- базага инжекцияланган заряд ташувчилар ва коллектор ўтишга

етиб келган асосий бўлмаган заряд ташувчиларни базадан коллекторга экстракцияси.

Эмиттер ўтиш тўғри йўналишида силжиганда ($U_{ЭБ}$ кучланиш манбаи билан таъминланади) унинг потенциал тўсиқ баландлиги камаяди ва эмиттердан базага электронлар инжекцияси содир бўлади. Электронларнинг базага инжекцияси, ҳамда ковакларни базадан эмиттерга инжекцияси туфайли эмиттер токи $I_{Э}$ шаклланади. Шундай қилиб, эмиттер токи

$$I_{Э} = I_{эн} + I_{эп} , \quad (4.1)$$

бу ерда $I_{эн}$, $I_{эп}$ мос равишда электрон ва ковакларнинг инжекция токлари.

Эмиттер токининг $I_{эп}$ ташкил этувчиси коллектор орқали оқиб ўтмайди ва зарarli ҳисобланади (транзисторнинг қўшимча қизишига олиб келади). $I_{эп}$ ни камайтириш мақсадида базадаги акцептор киритма концентрацияси эмиттердаги донор киритма концентрациясига нисбатан икки даражага камайтирилади.

Эмиттер токидаги $I_{эн}$ қисмини **инжекция коэффиценти** аниқлайди.

$$\gamma = \frac{I_{эн}}{I_{Э}} , \quad (4.2)$$

Бу катталиқ эмиттер иши самарадорлигини характерлайди ($\gamma = 0,990-0,995$). Инжекцияланган электронлар коллектор ўтиш томон база узунлиги бўйлаб электронлар зичлигининг камайиши ҳисобига базага диффундланадилар ва коллектор ўтишга етгач, коллекторга экстракцияланадилар (коллектор ўтиш электр майдони ҳисобига тортиб олинадилар) ва $I_{Кн}$ коллектор токи ҳосил бўлади.

Зичликнинг камайиши **концентрация градиенти** деб аталади. Градиент қанча катта бўлса, ток ҳам шунча катта бўлади. Бу вақтда базадан инжекцияланётган электронларнинг бир қисми коваклар билан базага экстракцияланишини ҳам ҳисобга олиш керак. Рекомбинация жараёни базанинг электр нейтраллик шартини тиклаш учун талаб қилинадиган ковакларнинг камчилигини юзага келтиради. Талаб қилинаётган коваклар

база занжири бўйлаб келиб транзистор база токи $I_{брек}$ ни юзага келтиради. $I_{брек}$ токи керак эмас ҳисобланади ва шу сабабли уни камайтиришга ҳаракат қилинади. Бу ҳолат база кенглигини камайтириш ҳисобига амалга оширилади $W \leq L_n$ (электронларнинг диффузия узунлиги). Базадаги рекомбинация учун эмиттер электрон токининг йўқотилиши *электронларнинг узатиш коэффиценти* билан характерланади:

$$\alpha_{\Pi} = \frac{I_{Kn}}{I_{Эn}} \quad (4.3).$$

Реал транзисторларда $\alpha_{\Pi} = 0,980-0,995$.

Актив режимда транзисторнинг коллектор ўтиши тескари йўналишида уланади ($U_{кб}$ кучланиш манбаи ҳисобига амалга оширилади) ва коллектор занжирида, асосий бўлмаган заряд ташувчилардан ташкил топган иккита дрейф тоқларидан иборат бўлган коллекторнинг хусусий токи I_{K0} оқиб ўтади.

Шундай қилиб, коллектор токи иккита ташкил этувчидан иборат бўлади

$$I_K = I_{Kn} + I_{K0}$$

Агар I_{Kn} ни эмиттернинг тўлиқ токи билан алоқасини ҳисобга олсак, у ҳолда

$$I_{Kn} = \alpha I_{Э} + I_{K0}, \quad (4.4)$$

бу ерда $\alpha = \gamma \alpha_{\Pi}$ - *эмиттер токининг узатиш коэффиценти*. Бу катталик УБ уланиш схемасидаги транзисторни кучайтириш хоссаларини намоён этади.

Кирхгофнинг биринчи қонунига мос равишда база токи транзисторнинг бошқа тоқлари билан қуйидаги нисбатда боғлиқ

$$I_{Э} = I_B + I_K. \quad (4.5)$$

Бу ифодани (4.4)га қўйиб, база токининг эмиттернинг тўлиқ токи орқали ифодасини олишимиз мумкин:

$$I_B = (1 - \alpha) I_{Э} + I_{K0}. \quad (4.6)$$

Коэффициент $\alpha < 1$ лигини ҳисобга олган ҳолда, шундай ҳулоса қилиш мумкин: УБ уланиш схемаси ток бўйича кучайиш бермайди ($I_K \approx I_{Э}$).

Ток бўйича яхши кучайтириш натижаларини умумий эмиттер схемасида уланган транзисторда олиш мумкин (4.3 б-расм). Бу схемада эмиттер умумий электрод, база токи - кириш токи, коллектор токи эса — чиқиш токи ҳисобланади.

(4.4) ва (4.5) ифодалардан келиб чиққан ҳолда УЭ схемадаги транзисторнинг коллектор токи қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$I_K = \alpha(I_K + I_B) + I_{K0}.$$

Бундан

$$I_K = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{K0}. \quad (4.7)$$

Агар $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ белгилаш киритилса, (4.7) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$I_K = \beta I_B + (\beta + 1) I_{K0}. \quad (4.8)$$

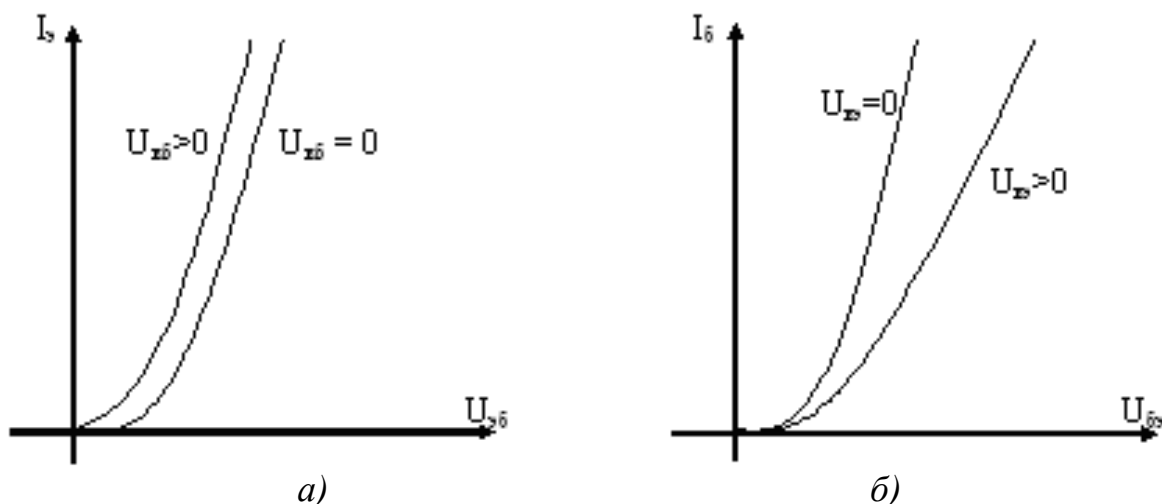
Коэффициент β - *база токининг узатиш коэффициенти* деб аталади. β нинг қиймати ўндан юзгача, баъзи транзистор турларида эса бир неча мингларгача оралиғида бўлиши мумкин. Демак, УЭ схемасида уланган транзистор ток бўйича яхши кучайтириш хоссаларига эга ҳисобланади.

4.3. Биполяр транзистор статик характеристикалари

Транзистор статик характеристикалари коллектор занжирига юклама қўйилмаган ҳолда ўрнатилган кириш ва чиқиш токлари ва кучланишлар орасидаги ўзаро боғлиқликни ифодалайди. Ҳар бир уланиш учун статик характеристикалар оиласи маълумотномаларда келтирилади. Энг асосийлари бўлиб транзисторнинг *кириш* ва *чиқиш* характеристикалари ҳисобланади. Қолган характеристикалар кириш ва чиқиш характеристикаларидан ҳосил қилиниши мумкин.

УБ схемаси учун кириш статик характеристикаси бўлиб $U_{KB} = const$ бўлгандаги $I_B = f(U_{ЭБ})$ боғлиқлик, УЭ схемаси учун эса $U_{КЭ} = const$ бўлгандаги $I_B = f(U_{БЭ})$ боғлиқлик ҳисобланади. Кириш характеристикаларининг умумий характери одатда тўғри йўналишда уланган $p-n$ билан аниқланади. Шу сабабли ташқи кўринишига кўра кириш характеристикалари экспоненциал характерга эга (4.4- расм).

Расмлардан кўриниб турибдики, чиқиш кучланишининг ўзгариши кириш характеристикаларини силжишига олиб келади. Характеристиканинг силжиши Эрли эффекти (база кенглигининг модуляцияси) билан аниқланади. Бунинг маъноси шундаки, коллектор ўтишдаги тескари кучланишнинг ортиши унинг кенгайишига олиб келади, бу вақтда база соҳасидаги кенгайиш унинг кенглигининг кичрайиши ҳисобига содир бўлади. База кенглигининг кичрайиши иккита эффектга олиб келади: заряд ташувчилар рекомбинациясининг камайиши ҳисобига база токининг камайиши ва базадаги асосий бўлмаган заряд ташувчилар концентрация градиентининг ортиши ҳисобига эмиттер токининг ортиши.

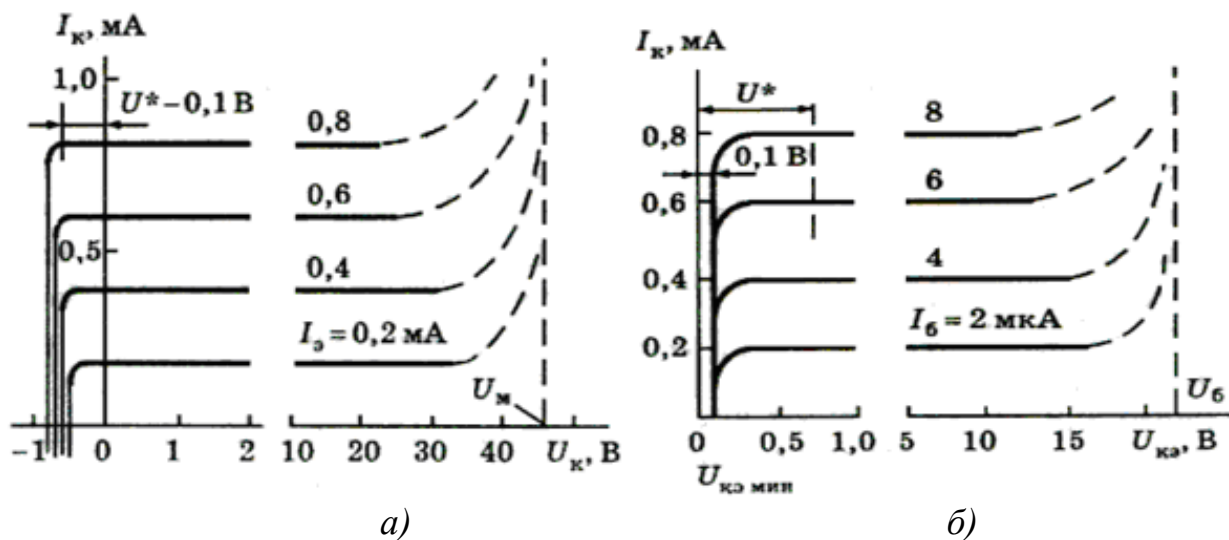


4.4 – расм.

Шу сабабли коллектор ўтишдаги тескари куланишнинг ортиши билан УБ схемадаги кириш характеристика чапга, УЭ схемада эса ўнгга силжийди.

УБ схемадаги транзисторнинг чиқиш характеристикалари оиласи бўлиб $I_E = \text{const}$ бўлгандаги $I_K = f(U_{KB})$ боғлиқлик, УЭ схемада эса $I_B = \text{const}$ бўлгандаги $I_K = f(U_{KЭ})$ боғлиқлик ҳисобланади.

Чиқиш характеристикалари кўринишига кўра тескари уланган диод ВАХ сига ўхшайди, чунки коллектор ўтиш тескари уланган. Характеристикаларни қуришда коллектор ўтишнинг тескари кучланишини ўнгга ўрнатиш қабул қилинган (4.5 – расм).



4.5 – расм.

4.5 а - расмдан кўриниб турибдики, УБ схемадаги чиқиш характеристикалари икки квадрантларда жойлашган: биринчи квадрантдаги ВАХ актив иш режимига, иккинчи квадрантдагиси эса – тўйиниш иш режимига мос келади. Актив режимда чиқиш токи (4.4) нисбат билан аниқланади. Актив режимга мос келувчи характеристика соҳалари абсцисса ўқиға унча катта

бўлмаган қияликда, деярли параллель ўтадилар. Қиялик юқорида айтиб ўтилган Эрли эффекти билан тушунтирилади. $I_{\text{Э}}=0$ бўлганда (эмиттер занжири узилганда) чиқиш характеристикаси тескари силжиган коллектор ўтиш характеристикаси кўринишида бўлади. Эмиттер ўтиш тўғри йўналишда уланганда инжекция токи ҳосил бўлади ва чиқиш характеристикалари $\alpha(I_{\text{Э}2} - I_{\text{Э}1})$ катталиқка чапга силжийди ва х.з.

УЭ схемасида уланган транзисторнинг чиқиш характеристикаси УБ схемада уланган транзисторнинг чиқиш характеристикасига нисбатан катта қияликка эга. Чунки унинг кўринишига Эрли эффекти катта таъсир кўрсатади. Боғлиқликларнинг умумий характери (4.5 б-расм) коллектор ва база токлари орасидаги қуйидаги боғлиқлик билан аниқланади:

$$I_K = \beta I_B + I_{K\text{Э}0}, \quad (4.9)$$

бу ерда $I_{K\text{Э}0} - I_B=0$ (узилган база) бўлгандаги коллекторнинг тўғри токи. $I_{K\text{Э}0}$ токи I_{K0} токидан $\beta + 1$ мартага катта бўлади, чунки $U_{B\text{Э}}=0$ бўлганда $U_{K\text{Э}}$ кучланишининг бир қисми эмиттер ўтишга қўйилган бўлади ва уни тўғри йўналишда силжитади. Шундай қилиб, $I_{K\text{Э}0}=(\beta + 1)I_{K0}$ — анча катта ток бўлиб, транзистор ишининг бузилишини олдини олиш мақсадида база занжирини узиш керак.

База токи ортиши билан коллектор токи $\beta(I_{B2} - I_{B1})$ катталиқка ортади ва х.з., ва характеристика юқорига силжийди. УЭ схемадаги чиқиш ВАХларининг асосий хоссаси шундаки, ҳам актив ва ҳам тўйиниш режимларида бир квадрантда жойлашади. Яъни, электродларнинг берилган кучланиш ишораларида ҳам актив режим, ҳам тўйиниш режимида бўлиши мумкин. Режимлар алмашилиши коллектор ўтишдаги кучланишлар нольга тенг бўлганда содир бўлади. Коллектор соҳа қаршилигини ҳисобга олмаган ҳолда $U_{K\text{Э}} = U_{KB} + U_{B\text{Э}}$ бўлгани учун, талаб қилинаётган бўсағавий кучланиш қиймати $U_{K\text{Э}}^* = U_{B\text{Э}}$ бўлади. $U_{B\text{Э}}$ қиймати берилган база токида кириш характеристикасидан аниқланади.

4.4. Биполяр транзистор физик параметрлари

Ток бўйича α ва β коэффициентлар статик параметрлар ҳисобланади, чунки улар ўзгармас тоklar нисбатини ифодалайдилар. Улардан ташқари ток ўзгаришлари нисбати билан ифодаланидиган дифференциал кучайтириш коэффициентлари ҳам кенг қўлланилади. Статик ва дифференциал α кучайтириш коэффициентлари бир биридан фарқ қиладилар, шу сабабли талаб қилинган ҳолларда улар ажратилади. Ток бўйича кучайтириш коэффициентининг коллектордаги кучланишга боғлиқлиги Эрли эффекти билан тушунтирилади.

УЭ схемаси учун ток бўйича дифференциал кучайтириш коэффициенти

$$\beta = \frac{dI_K}{dI_B} \text{ температурага боғлиқ бўлиб база соҳасидаги асосий бўлмаган}$$

заряд ташувчиларнинг яшаш вақтига боғлиқлиги билан тушунтирилади. Температура ортиши билан рекомбинация жараёнлари секинлашиши сабабли, одатда транзисторнинг ток бўйича кучайтириш коэффициентининг ортиши кузатилади.

Транзистор характеристикаларининг температуравий барқарор эмаслиги асосий камчилик ҳисобланади.

Юқорида кўриб ўтилган ток бўйича узатиш коэффициентидан ташқари, физик параметрларга ўтишларнинг дифференциал қаршиликлари, соҳаларнинг ҳажмий қаршиликлари, кучланиш бўйича тесқари алоқа коэффициентлари ва ўтиш ҳажмлари киради.

Транзисторнинг эмиттер ва коллектор ўтишлари ўзининг дифференциал қаршиликлари билан ифодаланадилар. Эмиттер ўтиш тўғри йўналишда силжиганлиги сабабли, унинг дифференциал қаршилиги r_{ε} ни (2.6) ифодани қўллаб аниқлаш мумкин:

$$r_{\varepsilon} = \frac{dU_{\varepsilon B}}{dI_{\varepsilon}} = \frac{\varphi_T}{I_{\varepsilon}}, \quad (4.10).$$

бу ерда I_{ε} – токнинг доимий ташкил этувчиси. У кичик қийматга эга (ток 1 мА бўлганда $r_{\varepsilon}=20-30$ Ом ни ташкил этади) бўлиб, ток ортиши билан камаяди ва температура ортиши билан ортади.

Транзисторнинг коллектор ўтиши тесқари йўналишда силжиганлиги сабабли, I_K токи U_{KB} кучланишига кучсиз боғлиқ бўлади. Шу сабабли коллектор ўтишнинг дифференциал қаршилиги $r_K = \frac{dU_{KB}}{dI_K} = 1 \text{Мом}$ бўлади.

r_K қаршилиги асосан Эрли эффекти билан тушунтирилади ва одатда у ишчи тоқларнинг ортиши билан камаяди.

База қаршилиги r_B бир неча юз Омни ташкил этади. Етарлича катта база токида база қаршилигидаги кучланиш пасайиши база ва эмиттер ташқи чиқишлари кучланишига нисбатан эмиттер ўтишдаги кучланишни камайтиради.

Кичик қувватли транзисторлар учун коллектор қаршилиги ўнлаб Ом, катта қувватликлариники эса бирлик Омларни ташкил этади.

Эмиттер соҳа қаршилиги юқори киритмалар концентрацияси сабабли база қаршилигига нисбатан жуда кичик.

УБ схемадаги кучланиш бўйича тесқари алоқа коэффициенти ($I_{\varepsilon} = \text{const}$ бўлганида) $\mu_{yB} = \frac{d|U_{\varepsilon B}|}{dU_{KB}}$ каби аниқланади, УЭ схемасида эса ($I_B = \text{const}$ бўлганида) $\mu_{y\varepsilon} = \frac{d|U_{B\varepsilon}|}{dU_{K\varepsilon}}$ орқали аниқланади. Коэффициентлар

абсолют қийматларига кўра деярли бир – хил бўладилар ва концентрация ва транзисторларнинг тайёрланиш технологиясига кўра $\mu_{УЭ} = 10^{-2} - 10^{-4}$ ни ташкил этадилар.

Биполяр транзисторларнинг хусусий хоссалари асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг база орқали учиб ўтиш вақти ва ўтишларнинг тўсиқ сиғимларининг қайта зарядланиш вақти билан аниқланадилар. Бу таъсирларнинг нисбий аҳамияти транзистор конструкцияси ва иш режимига, ҳамда ташқи занжир қаршиликларига боғлиқ бўлади.

Жуда кичик кириш сигналлари ва актив иш режими учун биполяр транзисторни чизиқли тўрткутблик кўринишида ифодалаш мумкин ва бу тўрткутбликни бирор параметрлар тизими билан белгилаш мумкин. Бу параметрларни ***h-параметрлар*** деб аташ қабул қилинган. Уларга қуйидагилар киради: h_{11} – чиқишда қисқа туташув бўлган вақтдаги транзисторнинг кириш қаршилиги; h_{12} – узилган кириш ҳолатидаги кучланиш бўйича тескари алоқа коэффиценти; h_{21} – чиқишда қисқа туташув бўлган вақтдаги ток бўйича кучайтириш (узатиш) коэффиценти; h_{22} – узилган кириш ҳолатидаги транзисторнинг чиқиш ўтказувчанлиги. Барча h – параметрлар осон ва бевосита ўлчанади.

Электроника бўйича аввалги адабиётларда кичик сигналли параметрларнинг частотавий боғлиқликларига жуда катта эътибор қаратилган. Ҳозирги вақтда 10 ГГц гача бўлган частоталарда нормал ишни таъминлайдиган транзисторлар ишлаб чиқарилмоқда. Бундай ҳолларда талаб қилинаётган частота характеристикаларини олиш учун маълумотномадан керакли транзистор турини танлаш керак.

Назорат саволлари

1. Биполяр транзистор (БТ) нима ?
2. Биполяр транзисторнинг ишлаш принципи нимага асосланган ?
3. Биполяр транзистор коллектор, эмиттер ва базаларининг вазифаси.
4. *n-p-n* ва *p-n-p* тузилмали БТларнинг ишлаш принципида фарқ борми?
5. Биполяр транзисторнинг қандай уланиш схемаларини биласиз ?
6. БТ асосий иш режимларини айтиб беринг.
7. Турли уланиш схемаларидаги БТ статик характеристикаларидан актив ва тўйиниш режим соҳаларини аниқланг.
8. Транзисторнинг ток бўйича узатиш коэффиценти нима ? УБ ва УЭ уланиш схемаларидаги ток бўйича узатиш коэффиценти катталикларини солиштиринг.
9. Транзисторни тўрткутблик кўринишида ифодалаб, кичик сигналли параметрларни аниқлашни тушуниринг. Бу параметрлар маъносини тушуниринг.

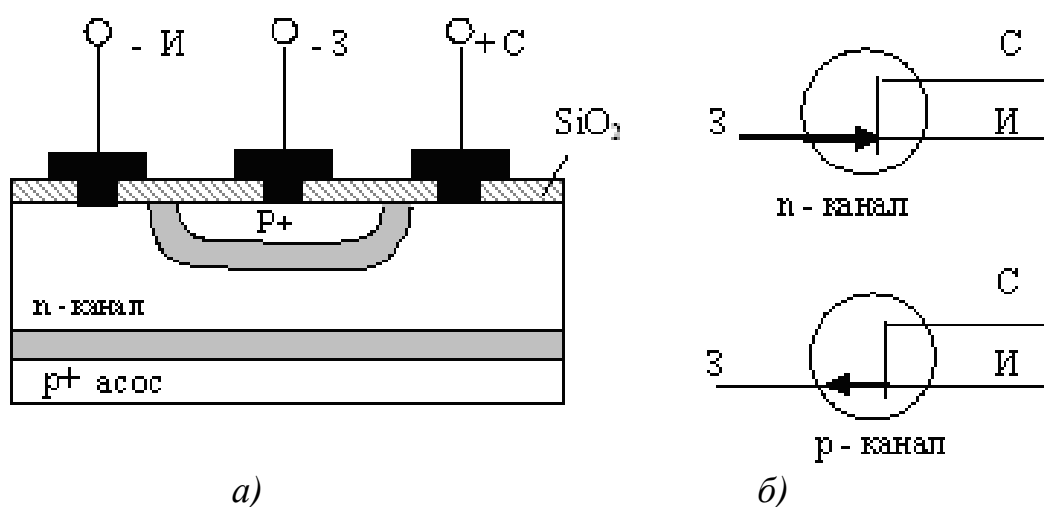
5.1. Умумий маълумотлар

Майдоний транзистор (МТ) деб, ток кучи қийматини бошқариш учун ўтказувчи каналдаги электр ўтказувчанлигини ўзгартириш ҳисобига электр майдон ўзгариши билан бошқариладиган ярим ўтказгичли актив асбобга айтилади.

Майдоний транзисторлар турли электр сигналлар ва қувватни кучайтириш учун мўлжалланган. Майдоний транзисторларда биполяр транзисторлардан фарқли равишда ток ташкил бўлишида фақат бир турдаги заряд ташувчилар иштирок этади: ёки электронлар, ёки коваклар. Шунинг учун улар яна **униполяр** транзисторлар деб ҳам аталади.

Майдоний транзисторларнинг тузилиши ва канал ўтказувчанлигига кўра икки тури мавжуд: $p-n$ ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзистор ҳамда металл – диэлектрик – ярим ўтказгичли (МДЯ) тузилишга эга бўлган затвори изоляцияланган майдоний транзисторлар. Улар МДЯ-транзисторлар деб ҳам аталадилар.

$P-n$ ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзистор. 5.1 – расмда n -каналли $p-n$ ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзисторнинг тузилишининг қирқими (а) ва унинг шартли белгиси (б) келтирилган.

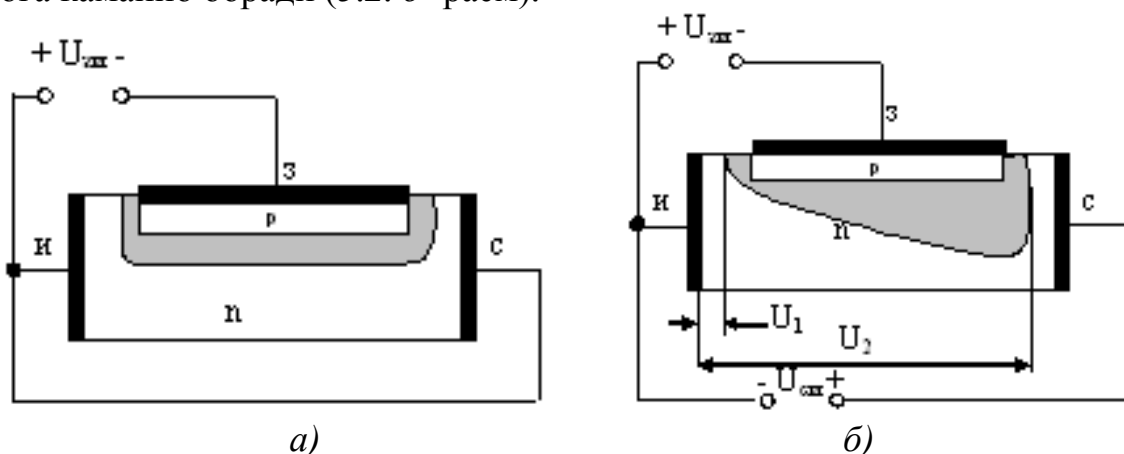


5.1 – расм.

n -турдаги соҳа **канал** деб аталади. Каналга заряд ташувчилар киритиладиган контакт **исток (И)**; заряд ташувчилар чиқиб кетадиган контакт **сток (С)** деб аталади. **Затвор (З)** бошқарувчи электрод ҳисобланади. Затвор ва исток оралиғига кучланиш берилганда юзага келадиган электр майдони канал ўтказувчанлигини, натижада каналдан оқиб ўтаётган токни ўзгартиради. Затвор сифатида каналга нисбатан ўтказувчанлиги тескари турдаги соҳа қўлланилади. Ишчи режимда у тескари уланган бўлиб канал билан $p - n$ ўтиш ҳосил қилади.

Каналнинг ўтказувчанлиги унинг қаршилиги билан аниқланади $R = \rho \frac{l}{S}$, бу ерда ρ - канал материалининг солиштира қаршилиги, l - узунлиги, S – каналнинг кўндаланг кесим юзаси. Ташқи кучланиш мавжуд бўлмаганда канал узунлиги бўйлаб затвор остидаги каналнинг кўндаланг кесим юзаси бир хил бўлади. Берилган қутбланишда затвор ва исток оралиғига ташқи кучланиш берилса $U_{ЗИ}$ $p-n$ ўтиш тескари йўналишда силжийди, канал томонга кенгаяди, натижада канал узунлиги бўйлаб каналнинг кўндаланг кесим юзаси бир текис тораяди. Канал қаршилиги ортади, лекин чиқиш токи $I_C = 0$ бўлади, чунки $U_{СИ} = 0$ (5.2 а - расм).

Агар исток ва сток оралиғига кучланиш манбаи уланса, у ҳолда канал бўйлаб истокдан сток томонга электронлар дрейфи бошланади, яъни канал орқали сток токи I_C оқиб ўта бошлайди. Кучланиш манбаи $U_{СИ}$ нинг уланиши $p-n$ ўтиш кенглигига ҳам таъсир кўрсатади, чунки ўтиш кучланиши канал узунлиги бўйлаб турлича бўлади. Канал потенциали унинг узунлиги бўйлаб ўзгаради: исток потенциали нолга тенг бўлиб, сток томонга ортиб боради, сток потенциали эса $U_{СИ}$ га тенг бўлади. $P-n$ ўтишдаги тескари кучланиш исток яқинида $|U_{ЗИ}|$ га, сток яқинида эса $|U_{ЗИ}| + U_{СИ}$ тенг бўлади. Натижада ўтиш кенглиги сток томонда каттароқ бўлиб, канал кесими сток томога камайиб боради (5.2. б - расм).



5.2 –расм.

Шундай қилиб, канал орқали оқиб ўтаётган токни $U_{ЗИ}$ кучланиш қийматини (канал кесимини ўзгартиради) ҳамда $U_{СИ}$ кучланиш қийматини (ток ва канал узунлиги бўйлаб кесимни ўзгартиради) бошқариш мумкин. Исток томонда канал кенглиги берилган $U_{ЗИ}$ қиймати билан, сток томонда

эса $U_{ЗИ} + U_{СИ}$ йиғинди қиймати билан аниқланади. $U_{СИ}$ қиймати қанча катта бўлса, каналнинг **поналиги (клиновидность)** ва унинг қаршилиги шунча катта бўлади.

Каналнинг кўндаланг кесими нольга тенг бўладиган вақтдаги затвор кучланиши **беркилиш кучланиши** $U_{ЗИ.БЕРК.}$ деб аталади.

$|U_{ЗИ}| + U_{СИ.ТЎЙ.}$ кучланиш беркилиш кучланишига $U_{ЗИ.БЕРК.}$ га тенг бўладиган вақтдаги сток кучланиши **тўйиниш кучланиши** $U_{СИ.ТЎЙ.}$ деб аталади.

Бу ердан

$$U_{СИ.ТЎЙ.} = |U_{ЗИ.БЕРК.}| - |U_{ЗИ}| \quad (5.1)$$

$U_{СИ} \leq U_{СИ.ТЎЙ.}$ вақтидаги транзисторнинг ишчи режими **текис ўзгариш** режими, $U_{СИ} \geq U_{СИ.ТЎЙ.}$ вақтидаги транзисторнинг ишчи режими эса **тўйиниш** режими деб аталади. Тўйиниш режимида $U_{СИ}$ кучланиш қийматининг ортишига қарамай I_C токининг ортиши деярли тўхтайди. Бу ҳолат бир вақтнинг ўзида затвордаги $U_{ЗИ}$ кучланишининг ҳам ортиши билан тушунтирилади. Бу вақтда канал тораяди ва I_C токини камайтишига олиб келади. Натижада I_C дрейфли ўзгармайди.

Бирор уч электродли асбоб каби, майдоний транзисторларни уч хил схемада улаш мумкин: умумий исток (УИ), умумий сток (УС) ва умумий затвор (УЗ). УИ схема кенг тарқалган схема ҳисобланади.

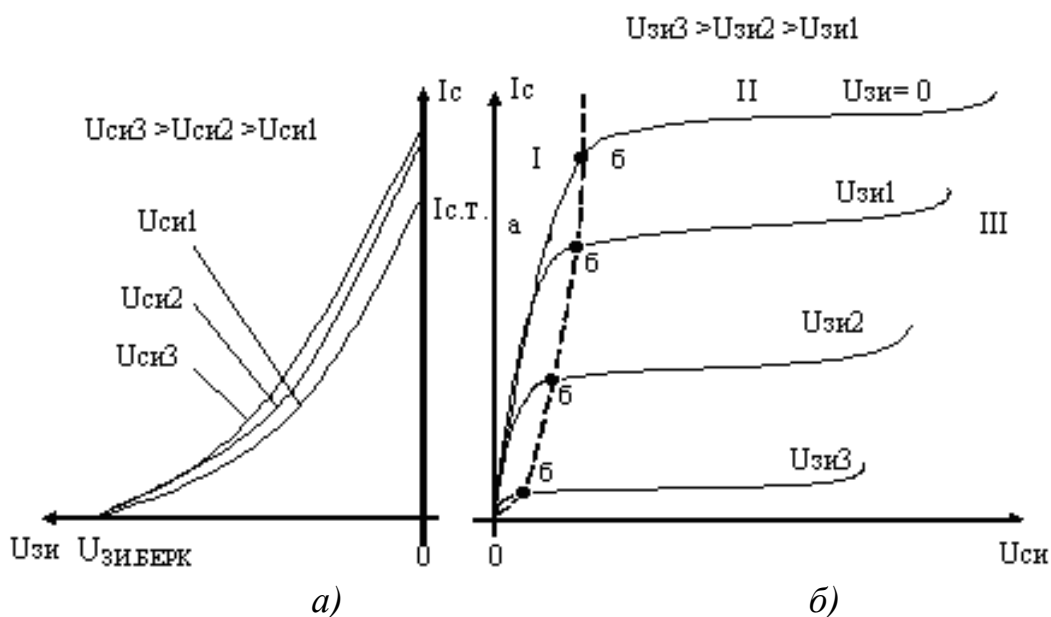
5.2. МТ статик характеристикалари

Затвордаги кучланиш $U_{ЗИ}$ ёрдамида сток токи I_C ни бошқариш **сток – затвор** характеристикасидан аниқланади. Бу характеристика транзисторнинг **узатиш** характеристикаси деб ҳам аталади. 5.3 а-расмда $U_{СИ} = const$ бўлгандаги сток затвор характеристикалар оиласи $I_C = f(U_{ЗИ})$ келтирилган.

Сток – затвор характеристикадан кўриниб турибдики, $U_{ЗИ} = 0$ бўлганда транзистор орқали максимал ток оқиб ўтади. $U_{ЗИ}$ қиймати ортиши билан канал кесими туша бошлайди ва маълум $U_{ЗИ.БЕРК.}$ қийматга етганда нольга тенг бўлиб қолади ва сток токи I_C деярли нольга тенг бўлиб қолади. Транзистор беркилади. $U_{СИ}$ ортиши билан характеристика тиккалаша боради, бу ҳолат канал узунлигининг унча катта бўлмаган камайтиши билан тушунтирилади. Сток – затвор характеристика тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$I_C = I_{C.ТЎЙ.} \left(1 - \frac{U_{ЗИ}}{U_{ЗИ.БЕРК.}}\right)^2. \quad (5.2)$$

5.3 б-расмда майдоний транзисторнинг чиқиш (сток) характеристикалари келтирилган. **Сток характеристика** - бу маълум $U_{ЗИ} = const$ қийматларидаги $I_C = f(U_{СИ})$ боғлиқлик. $U_{СИ}$ ортиши билан I_C деярли тўғри чизикли ўзгаради (текис ўзгариш режими) ва $U_{СИ} = U_{СИ.ТЎЙ.}$ қийматига етганда (б нуқта) I_C ортиши тўхтайди.



5.3 – расм.

5.3. МТ асосий параметрлари

Майдоний транзисторларнинг асосий параметрларидан бири бўлиб **характеристика тиклиги** ҳисобланади

$$S = \frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} \quad (\text{мА/В}),$$

ва уни қуйидаги ифодадан аниқлаш мумкин

$$S = S_{\max} \left(1 - \frac{U_{ЗИ}}{U_{ЗИ.БЕРК}}\right), \quad (5.3)$$

бу ерда $S_{\max}$ – $U_{ЗИ}=0$ бўлгандаги максимал тиклик. (5.2) (5.3) ифодалардан кўриниб турибдики, $U_{ЗИ}$ ортиши билан сток токи ва майдоний транзистор характеристика тиклиги камаяди.

Статик характеристикалардан майдоний транзисторнинг бошқа параметрларини ҳам аниқлаш мумкин.

Транзисторнинг **дифференциал (ички) қаршилиги** исток ва сток оралиғидаги канал қаршилигини ифодалайди

$$R_i = \frac{dU_{СИ}}{dI_C} \quad U_{ЗИ} = \text{const} \text{ бўлганда} \quad (5.4)$$

Тўйиниш режимида (ВАХ нинг текис қисмида) R_i бир неча МОмни ташкил этади ва $U_{СИ}$ га боғлиқ эмас.

Кучланиш бўйича кучайтириш коэффиценти транзисторнинг кучайтириш хусусиятини ифодалайди:

$$\mu = - \frac{dU_{СИ}}{dU_{ЗИ}} \quad I_C = \text{const} \text{ бўлганда} \quad (5.5)$$

Бу коэффициент стокдаги кучланиш сток токига затвордаги кучланишга нисбатан қанчалик таъсир кўрсатишини ифодалайди. “Манфий” ишора кучланиш ўзгариши йўналишларининг қарама-қаршилигини билдиради. Ҳар доим ҳам бу коэффициентни характеристикадан аниқлаб бўлмаганлиги сабабли, бу катталикни қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$\mu = SR_i . \quad (5.6)$$

5.4. Канали индукцияланган МДЯ - транзисторлар

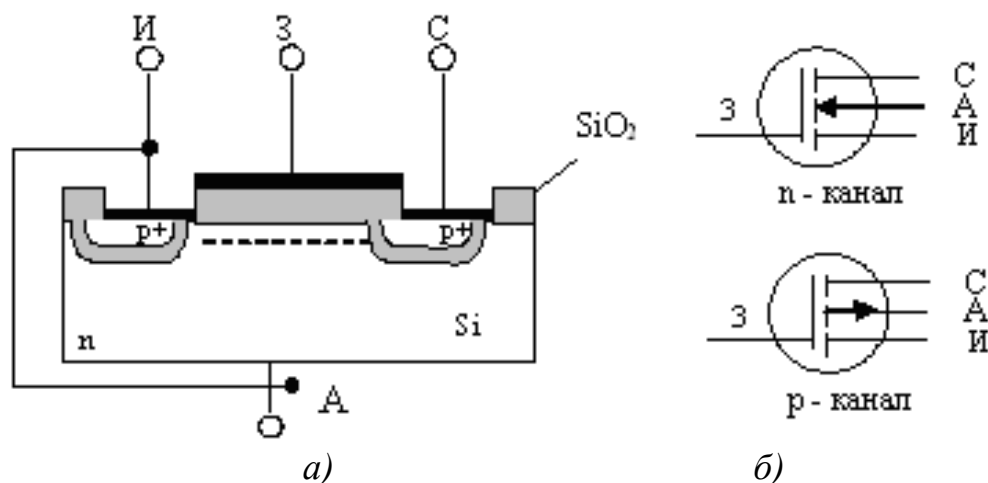
$P - n$ ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзисторлардан фарқли равишда МДЯ-транзисторларда металл затвор канал ҳосил қилувчи ўтказгичли соҳадан доим диэлектрик қатлами ёрдамида изоляцияланган. Шу сабабли МДЯ-транзисторлар затвори изоляцияланган майдоний транзисторлар турига киради. Диэлектрик қатлами SiO_2 диэлектрик оксиди бўлганлиги сабабли, бу транзисторлар МОЯ – транзисторлар (металл – оксид- ярим ўтказгичли тузилма) деб ҳам аталадилар.

МДЯ-транзисторларнинг ишлаш принципи кўндаланг электр майдони таъсирида диэлектрик билан чегараланган ярим ўтказгичнинг юқори қатламида ўтказувчанликни ўзгартириш эффектига асосланган. Ярим ўтказгичнинг юқори қатлами транзисторнинг ток ўтказувчи канали вазифасини бажаради.

p – канали индукцияланган МДЯ - транзистор тузилмаси 5.4 а –расмда ва унинг шартли белгиси 5.4 б- расмда келтирилган.

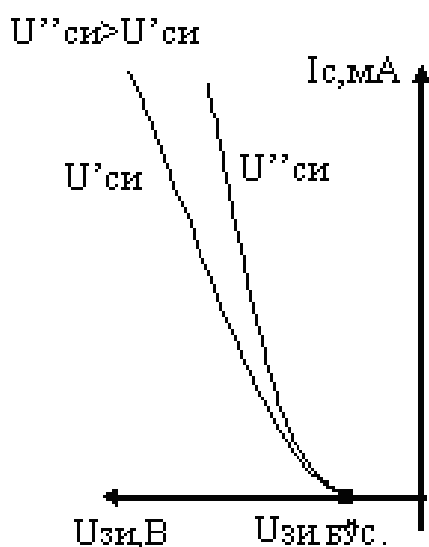
Транзистор қуйидаги чиқишларга эга: истокдан – И, стокдан – С, затвордан – З ва асос деб аталувчи – А кристаллдан.

Сток ва истокларнинг p^+ - соҳалари n – турдаги ярим ўтказгич билан иккита $p-n$ ўтиш ҳосил қилганлиги сабабли, $U_{СИ}$ кучланишининг бирор қутбланишида бу ўтишлардан бири тескари йўналишда уланади ва сток токи I_C деярли нольга тенг бўлади.

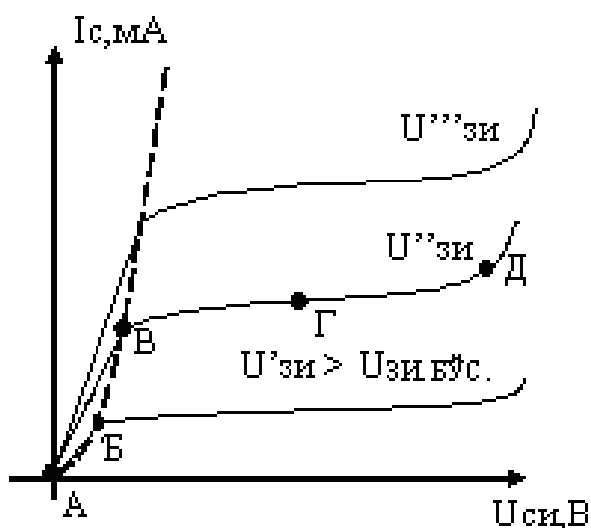


5.4 – расм.

Транзисторда ток ўтказувчи канал ҳосил қилиш учун затворга тескари қутбдаги кучланиш берилади. Затвор электр майдони SiO_2 диэлектрик қатлами орқали ярим ўтказгичнинг юқори қатламига киради, ундаги асосий заряд ташувчилар (электронлар) ни итариб чиқаради ва асосий бўлмаган заряд ташувчилар (коваклар) ни ўзига тортади. Натижада юқори қатлам электронлари камбағаллашиб, коваклар билан эса бойиб боради. Затвор кучланиши бўсағавий деб аталувчи маълум қиймати U_0 га етганда, юқори қатламда электр ўтказувчанлик ковак ўтказувчанлик билан алмашади ва исток ва стокни бир – бири билан боғловчи p - турдаги канал шаклланади. $U_{зи} > U_0$ бўлганда юқори қатлам коваклар билан бойиб боради, бу эса канал қаршилигини камайишига олиб келади. Бу вақтда сток токи I_c ортади. 5.5 – расмда p – канали индукцияланган МДЯ - транзисторнинг сток – затвор ВАХси келтирилган.



5.5 – расм.



5.6 – расм.

5.6 – расмда n - канали индукцияланган МДЯ - транзисторнинг чиқиш (сток) характеристиклар оиласи келтирилган. Затворга маълум кучланиш берилганда $|U_{си}|$ нинг ортиб боришига кўра сток токи ноль қийматдан аввалига чизикли кўринишда ортиб боради (ВАХ нинг тикка қисми), кейинчалик эса ортиш тезлиги камаяди ва етарлича катта $|U_{си}|$ қийматларида ток ўзгармас қийматга интилади. Ток ортишининг тўхташи сток яқинидаги каналнинг беркилиши билан боғлиқ.

5.5. Канали қурилган МДЯ - транзисторлар

5.7 –расмда n – турдаги канали қурилган МДЯ транзистор тузилмаси (а) ва унинг шартли белгиси (б) келтирилган.

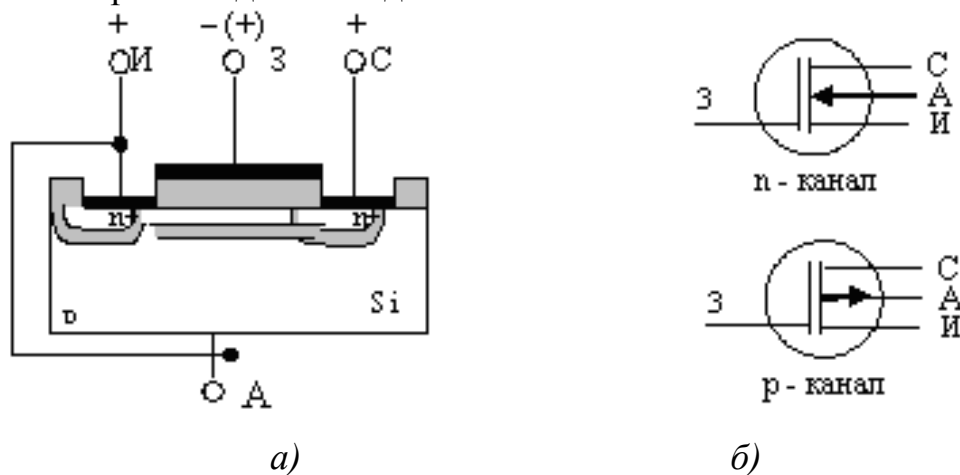
Агар $U_{зи} = 0$ бўлганда $U_{си}$ кучланиш ўрнатилса, у ҳолда канал орқали электронлар ҳисобига ток оқиб ўтади. Затворга истокка нисбатан манфий кучланиш берилса, каналда кўндаланг электр майдон юзага келади ва унинг

таъсирида каналдан электронлар итариб чиқариладилар. Канал электронлар билан камбағаллашиб боради, унинг қаршилиги ортади ва сток токи камаяди. Затвордаги манфий кулчланиш қанча катта бўлса, бу ток шунча кичик бўлади. Транзисторнинг бундай режими **камбағаллашиш режими** деб аталади.

Агар затворга мусбат кучланиш таъсир эттирилса, ҳосил бўлган электр майдони таъсирида, исток ва сток, ҳамда кристаллдан каналга электронлар кела бошлайдилар, каналнинг ўтказувчанлиги ва шу билан бирга сток токи ортиб боради. Бу режим **бойиш режими** деб аталади.

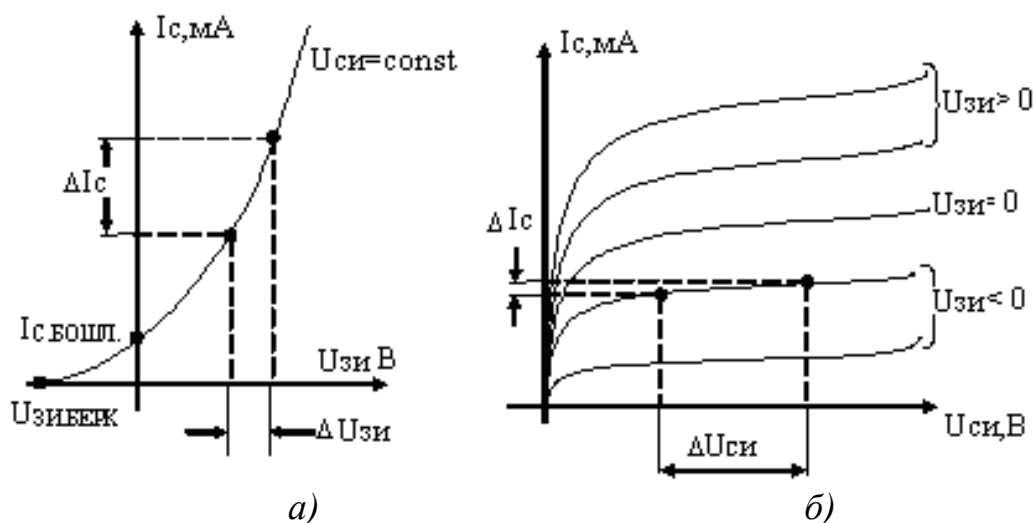
Кўриб ўтилган жараёнлар 5.8 а – расмда келтирилган статик сток – затвор характеристикада: $U_{СИ} = \text{const}$ бўлгандаги $I_C = f(U_{ЗИ})$ билан ифодаланган.

$U_{ЗИ} > 0$ бўлганда транзистор бойиш режимида, $U_{ЗИ} < 0$ бўлганда эса камбағаллашиш режимида ишлайди.



5.7 – расм.

Бойиш режимида сток характеристикалари $U_{ЗИ} = 0$ да олинган бошланғич характеристикадан - юқорида, камбағаллашиш режимида эса – пастда жойлашади (5.8 б- расм).



5.8 – расм.

S , R_i ва μ статик дифференциал параметрлар худди $p-n$ –ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзисторлардаги (5.4), (5.5) ва (5.6) ифодалардан мос равишда аниқланади.

Характеристика тиклиги ва ички қаршилиқ барча турдаги майдоний транзисторлардаги каби қийматларга эга бўлади. Кириш қаршилиги ва электродлараро сиғимларга келсак, МДЯ – транзисторлар $p-n$ ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзисторлардагига нисбатан яхши кўрсаткичларга эга. $R_{зи}$ кириш қаршилиги бир неча даражага юқори бўлиб 10^{12} - 10^{15} Ом ни ташкил этади. Электродлараро сиғимлар қиймати $C_{зи}$, $C_{си}$ лар учун -10 пФ дан, $C_{зс}$ учун -2 пФ дан ортмайди. Бу кўрсаткичлар транзистор инерциясини белгилайдилар.

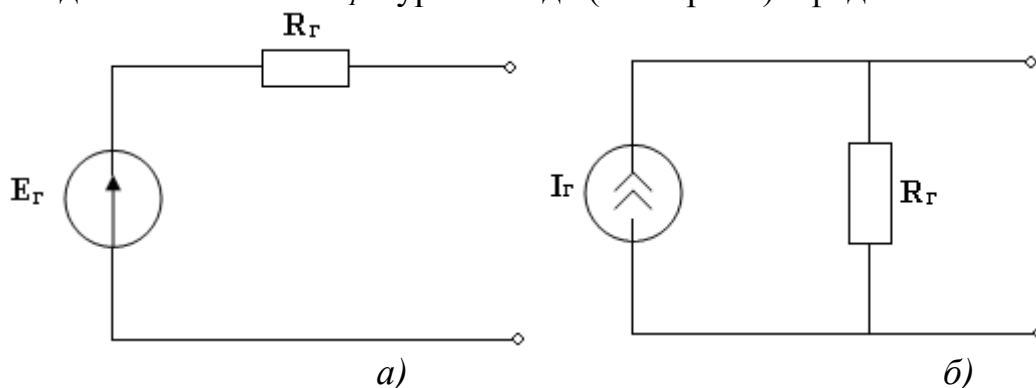
Назорат саволлари

1. Майдоний транзистор нима ва нима сабабли улар униполяр транзисторлар деб аталади ?
2. Майдоний транзисторлар синфланишини келтиринг.
3. Майдоний транзистор канали, затвор, сток, исток ва асослари нима ?
4. $P-n$ ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзистор ишлаш принципи нимадан иборат ?
5. Асосга нисбатан затвор ва исток оралигидаги кучланиш ўзгаришида канал геометрияси қандай ўзгаради ?
6. Затвор ва исток оралигидаги кучланиш майдоний транзистор сток токи қийматига қандай таъсир кўрсатади ?
7. Майдоний транзисторларнинг асосий уланиш схемаларини айтиб беринг.
8. Майдоний транзистор қандай режимларда ишлаши мумкин ?
9. Майдоний транзистор асосий характеристикаларини айтиб беринг.

Аналог интеграл микросхемалар элементар негиз босқичлар асосида ясаладилар. Негиз босқичларга УЭ схемада уланган биполяр транзисторлар ҳамда УИ схемада уланган майдоний транзисторлардан ясалган бир босқичли кучайтиргичлар киради. Негиз босқичлар бир вақтнинг ўзида ток ёки кучланиш, ҳамда ток ва кучланиш бўйича кучайтириш билан қувватни кучайтирадилар.

6.1. Биполяр транзисторда ясалган кучайтиргич босқичи

Умумий эмиттер схемада уланган биполяр транзисторда ясалган кучайтиргич босқичи энг кенг тарқалган. Кучайтиргич таҳлил қилинганда сигнал манбаи ёки қаршилик R_{Γ} билан кетма – кет уланган идеал кучланиш манбаи E_{Γ} кўринишида (6.1 а-расм), ёки қаршилик R_{Γ} билан параллель уланган идеал ток манбаи I_{Γ} кўринишида (6.1 б-расм) ифодаланиши мумкин.

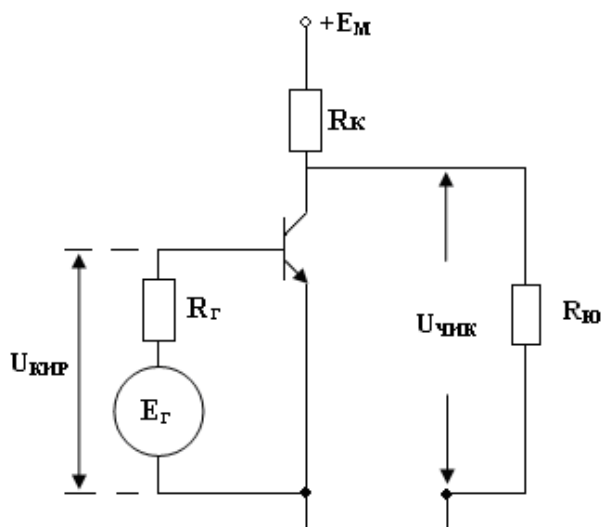


6.1 – расм.

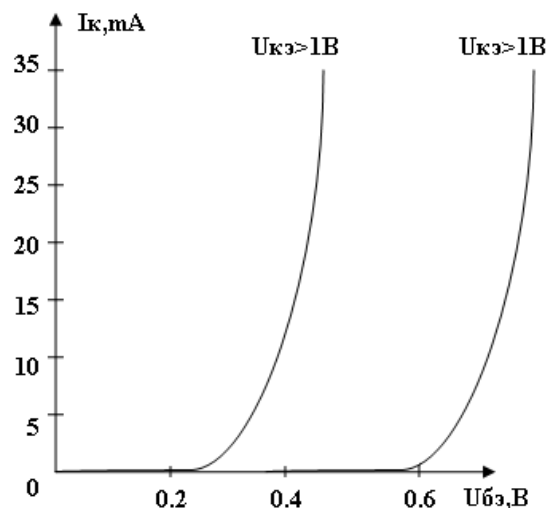
Агар R_{Γ} ва кучайтиргич босқичининг кириш қаршилиги қийматлари бир – бирига яқин бўлса, сигнал манбаининг тури ҳисоблаш аниқлигига таъсир кўрсатмайди. Агар R_{Γ} кучайтиргич босқичининг кириш қаршилигидан анча катта бўлса, 6.1 б-расмда келтириган сигнал манбаидан, акс ҳолда эса 6.1 а-расмда келтириган сигнал манбаидан фойдаланиш тавсия этилади.

Умумий эмиттер схемада уланган биполяр транзисторда ясалган кучайтиргич босқичи схемаси 6.2 – расмда келтирилган.

Схемани таҳлил қилганда, транзистор ҳолати кириш кучланиши билан бошқарилганда узатиш характеристикаси (6.3-расм), чиқиш характеристикалар оиласи (4.5-расм) ҳамда кириш характеристикалар оиласи (4.4-расм) дан фойдаланиш қулай.



6.2 – расм.



6.3 – расм.

Узатиш характеристикаси - коллектор токи I_K нинг база – эмиттер кучланиши $U_{БЭ}$ га боғлиқлиги экспоненциал функция билан аппроксимацияланади

$$I_K = I_{KS} \exp\left(\frac{U_{БЭ}}{\varphi_T}\right). \quad (6.1)$$

бу ерда $\varphi_T = \frac{kT}{q}$ - термик потенциал, I_{KS} – пропорционаллик коэффиценти бўлиб унинг тахминий қиймати микрокуватли кремнийли транзисторлар учун $T=300$ К бўлганда 10^{-9} мА тартибга эга бўлади.

Кириш сигнали мавжуд бўлмаганда кучайтиргич босқичи сокинлик режимида бўлади. Сокинлик режимида коллектор – эмиттер кучланишининг доимий ташкил этувчиси $U_{КЭ} = E_{П} - I_K R_K$.

Киришга ўзгарувчан кириш сигналининг мусбат ярим даври берилса, база токи ортади ва у коллектор токи ўзгаришига олиб келади. Бу ҳолат узатиш характеристикаси (6.3-расм) дан кўриниб турибди. Коллектор токи I_K нинг $U_{БЭ}$ кучланишига боғлиқ равишда ўзгариши **характеристика тиклиги** S билан ифодаланади:

$$S = \frac{dI_K}{dU_{БЭ}} \quad U_{КЭ} = \text{const} \text{ бўлганда}$$

Бу катталикини (6.1) ифодадан фойдаланиб ҳам топиш мумкин:

$$S = \frac{dI_K}{\varphi_T} \quad (6.2) .$$

Шундай қилиб, тиклик коллектор токига пропорционал бўлиб, ҳар бир транзисторнинг индивидуал хоссаларига боғлиқ бўлмайди. Шунинг учун бу катталикини аниқлашда ўлчашлар талаб қилинмайди.

Кириш сигнали таъсири натижасида R_K даги кучланиш ортади, $U_{KЭ}$ кучланиш эса камаяди, яъни манфий ярим даврли чиқиш сигнали шаклланади. Демак, бундай кучайтиргич босқичи чиқиш ва кириш кучланиш сигналлари орасида 180° га фаза силжишини амалга оширади. Коллектор токи I_K

$$\Delta I_K = S \Delta U_{БЭ} = S \Delta U_{КИР}.$$

катталиikka ортади.

Чиқиш кучланиши $U_{ЧИК}$ эса

$$\Delta U_2 = -I_K R_K = -S \Delta U_{КИР} R_K.$$

катталиikka камаяди.

Демак кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти (юклама мавжуд бўлмаганда ($I_{Ю}=0$)), қуйидагига тенг

$$K_U = \frac{\Delta U_{ЧИК}}{\Delta U_{КИР}} = -S R_K \quad (6.3)$$

Масалан, агар $R_K = 5 \text{ кОм}$; $\varphi_T = 25 \text{ мВ}$; $I_K = 1 \text{ мА}$; $S = 40 \text{ мА/В}$, у ҳолда $K_U = -200$.

Коллектор токи фақат $U_{БЭ}$ кучланишига эмас, балки $U_{КЭ}$ кучланишига ҳам боғлиқ бўлади. Бу боғлиқлик **дифференциал чиқиш қаршилиги** билан характерланади

$$r_{КЭ} = \frac{dU_{КЭ}}{dI_K} = \frac{U_E}{I_K} \quad U_{БЭ} = \text{const} \text{ бўлганда,}$$

Бу ерда пропорционаллик коэффициенти U_E **Эрли кучланиши**. U_E нинг қийматлари кремнийли п-р-п транзисторлар учун 80-200 В атрофида бўлади. $r_{КЭ}$ ҳисобига

$$K_U = -S(R_K // r_{КЭ}) \quad (6.5).$$

Сигнал манбаига нисбатан кучайтириш босқичи учун кириш қаршилиги катта роль ўйнайди. Унинг қиймати қанча катта бўлса, сигнал манбаи шунча кам юкланади ва шунчалик яхши кириш босқичига узатилади. Кириш занжирини юкламага уланган кучланиш манбаи кўринишида ифодалаш учун **дифференциал кириш қаршилиги** катталиги киритилади

$$r_{КИР} = r_{БЭ} = \frac{dU_{БЭ}}{dI_B} \quad U_{КЭ} = \text{const} \text{ бўлганда.}$$

Кириш қаршилиги $r_{БЭ}$ ва тиклик S орасида қуйидаги боғлиқлик мавжуд

$$r_{БЭ} = \frac{\beta}{S},$$

бу ерда β - ток узатиш дифференциал коэффициенти. Амалий ҳисоблар учун қуйидаги нисбатдан фойдаланиш мумкин

$$r_{БЭ} = \frac{\beta \varphi_T}{I_K} \quad (6.6).$$

Кучайтиргич босқичининг чиқиш ёки ички қаршилиги $r_{ЧИҚ}$ бу босқични юклама (кейинги босқич) билан ўзаро таъсирлашувида катта роль ўйнайди. Кучайтиргичнинг чиқиш қаршилиги юкламадан ток оқиб ўтаётганда чиқиш кучланишини камайишига олиб келади ва бу ҳолатни кучайтириш коэффициентини ҳисоблаётганда ҳисобга олиш керак бўлади.

Юклама қаршилиги $R_{Ю}$ ва чиқиш қаршилиги $r_{ЧИҚ}$ кучайтиргич кучайтириш коэффициентини $R_{Ю} / (r_{ЧИҚ} + R_{Ю})$ мартага камайтирувчи кучланиш бўлувчисини ҳосил қиладилар. Чиқиш ички қаршилиги $r_{ЧИҚ} = R_K // r_{КЭ}$. Натижада юкламадаги кучайтириш коэффициенти

$$K_{УЮ} = -S(R_K // r_{КЭ} // R_{Ю}). \quad (6.7)$$

Кучайтириш коэффициенти температура ўзгаришига боғлиқ, чунки $S = \frac{dI_K}{\varphi_T}$.

Ниҳоят, ток бўйича дифференциал кучайтириш коэффициенти қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади

$$\beta = \frac{dI_K}{dI_B} \quad U_{КЭ} = \text{const бўлганда.}$$

Бу катталик статик коэффициентдан коллектор токининг кенг ўзгариш диапазонида сезиларли фарқ қилмайди ва $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$ га тенг.

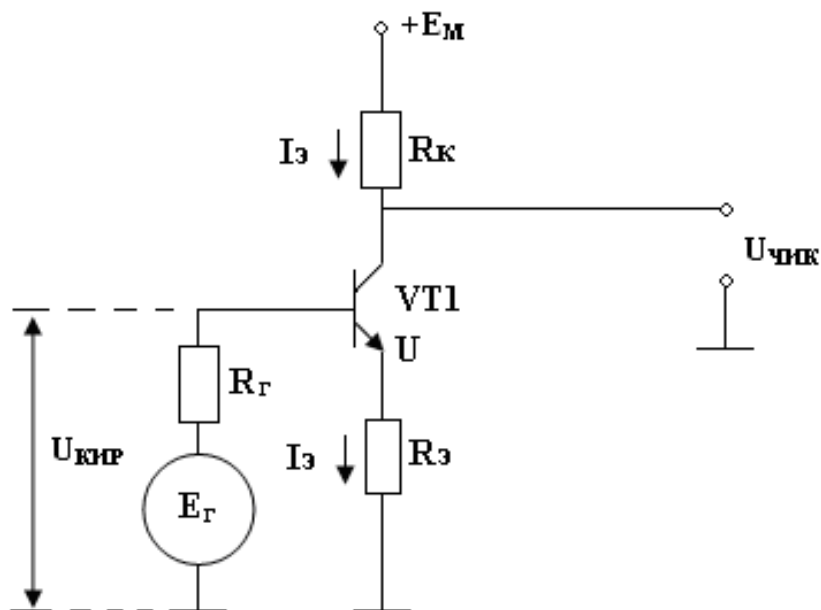
Ночизикли бузилишларни камайтириш ва кучайтириш коэффициентини температуравий барқарорлигини ошириш мақсадида кучайтиргич босқичига манфий тескари алоқа киритилади.

Тескари алоқа деб чиқишдаги ёки бирор оралиқ звено қурилмаси чиқишидаги энергиянинг бир қисмини унинг киришига узатишга айтилади. Бунинг учун схемага махсус занжир киритилади ва у тескари алоқа занжири деб аталади. Бу занжир кучайтиргич чиқишидаги қувватнинг бир қисмини унинг киришига узатишга ҳизмат қилади. Бир босқични ўз ичига оладиган тескари алоқа – **маҳаллий**, кўпбосқичли кучайтиргичнинг баърини ўз ичига оладиган тескари алоқа - **умумий** деб аталади.

Тескари алоқанинг мавжудлиги қурилма чиқишидаги сигналнинг, демак кучайтириш коэффициентининг ҳам ортиши ёки камайишига олиб келиши мумкин. Биринчи ҳолатда кириш сигнали фазаси билан тескари алоқа сигнали фазалари бир – бирига мос келади ва уларнинг амплитудалари кўшилади – бундай тескари алоқа **мусбат тескари алоқа** деб аталади. Иккинчи ҳолатда эса фазалар тескари бўлиб, амплитудалар бир - биридан айирилади – бундай тескари алоқа **манфий тескари алоқа** деб аталади.

Кучайтиргичларда фақат манфий тескари алоқа (МТА) қўлланилади. МТА нинг киритилиши сигнал кучайишини камайтиради, лекин параметрларнинг барқарорлиги ортади ва ночизиқли бузилишлар камаяди.

6.4 – расмда манфий тескари алоқали бир босқичли кучайтиргич схемаси келтирилган.



6.4 – расм.

Бу ерда МТА эмиттер занжирига $R_Э$ резистор киритилиши билан амалга оширилган. Кириш кучланиши $U_{КИР}$ ортиши билан эмиттер токи ортади, шу сабабли $R_Э$ резисторда кучланиш пасайиши ҳам ортади: $U_Э = I_Э R_Э$, чунки база- эмиттер ўтишида кучланиш кириш кучланишига нисбатан кичик бўлади $U_{БЭ} = U_{КИР} - U_Э$.

Кириш ва $R_Э$ резистордаги кучланишиларнинг ўзгариши бир - бирига тенг деб ҳисоблаш мумкин, яъни база-эмиттер кучланиши ўзариши $\Delta U_{БЭ}$ ни ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

$R_Э$ орқали оқиб ўтаётган ток $R_К$ дан ҳам оқиб ўтади, демак, бу токнинг ўзгариши коллектордаги резисторда эмиттердаги резистордагига нисбатан $R_К / R_Э$ марта катта кучланиш ортишига олиб келади

Агар $\Delta U_Э = \Delta U_{КИР}$ ни инобатга олсак

$$K_U = \frac{\Delta U_{ЧИК}}{\Delta U_{КИР}} = -\frac{R_К}{R_Э}.$$

Бу ифодага транзисторнинг токка боғлиқ бўлган параметрлари кирмайди. Шу сабабли, коллектор токи эмиттер токидан анча фарқ қилишини ҳисобга олсак, МТА ли кучайтиргичнинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти кам миқдорда бўлса ҳам ток қийматига боғлиқ бўлади

$$K_U = -\frac{SR_K}{1 + SR_{\mathcal{O}}}.$$

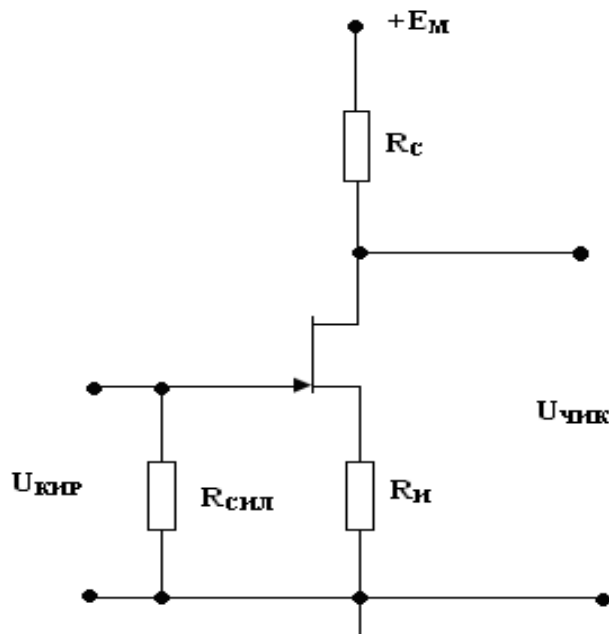
Кучайтиргич кириш қаршилиги қиймати $r_{KIP} = r_{БЭ} + \beta R_{\mathcal{O}}$ МТА ҳисобига ортади. Чиқиш қаршилиги эса манфий тескари алоқа ҳисобига секин ортади ва R_K қийматига интилади.

6.2. Майдоний транзисторларда ясалган кучайтиргичлар

Майдоний транзисторлардан кучайтиргич ясашда умумий исток (УИ) схемада уланган майдоний транзисторлар кенг қўлланилади. 6.5 –расмда n – каналли p – n ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзисторда ясалган кучайтиргич босқичи келтирилган. p – n ўтиш билан бошқариладиган майдоний транзисторда сток ва затворга берилаётган кучланиш ишоралари (қутблари) бир - бирига тескари бўлиши керак. Шу сабабли ўзгармас ток бўйича режим ҳосил қилиш учун R_{II} резистор киритилади ва у кетма-кет МТАни ҳосил қилади. Бундан ташқари, кучайтиргич параллель киришларига $R_{СИЛ}$ резистор уланади ва у затворни умумий шина билан гальваник алоқасини таъминлайди ва кучайтиргич кириш қаршилигини барқарорлайди.

Берилган I_{C0} сокинлик токи учун R_{II} катталиги майдоний транзистор сток – затвор ВАХсидан аниқланади (5.3 а –расмга қаранг). ВАХдан $U_{ЗИ0}$ ни аниқлаб R_{II} ни қуйидаги ифодадан қийналмас аниқлаш мумкин:

$$U_{ЗИ0} = -I_{C0}R_{II}$$



6.5 – расм.

Киришга ўзгарувчан сигналнинг мусбат ярим даври $U_{КИР}$ берилганда чиқишда тескари фазадаги сигнал $U_{ЧИҚ}$ ҳосил бўлади, яъни УИ схемадаги кучайтиргич босқичи кириш сигнаolini инверслайди. Кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти қуйдагига тенг

$$K_U = \frac{\Delta U_{ЧИҚ}}{\Delta U_{КИР}} = \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta U_{ЗИ}} = -\frac{S r_C \cdot R_C}{r_C + R_C} = -\frac{\mu_n \cdot R_C}{r_C + R_C}$$

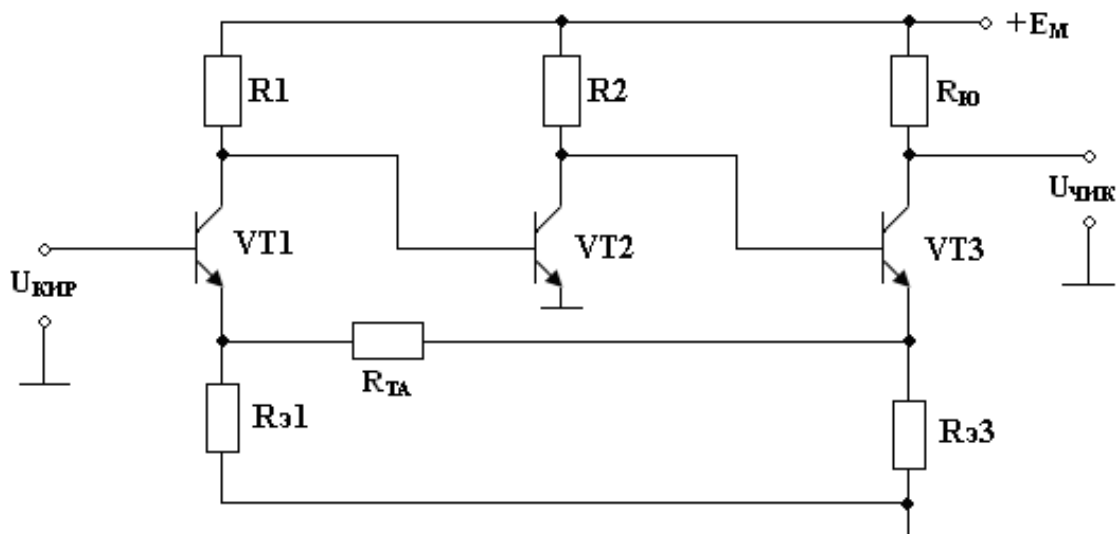
“Манфий” ишора УИли схема сигнални инверслаганини билдиради. Амалиётда $r_C \geq R_C$, шу сабабли кучайтириш коэффициетини қуйдаги кўринишда ифодалаш мумкин

$$K_U = -S \cdot R_C$$

УИ схемадаги реал кучайтиргич босқичларида $Ku=3 \div 50$, $R_{КИР} \cong R_{СИЛ}$, $R_{ЧИҚ} \cong R_C$.

6.3. Кўп босқичли кучайтиригичлар

Кучайтиргич параметрларининг яхши барқарорлигини таъминлаб берувчи манфий тескари алоқа кучайтириш коэффициетини кескин камайтиради. Катта K_U қийматини олиш учун кенг полосали кўп босқичли кучайтиргичлар қўлланилади. 6.6 – расмда кетма - кет – параллель тескари алоқали уч босқичли кучайтиргич принципиал схемаси келтирилган. Биринчи УЭ босқич VT1 транзисторда бажарилган, унда ток бўйича маҳаллий кетма –кет МТА мавжуд бўлиб, у $R_{Э1}$ да бажарилган. Иккинчи босқич VT2 транзисторда бажарилган. Учинчи босқич VT3 транзисторда бажарилган бўлиб, $R_{Э3}$ резистор маҳаллий МТАни амалга оширади.



6.6 – расм.

Маҳаллий МТАдан ташқари кучайтиргичда умумий тескари алоқа қўлланилган. У кучайтиргич босқич чиқишини VT1 транзистор эмиттери билан боғловчи R_{TA} резистор занжирида бажарилган. Маҳаллий (босқичлар ичидаги) тескари алоқаларга нисбатан бутун кучайтиригични камраб оладиган тескари алоқа, янада юқори барқарорликни ҳамда алоҳида босқичларни кучайтириш коэффиценти оғишига сезгирликни камайишини таъминлайди. 6.6 – схема интеграл кучайтиргич ясашда асос ҳисобланади.

Лекин тескари алоқали асосий уч босқичли кучайтиргичдан ташқари, интеграл кучайтиргич схемаси кичик чиқиш қаршилигини таъминлаш учун ва кучайтиригичда қўшимча кенг полосалик, чидамлилиқ, температуравий барқарорлик ва ўзидан олдинги чиқиш босқичи кучланиши ўзгармас ташкил этувчисини кейинги босқич кириш кучланиши ўзгармас ташкил этувчиси билан мувофиқлашни таъминлаш учун чиқиш босқичи сифатида эмиттер қайтаргичга эга бўлади. Гап шундаки, турли катта сиғимларга эга бўлган конденсаторларнинг мавжуд эмаслиги туфайли барча босқичлар ўзгармас ток бўйича ўзаро боғланган.

6.4. Аналог интеграл схемаларнинг чиқиш босқичлари (қувват кучайтиргичлари)

Чиқиш босқичларининг вазифаси – сигналнинг берилган (етарлича катта) қувватини бузилишларсиз паст омли юкламага узатишни таъминлаш. Одатда кўп босқичли кучайтиргичларда улар чиқиш босқичлари ҳисобланадилар. Кучланиш бўйича кучайтириш коэффиценти чиқиш босқичлари учун иккинчи даражали параметр ҳисобланади. Шу сабабли асосий параметрлар бўлиб қуйидагилар ҳисобланади: фойдали иш коэффиценти η ва ночизикли бузилишлар коэффиценти K_G .

Фойдали иш коэффиценти чиқиш сигнали қувватини манбадан тортиб олинаётган қувватга нисбатига тенг:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{\text{ЧИК}m} I_{\text{ЧИК}m}}{E_M I_{\text{ўРТ}}}, \quad (6.8)$$

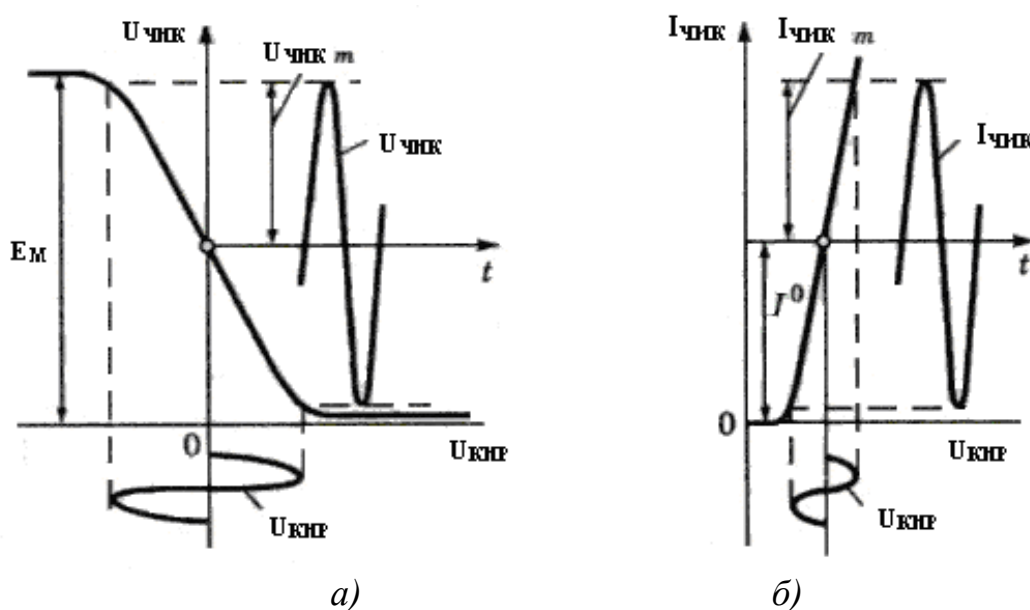
бу ерда $I_{\text{ЧИК}m}$, $U_{\text{ЧИК}m}$ – чиқиш катталиклар амплитудаси, E_M – кучланиш манбаи, $I_{\text{ўРТ}}$ – ўртача ток.

Ночизикли бузилишлар коэффиценти чиқиш сигнали шаклининг кириш сигнали шаклидан фарқини ифодалайди. Бу фарқ босқичнинг узатиш характеристикасининг ночизиклиги сабабли юзага келади. Кучайтиргич босқичи узатиш характеристикалари чиқиш катталигини ($I_{\text{ЧИК}}$ ёки $U_{\text{ЧИК}}$) кириш катталигига ($I_{\text{КИР}}$ ёки $U_{\text{КИР}}$) боғлиқлигини ифодалайди..

η ва K_G катталиклари кўп ҳолларда транзисторнинг сокинлик режими–кучайтириш синфи билан аниқланади. Шу сабабли қувват кучайтиригичларида қўлланиладиган кучайтиргич синфларини кўриб чиқамиз.

Узатиш характеристикасидаги ишчи нуқта (сокинлик нуқтаси) ҳолатига кўра *A, B, AB* ва бошқа кучайтириш синфлари мавжуд.

A режимда сокинлик режимида ишчи нуқта узатиш характеристикаси квазичизик соҳа ўртасида жойлашади (6.7 - расм).



6.7 - расм

Кириш сигналининг иккала ярим даври узатиш характеристикасининг квазичизик соҳасида жойлашганлиги сабабли ночизикли бузилишлар энг кичик ($K_\Gamma \leq 1\%$) бўлади. Расмдан кўриниб турибдики, агар $U_{\text{ЧИК.m}} = \frac{1}{2} E_M$; $I_{\text{ЧИК.m}} = I_{\text{ўРТ}}$ бўлса, у ҳолда (6.8)ни ўрнига қўйиб, қуйидагини оламиз

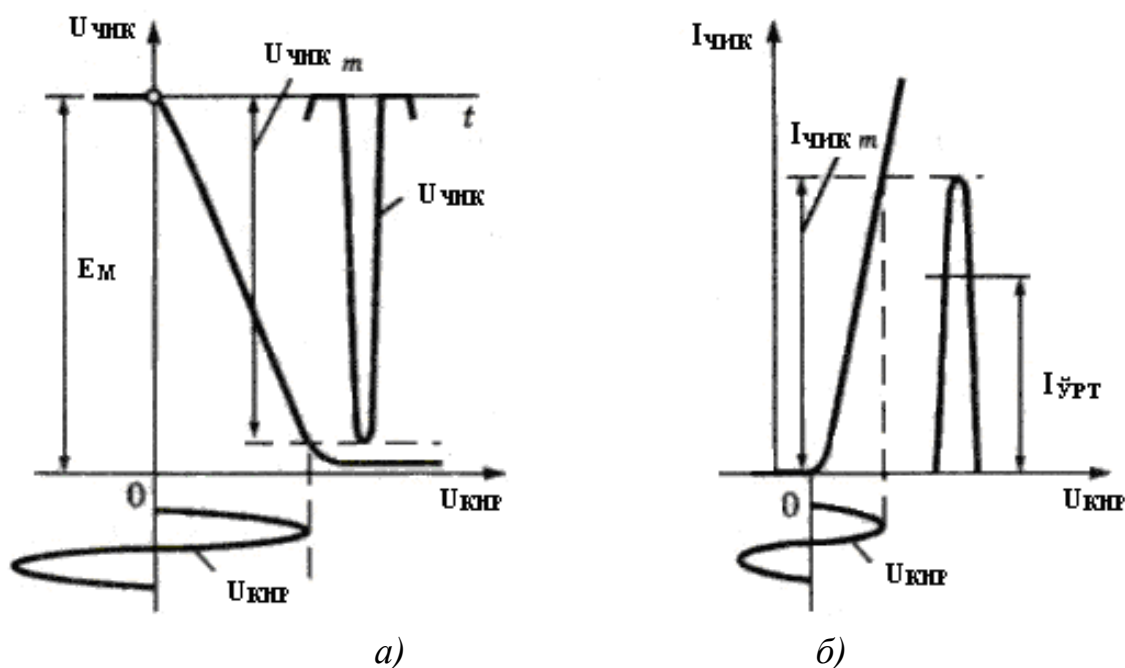
$$\eta = \frac{1}{4}, \text{ (яъни 25 \%)}.$$

B режимда сокинлик режимидаги ишчи нуқта транзисторнинг берк ҳолатига мос келувчи квазичизик соҳа чегарасида жойлашади. Транзистор фақат мусбат ярим давр мобайнида очик ҳолатда бўлади (6.8 – расм).

В режимда K_Γ 70 % атрофида бўлади. (7.1) ифодага E_M ва $I_{\text{ўРТ}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{ЧИК.m}}$ ларни қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз

$$\eta = \frac{\pi}{4} \text{ (яъни 78 \%)}.$$

В режимда ночизикли бузилишларни камайитириш мақсадида мусбат ярим даврни, иккинчиси – манфий ярим даврни кучайтирадиган, иккита кучайтиргичдан ташкил топган **икки тактли схема** қўлланилади.



6.8 – расм.

AB синфи *A* ва *B* синфлари оралиғидаги ҳолатни эгаллайди ва икки тактли қурилмаларда қўлланилади. Бу ерда сокинлик режимида бир транзистор берк бўлганда, иккинчиси очилиш арафасида бўлади, лекин бу ҳолат асосий ишчи ярим даврни кичик инерцияга эга бўлган ВАХ соҳасига олиб чиқишга имкон яратади. η коэффициент *A* синфига нисбатан юқори, $K_T \leq 3\%$ бўлади.

6.5. Эмиттер қайтаргич

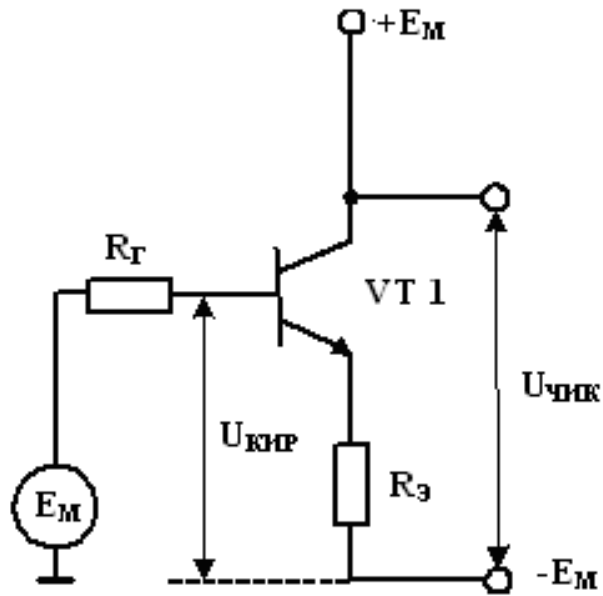
Кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти бирга яқин бўлган, кириш сигнал кутбини ўзгартирмайдиган ва катта кириш ва кичик чиқиш дифференциал қаршиликка эга бўлган кучайтиргичлар – **қайтаргич** деб аталади.

Эмиттер қайтаргич классик схемаси 6.9 – расмда келтирилган. Транзисторга ўзгармас кириш кучланиши берилганда (*A* режим), эмиттер занжирида $R_{\text{э}}$ резисторда кучланиш пасайишини юзага келтирувчи ўзгармас ток оқиб ўтади. Чиқиш кучланиш $U_{\text{чик}}$ шундай ўрнатиладики, база – эмиттер

кучланиши $U_{\text{бэ}} = \varphi_T \ln \frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{КС}}}$ га тенг бўлсин.

Уқир кириш сигнали $\Delta U_{\text{КНП}}$ катталиқка ортади (камаяди) ва эмиттер токини ортишига (камайишига) олиб келади. Натижада $U_{\text{чик}}$ чиқиш кучланиши $\Delta U_{\text{чик}} = \Delta I_{\text{э}} R_{\text{э}}$ қийматга ортади (камаяди). Бу вақтда чиқиш кучланиши кириш кучланиши каби ортади, кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти эса қуйидагига тенг бўлади

$$K_U = \frac{\Delta U_{\text{ЧИК}}}{\Delta U_{\text{КИР}}} \approx 1.$$



6.9 – расм.

Эмиттер қайтаргичнинг кириш қаршилиги УЭ схема ва ток бўйича МТА схемалари кириш қаршилигидан фарқ қилмайди ва қуйидагига тенг бўлади

$$r_{\text{КИР}} = (\beta + 1)R_{\text{Э}}.$$

Чиқиш қаршилиги $r_{\text{ЧИК}}$ ($R_{\text{Э}}$ орқали амалга оширилган) 100 % манфий тескари алоқа ҳисобига камаяди. Бу ҳолат шу сабабли содир бўладики, чиқиш кучланишининг ҳар бир кучайиши эмиттер токини оширади, демак база токи ҳам ортади. Унга эса $R_{\text{Г}}$ қаршилик кўрсатади. Лекин база занжиридаги ток эмиттер занжиридаги токка нисбатан $(\beta + 1)$ марта кичик бўлади, шу сабабли чиқиш қаршилиги

$$r_{\text{ЧИК}} = \frac{R_{\text{Г}}}{\beta + 1} // R_{\text{Э}}.$$

Эмиттер – база соҳа қаршилигини ҳам ҳисобга олсак, у ҳолда

$$r_{\text{ЧИК}} = \left(\frac{1}{S} + \frac{R_{\text{Г}}}{\beta + 1} \right) // R_{\text{Э}}.$$

Микроэлектроникада ФИК жуда кичик бўлганлиги сабабли A синфи қўлланилмайди. B ва AB синфига мансуб икки тактли кучайтиригичлар анча оммабоп ҳисобланади. Ва биз уларни ўрганишга ўтамиз.

Назорат саволлари

1. Кучайтиргич асосий характеристика ва параметрлари қандай ва уларнинг ўзига хос хусусиятлари нимада ?
2. Кучайтиргичларда тескари алоқа деб нимага айтилади ?
3. Кучайтиргич схемасига манфий тескари алоқа киритилиши билан кучайтириш коэффициенти қандай ўзгаради ва у ишнинг барқарорлигига қандай таъсир кўрсатади ?
4. Сизга қандай кучайтириш синфлари маълум ?
5. Нима сабабли А синфига мансуб кучайтиргичда фойдали иш коэффициенти жуда кичик ?
6. Нима сабабли В синфига мансуб кучайтиргич ишлаганда симметрик сигналнинг сезиларли шакл бузилишлари кузатилади ?
7. АВ синфи В синфидан нимаси билан фарқ қилади ва у қандай схемаларда қўлланилади ?
8. Кўп босқичли кучайтиргич нима ?
9. Кўп босқичли кучайтиргичларда чиқиш каскадлари нима учун хизмат қилади ?

7.1. Умумий маълумотлар

Интеграл микросхемалар электр асбобларнинг сифат даражасидаги янги тури бўлиб электрон курилмаларнинг асосий негиз элементи ҳисобланадилар.

Интеграл микросхема (ИМС) электр жиҳатдан ўзаро боғланган электр радиоматериаллар (транзисторлар, диодлар, резисторлар, конденсаторлар ва бошқалар) мажмуи бўлиб, ягона технологик циклда бажарилади, яъни бир ватқнинг ўзида ягона конструкция (асос)да маълум ахборотни қайта ишлаш функциясини бажаради.

ИМСларнинг асосий хоссаси шундаки, у мураккаб функцияларни бажариш билан бирга кучайтиргич, триггер, ҳисоблагич, хотира курилмаси ва бошқа функцияларни ҳам бажаради. Худди шу функцияларни бажариш учун дискрет элементларда мос келувчи схемани йиғиш талаб қилинади.

ИМСлар учун икки асосий белги мавжуд: **конструктив** ва **технологик**. Конструктив белгиси шундаки, ИМСнинг барча элементлари асосий асос ичида ёки сиртида жойлашади, электр жиҳатдан бирлаштирилган ва ягона қобикга жойлаштирилган бўлиб, ягона ҳисобланади. ИМС элементларининг ҳаммаси ёки бир қисми ва элементлараро боғланишлар ягона технологик циклда бажарилади. Шу сабабли интеграл микросхемалар юқори ишончлиликлка ва кичик таннархга эга.

Ҳозирги кунда ясаиш тури ва ҳосил бўладиган тузилмага кўра ИМСларнинг учта принципиал тури мавжуд: **ярим ўтказгичли, пардали** ва **гибрид**. Ҳар бир ИМС тури конструкцияси, микросхема таркибига кирадиган элемент ва компонентлар сонини ифодаловчи интеграция даражаси билан характерланади.

Элемент деб бирор электрорадиоэлемент (транзистор, диод, резистор, конденсатор ва бошқалар) функциясини амалга оширувчи ИМС қисмига айтилади ва у кристалл ёки асосдан ажралмаган конструкцияда ясалади.

ИМС компонентаси деб унинг дискрет элемент функциясини бажарадиган, лекин аввалига мустақил маҳсулот каби монтаж қилинадиган қисмига айтилади.

Асосий ИМС конструктив белгиларидан бири бўлиб **асос тури** ҳисобланади. Бу белгига кўра ИМСлар икки турга бўлинади: **ярим ўтказгичли** ва **диэлектрик**.

Асос сифатида ярим ўтказгичли материаллар орасида кремний ва галлий арсениди кенг қўлланилади. ИМСнинг барча элементлари ёки элементларнинг бир қисми ярим ўтказгичли монокристалл пластина кўринишида асос ичида жойлашади.

Диэлектрик асосли ИМСларда элементлар унинг сиртида жойлашади. Ярим ўтказгич асосли микросхемаларнинг асосий афзаллиги – элементларнинг жуда катта интеграция даражаси ҳисобланади, лекин унинг номинал параметрлари диапазони жуда чекланган бўлиб улар бир - биридан изоляцияланишни талаб қилади. Диэлектрик асосли микросхемаларнинг афзаллиги – элементларнинг жуда яхши изоляцияси, уларнинг хоссаларининг барқарорлиги, ҳамда элементлар тури ва электр параметрлари танловининг кенглиги.

7.2. Пардали ва гибрид микросхемалар

Пардали ИС – бу диэлектрик асос сиртига суртилган элементлари парда кўринишида бажарилган микросхема. Пардалар паст босимда турли материаллардан юпқа пардалар кўринишида чўкмалар ҳосил қилиш йўли билан олинади.

Парда ҳосил қилиш усули ва унга боғлиқ бўлган қалинлигига кўра **юпқа пардали ИС** (парда қалинлиги 1 – 2 мкмгача) ва **қалин пардали ИС** (парда қалинлиги 10 – 20 мкм гача ва катта) ларга бўлинади.

Ҳозирги кунда барқарор пардали диодлар ва транзисторлар мавжуд эмас, шу сабабли пардали ИСлар фақат пассив элементлар (резисторлар, конденсаторлар ва х.з.) дан ташкил топади.

Гибрид ИС (ёки ГИС) – бу пардали пассив элементлар билан дискрет актив элементлар комбинациясидан ташкил топган, ягона диэлектрик асосда жойлашган микросхема. Дискрет компонентларни осма элементлар деб аташади. Қобиксиз ёки микроминиатюр металл қобикли микросхемалар гибрид ИМСлар учун актив элементлар бўлиб ҳисобланадилар.

Гибрид интеграл микросхемаларнинг асосий афзаллиги: нисбатан қисқа ишлаб чиқиш вақтида аналог ва рақамли микросхемаларнинг кенг турларини яратиш имконияти; кенг номенткалутурага эга бўлган пассив элементлар ҳосил қилиш имконияти; МДЯ – асбоблар, диодли ва транзисторли матрицалар ва юқори яроқли микросхемалар чиқиши.

7.3. Ярим ўтазгичли ИМСлар

Транзисторнинг ишлатилиш турига кўра ярим ўтказгичли ИМСларни **биполяр** ва **МДЯ ИМС** ларга ажратиш қабул қилинган. Бундан ташқари, охириги вақтларда бошқарилувчи ўтишли майдоний транзисторлар ясалган ИМСлардан фойдаланиш катта аҳамият касб этмоқда. Бу синфга галлий арсенидида ясалган ИМСлар, затвори Шоттки диоди кўринишида бажарилган майдоний транзисторлар киради. Ҳозирги кунда бир вақтнинг

ўзида ҳам биполяр, ҳам майдоний транзисторлар қўлланилган ИМСлар яратиш тенденцияси белгиланмоқда.

Иккала синфга мансуб ярим ўтказгичли ИСлар технологияси ярим ўтказгич кристаллини галма – гал донор ва акцептор киритмалар билан легирлаш (киритиш)га асосланган. Натижада сирт остида турли ўтказувчанликка эга бўлган юпқа қатламлар, яъни $n-p-n$ ёки $p-n-p$ тузилмали транзисторлар ҳосил бўлади. Бир транзисторнинг ўлчамлари эниги бир неча микрометрларни ташкил этади. Алоҳида элементларнинг изоляцияси ёки $p-n$ ўтиш ёрдамида, ёки диэлектрик парда ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Транзисторли тузилма фақат транзисторларни эмас, балки бошқа элементлар (диодлар, резисторлар, конденсаторлар) ясашда ҳам қўлланилади.

Микроэлектроникада биполяр транзисторлардан ташқари кўп эмиттерли ва кўп коллекторли транзисторлар ҳам қўлланилади.

Кўп эмиттерли транзисторлар (КЭТ) умумий база қатлами билан бирлаштирилган бир коллектор ва бир неча (8-10 гача ва кўп) эмиттердан ташкил топган. Улар транзистор – транзисторли мантиқ (ТТМ) схемаларни яратишда қўлланилади.

Кўп коллекторли транзистор тузилмаси ҳам, КЭТ тузилмасига ўхшаш бўлади, лекин интеграл – инжекцион мантиқ (I^2M) деб аталувчи инжекцион манбали мантикий схемалар ясашда қўлланилади.

Диодлар. Диодлар битта $p-n$ ўтишга эга. Лекин биполяр транзисторли ИМСларда асосий тузилма сифатида транзистор танланган, шунинг учун диодлар транзисторнинг диод уланиши ёрдамида ҳосил қилинади. Бундай уланишларнинг бешта варианты мавжуд. Агар диод яшаш учун эмиттер – база ўтишдаги $p-n$ ўтиш қўлланилса, у ҳолда коллектор – база ўтишдаги $p-n$ ўтиш узик бўлиши керак.

Резисторлар. Биполяр транзисторли ИМСларда резистор ҳосил қилиш учун биполяр транзистор тузилмасининг бирор соҳаси: эмиттер, коллектор ёки база қўлланилади. Эмиттер соҳалари асосида кичик қаршиликка эга бўлган резисторлар ҳосил қилинади. База қатлами асосида бажарилган резисторларда анча катта қаршиликлар олинади.

Конденсаторлар. Биполяр транзисторли ИМСларда тескари йўналишда силжиган $p-n$ ўтишлар асосида ясалган конденсаторлар қўлланилади. Конденсаторларнинг шаклланиши ягона технологик циклда транзистор ва резисторлар тайёрлаш билан бир вақтнинг ўзида амалга оширилади. Демак уларни яшаш учун қўшимча технологик амаллар талаб қилинмайди.

МДЯ – транзисторлар. ИМСларда асосан затвори изоляцияланган ва канали индукцияланган МДЯ–транзисторлар қўлланилади. Транзистор каналлари p - ва n - турли бўлиши мумкин. МДЯ–транзисторлар фақат транзисторлар сифатида эмас, балки конденсаторлар ва резисторлар сифатида ҳам қўлланилади, яъни барча схема функциялари биргина МДЯ – тузилмаларда амалга оширилади. Агар диэлектрик сифатида SiO_2 қўлланилса, у ҳолда бу транзисторлар МОЯ–транзисторлар деб аталади.

МДЯ – тузилмаларни яратишда элементларни бир – биридан изоляция қилиш операцияси мавжуд эмас, чунки қўшни транзисторларнинг исток ва сток соҳалари бир–бирига йўналган томонда уланган p - n ўтишлар билан изоляцияланган. Шу сабабли МДЯ–транзисторлар бир–бирига жуда яқин жойлашиши мумкин, демак катта зичликни таъминлайди.

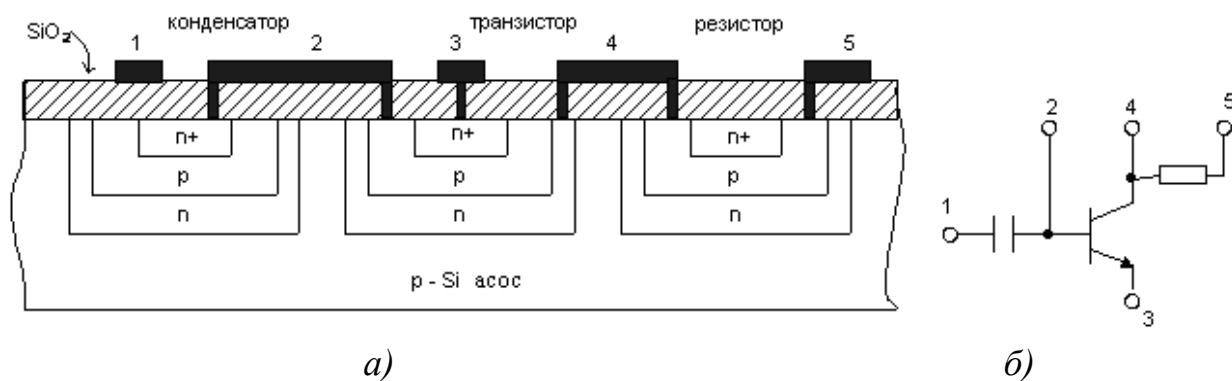
Биполяр ва МДЯ ИМСлар **планар** ёки **планар – эпитаксиал** технологияда ясалади.

Планар технологияда n - p - n транзистор тузилмасини яшашда p -турдаги ярим ўтказгичли пластинанинг алоҳида соҳаларига тешиклари мавжуд бўлган махсус маскалар орқали маҳаллий легирлаш амалга оширилади. Маска ролини пластина сиртини эгалловчи кремний икки оксиди SiO_2 ўйнайди. Бу пардада махсус усуллар (фотолитография) ёрдамида дарча деб аталувчи тешиklar шаклланади. Киритмалар ёки диффузия (юқори температурада уларнинг концентрация градиенти таъсирида киритма атомларини ярим ўтказгичли асосга киритиш), ёки ионли легирлаш ёрдамида амалга оширилади. Ионли легирлашда махсус манбалардан олинган киритма ионлари тезлашади ва электр майдонда фокусланадилар, асосга тушадилар ва ярим ўтказгичнинг сирт қатламига сингадилар.

Планар технологияда ясалган ярим ўтказгичли биполяр тузилмали ИМС намунаси ва унинг эквивалент электр схемаси 7.1 а, б - расмда келтирилган.

Диаметри 76 ммга ягона асосда бир варакайига усулда бир вақтнинг ўзида ҳар бири 10 тадан 2000 та элемент (транзисторлар, резисторлар, конденсаторлар)дан ташкил топган 5000 микросхема яратиш мумкин. Диаметри 120 мм бўлган пластинада ўнлаб миллионтагача элемент жойлаштириш мумкин.

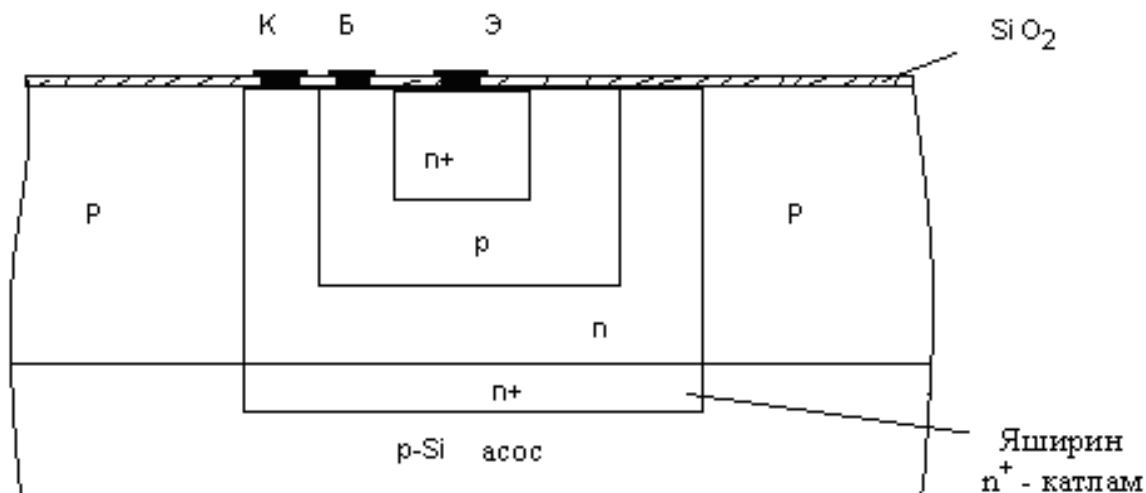
Замонавий ИМСлар қотишмали планар – эпитаксиал технологияда ясалади. Бу технология планар технологиядан шуниси билан фарқ қиладики, барча элементлар p -турдаги асосда ўстирилган n -турдаги кремний қатламида ҳосил қилинади. Эпитаксия деб кристалл тузилмаси асосниқидан бўлган қатлам ўстиришга айтилади.



7.1 – расм.

Планар – эпитаксиал технологияда ясалган транзисторлар анча тежамли, ҳамда планарлига нисбатан яхшиланган параметр ва характеристикаларга эга.

Бунинг учун асосга эпитаксиядан аввал n^+ - қатлам киритилади (7.2 - расм). Бу ҳолда транзистор орқали ток коллектордаги юқориомли резистордан эмас, балки кичикомли n^+ - қатлам орқали оқиб ўтади.



7.2 – расм.

Микросхема турли элементларини электр жиҳатдан бирлаштириш учун метллизациялаш қўлланилади. Металлизациялаш жараёнида олтин, кумуш, хром ёки алюминийдан юпқа металл пардалар ҳосил қилинади. Кремнийли ИМСларда метализациялаш учун алюминийдан кенг фойдаланилади.

Схемотехник белгиларига кўра микросхемалар икки синфга бўлинади.

ИМС бажараётган асосий вазифа – электр сигнали (ток ёки кучланиш) ни кўринишида берилаётган ахборотни қайта ишлаш ҳисобланади. Электр сигналлари узлуксиз (аналог) ёки дискрет (рақамли) шаклда ифодаланиши мумкин.

Шу сабабли, аналог сигналларни қайта ишлайдиган микросхемалар – **аналог интеграл микросхемалар** (АИС), рақамли сигналларни қайта ишлайдиганлари эса – **рақамли интеграл схемалар** (РИС) деб аталади.

Рақамли схемалар асосида содда транзисторли калит (вентиль) схемалар ётади. Калитлар иккита турғун ҳолатни эгаллаши мумкин: узилган ва уланган. Содда калитлар асосида анча мураккаб схемалар ясалади: мантикий, бибарқарор, триггерли (ишга тушурувчи), шифраторли, компораторлар ва бошқа, асосан ҳисоблаш техникасида қўлланиладиган. Улар рақамли шаклда ифодаланган ахборотни қабул қилиш, сақлаш, қайта ишлаш ва узатиш фукциясини бажарадилар.

Интеграл микросхемаларнинг **мураккаблик даражаси компонент интеграция даражаси** катталиги билан ифодаланади. Бу катталик рақамли ИМСлар учун кристаллда жойлашиши мумкин бўлган мантикий вентиллар сони билан белгиланади.

100 та дан кам вентилга эга бўлган ИМСлар кичик интеграция даражасига эга бўлган ИМСларга киради. Ўрта даражали ИСлар 10^2 , катта ИСлар $10^2 \div 10^5$, ўта катта ИСлар $10^5 \div 10^7$ ва ультра катта ИСлар 10^7 даражадан ортиқ вентиλλардан ташкил топади. Бундай синфланиш тизими аналог микросхемалар учун ҳам қабул қилинган.

Назорат саволлари

1. *Интеграл микросхема (ИМС) нима ?*
2. *ИМС асосий хусусияти нимада ?*
3. *ИМС элементи ва компонентаси деб нимага айтилади ?*
4. *Пардали, гибрид ва ярим ўтказгичли ИМСларнинг бир – биридан фарқи нимада?*
5. *Нима сабабли транзисторли тузилма турли ИМС элементлари ясаида асосий ҳисобланади ?*
6. *Интеграл микросхема элементларини изоляцияси қандай амалга оширилади ?*
7. *Планар ва планар – эпитаксиал технологияда ясалган транзисторлар бир – биридан нимаси билан фарқ қилади ?*
8. *Рақамли ва аналог ИМСларнинг мураккаблик даражаси (интеграция даражаси) қандай аниқланади ?*
9. *Аналог ИМСларда қандай сигналлар қайта ишланади ? Рақамлидачи?*

VIII БОБ. КУЧАЙТИРГИЧ ҚУРИЛМАЛАРИ СХЕМОТЕХНИКАСИ

8.1. Кучайтиргич параметрлари ва характеристикалари

Ўзгармас ток кучайтиргичлари, кенг полосали ва танлов кучайтиргичлари аналог микроэлектрон аппаратура негиз элементлари ҳисобланади.

Кучайтиргич деб кириш сигнали қувватини кучайтиришга мўлжаллаган қурилмага айтилади. Кучайтириш манбадан энергия истеъмол қилаётган транзисторлар ҳисобига амалга оширилади. Ихтиёрий кучайтиргичда кириш сигнали фақат манбадан энергияни юкламага узатишни бошқаради.

Кучайтиргич хоссаларини ифодалаш мақсадида кучланиш бўйича $K_U = \frac{U_{ЧИК}}{U_{КИР}}$, ток бўйича $K_I = \frac{I_{ЧИК}}{I_{КИР}}$ ёки қувват бўйича $K_P = \frac{P_{ЧИК}}{P_{КИР}}$ кучайтириш коэффициентлари қўлланилади. Кучайтиргичлар турли кучайтириш коэффициенти қийматларига эга бўлиши мумкин, лекин доим $K_P > 1$ бўлади.

Кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти децибелларда (дБ) $K_U = 20 \lg \frac{U_{ЧИК}}{U_{КИР}} = 20 \lg K_U$ га тенг. Агар кўп босқичли кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти децибелларда ифодаланса, у ҳолда кўп босқичли кучайтиргичнинг умумий кучайтириш босқич кучайтириш коэффициентлари йиғиндисига тенг бўлади.

$K_U, \text{дБ}$	0	1	2	3	10	20	40	60	80
K_U	1	1,12	1,26	1,41	3,16	10	10^2	10^3	10^4

Кучайтиргич ўзининг кириш $R_{КИР}$ ва чиқиш $R_{ЧИК}$ қаршиликлари билан, кириш сигнали манбаи – ЭЮК E_G эса ички қаршилик R_G билан характерланади.

Агар кучайтиргичда $R_{КИР} \gg R_G$ бўлса, кучайтиргич киришидаги сигнал манбаи E_G га яқин кучланиш юзага келтиради. Бундай режим потенциал кириш деб, кучайтиргичнинг ўзи эса **кучланиш кучайтиргичи** деб аталади.

Агар $R_{КИР} \ll R_{Г}$ бўлса, чиқиш кучланиши ва сигнал манбаи қуввати жуда кичик. Бундай режим ток кириши, кучайтиргичнинг ўзи эса **ток кучайтиргичи** деб аталади.

Қувват кучайтиргичида $R_{КИР} \approx R_{Г}$ бўлади, яъни кириш сигнали манбаи билан мувофиқлашган бўлади.

$R_{ЧИК}$ ва кучайтиргич юклама қаршилиги $R_{Ю}$ қийматлари нисбатларини кучланиш кучайтиргичи ($R_{ЧИК} \ll R_{Ю}$), ток кучайтиргичи ($R_{ЧИК} \gg R_{Ю}$) ва қувват кучайтиргичи ($R_{ЧИК} \approx R_{Ю}$) га ажратиш мумкин.

Бундан ташқари, ўзгармас ток кучайтиргичи параметри бўлиб ноль дрейфи ҳисобланади. Ноль дрейфи бу барқарорликни бузувчи таъсирлар (кучланиш манбаи қийматининг тебраниши, температура ва бошқалар) натижасида кучайтиргич элементлари иш режимларининг ўзгариши бўлиб, натижада кучайтиргич чиқишида сохта сигнал юзага келади.

Кучайтиргич одатда сигнални кучайтиришдан ташқари унинг шаклини ҳам ўзгартиради. Кириш ва чиқиш сигналлари шаклининг нормадан оғиши – **бузилишлар** деб аталади. Улар икки турда бўлиши мумкин: **ночизикли** ва **чизикли**.

Барча кучайтиргичлар вольт – ампер характеристикалари (ВАХ) **ночизикли** бўлган транзисторлардан ташкил топади. Биполяр транзистор ВАХ тўғри чизик эмас, балки экспонента шаклига эга. Шу сабабли, синусоидал шаклга эга бўлган кириш сигнали кучайтирилганда, чиқишдаги сигнал шакли қисман синусоидал кўринишга эга бўлади. Чиқиш сигнали спектрида кириш сигналида мавжуд бўлмаган бошқа частотага эга бўлган ташкил этувчилар (гармоникалар) пайдо бўлади. Бу турдаги бузилишлар **ночизикли** деб аталади.

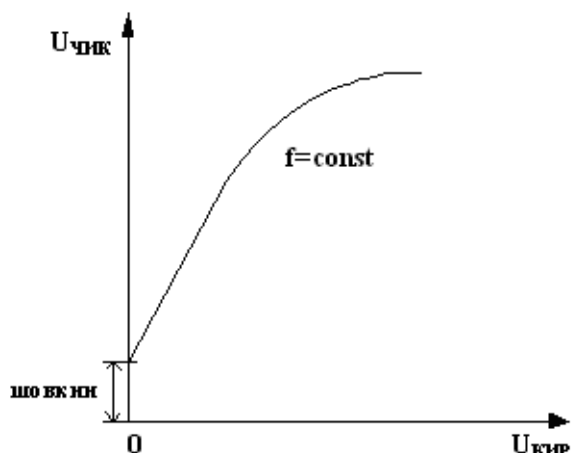
Агар кучайтиргич узатиш характеристикаси математик функция кўринишида ифодаланган бўлса, **ночизикли** бузилишларни аналитик усулда ҳисоблаш мумкин. Узатиш характеристикаси (8.1 - расм) деганда ўзгармас частотадаги чиқиш сигнали амплитудаси $U_{ЧИК}$ нинг кириш сигнали амплитудаси $U_{КИР}$ га боғлиқлиги тушунилади. **Ночизикли** бузилишлар коэффиценти кўп ҳолларда берилган узатиш характеристикасидан график усулда аниқланади.

Чизикли бузилишлар эса транзистор параметрларининг частотага боғлиқлигидан аниқланади. Кучайтиргичнинг частота хусусиятлари амплитуда-частота характеристикаси (АЧХ) дан аниқланади. АЧХ деганда кучайтириш коэффицентининг частотага боғлиқлиги тушунилади. Идеал АЧХ горизонтал чизик ҳисобланади. Реал АЧХ эса камаювчи соҳаларга эга бўлади. 8.2 – расмда нормаллаштирилган АЧХ $M(f) = \frac{K(f)}{K_0}$ келтирилган. Бу

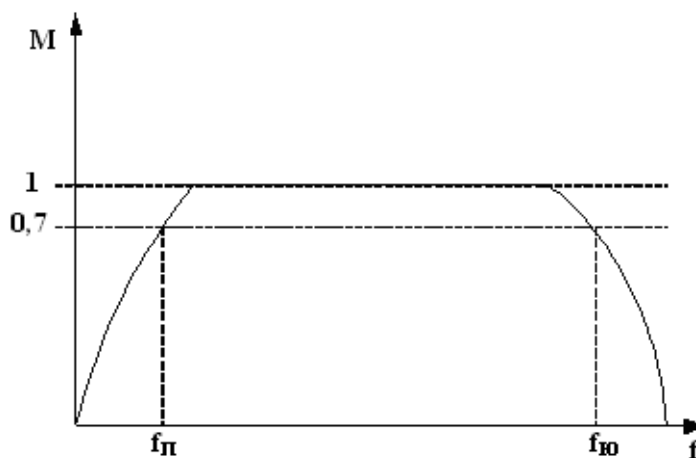
ерда K_0 – номинал кучайтириш коэффиценти, яъни кучайтириш коэффиценти ўзгармас бўлган частота соҳалари. Одатда частота

бузилишларининг рухсат этилган коэффициент катталиги 3 дБ дан ошмайди.

$\Delta f = f_{\text{Ю}} - f_{\text{П}}$ катталиги **кучайтиргичнинг ўтказиш полосаси** дейилади.



8.1 – расм.



8.2 – расм.

Ўзгармас ток кучайтиргичлари деб ток ва кучланишнинг нафақат ўзгарувчан, балки ўзгармас ташкил этувчиларини ҳам кучайтиришга мўлжалланган қурилмаларга айтилади. Бундай кучайтиргичларнинг паст частотаси нольга тенг ($f_{\text{П}}=0$), юқори частотаси эса жуда катта ($f_{\text{Ю}}$ - бир неча ўн МГц) бўлади. Ўзгармас ток кучайтиргичларининг турлари кўп (дифференциал, операцион кучайтиргичлар, сигнал ўзгартирувчи кучайтиргичлар ва бошқалар).

Интеграл кенг полосали кучайтиргичлар берилган паст частота $f_{\text{П}}$ дан юқори чегаравий частота $f_{\text{Ю}}$ гача бўлган кенг частота диапазонидаги сигналларни кучайтирадилар. Кенг полосали кучайтиргичларга қўйиладиган асосий талаб - кириш сигналини $f_{\text{П}}$ дан $f_{\text{Ю}}$ гача диапазонда берилган кучайтириш коэффициентида бир текис кучайтириш. Бу вақтда $f_{\text{П}}$ дан $f_{\text{Ю}}$ гача ораликдаги кучайтириш коэффициенти модули 3 дБ ($M(f)=0,7$) дан ошмаслиги керак. $f_{\text{Ю}}$ частота қиймати бир неча юз мегагерцгача етиши мумкин.

Танлов кучайтиргичлари (фильтрлар) деб берилаётган сигналлар мажмуидан маълум частота спектридаги синусоидал шаклга эга бўлганларини танлаб, уларни кучайтирадиган кучайтиргичларга айтилади. Танлов кучайтиргичлари махсус шаклдаги АЧХ га эгадирлар.

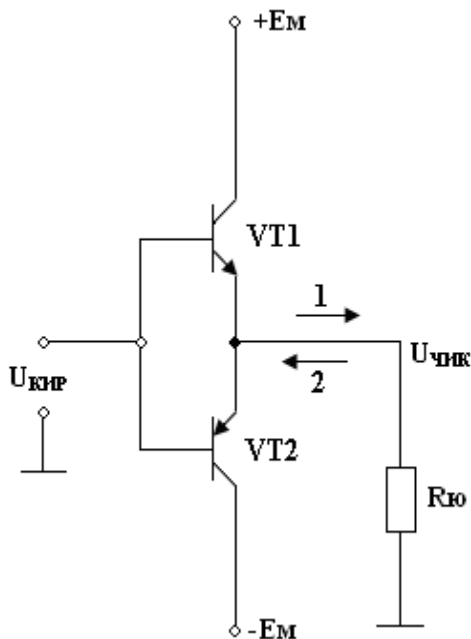
Сигнални кучайтириш амалга ошириладиган частоталар оралиги, **ўтказиш полосаси** деб аталади. Сигналлар сўндириладиган частота полосаси **чегараловчи частота** деб аталади. Ўтказиш ва чегараловчи частоталарнинг ўзаро жойлашишига кўра қуйидаги танлов кучайтиргичлари турлари мавжуд: паст частота, юқори частота, полосали ўтказувчи, полосали чегараловчи.

Фильтрлар RC занжирлар ва актив элементлар асосида амалга оширилади. Шунинг учун улар **актив фильтрлар** деб аталади.

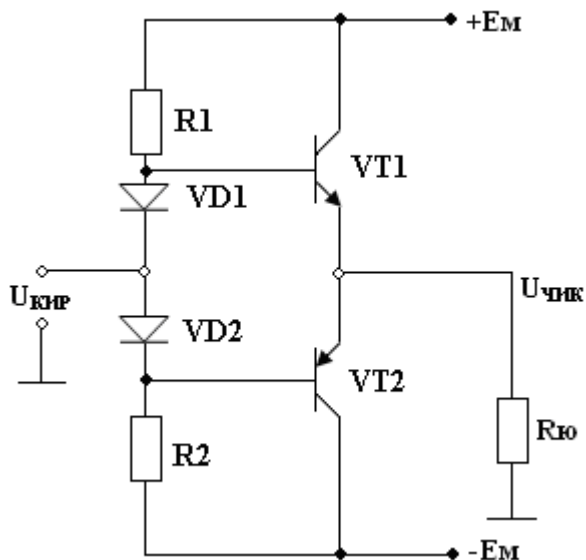
8.2. Комплементар эмиттер қайтаргич

8.3 – расмда комплементар транзисторларда: VT1 – транзистор $n-p-n$ турли ва VT2 – транзистор $p-n-p$ турли бажарилган B синфига мансуб содда икки тактли чиқиш босқичи схемаси келтирилган. Юклама транзисторларнинг эмиттер занжирига уланади, демак улар кучланиш қайтаргичлари режимида ишлайдилар. Қувват кучайиши ток кучайиши билан амалга оширилади. Икки кутбли кучланиш манбалари ($+E_M$ ва $-E_M$) қўлланилганига алоҳида эътибор қаратамиз. Шу сабабли сокинлик режимида иккала транзистор берк ҳолатда бўлади, чунки эмиттер ўтишлардаги кучланиш нольга тенг бўлади. Натижада, сокинлик режимида схема энергия истеъмол қилмайди.

Киришга $U_{КНР}$ сигналнинг мусбат ярим даври берилса VT1 очилади ва $R_{Ю}$ юклама орқали 1 стрелка йўналишида ток оқиб ўтади. Манфий ярим давр мобайнида $p-n-p$ турли транзистор очилади ва ток 2 стрелка йўналишида оқиб ўтади. Қувват кучайтириш коэффиценти тахминан эмиттер ва база токлари нисбатига тенг бўлади, яъни $(\beta + 1)$.



8.3 – расм.



8.4 – расм.

Лекин, B турли кучайтиргич бўла туриб, схема катта нозизиқли бузилишлар коэффиценти эга ($K_I > 10\%$). Бу камчиликни бартараф этиш мақсадида кучайтиргич мураккаблаштирилади. $R1$ ва $R2$ резисторлар, ҳамда $VD1$ ва $VD2$ диодлар ёрдамида транзистор базаларига индивидуал силжиш киритилади (8.4 - расм). Натижада дастлабки ишчи нукта иккала транзистор

озгина очик ҳолатдаги (AB режим) соҳада жойлашади, лекин улардан A турли кучайтиргичлардагига нисбатан анча кичик ток оқиб ўтади.

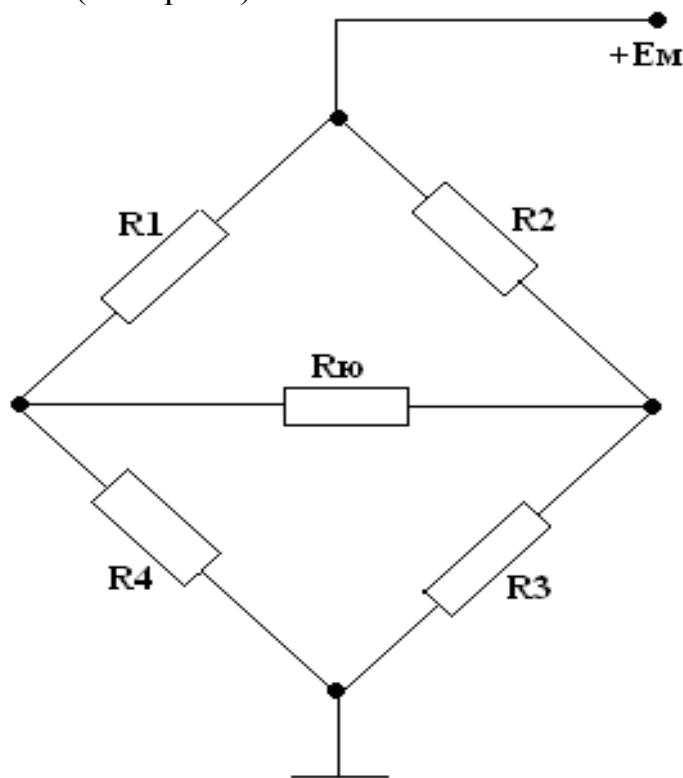
8.3. Баланс схемалари асосидаги кучайтиргичлар

Якка кучайтиргич босқичларини манфий тескари занжири орқали босқичлаш йўли билан кенг полосали кучайтиргичларни интеграл усулда ясашда яхшилаш мумкин.

Бир вақтнинг ўзида баланс схемалар асосида қурилган кучайтиргичларда характеристикалар сезиларли яхшиланиши кузатилади.

Бу турдаги кучайтиргичларда кириш босқичи сифатида баланс турли содда схемалар – дифференциал кучайтиргичлар (параллел – балансли ёки фаркли). Улар ишининг юкори барқарорлиги ва кичик ноль дрейфи билан ажралиб туради.

Баланс схема ишлаш принципини тўрт елкали кўприк схема мисолида тушунтириш мумкин (8.5 - расм).



8.5 - расм

Агар кўприк баланс шarti бажарилса, яъни $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$, у ҳолда юклама қаршилиги $R_{ю}$ да ток ва мос равишда кучланиш нольга тенг бўлади. Кучланиш манбаи қиймати ва кўприк елкасидаги резисторлар қаршилик қийматлари ўзгарса ҳам баланс бузилмайди, фақат резистор қаршиликлари нисбати ўзгаришсиз қолсагина.

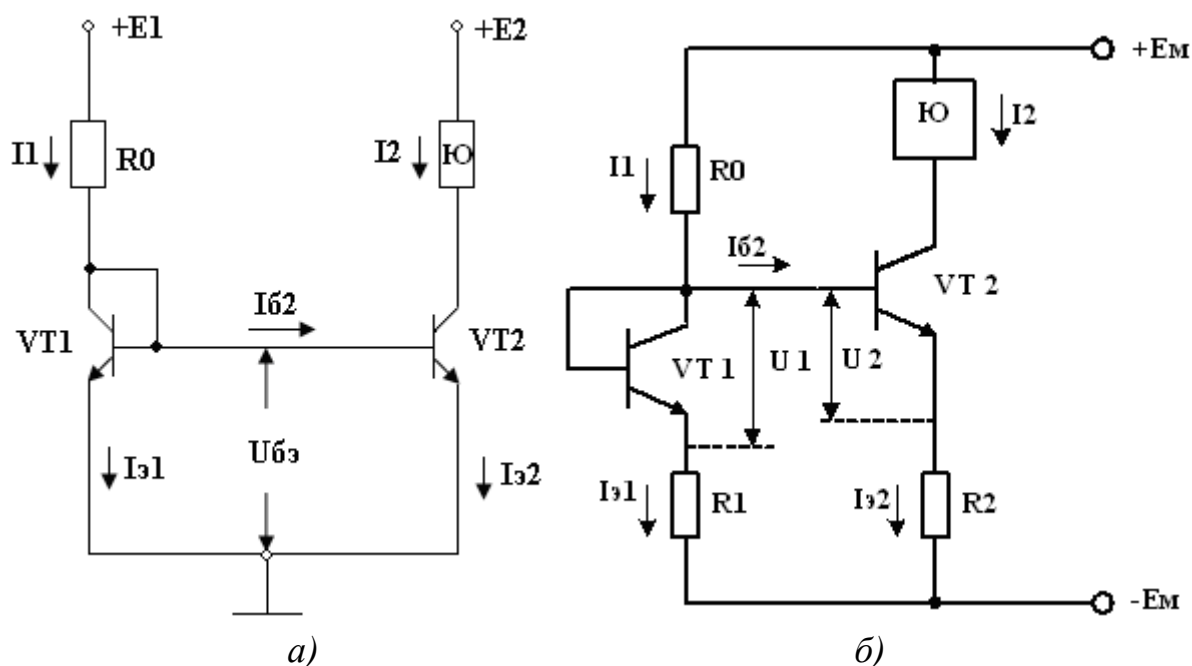
Битта транзисторда бажарилган кучайтиргич босқичларида коллектор (эмиттер) юкламаларида сигналга боғлиқ бўлмаган кучланиш ажралади. Бу кучланиш манба қиймати ўзгарса, қизиш натижасида транзистор токлари қийматлари ўзгарса ва бошқа таъсирлар натижасида ўзгаради ва бу билан кучайтириш қурилмаси параметрларини барқарорлигини пасайтиради.

Элементар кучайтириш босқичларига нисбатан дифференциал кучайтиргич динамик характеристикаларини барқарор ток генератори ҳисобига унинг иш режимини барқарорлаш ёрдамида амалга ошириш ҳам мумкин.

8.4. Барқарор ток генератори

Барқарор ток генератори ёки манбаи (БТГ) катта номиналга эга бўлган резисторнинг электрон эквиваленти ҳисобланади. БТГ қаршилиги $R_{Ю}$ юкламага кетма – кет уланган максимал бўлиши мумкин бўлган қаршиликдан анча катта бўлиши керак. Бу вақтда БТГ юкламадан катталиги унинг қаршилиги ва бошқа таъсирларга боғлиқ бўлмаган ток оқиб ўтишини таъминлайди. Маълумки, қаршилиги бирлик МОм га тенг бўлган резисторларни интеграл схема кўринишида яшаш мумкин эмас.

8.6 а - расмда БТГ принципиал схемаси келтирилган.



8.6 – расм.

Бу ерда $Ю$ элементи нозизиқли юклама, $E1$ – барқарорланган кучланиш манбаини билдиради. Резистор $R0$, ҳамда диод уланиш схемасидаги VT1 транзистор VT2 транзистор сокинлик режимини таъминлаш ва барқарорлаш учун ҳизмат қилади.

VT2 учун ишчи нукта унинг чиқиш характеристикасининг **пологой** қисмида жойлашади (УБ схемадаги БТ чиқиш характеристикаси расмига

қаранг). УБ уланиш схемасида транзистор жуда катта чиқиш дифференциал қаршилигига эга бўлади (бирлик МОм гача). Уланиш схемасига кўра иккала транзисторнинг ҳам база – эмиттер кучланишлари $U_{БЭ}$ бир хил бўлади. $I_{Б2}$ токи $I_{Э2}$ токидан юз мартага кичик. Шу сабабли, бу токни ҳисобга олмасак, $I_{Э1}$ $I_{Э2}$ га тенг бўлади, демак $I_2 = I_1$. Натижада I_2 чиқиш токи I_1 токни акс эттиради. I_2 токи деярли VT2 транзистор коллектор ўтишидаги кучланишга боғлиқ бўлмаганлиги сабабли, $E2$ кучланиш ёки юкламадаги қаршилик қийматлари ўзгарса ҳам бу ток қиймати деярли ўзгармас қолади.

Кириш токи I_1 ни ўзгартириб, чиқиш токи I_2 ни бошқариш мумкин. Бунинг учун транзисторларнинг эмиттер занжирларига $R1$ ва $R2$ резисторлар уланади. Бундай қурилма **актив ток трансформатори** деб аталади (8.6 б - расм). 8.6 б – расмдан қуйидаги тенгсизлик келиб чиқади:

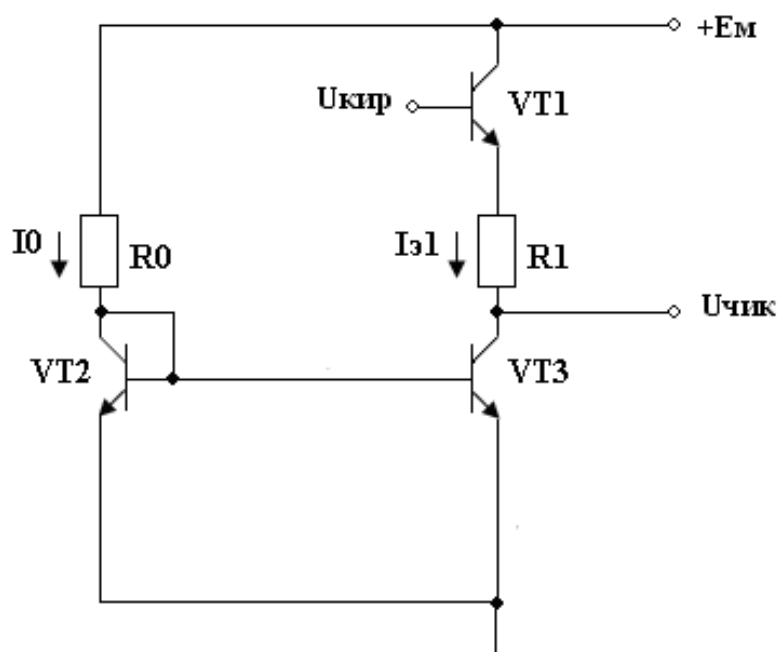
$$U_1 + I_{Э1}R1 = U_2 + I_{Э2}R2$$

Агар $R1$ ва $R2$ қаршиликлар номиналлари билан фарқ қилсалар, у ҳолда I_2 ток I_1 токни ёки “катталашган” ёки “кичрайган” масштабда “акс эттириши” мумкин.

8.5. Ўзгармас кучланиш сатҳини силжитиш қурилмаси

Интеграл кучайтиргичлар бевосита боғланган босқич схемалари кўринишида қуриладилар. Бу вақтда босқичдан босқичга ўтганда сигнал доимий ташкил этувчисининг ўзгариши кузатилади. Бу ҳолат эса кейинги босқичларни ишлаб чиқаришда қийинчиликлар туғдиради. Бу камчиликни бартараф этиш мақсадида ўзгармас кучланиш сатҳини силжитиш қурилмалари қўлланилади. Улар сатҳ трансформаторлари деб ҳам аталадилар. Бу вақтда сатҳ силжитиш қурилмаси сигнал ўзгармас ташкил этувчисини кейинги босқичга ўзгаришларсиз узатиши керак, яъни кучланиш бўйича кучайтириш коэффиценти $K_U \approx 1$ бўлиши керак.

Операцион кучайтиргичларда $U_{ЧИК}$ сатҳини силжитиш VT1 транзисторда бажарилган эмиттер қайтаргич асосида амалга оширилади. Унинг эмиттер занжирига $R1$ резистор ва VT2 ҳамда VT3 транзисторларда бажарилган барқарор ток генераторлари уланади (8.7 - расм). Сигнал мавжуд бўлмаганда $U_{КИР}$ кириш потенциали олдинги босқич чиқиш кучланишининг ўзгармас ташкил этувчиси қийматига тенг бўлади. $U_{ЧИК}$ чиқиш потенциали силжитиш схемаси ҳисобига $\Delta U = U_{БЭ1} + I_{Э1}R1$ катталиikka камаяди. $I_{Э1}$ ток барқарор бўлганлиги сабабли ΔU силжиш кучланиши ҳам ўзгармас бўлади. Ихтиёрий $U_{КИР}$ қийматида $U_{ЧИК}$ чиқиш потенциали $\frac{R1}{R0}$ нисбатларни тўғри танлаш натижасида нольга тенг қилиниши мумкин. БТГ динамик чиқиш қаршилиги $R1$ дан анча катта бўлганлиги сабабли, силжиш схемасида сигнал деярли сўнмайди.

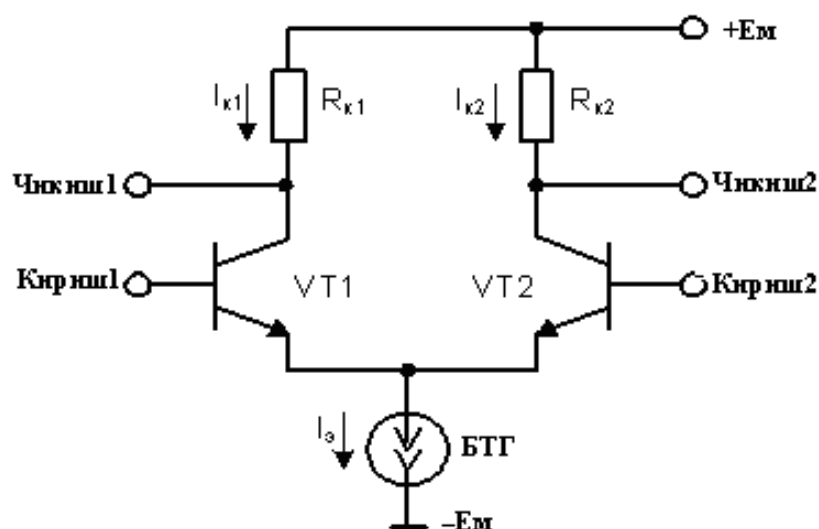


8.7 – расм.

8.6. Дифференциал кучайтиргичлар

Дифференциал кучайтиргич (ДК) деб икки киришга эга бўлган кучайтиргичга айтилади. Унинг чиқишидаги сигнал кириш сигналлари фарқига пропорционал бўлади.

8.8 – расмда содда симметрик ДК схемаси келтирилган. Кучайтиргич иккита симметрик елкага эга бўлиб, биринчи елка VT1 транзистор ва R_{K1} резистордан, иккинчи елка эса VT2 транзистор ва R_{K2} резистордан ташкил топган. Схеманинг дастлабки иш режими I_3 токи ёрдамида таъминланади. Бу токнинг барқарорлиги эса барқарор ток генератори (БТГ) томонидан таъминланади.



8.8 – расм.

Мазкур схема 8.5 – расмдаги схемага айнан ўхшашлигини кузатиш мумкин. Бунинг учун $R2$ ва $R3$ резисторларни $VT1$ ва $VT2$ транзисторлар билан алмаштириш ва $R1 = R_{K1}$, $R4 = R_{K2}$ деб ҳисоблаш керак. Агар R_{K1} ва R_{K2} қаршиликлар бир – бирига тенг бўлса ва $VT1$ транзистор параметрлари $VT2$ ники билан бир хил бўлса, у ҳолда бу схема симметрик бўлади.

Амалиётда тўртта уланиш схемалардан ихтиёрий биридан фойдаланиш мумкин: симметрик кириш ва чиқиш, симметрик кириш ва носимметрик чиқиш, носимметрик кириш ва симметрик чиқиш, носимметрик кириш ва чиқиш. Симметрик киришда кириш сигнали манбаи ДК киришлари орасига (транзисторларнинг базалари орасига) уланади. Симметрик чиқишда юклама қаршилиги ДК чиқишлари оралиғига (транзисторларнинг коллекторлари орасига) уланади.

Шуни таъкидлаш керакки, ДК кучланишлари қиймати (модули бўйича) бир – бирига тенг бўлган иккита манбадан таъминланади. Икки қутбли манбадан таъминланиш сокинлик режимида умумий шинагача транзистор база потенциалларини камайитиришга имкон беради. Бу ҳолат ДК киришларига сигналларни қўшимча сатҳ силжитиш қурилмаларини киритмасдан узатишга имкон яратади.

Иккала елка идеал симметриклигида кириш сигналлари мавжуд бўлмаганда ($U_{KIP1}=0$, $U_{KIP2}=0$) коллектор токлари ва транзисторларнинг коллектор потенциаллари бир хил бўладилар, чиқиш кучланиши эса $U_{ЧИК1,2}=0$. Схема симметрик бўлганлиги сабабли, транзистор характеристикасининг сабабларга боғлиқ бўлмаган равишда ихтиёрий ўзгариши, иккала елка тоқларининг бир хил ўзгаришига олиб келади. Шу сабабли схема баланси бузилмайди ва **чиқиш кучланиши дрейфи** деярли нольга тенг бўлади.

ДК иккала киришига фазаси ва амплитудалари бир хил бўлган сигнал (синфаз сигнал) берилса $U_{KIP1}=U_{KIP2}$, елкаларнинг симметриклиги ва БТГнинг мавжудлиги туфайли коллектор токлари ўзгармайди ва улар ўзгаришсиз ва бир - бирига тенглигича қолади.

$$I_{K1} = I_{K2} = 0,5\alpha I_{\mathcal{O}}$$

бу ерда α - эмиттер тоқининг узатиш коэффиценти.

Демак, коллектор потенциаллари тенглигича қолади, чиқиш кучланиши эса $U_{ЧИК} = U_{K1} - U_{K2} = 0$. Бу деганики, идеал ДК синфаз кириш сигналларига сезирсиз.

Агар кириш сигналлари амплитудаси бўйича бир хил, лекин фазалари қарама – қарши бўлса, у ҳолда улар **дифференциал** деб аталади. Дифференциал сигнал таъсири натижасида бир елкадаги ток иккинчи елкадаги ток камайиши ҳисобига ортади $\Delta I_{\mathcal{O}1} = -\Delta I_{\mathcal{O}2}$, чунки тоқлар йиғиндиси доим $I_{\mathcal{O}} (I_{\mathcal{O}1} + I_{\mathcal{O}2} = I_{\mathcal{O}})$. Бир транзистор коллектори потенциали камаяди, иккинчисиники эса худди шу қийматга камаяди. ДК

чиқишида потенциаллар фарқи ҳосил бўлади, демак, чиқиш кучланиши $U_{чик1,2} = U_{чик1} - U_{чик2}$.

Умумий эмиттер уланиш схемасида ишлайдиган кучайтиргич таҳлили натижаларидан фойдаланган ҳолда, дифференциал сигнал (симметрик кириш ва чиқишга эга бўлган) нинг кучайтириш коэффиценти қийматини оламиз

$$K_U = -S(R_K // r_{KЭ})$$

Идеал ДКларда синфаз сигналларни сўндириш натижасида ноль дрейфи мавжуд бўлмайди. Турли температура ўзгаришлари, шовқинлар ва **наводкалар** синфаз сигнал бўлиши мумкин. Реал ДКларда елкаларнинг абсолют симметриясига эришиш мукин эмас, шунинг учун ноль дрейфи мавжуд бўлиб, у жуда кичик қийматга эга бўлади. Дифференциал киришда, яъни кириш симметрик бўлганда, ДК кириш қаршилиги схеманинг чап ва ўнг елкалари кириш қаршиликлари йиғиндисига $R_{КИР1} + R_{КИР2}$ тенг бўлади, чунки бу қаршиликлар сигнал манбаига нисбатан кетма – кет уланади. Шундай қилиб, $R_{КИР12} = R_{КИР1} + R_{КИР2} = 2r_{КИР}$, бу ерда $r_{КИР}$ – УЭ схемасида уланган транзисторнинг кириш қаршилиги. $r_{КИР}$ катталиги транзисторнинг сокинлик токи I_b га боғлиқ бўлади. Шунинг учун кириш сигналини ошириш учун кучайтиргични кичик тоқлар режимида ишлатиш керак.

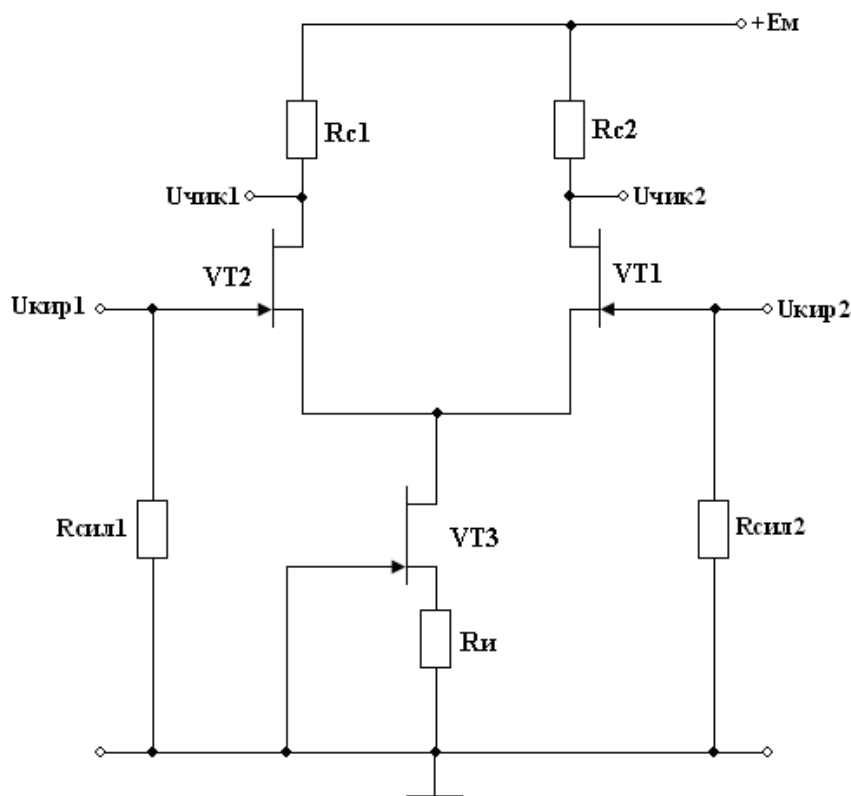
Дифференциал кучайтиргичнинг кучайтириш коэффиценти кириш сигналлар генераторининг уланиш ва чиқиш сигналининг ўлчаниш усулига боғлиқ.

ДК кучайтириш коэффиценти симметрик киришда ҳам, носимметрик киришда ҳам бир хил бўлади.

Носимметрик чиқишда юклама қаршилиги бир учи билан бир транзистор коллекторига, иккинчи учи билан эса – умумий шинага уланади. Бу вақтда K_U симметрик чиқишдагига нисбатан 2 мартага кичик бўлади.

Юклама қаршилиги иккинчи чиқиш ва умумий шина оралиғига уланган бўлсин. Агар кириш сигнали 1 киришга узатилса, у ҳолда чиқиш сигнали фазаси кириш сигнали фазасига мос келади. Бу вақтда 1 киришга “инверсламайдиган” кириш номи берилади. Агар кириш сигнали 2 киришга узатилса, у ҳолда чиқиш ва кириш сигналлари фазаси бир – бирига қарама – қарши бўлади ва 2 кириш “инверслайдиган” кириш деб аталди.

Кичик кириш тоқларига эга бўлган майдоний транзисторлар қўллаш натижасида дифференциал кучайтиргич кириш қаршилигини сезиларли ошириш мумкин. Бу вақтда $p-n$ билан бошқариладиган майдоний транзисторларга катта эътибор қаратилади. $p-n$ билан бошқариладиган, канали n –турли майдоний транзисторларда бажарилган ДК схемаси 8.9 – расмда келтирилган. Барқарор ток генератори VT3 ва R_{II} да бажарилган. $R_{СИЛ1}$ и $R_{СИЛ2}$ резисторлари VT1 ва VT2 транзистор затворларига бошланғич силжишни бериш учун мўлжалланган.

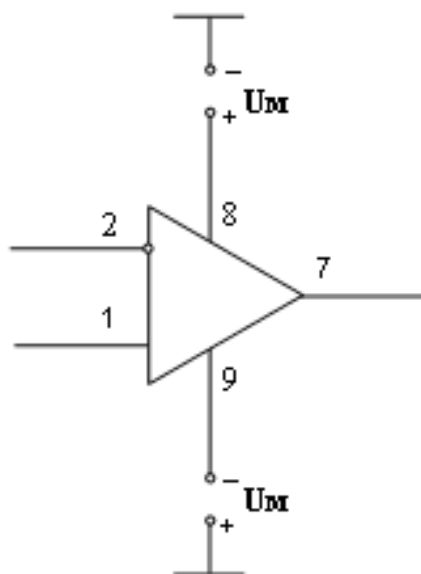


8.9 – расм.

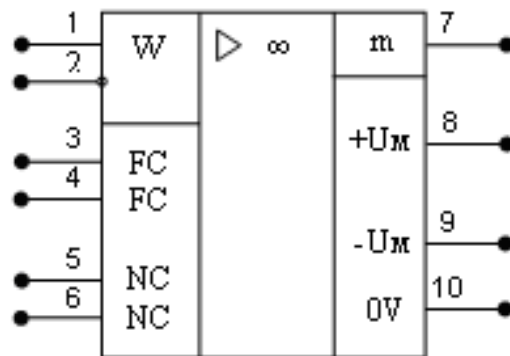
8.7. Операцион кучайтиргичлар

Умумий маълумотлар. Операцион кучайтиргич (ОК) – бу кучланиш бўйича юқори кучайтириш коэффициенти ($10^4 \div 10^6$), юқори кириш ($10^4 \div 10^7$ Ом) ва кичик чиқиш ($0,1 \div 1$ кОм) қаршиликларига эга бўлган ўзгармас ток кучайтиргичи. ОК иккита кириш ва битта чиқишга эга. Чиқиш ва киришдаги сигналларнинг кутбига кўра киришларнинг бири **инверслайдиган** (“-” ишораси билан белгиланади), иккинчиси – **инверсламайдиган** (“+” ишораси билан белгиланади) деб аталади.

ОКнинг шартли белгиси 8.10 а, б - расмда келтирилган. Манба қийматлари бир – бирига тенг, лекин умумий шинага нисбатан ишоралари тескари бўлган иккита манбадан таъминланади. Бу билан кириш сигнали мавжуд бўлмаганда чиқишда ноль потенциал таъминланади ва чиқишда ҳам мусбат, ҳам манфий сигнал олиш имконияти юзага келади. Реал ОКларда кучланиш манбаи қиймати $\pm 3 \text{ В} \div \pm 18 \text{ В}$ оралиғида ётади. Сигнал умумий шинага уланган симметрик сигнал манбаидан 1 ва 2 киришларга, ёки иккита алоҳида манбалардан узатилиши мумкин. Бу киришлардан бири инверслайдиган кириш ва умумий шинага, иккинчиси эса – инверсламайдиган кириш ва умумий шинага уланади.



а)



б)

8.10 – расм.

ОК доим тескари алоқа занжирлари билан қамраб олинадиган бўлади. Тескари алоқа занжири турига кўра ОК аналог сигналлар устидан турли амалларни (операцияларни) бажариши мумкин. Бундай амалларга йиғинди олиш, интеграллаш, дифференциаллаш, солиштириш, логарифмлаш ва бошқалар киради. Шунинг учун бундай кучайтиргичлар – **операцион** деб аталади.

ОК идеал кучайтиргич элемент ҳисобланади ва бутун аналог электрониканинг асосини ташкил этади. ОК етарлича мураккаб тузилмага эга бўлиб, ягона кристалл юзасида бажарилади ва бирваракайига кўп микдорда ишлаб чиқарилади. Шунинг учун ОКни диод, транзистор ва х.з. каби электрон схемаларнинг содда элементи каби қараш мумкин. Ҳозирги кунда ОКларнинг юзлаб тури ишлаб чиқарилади, кичик ўлчамга эга ва жуда арзон ҳисобланади.

Катта кучайтириш олиш учун ОКлар икки ёки уч босқичли ўзгармас ток кучайтиргичлари асосида қурилади.

8.11 – расмда уч босқичли ОК тузилмаси келтирилган.



8.11 – расм.

ОКларда кириш босқичи сифатида дифференциал кучайтиригич қўлланилади, бу кучайтириш дрейфини максимал камайтиришга ва анча юқори кучайтириш олишга имкон яратади. У билан кучайтиргичнинг юқори кириш қаршилиги, синфаз сигналларга сезгирлик ва силжиш кучланиши аниқланади. Оралиқ (мувофиқлаштирувчи) босқичлар керакли кучайтиришни таъминлайдилар ва дифференциал кучайтиргич чиқишидаги кучланиш силжишини нольга яқин қийматгача камайтиради. Оралиқ босқичларда дифференциал кучайтиргичлар каби, бир босқичли кучайтиргичлар ҳам қўлланилади. Чиқиш босқичлари ОКнинг кичик чиқиш қаршилиги ва катта чиқиш қуватини таъминлаши керак. Чиқиш босқичлари сифатида одатда АВ режимда ишлайдиган комплементар эмиттер қайтаргич қўлланилади (8.4 - расмга қаранг).

Биринчи авлод операцион кучайтиргичлари, масалан К140УД1, уч босқичли тузилмаси схема асосида $n-p-n$ транзисторларда бажарилган. Биринчи кучайтириш босқичи классик дифференциал кучайтиргичда бажарилган (ДК расмига қаранг). Иккинчи босқич ҳам дифференциал кучайтиргичда бажарилган бўлиб, бу босқичда БТГ қўлланилмайди. Чиқиш босқичи A режимида ишлайди, яъни эмиттер қайтаргич вазифасини бажаради. Мазкур операцион кучайтиргичларнинг камчилиги бўлиб унча катта бўлмаган кучайтириш коэффиценти ($K_{У0}=300\div4000$) ва кичик кириш қаршилиги ($R_{КИР}\approx4$ кОм) ҳисобланади.

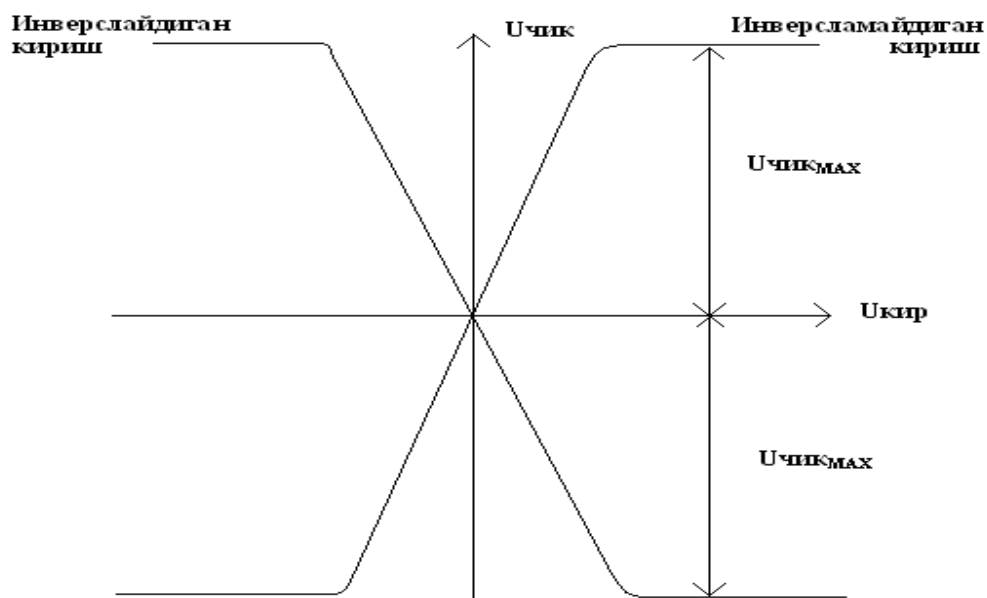
Айтиб ўтилган камчиликлар **икки босқичли** схемада ясалган иккинчи авлод ОКларда бартараф этилган. Характеристикаларни яхшилаш **таркибий транзисторлар**, юқори омли резисторлар қўллаш ва дифференциал босқич юклама резисторларини динамик юкламаларга алмаштириш ҳисобига амалга оширилган. Бир қатор иккинчи авлод ОКлари майдоний транзисторларда бажарилган, бунинг натижасида кириш қаршилиги янада оширилган.

140УД7 турдаги кучайтиргич кенг тарқалган икки босқичли ОК ҳисобланади. Бу ОК кучайтириш коэффиценти $K_{У0}=45000$, кириш қаршилиги эса $R_{КИР}=400$ кОм.

Маълумотномаларда $K_{У0}$, $R_{КИР}$ и $R_{ЧИҚ}$ қийматлари МТАсиз ОК лар учун келтирилади. ОК чиқиш босқичини яна максимал чиқиш токи (тез ишлайдиган кенг полосали ОКлар учун $I_{ЧИҚ,max} \leq 20$ мА ва қуввати катта ОКлар учун $I_{ЧИҚ,max} \leq 500$ мА) ва юкламанинг минимал қаршилиги ($R_{Ю.min} \geq 1$ кОм) параметрлари ҳам келтирилади.

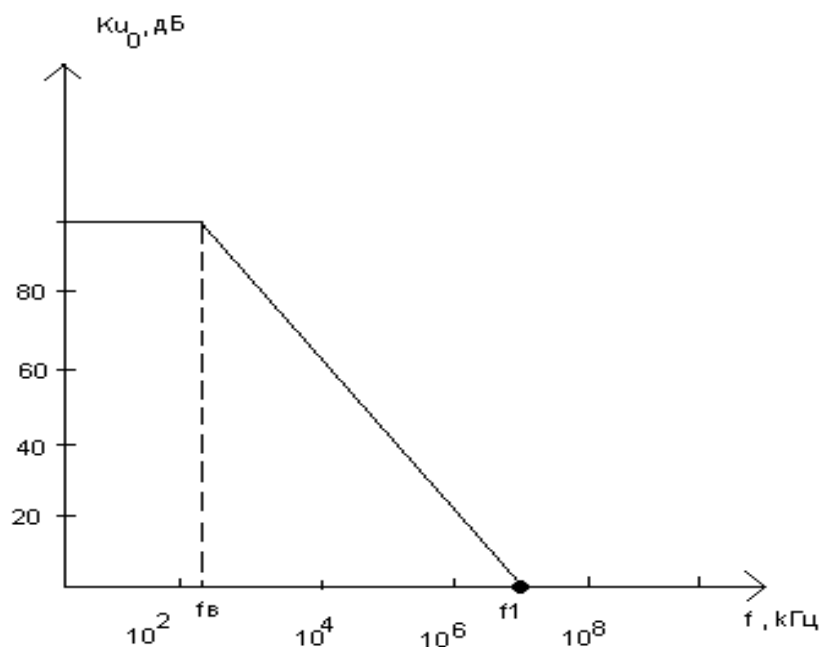
ОКнинг асосий характеристикалари бўлиб унинг амплитуда (узатиш) характеристикалари ҳисобланади. Улар 8.12 – расмда келтирилган. Характеристиканинг қия (чизиқли) соҳаси ишчи соҳа ҳисобланади, унинг оғиш бурчаги $K_{У0}$ қиймати билан аниқланади. $U_{ЧИҚ,max}$ - максимал чиқиш кучланиши бўлиб, манба кучланиши E қийматидан озгина кичик бўлади.

ОКнинг частота хоссалари унинг АЧХсида акс эттирилади. Бу характеристикани куришда $K_{У0}$ дБларда ифодаланади, частота эса логарифм масштабида горизонтал ўқ бўйлаб ўрнатилади.



8.12 – расм.

ОКнинг бундай АЧХси логарифмик амплитуда – частота характеристикаси (ЛАЧХ) деб аталади. 8.13 – расмда тез ишлайдиган К140УД10 турдаги ОКнинг ЛАЧХси келтирилган. $f_{Ю}$ – частотадан кичик қийматларда кучайтириш коэффициенти $20 \lg K_{U0}$ га тенг бўлади, яъни ЛАЧХ частота ўқиға параллель тўғри чизиқни беради. Кириш сигналининг ортиши билан K_{U0} камая бошлайди ва f_1 частотада кучайтириш коэффициенти бирга тенг бўлади.



8.13 – расм.

ОК асосий уланиш схемалари. ОКларда доим чизикли ёки нозикли занжир кўринишидаги чуқур манфий тескари алоқа бажарилган бўлади. МТА хоссалари ОК асосида турли аналог ва импульс электрон куурилмалар яратиш имконини беради.

Бундай схемаларни ишлаш принципини тушуниш ва уларни тахминий таҳлил қилиш учун **идеал** операцион кучайтиргич тушунчаси киритилади. Идеал операцион кучайтиргич қуйидаги хоссаларга эга бўлади:

а) кучланиш бўйича чексиз катта дифференциал кучайтириш коэффициентини K_{UD} ;

б) ноль силжиш кучланишининг нольга тенглиги $U_{СИЛ}$, яъни кириш сигналлари бир – бирига тенг бўлганда, чиқиш кучланиши нольга тенг бўлади; демак, ОК кириш потенциаллари доим бир – бирига тенг;

в) кириш токлари нольга тенг;

г) чиқиш қаршилиги нольга тенг;

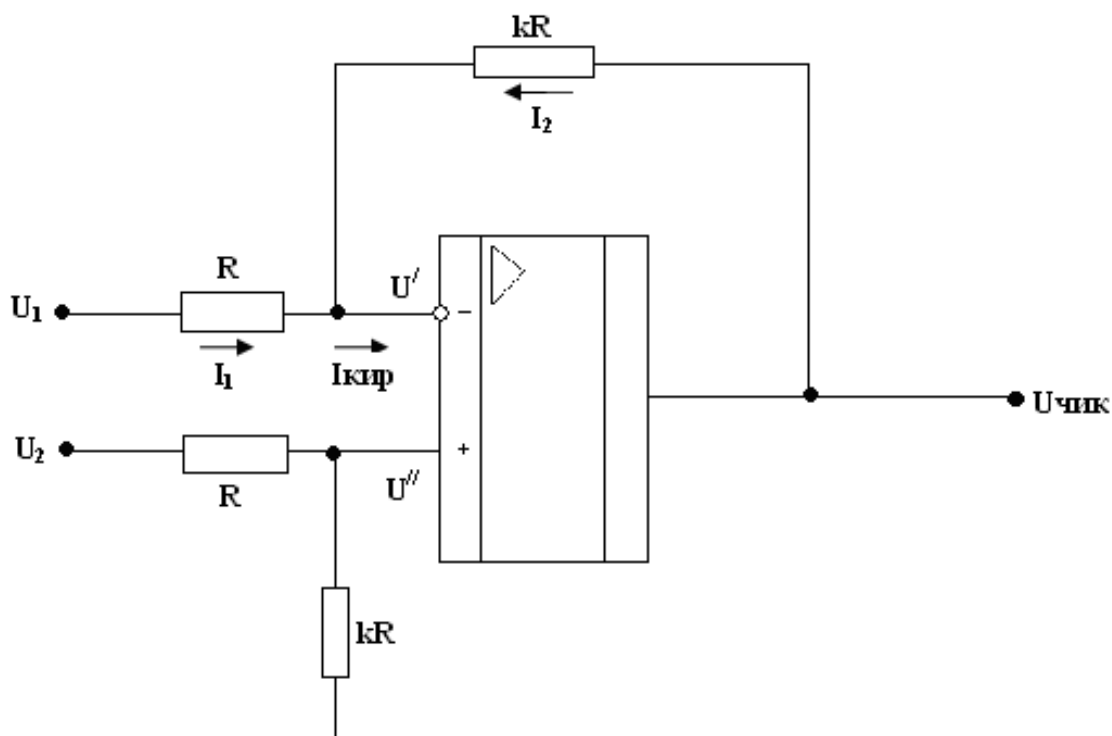
д) синфаз сигналларни кучайтириш коэффициентини нольга тенг.

ОКнинг дифференциал уланиши. 8.14–расмда ОКнинг дифференциал уланиш схемаси келтирилган. Кирхгоф қонунига биноан $I_1 + I_2 - I_{КПР} = 0$.

Бундан в) хосса $I_{КПР} = 0$ бўлса, у ҳолда $I_1 + I_2 = 0$.

$$I_1 = \frac{U_1 - U'}{R} ; \quad I_2 = \frac{U_{ЧИК} - U''}{\kappa R} ;$$

$$\frac{U_1 - U'}{R} = \frac{U_{ЧИК} - U''}{\kappa R} ; \quad \kappa U_1 - U''(\kappa + 1) = -U_{ЧИК}$$



8.14 – расм.

б) хоссага кўра $U' = U'' = U_2 \frac{\kappa}{\kappa + 1}$. Бу ердан $U_{ЧИК} = \kappa(U_2 - U_1)$.

Шундай қилиб, ОКнинг дифференциал уланиши натижасида юзага келган қурилма **айирувчи – кучайтиргич** ҳисобланади.

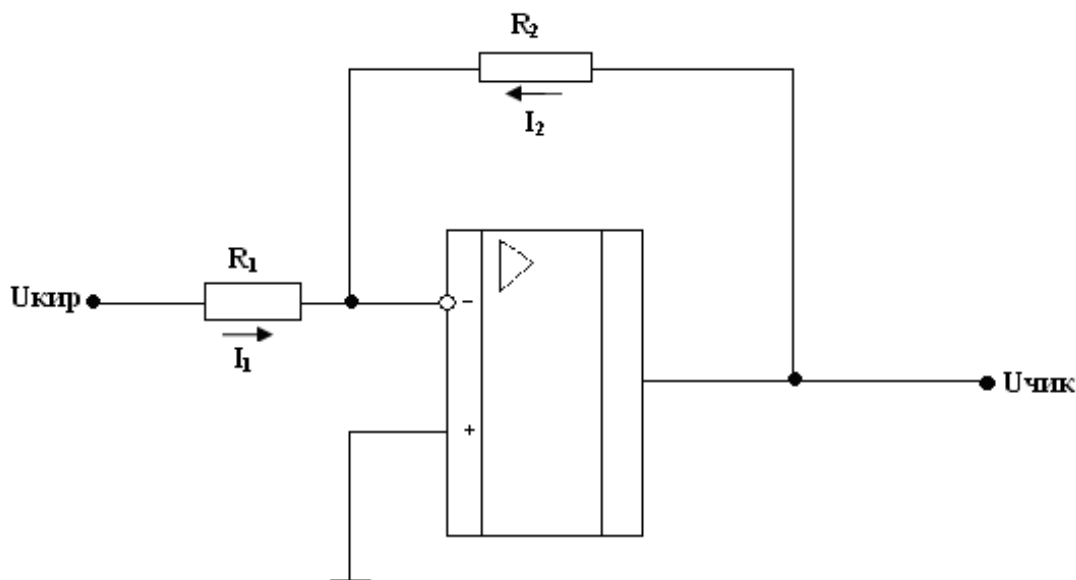
ОКнинг инверс уланиши. Инверс уланишда ОКнинг инверсламайдиган кириши умумий шина билан уланади (8.15 - расм). в) хосса натижасида $I_1 + I_2 = 0$. Кириш потенциаллари нольга тенг, демак

$$I_1 = \frac{U_{КИР}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{ЧИК}}{R_2};$$

$$\kappa = \frac{U_{ЧИК}}{U_{КИР}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

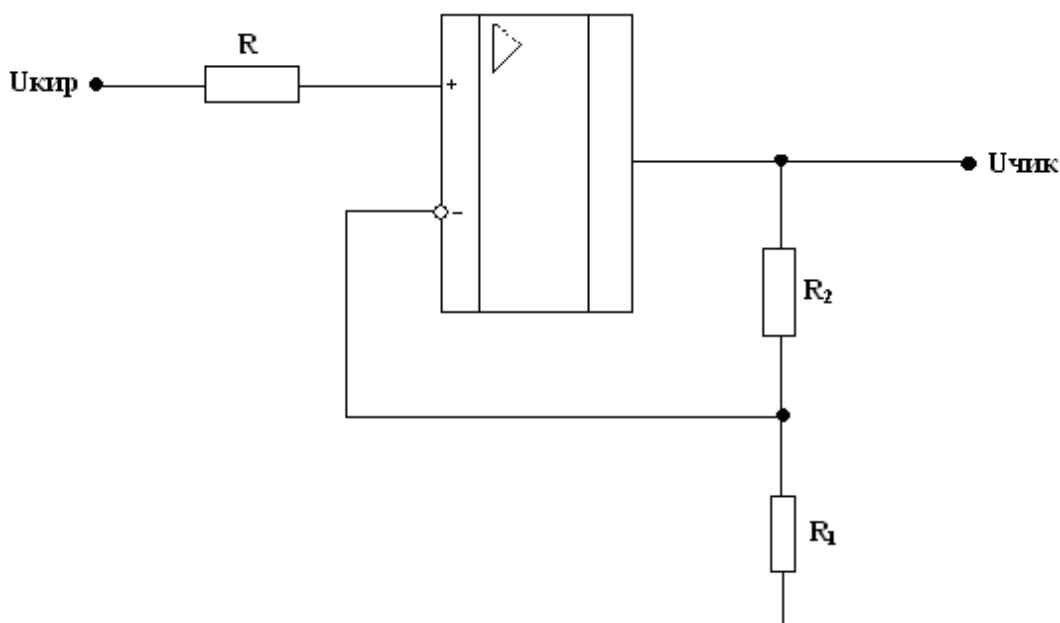
Реал ОК учун бу формуланинг қўлланилиши кучайтириш коэффициентини ҳисоблашда хатоликларга олиб келади. ОКнинг K_{U0} ва $R_{КИР0}$ қанча катта бўлса, бу формуладан фойдаланиш шунча кичик хатолик беради. Шундай қилиб, $K_{U0}=10^3$, $R_1=1$ кОм, $R_2=100$ кОм ва $R_{КИР0}=10$ кОм бўлса, кучайтириш коэффициентини аниқлашдаги хатолик 9 % ни ташкил этади, $K_{U0}=10^5$ (қолган катталиклар ўзгаришсиз) бўлганда - 0,1 % дан кичик.

Кучайтиргичнинг чиқиш кучланишлари киришга нисбатан тескари фазада бўлади. Бу схеманинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти резистор қаршиликларининг нисбатларига боғлиқ равишда бирдан катта ҳам, кичик ҳам бўлиши мумкин ва деярли барқарор бўлади.



8.15 – расм.

ОКнинг инверсламайдиган уланиши. Инверслайдиган уланишда кириш сигнали ОКнинг инверсламайдиган киришига узатилади, инверслайдиган киришга эса R_1 ва R_2 бўлувчи резисторлар орқали кучайтиргич чиқишидан тескари алоқа сигнали узатилади (8.16 - расм).



8.16 – расм.

$$\frac{U_{кир} - U'}{R} = 0, \quad U' = U'' = U_{чик} \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Бу ердан $U_{чик} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot U_{кир}$, яъни $\kappa = \frac{U_{чик}}{U_{кир}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

Кўриниб турибдики, бу ерда чиқиш сигнали кириш сигнаliga синфаз.

Агар ОК инверс кириш билан қисқа туташган бўлса, бу коэффициент бирга тенг бўлади. Бундай схемалар инверсламайдиган қайтаргичлар деб аталади ва ягона қобикда бажарилган бир неча кучайтиргич кўринишидаги алоҳида интеграл микросхемалар кўринишида бир варакайига ишлаб чиқарилади.

Қайтаргичда қўлланилаган ОК тури учун максимал кириш қаршилиги ва минимал чиқиш қаршилиги амалга оширилади. ОК асосидаги қайтаргич, ихтиёрий бирор қайтаргич каби (эмиттер ёки исток), мувофиқлаштирувчи босқич сифатида ишлатилади.

Назорат саволлари

1. Содда ва комплементар эмиттер қайтаргичларда бажарилган чиқиш босқичлари нимаси билан фарқланадилар ?
2. Ўзгармас ток кучайтиргичи, кенг полосали ва танлов кучайтиргичи таърифларини келтиринг.
3. Кучайтиргичларнинг частота хоссалари қандай параметрлар билан баҳоланади ?
4. Кучайтиргич дрейфи нима ва у нима ҳисобига юзага келади ?
5. Кучайтиргич босқичларида кучланиш сатҳини силжитиш қурилмалари нимага учун хизмат қилади ?

6. Дифференциал кучайтиргич нима ?
7. Нима учун дифференциал кучайтиргич схемасига барқарор ток генератори киритилади ?
8. Қандай кучланишлар синфаз дейилади ?
9. ДКнинг қайси киришига “инверсламайдиган” ва “инверслайдиган” кириш номлари берилган ?
10. Нима сабабли ДКда икки қутбли манба қўлланилади ?
11. ОК деб нимага айтилади ?
12. ОК асосий функционал қисмлари қандай ?
13. Идеал ОКга таъриф беринг.
14. ОКнинг уч хил уланиш схемасини келтиринг.

IX БОБ. ЯРИМ ЎТКАЗГИЧЛИ РАҚАМЛИ ИНТЕГРАЛ МИКРОСХЕМАЛАР СХЕМОТЕХНИКАСИ

9.1. Рақамли техника асослари

Замонавий ҳисоблаш техникасида ахборотни рақамли қайта ишлаш усули муҳим роль ўйнайди. Рақамли ярим ўтказгичли ИМСлар ҳисоблаш техникаси қурилмалари ва тизимининг негиз элементи ҳисобланади. Ҳисоблаш машиналари томонидай қайта ишланаётган берилганлар, натижа ва бошқа ахборотлар фақат икки қиймат оладиган (иккилик санок тизими) электр сигналлари кўринишида ифодаланади.

Аналог ахборотни рақамли кўринишга айлантириш учун уни **квантлайдилар**, яъни вақт бўйича узлуксиз сигнал унинг маълум нуқталардаги дискрет қийматлари билан алмаштирилади. Сўнгра берилган сигнал охириги дискрет қийматига мос равишда рақам берилади. Сигнал дискрет даражаларини рақамлар кетма – кетлиги билан алмаштириш жараёни **кодлаш** деб аталади. Олинган рақамлар кетма – кетлиги **сигнал коди** деб аталади.

Иккилик санок тизимида бирор сон икки рақам: 0 ва 1 орқали ифодаланади. Рақамларни ифодалаш учун рақамли тизимларда ток ёки кучланиш каби электр катталиқни икки ҳолатдаги сигналинини қабул қилишга мослашган электрон схема бўлиши талаб қилинади. Катталиқнинг бири – 0 га, иккинчиси – 1 га мос келиши керак. Икки электр ҳолатга эга бўлган электр схемаларни яратишнинг нисбатан соддалиги шунга олиб келдики, ҳозирги замонавий рақамли техника мана шу иккилик ифодаланиш тизимга асосланган.

Рақамли қурилмалар ишлаш алгоритминини ифодалаш учун буль алгебраси ёки мантиқ алгебраси қўлланилади. Мантиқ алгебраси доирасида рақамли схема кириш, чиқиш ва ички қисмларига мос равишда буль ўзгарувчилари ўрнатилади ва улар фақат икки қиймат қабул қилиши мумкин:

$$X=0 \text{ агар } X \neq 1; \quad X=1 \text{ агар } X \neq 0.$$

Буль алгебраси асосий амаллари бўлиб мантиқий қўшув, кўпайтирув ва инкор амаллари ҳисобланади.

Мантиқий қўшув. Бу амал ЁКИ амали ёки дизъюнкция деб аталади. Икки ўзгарувчини мантиқий қўшиш постулатлари 9.1 – жадвалда келтирилган.

Бундай жадваллар **ҳақиқийлик жадваллари** деб аталади. Шунитаъкидлаш керакки, бу амал ихтиёрий ўзгарувчилар сонига мўлжалланган. Амал бажарилаётган ўзгарувчилар сони, унинг белгисидан олдин турган рақам билан кўрсатилади. Демак, 9.1 – жадвалда 2ЎКИ амали бажарилган. Мантикий қўшув ЎКИ амалини бажарувчи элемент (электрон схема) шартли белгиси 9.1 а – расмда келтирилган.

9.1 - жадвал

X1	X2	$Y=X1+X2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Мантикий қўпайтирув. Бу амал ҲАМ амали ёки конъюнкция деб аталади. Мантикий қўпайтирув постулатлари 9.2 – жадвалда келтирилган. Мантикий ҲАМ амалини бажарувчи элемент шартли белгиси 9.1 б – расмда ифодаланган.

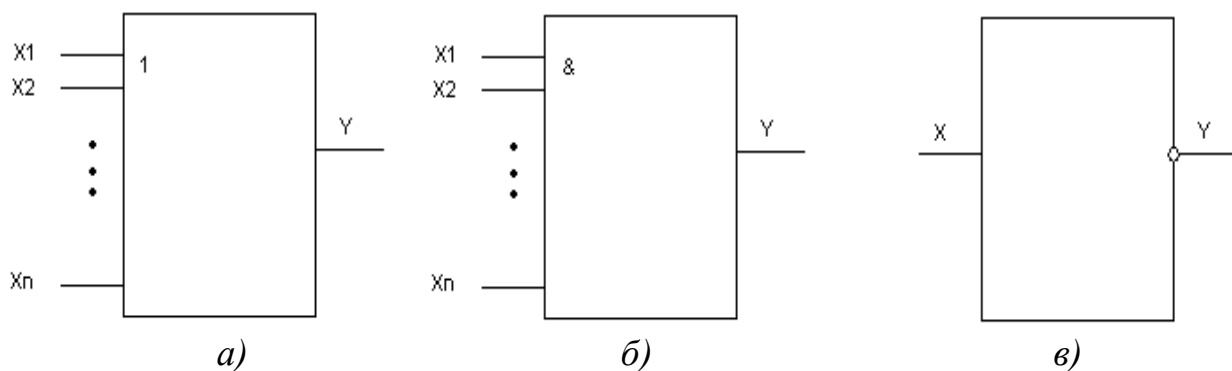
9.2 - жадвал

X1	X2	$Y=X1 \cdot X2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Мантикий инкор. Инкор амали инверсия ёки тўлдириш деб аталади. Инкор постулатлари 9.3 – жадвалда келтирилган. Инверсия амалини бажарувчи мантикий элемент шартли белгиси 9.1 в – расмда келтирилган.

9.3 – жадвал

X	Y
0	1
1	0



9.1 – расм.

Элементар мантикий ҲАМ, ЁКИ, ЭМАС амалларини бажарадиган мантикий элементлардан фойдаланиб анча мураккаб амалларни бажарадиган элементлар ва уларга мос келувчи электрон схемалар яратиш мумкин.

Турли амалларни бажарадиган элементлар ИМСлар кўринишида кўплаб ишлаб чиқарилади. Мантикий ИМСлар серияларга бирлашадилар. Ҳар бир серия асосида маълум бир мантикий амални бажарувчи электр схемадан ташкил топган негиз элемент ётади, масалан ҲАМ-ЭМАС мантикий амали (Шеффер элементи) ёки ЁКИ-ЭМАС мантикий амали (Пирс элементи). Рақамли интеграл микросхемалар яратишда турли мураккаб мантикий амалларни бажарадиган схемаларни ясашда фақат битта ҲАМ-ЭМАС, ёки ЁКИ-ЭМАС мантикий элементидан фойдаланиш талаб қилиниши билан ҳам ажралиб туради.

9.2. Мантикий ИМС параметрлари

Ахборотни кодлаш усулига кўра мантикий элементлар *потенциал ва импульс* усулларига бўлинадилар.

Мантикий элементларнинг кўпчилиги потенциал ҳисобланади, яъни уларда иккилик ахборот иккита электр потенциал даража кўринишида ифодаланади: мантикий **0** – паст потенциал U^0 , мантикий **1** – юқори потенциал U^1 . Импульс мантикий элементларда мантикий бирга - импульснинг мавжудлиги, мантикий нольга – унинг мавжуд эмаслиги мос келади.

ИМС потенциал мантикий элементлари қуйидаги параметрлар билан характерланади:

- мантикий «0» ва «1» кучланишлари - U^0 ва U^1 ;
- микросхема ҳолати тесқари ҳолатга ўзгарадиган киришдаги маълум кучланиш – бўсағавий кучланиш $U_{БЎС}$;
- кириш бўйича бирлашиш коэффициенти m (киришлар сони);
- чиқиш бўйича тармоқланиш коэффициенти n (юклама қобиляти ёки мазкур ИМС чиқишига улаш мумкин бўлган худди шундай миросхемалар сони);
- $U_{КИР} = U^0$ ва $U_{КИР} = U^1$ ларга мос келувчи кириш тоқлари $I_{КИР}^0$ ва $I_{КИР}^1$;
- ҳалақитларга бардошлиги – юқори $U_{ХАЛ}^1$ ва паст $U_{ХАЛ}^0$ кириш кучланиш даражаси бўйича мумкин бўлган максимал ҳалақит кучланиш қиймати;
- манбадан истеъмол қилинаётган қувват P ;
- E_M кучланиш ва I_M ток манбалари;
- «0» ҳолатдан «1» ҳолатга, ёки аксинча ўтишдаги қайта уланиш кечикиш вақти;
- қайта уланишларнинг (тезкорлик) ўртача кечикиш вақти - $0,5 \cdot (t_K^0 + t_K^1)$.

Замонавий статик тизимларнинг асосий негиз элементи бўлиб Шоттки диодлари қўлланилган ТТМ, И²М, ЭБМ, МДЯ – транзисторларда (ёки p – каналли МДЯ, ёки n – каналли МДЯ) ясалган мантик, комплементар МДЯ – транзисторларда (КМДЯ) ясалган мантик элементлари ҳисобланади.

Рақамли интеграл микросхема негиз элементларига қўйиладиган асосий талаб – уларнинг тезкорлиги, кичик сочилиш қуввати, катта жойлаштириш зичлиги (ягона кристалл сиртида жойлашган элементлар сони) ва тайёрланишни технологиклиги ҳисобланади.

Юқорида санаб ўтилган негиз элементлар, у ёки бу, ёки бир неча параметрларига кўра бир – биридан устун турса, бошқа параметрларига кўра ёмонроқ ҳисобланади.

ИМС негиз мантикий элементи асоси бўлиб, қайта улагичлар сифатида қўлланиладиган бирор электрон калит хизмат қилиши мумкин. Қайта улагичлар сифатида қўлланиладиган ярим ўтказгичли асбобларга қуйидаги умумий талаблар қўйилади: бирдан катта бўлган кучайтириш коэффиценти; ахборот узатиш тизимининг бир томонламалиги; кириш ва чиқиш бўйича катта тармоқланиш коэффицентлари; қайта уланишларнинг катта тезлиги; кичик истеъмол қуввати. Электрон калитлар сифатида кремнийли биполяр ва майдоний транзисторлар қўлланилади. Майдоний транзисторларда бажарилган калитлар кичик сочилиш қувватига эга бўлсалар, бир вақтнинг ўзида биполяр транзисторларда бажарилган электрон калитларнинг қўлланилиши уларнинг тезкорлигини оширишга имкон яратади.

9.3. Биполяр транзисторларда ясалган калит схемалар

БТ да ясалган содда калит схемаси 9.2 – расмда келтирилган. Юклама қаршилиги R_K эмиттери умумий шинага уланган транзисторнинг коллектор занжирига уланган. Калит иккита турғун ҳолатга эга бўлиши керак: очиқ ва берк.

Очиқ калит ҳолатига транзисторнинг тўйиниш ёки актив иш режими, берк ҳолатга эса - беркилиш режими мос келади.

Агар транзистор базасига манфий кучланиш берилса ($U_{КИР} < 0В$), у ҳолда эмиттер ва коллектор ўтишлар тескари йўналишда уланган бўлади, яъни берк ҳолатда бўлади. Бу вақтда транзистор коллектор токининг беркилиш режимида ишлайди ва калит узилган ҳолатда бўлади. Беркилиш режимида транзистор токлари мос равишда

$$I_{\mathcal{E}} \cong 0, I_K = I_{K0}, I_B = -I_{K0} \quad (9.1) \quad .$$

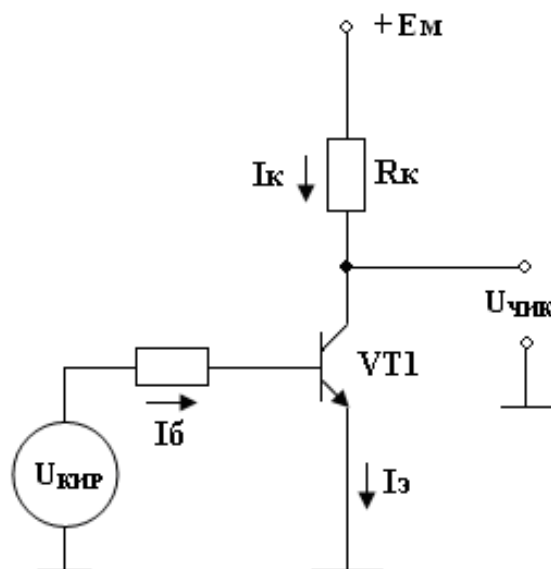
Натижада транзистор коллекторидаги кучланиш

$$U_K = U_{ЧИК} = E_M - I_{K0} \cdot R_K \approx E_M, \text{ (мантикий бир } U^1) \quad (9.2),$$

бўлиб, юкламанинг манбадан узилган ҳолатига мос келади (калит узилган).

База занжирида R_B резистор мавжуд бўлганда транзистор база кучланиши

$$U_B = U_{BЭ} = -U_{КПР} + I_{K0} \cdot R_B \quad (9.3)$$



9.2 – расм.

Юқори температураларда калит I_{K0} қиймати кескин ортади ва натижада эмиттер ўтишдаги кучланиш ҳам ортади. Шу сабабли беркилиш режимида транзистор нормал ишлаши учун қуйидаги шарт бажарилиши керак

$$-U_{КПР} + I_{K0} \cdot R_B \leq U_{БҶС} \quad (9.4) \quad ,$$

бу ерда $U_{БҶС}$ – эмиттер ўтишдаги мусбат кучланиш $U_{BЭ}$ бўлиб, ушбу қиймат ортса транзистор берк режимдан актив режимга ўтади, яъни очилади.

Интеграл технологияда бажарилган кремнийли транзисторлар учун $U_{БҶС}=0,5\div 0,6$ В.

Агар $U_{КПР}=0$, у ҳолда (9.4) шарт қуйидагича қайта ёзилади.

$$I_{K0} \cdot R_B \leq U_{БҶС} \quad (9.5) \quad .$$

$U_{БҶС}=0,6$ В ва $I_{K0}=1$ мкА деб фараз қилсак, у ҳолда $R_{B,max}=0,6$ МОм га тенг бўлади.

Киришга $U_{КПР}\geq 0,7$ В (мантиқий бир U^1) кучланиш берилса транзистор актив ёки тўйиниш режимида ишлайди (калит уланган).

Калит режимда транзисторнинг актив иш режими маъқулланмайди, чунки юкламадаги ток фақат юклама R_K ва манба кучланиши E_M катталиги билан эмас, балки транзистордаги кучланиш пасайиши $U_{КЭ}$ билан ҳам аниқланади,

$$I_{Ю} = I_K = \frac{E_M - U_{КЭ}}{R_K} \quad (9.6) ,$$

яъни транзистор хоссаларига (параметрларнинг ўзгариши ва уларнинг температурага боғлиқлиги) ҳам боғлиқ бўлади. Бундан ташқари, актив режимда транзисторда қўшимча қувват $P_K = I_K \cdot U_{КЭ}$ сочилади, схеманинг ФИК камаяди.

Интеграл технологияда бажарилган кремнийли транзисторлар учун тўйиниш режимида $U_{ЧИК} = U_{КЭ} \approx 0,25$ В (мантикий ноль U^0). Аналог схемаларда алоҳида калитлар қўлланилади. Рақамли схемаларда эса **калитли занжирлар** қўлланилади. Бундай занжирларда ҳар бир калитни ўзидан олдинги калит бошқаради ва ўз навбатида бу калитнинг ўзи кейинги калит учун бошқарувчи ҳисобланади. Демак, агар олдинги калитда транзистор тўйиниш режими бўлса, у ҳолда бу калит кейинги калитни қайта улаши мумкин эмас.

Шундай қилиб, агар калит киришига мантикий ноль потенциали берилса, у ҳолда унинг чиқишида мантикий бирга мос потенциал ҳосил бўлади ва аксинча, яъни бундай калит инверс схема ҳисобланади ва **инвертор** деб аталади.

Асосий динамик параметрларидан бири бўлиб, схеманинг уланиш ва узилиш вақтидаги қайта уланиш жараёнлари билан аниқланадиган **тезкорлиги** ҳисобланади. Схема чиқишидаги кучланишнинг бўсағавий қиймати, кириш сигналини U^0 дан U^1 га ўзгартирганда маълум t_K^1 вақтига, U^1 дан U^0 га ўзгартирганда t_K^0 вақтига кечикади. Кечикишларга транзисторлар қайта зарядланиш сифими ва юклама сабаб бўлади. Схема тезкорлиги ўртача кечикиш вақти билан аниқланади

$$t_K = 0,5 \cdot (t_K^1 + t_K^0) .$$

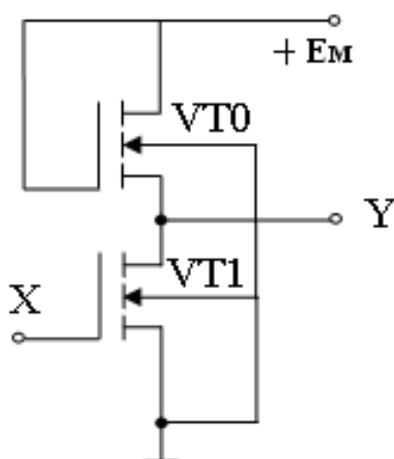
Схема истеъмол қилаётган ток ортса, сифимларнинг катта қайта зарядланиш тезлиги ҳисобига қайта уланиш вақти ортади. Лекин бу вақтда схеманинг истеъмол қуввати ортади. Шу сабабли ўртача кечикиш вақти қайта уланиш иши $A_K = Pt_K$ деб аталувчи катталик билан аниқланади. Замонавий ИМСлар учун $A_K = 10^{-12} - 10^{-14}$ Дж.

9.4. Майдоний транзисторларда бажарилган калит схемалар

Калит элементи сифатида одатда канали индукцияланувчи МДЯ – транзисторлар қўлланилади, чунки уларда $U_{ЗИ}$ нольга тенг бўлганда узилган калит ҳолати таъминланади (транзистор берк).

Майдоний транзисторлар асосида ясалган мантикий элементлар негизида актив элемент ва юклама МДЯ – транзисторда бажарилган калит схема ётади. Актив ва юкламадаги транзисторлар бир хил ёки ҳар хил ўтказувчанлик турига эга бўлган каналдан ташкил топган бўлиши мумкин. Актив транзистор затвориға юқори потенциалға (мантикий бир даражаси) берилса унинг стокидаги қолдиқ кучланиш 50-100 мВ ни (мантикий ноль даражаси) ни ташкил этади. Бу билан инверсия амалға оширилади.

Бир турдаги МДЯ – транзисторларда бажарилган калит схемалар.
 9.3 – расмда n – канали индукцияланувчи МДЯ – транзисторларда бажарилган калит схемаси келтирилган.



9.3 – расм.

VT0 транзистор ночизикли юклама вазифасини бажаради. Кетма – кет уланган транзисторлар асоси қобикда қисқа туташув бажарилади, затвор ва юкламадаги транзистор стоки манба билан туташтирилган. $E_M = 3U_{БҶС}$ танланади, бу ерда $U_{БҶС}$ – транзистор очиладиган кучланиш. Демак, юқоридаги транзистор доим очик ҳолатда бўлиб тўйиниш режимида бўлади ва инвертор токини чеклаш учун хизмат қилади (динамик юклама). VT0 сток токи катталиги қуйидаги формула билан аниқланади

$$I_{C0} = \frac{1}{2} B_0 (U_{СИ0} - U_{БҶС0})^2 \quad (9.7) \quad .$$

Агар калит кириши X га $U_{КИР}^0 < U_{БҶС}$ кучланиш берилса (мантикий ноль), VT1 транзистор берк бўлади, калит орқали 10^{-9} - 10^{-10} А ток оқиб ўтади, чиқишдаги кучланиш эса $Y = \bar{X}$ бўлиб кучланиш манбаи қийматига яқин бўлади: $U_{ЧИҚ} \cong E_M$ (мантикий бир).

Агар калит кириши X га $U_{КИР}^0 \geq U_{БҶС}$ кучланиш берилса, у ҳолда VT1 транзистор очилади ва тўйиниш режимига ўтади, бу вақтда сток токи I_{C1} (9.7) ифода орқали аниқланади, фақат $U_{СИ0} = E_M$ деб олинади.

$$I_{C1} = \frac{1}{2} B_1 (E_M - U_{B\check{Y}C1})^2 \quad (9.8) .$$

VT1 транзисторнинг тўйиниш режимидаги канал қаршилиги

$$R = \frac{1}{B_1 (U_{3И} - U_{B\check{Y}C1})} = \frac{1}{B_1 (U_{КИР}^1 - U_{B\check{Y}C1})} .$$

I_{C1} токни канал қаршилиги R га кўпайтириб, чиқиш кучланишини оламыз

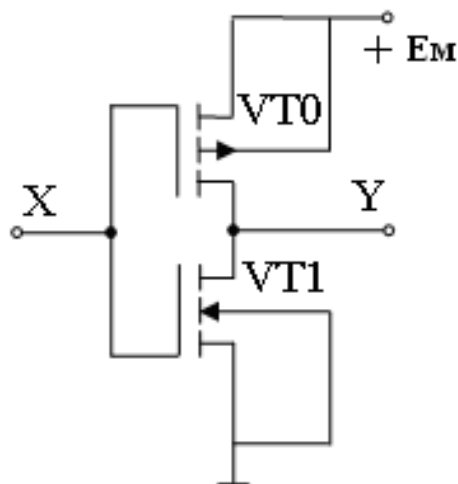
$$U_{ЧИК} = \frac{B_0}{2B_1} \frac{(E_M - U_{B\check{Y}C0})^2}{U_{КИР}^1 - U_{B\check{Y}C1}} = \frac{B_0}{2B_1} \frac{(E_M - U_{B\check{Y}C0})^2}{E_M - U_{B\check{Y}C1}} \quad (9.9) .$$

Амалиётда $U_{КИР}^1 \cong E_M$ (9.9) дан кўриниб турибдики, кичик чиқиш кучланиши қийматини $U_{ЧИК}$ таъминлаш учун $B_0 \ll B_1$ нисбат бажарилиши керак. В катталиги канал кенглигини унинг узунлигига нисбати билан аниқланади (Z/L).

Бу калит кичик тезкорликка эга, чунки чиқиш импульсининг фронти транзистор параметрлари билан эмас, балки чиқиш сиғими зарядини ночизиқли юклама транзисторидан чиқиши билан аниқланади, бу қаршилиқ қиймати эса юзлаб кОмларга етади.

МДЯ – транзисторларда бажарилган калит схемалар. Бир турдаги МДЯ – транзисторларда бажарилган калит схемаларнинг камчилиги бўлиб шу ҳисобланадики, бошқарувчи транзисторнинг уланган ҳолатида калит орқали ток оқиб ўтади. Бу ток жуда зарур ҳисобланмайди, чунки майдоний транзисторнинг ўрнатилган токи амалда нольга тенг бўлади. Комплементар МДЯ (канал ўтказувчанлиги қарама – қарши бўлган транзисторларда) бажарилган калит схемалар бу камчиликлардан ҳоли (9.4-расм). Бу калитда иккала транзистор затворлари ўзаро боғланиб ягона кириш ҳосил қиладилар. Стоклар бирлашиб ягона чиқиш ҳосил қиладилар, истоклар эса асос билан биргаликда мос равишда кучланиш манбаи ва умумий шинага уланадилар.

Иккала транзистор ягона кириш сигнали билан бошқарилади. Лекин, бу транзисторларнинг бўсағавий кучланиш $U_{B\check{Y}C}$ қийматлари бир – бирига тескари ишорага эга бўлганлиги сабабли, кириш даражаларининг ихтиёрий қийматида бу транзисторлар турли ҳолатда бўладилар. Бир транзистор очик бўлганда, иккинчиси берк бўлади. Ҳақиқатдан ҳам, агар киришга $X = U_{КИР}^0$ сигнал берилса, VT0 затвори асосга нисбатан манфий потенциалга эга бўлади $U_{КИР}^0 - E_M = -E_M$.



9.4 – расм.

Демак, VT0 очик ҳолатда бўлади. Бу вақтнинг ўзида VT1 транзистор затворидаги потенциал асосга нисбатан бўсағавий кучланишдан кичик қийматга эга бўлади ва бу транзистор беркилади. Агар киришга $x = U_{КИР}^1$ сигнал берилса, VT1 очилади, VT0 транзистор эса беркилади, чунки энди унинг затворидаги кучланиш асосга нисбатан қуйидагига тенг бўлади

$$U_{A0} = U_3 - U_A = U_{КИР}^1 - E_M \approx 0.$$

Шундай қилиб, ихтиёрий стационар ҳолатда схема транзисторларидан бири берк ҳолатда бўлади, шу сабабли схема манбадан деярли қувват истеъмол қилмайди. Аммо схема қайта уланиш жараёнида, бирор жуда кичик вақт мобайнида иккала транзистор очик ҳолатда бўлади, чунки иккинчиси беркилиб улгурмаган бўлади. Комплементар МДЯ – транзисторларда ясалган калит схемалар бир турдаги МДЯ – транзисторларда ясалган калит схемаларга нисбатан ўн марта кам қувват истеъмол қилади. Лекин, схемаларнинг тезкорлиги бир хил бўлиб калит чиқиш сиғимининг қайта зарядланиш вақти билан белгиланади.

9.5. Мантикий интеграл схемалар негиз элементлари

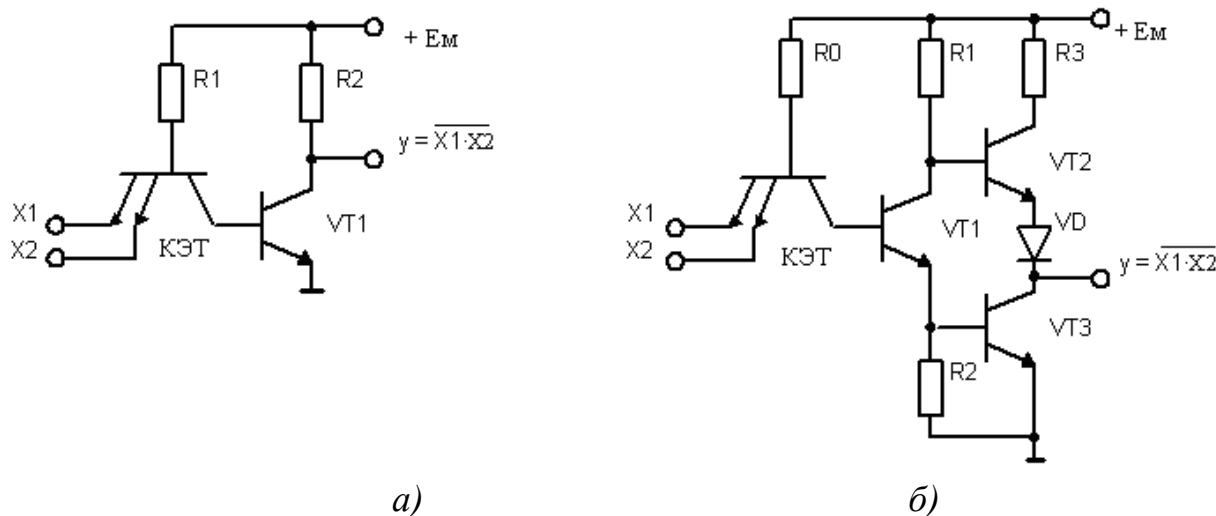
Мантикий ИМС негиз элементлари тузилишига кўра қуйидаги гуруҳларга бўлинади: диодли – транзисторли мантикий элементлар (ДТМ); транзистор – транзисторли мантиқ элементлари (ТТМ); ток қайта улагичлари асосидаги эмиттерлари боғланган мантиқ элементлари (ЭБМ); МДЯ – транзисторларда ясалган элементлар; инжекцион манбали элементлар (И²М). Электрон калит тури мантиқ тури билан аниқланади.

Агар калит схемаси таркибида транзистордан ташқари бошқа электр радиоэлементлар (резистор, диод) мавжуд бўлса, бу ҳолат интеграция даражасини пасайтиради ва шу сабабли бу мантиқ тури ўрта ва катта интеграцияли рақамли интеграл микросхемалар негиз элементлари сифатида

қўлланилмайди. Қуйида замонавий рақамли интеграл қурилмаларда қўлланиладиган негиз элементлар кўриб чиқилади.

Транзистор – транзисторли мантиқ элементлари (ТТМ). Бу мантиқ турида электрон калитлар билан бошқариладиган кўп эмиттерли транзистор (КЭТ)да бажарилган инвертор қўлланилади. Чиқишида оддий инвертор бўлган ТТМ схемаси 9.5 а – расмда келтирилган.

X1 ва X2 киришлар мантикий бир потеннциалига эга (2,4 В) деб фараз қилайлик. Бунда КЭТ эмиттер ўтишлари берк бўлади ва ток қуйидаги занжир орқали оқиб ўтади: кучланиш манбаи E_M – резистор $R1$ – КЭТнинг очик бўлган коллектор ўтиши VT1 транзистор базасига йўналган бўлади, шу сабабли VT1 тўйиниш режимига ўтади ва унинг коллекторида мантикий ноль паст потеннциали ўрнатилади (0,4 В).



9.5 – расм.

Энди эса, иккала киришга кичик кучланиш потеннциали (мантикий ноль потеннциали) берилган деб фараз қилайлик. Бу ҳолатда КЭТ эмиттер ўтишлари коллектор ўтиш каби тўғри йўналишда силжиган бўлади. КЭТ база токи ортади, шу транзистор коллектор токи, демак, VT1 база токи эса сезиларли камаяди. КЭТ ток асосан қуйидаги йўналишда оқиб ўтади: кучланиш манбаи E_M – резистор $R1$ – КЭТ база – эмиттери – киришдаги сигнал манбаи – умумий шина. VT1 транзистор база токи деярли нольга тенг бўлганлиги сабабли, бу транзистор беркилади ва схеманинг чиқишида юқори кучланиш даражаси (2,4 В – мантикий бир) юзага келади.

Кўриниб турибдики, фақат битта киришга мантикий 0 берилса ҳолат ўзгармайди. Демак, бирор киришда мантикий 0 мавжуд бўлса чиқишда мантикий 1 ҳосил бўлади. Қачонки барча киришларга мантикий 1 берилсагина чиқишда мантикий 0 ҳосил бўлади. Ҳақиқийлик жадвалини тузиб бу элемент 2ҲАМ-ЭМАС амалини бажаришини кўрамиз. Кўриб ўтилган бу элемент кичик халақитларга бардошлиги, кичик юклама қобилияти ва юклама сиғими $C_{Ю}$ (катта $R2$ қаршилиқ орқали)га ишлаганда, кичик тезкорликка эга эканлиги сабабли кенг қўламда қўлланилмайди.

Мураккаб инверторли ТТМ схемаси кўриб ўтилган схемага нисбатан яхшиланган параметрларга эга (9.5 б-расм). Бу элемент уч босқичдан ташкил топган:

- киришда $R0$ резисторли кўп эмиттерли транзистор (ХАМ мантикий амалини бажаради);
- $R1$ ва $R2$ резисторли $VT1$ транзисторда бажарилган фаза кенгайтиргич;
- $VT2$ ва $VT3$ транзисторлар, $R3$ резистор ва VD диодда бажарилган икки тактли чиқиш кучайтиргичи.

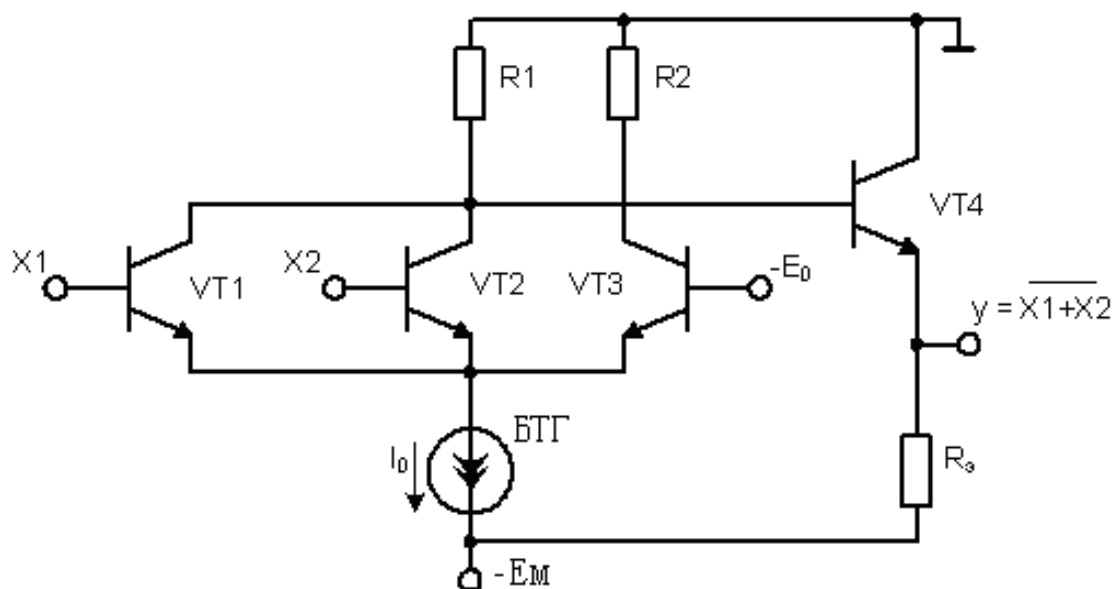
Бу схема нисбатан кичик чиқиш қаршиликка эга бўлиб, юклама сиғимидаги қайта зарядланишни тезлаштиради.

Содда схемадаги каби, бу схемада ҳам чиқишда U^1 даража олиш учун, КЭТ бирор киришга мантикий ноль даража берилиши керак. Бу вақтда $VT1$ ва $VT3$ транзисторлар беркилади, $VT1$ коллекторидаги кучланиш катта бўлганлиги сабабли $VT2$ очилади. $C_{ю}$ юклама сиғими $VT2$ ва диод VD орқали зарядланади. $R3$ резистор катта юкланишдан сақлаган ҳолда $VT2$ транзистор орқали токни чеклайди

КЭТ барча эмиттерларига U^1 даража берилса $VT1$ ва $VT3$ транзисторлар тўйинади, $VT2$ транзистор эса деярли беркилади. $C_{ю}$ юклама сиғими тўйинган $VT3$ транзистор орқали тез зарядсизланади. ТТМ схемаларни тезкорлигини янада ошириш мақсадида уларда диод ва Шоттки транзисторлари қўлланилади. Бу модификация ТТМШ деб белгиланади.

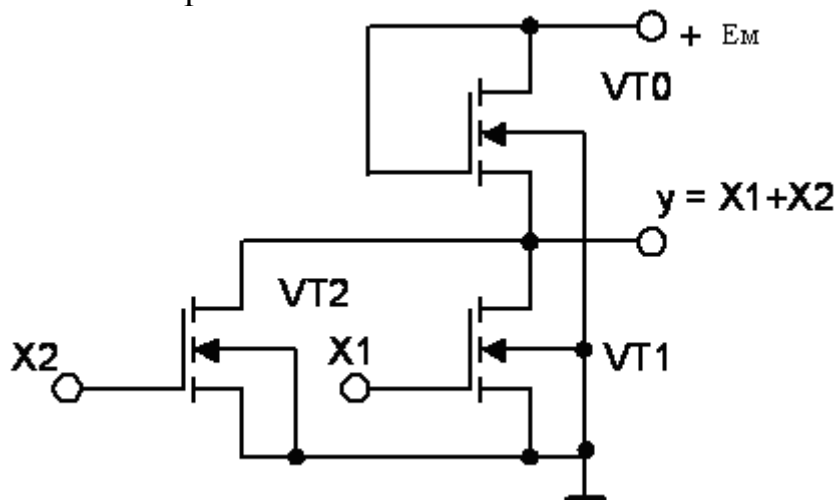
Эмиттерлари боғланган мантиқ элементи (ЭБМ). ЭБМ элементи (9.6 - расм) ДК каби ток қайта улагичи асосида бажарилади. Икки мантикий киришга эга бўлган бир елка икки транзистордан иборат бўлади ($VT1$ ва $VT2$), кейинги елка эса - $VT3$ дан ташкил топади.

Юклама қобилиятини ошириш ва сигнал тарқалиши кечикишини камайтириш мақсадида қайта улагич $VT4$ транзисторда бажарилган эмиттер қайтаргич билан тўлдирилган. $VT3$ базасига E_0 – таянч кучланиши берилади ва бу билан унинг очиқ ҳолати таъминланади. Ихтиёрий бирор киришга (ёки иккала киришга) мантикий бирга мос келувчи сигнал берилса унга мос келувчи транзистор очилади, натижада I_0 ток схеманинг ўнг елкасидан чап елкасига ўтади. $VT4$ транзистор база токи камаяди ва у беркилади ва чиқишда мантикий нольга мос потенциал ўрнатилади. Агар иккала киришга мантикий нольга мос сигнал берилса, у ҳолда $VT1$ ва $VT2$ транзисторлар беркилади, $VT3$ эса очилади. $R1$ орқали оқиб ўтаётган ток $VT4$ транзисторни очади ва схеманинг чиқишида мантикий бирга мос кучланиш ҳосил бўлади. Бу схема 2ЎКИ-ЭМАС амалини бажаради. Истеъмол қуввати $20 \div 50$ мВт, тезкорлиги эса $0,7 \div 3$ нс ни ташкил этади.



9.6 – расм.

Бир турдаги МДЯ – транзисторларда ясалган элементлар (n – МДЯ). 9.7 – расмда n – канали индукцияланувчи МДЯ – транзисторларда бажарилган схема келтирилган.



9.7 – расм.

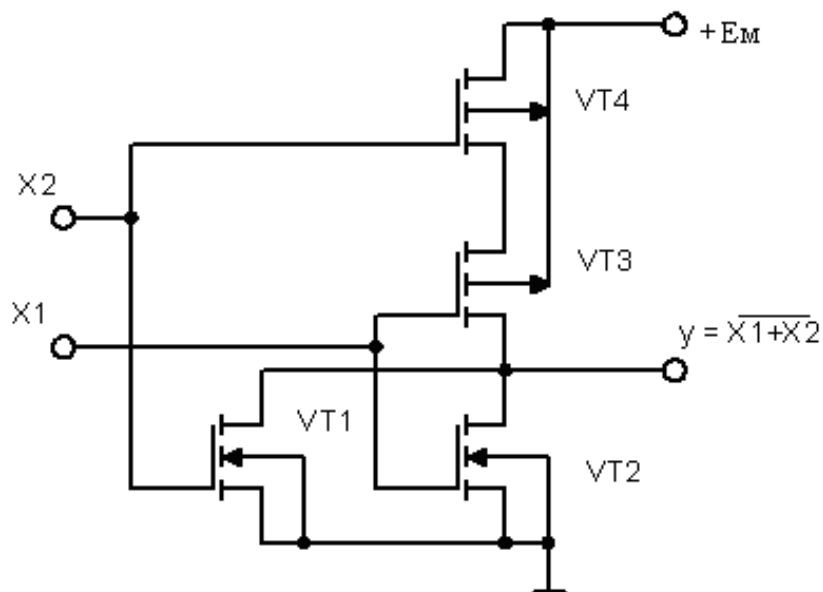
Юклама транзистори VT0 доим очик. Чиқишда жуда кичик кучланиш даражаси $U^0_{чик}$ ни таъминлаш мақсадида очик VT1 ва VT2 транзисторларнинг канал қаршиликлари VT0 транзистор канал қаршилигидан кичик бўлиши керак. Шу сабабли VT1 ва VT2 транзисторлар канали қисқа ва кенг қилиб, юкламадаги транзистор канали эса - узун ва тор қилиб ясалади. Бирор киришга ёки иккала киришга мантикий бир даражасига мос келувчи мусбат потенциал берилса, ($U^1_{кир} > U_{бўс}$), бир ёки иккала транзистор очилади ва чиқишда мантикий ноль ўрнатилади ($U^0_{чик} < U_{бўс}$). Агар иккала киришга ҳам мантикий ноль берилса, у ҳолда VT1 ва VT2 транзисторлар беркилади. Чиқишдаги потенциал мантикий бирга мос келади.

Элемент 2ЁКИ –ЭМАС амалини бажаради. Истеъмол қуввати $0,1 \div 1,5$ мВт, тезкорлиги эса - $10 \div 100$ нс ни ташкил этади.

ЎКИС ва КИСларда КМДЯ ва I^2M мантиқий элементлари қўлланилади. Улар таркибида резисторлар бўлмайди ва микротоклар режимида ишлайдилар. Шу сабабли кристаллда кичик юзани эгаллайдилар ва кам қувват истеъмол қиладилар. КИСларда элементлар сони 10^5 та бўлганда бир элемент истеъмол қилаётган қувват $0,025$ мВт дан ошмаслиги керак.

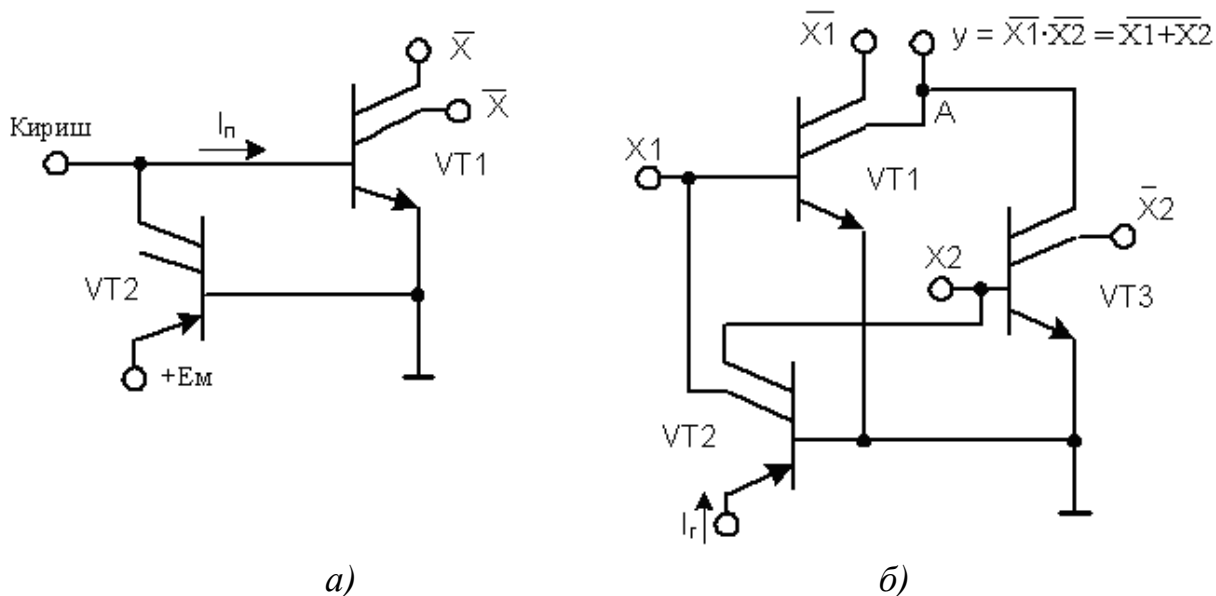
Комплементар МДЯ – транзисторларда ясалган мантиқий элементлар (КМДЯМ). Икки киришли элемент схемаси 9.8 – расмда келтирилган. Иккаола киришга мантиқий нольга мос сигнал берилса n – каналли VT1 ва VT2 транзисторлар беркилади, p – каналли VT3 ва VT4 транзисторлар очилади.

Берк транзисторларнинг каналидаги ток жуда кичик ($<10^{-10}$ А). Демак, манбадан ток деярли истеъмол қилинмайди ва схеманинг чиқишида E_m га яқин потенциал ўрнатилади (мантиқий бир даражаси). Агар бирор кириш ёки иккала киришга мантиқий бир даражаси берилса, VT1 ва VT2 транзисторлар очилади ва элемент чиқишида потенциал нольга яқин бўлади. Элемент 2ЁКИ-ЭМАС амалини бажаради. Истеъмол қуввати $0,01 \div 0,05$ мВтни, тезкорлиги эса $10 \div 20$ нс ни ташкил этади.



9.8 – расм.

Интеграл – инжекцион мантиқ элементи (I^2M). Калит комплементар биполяр транзисторлар жуфтлигидан ташкил топган бўлиб, n - p - n турли VT1 транзистор кўпколлекторли бўлиб, унинг база занжирига p - n - p турли VT2 кўпколлекторли транзистор уланган. Бу транзистор инжектор номини олган бўлиб, барқарор ток генератори вазифасини бажаради (9.10 а – расм.)



9.10 – расм.

VT1 транзистор эмиттер – коллектор оралиғи калит вазифасини бажаради. Сигнал манбаи ва юклама сифатида худди шундай схемалар ишлатилади. Агар киришга мантикий бирга мос келувчи юқори потенциал берилса, VT1 транзистор очилади ва тўйиниш режимда бўлади. Унинг чиқишидаги потенциал ноль потенциалига мос келади. Киришга мантикий нольга мос келувчи потенциал берилса, VT1 транзисторнинг эмиттер ўтиши беркилади. Коваклар токи I_K (кайта уланиш токи) VT1 транзисторнинг коллектор ўтишини тескари йўналишда улайди. Бунинг натижасида VT1 чиқиш қаршилиги кескин ортади ва унинг чиқишида мантикий бир потенциали ҳосил бўлади. Яъни мазкур схема юқорида кўрилган схемалар каби инвертор вазифасини бажаради. Мантикий амалларни бажариш инвертор чиқишларини металл симлар билан бирлаштириш натижасида амалга оширилади. 9.10 б – расмда ХАМ амалини бажариш усули кўрсатилган. Ҳақиқатдан ҳам, агар X1 ёки X2 киришлардан бирига юқори потенциал берилса U_{KIP}^1 , натижада бирлашган чиқишларда (А нуқта) паст потенциал ҳосил бўлади U^0 . Натижада $\bar{X}_1$ ва $\bar{X}_2$ инверс ўзгарувчиларнинг конъюнкцияси бажарилади. Улар VT1 ва VT3 инвертор чиқишларида ҳосил бўлади: $Y = \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2$. И²М элементининг тезкорлиги 10÷100 нс ва истеъмол қуввати 0,01÷0,1 мВт. Кристаллда битта И²М элементи КМДЯ –элементга нисбатан 3÷4 марта кичик, ТТМ – элементига нисбатан эса 5÷10 марта кичик юзани эгаллайди.

Кўриб ўтилган мантикий ИМС негиз элементларининг
асосий параметрлари жадвали

Параметр	Негиз элемент тури		
	ТТМ	ТТМШ	n - МДЯ
Кучланиш манбаи, В	5	5	5
Сигнал мантикий ўтиши ($U^1_{ЧИҚ}$ - $U^0_{ЧИҚ}$), В	4,5-0,4	4,5-0,4	ТТМ билан мос келади
Рухсат этилган шовқинлар даражаси, В	0,8	0,5	0,5
Тезкорлиги, $t_{К.ўРТ}$, нс	5-20	2-10	10-100
Истеъмол қуввати, мВт	2,5-3,5	2,5-3,5	0,1-1,5
Юклама қобиляти	10	10	20

Параметр	Негиз элемент тури		
	КМДЯ	ЭБМ	И ² М
Кучланиш манбаи, В	3-15	-5,2	1
Сигнал мантикий ўтиши ($U^1_{ЧИҚ}$ - $U^0_{ЧИҚ}$), В	Еп-0	(-1,6)-(-0,7)	0,5
Рухсат этилган шовқинлар даражаси, В	0,4Еп	0,15	0,1
Тезкорлиги, $t_{К.ўРТ}$, нс	1-100	0,7-3	10-20
Истеъмол қуввати, мВт	0,01-0,1	20-50	0,05
Юклама қобиляти	50	20	5-10

Асосий рақамли ИМС серияларининг мантиқ турлари

Мантиқ тури	Рақамли ИМС серия рақами
ТТМ	155, 133, 134, 158
ТТМШ	130, 131, 389, 599, 533, 555, 734, К530, 531, 1531, 1533, КР1802, КР1804
ЭБМ	100, К500, 700, 1500, К1800, К1520
И ² М	КР582, 583, 584
<i>p</i> - МДЯТМ	К536, К1814
<i>n</i> - МДЯТМ	К580, 581, 586, 1801, 587, 588, 1820, 1813
КМЯТМ	164, 764, 564, 765, 176, 561

Назорат саволлари

1. Буль алгебраси амалларини санаб беринг. Улар ҳақиқийлик жадвали орқали қандай ифодаланадилар ?
2. ҲАМ, ЁКИ, ЭМАС мантиқий элементлари (МЭ) шартли белгисини келтиринг.
3. Функционал тўлиқ тизим нима ?
4. Ўзгарувчиларни кириш-чиқиш турига кўра мантиқий қурилмаларнинг синфланишини келтиринг.
5. Негиз мантиқий элементлар қандай параметрлар билан ифодаланади?
6. Кириш бўйича бирлаштириш коэффициентини ва чиқиш бўйича тармоқланиш коэффициентлари нимани ифодалайди ва уларнинг қийматлари нимага тенг ?
7. МЭ ҳалақитларга бардошлик соҳалари нима билан аниқланади ?
8. ТТМда бажарилган 3ҲАМ-ЭМАС негиз элементи схемасини келтиринг ва ишлаш принципини тушунтиринг.
9. Нима сабабли ТТМ схема чиқишида мураккаб инвертор қўлланилади?
10. ТТМШ схемаларда диодлар ва Шоттки транзисторларининг вазифаси нимада ?
11. ЭБМ МЭ ишлаш принципини изоҳлаб беринг.
12. МДЯ – транзисторлар асосида ясалган схемалар қандай хоссаларга эга ?
13. Бир турдаги МДЯ – транзисторларда бажарилган калит схемасини келтиринг ва унинг ишлаш принципини тушунтиринг.
14. Бир турдаги МДЯ – транзисторларда бажарилган 3ҲАМ-ЭМАС ва 3ЁКИ-ЭМАС амалларини бажаруви схемаларни келтиринг ва уларнинг ишлаш принципларини тушунтиринг
15. Комплементар МДЯ – транзисторларда бажарилган калит схемасини келтиринг
16. Комплементар МДЯ – транзисторларда бажарилган 3ҲАМ-ЭМАС ва 3ЁКИ-ЭМАС амалларини бажарувчи схемаларни келтиринг.
17. И²М МЭ хоссалари нимадан иборат ?
18. И²М мантиқий элементи негиз схемасини келтиринг ва унинг технологиясини тушунтиринг.

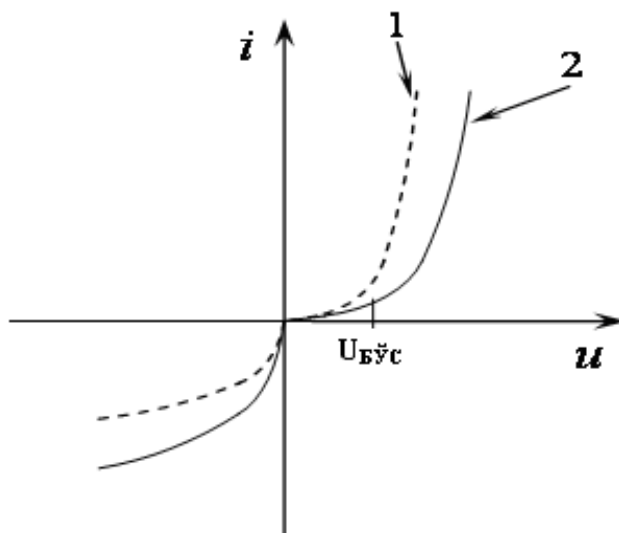
1 – лаборатория иши

Ярим ўтказгичли диод характеристикаси ва параметрларини тадқиқ этиш

Ишнинг мақсади: Ярим ўтказгичли диод (ЯД) асосий характеристикалари ва параметрларини ҳамда уларга ташқи муҳит температурасининг таъсирини тадқиқ этиш.

1. Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик:

1.1. ЯД – n ва p турли ўтказувчанликка эга бўлган иккита ярим ўтказгичлар контактидан иборат бўлган ҳамда бир томонлама ўтказувчанликка эга бўлган электрон асбоб. ЯД ВАХси 1.1-расмда келтирилган. Бу ерда 1- назарий характеристика, 2- реал асбоб характеристикаси (бу характеристика ЯДнинг ярим ўтказгич структурасидаги ҳажмий қаршиликни ва ташқи контаклар қаршилигини, ЯДдан ток оқиб ўтганда ундан ажралиб чиқаётган қўшимча иссиқликни ва х.з.ларни ҳисобга олади).



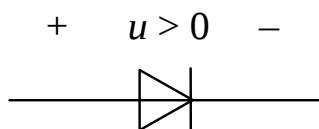
1.1 – расм

1.2. Реал ярим ўтказгичли диод ВАХси 1.1- расмда келтирилган. Пунктир чизик билан қуйидаги тенгламага мос келувчи идеал ВАХ кўрсатилган:

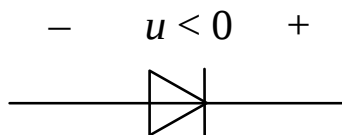
$$i = I_0 \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) \quad (1.1)$$

$T=300 \text{ K}$ да $U_T=26 \text{ мВ}$.

Характеристикалар ярим ўтказгичли диод асосий хоссаларини намоён этади. Очiq ҳолатда ярим ўтказгичли диоддан маълум миқдорда тўғри ток ($i_{\text{тўғри}} > 0$) оқиб ўтади; бу ҳолат ярим ўтказгичли диодга тўғри кучланиш $U_{\text{тўғри}}$ бериш натижасида таъминланади:

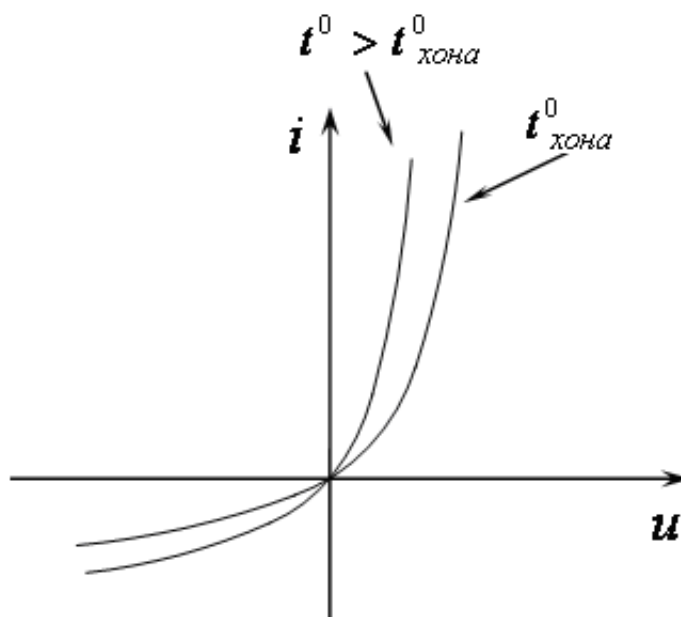


Берк ҳолатда ярим ўтказгичли диоддан жуда кичик тескари ток $i_{\text{теск}}$ ($i < 0$) оқиб ўтади. Бу токнинг қиймати германийли диодларда $10^{-5} - 10^{-6} \text{ А}$, кремнийли диодларда эса $10^{-9} - 10^{-12} \text{ А}$ тартибга эга. Ярим ўтказгичли диоднинг берк ҳолати унга тескари кучланиш $U_{\text{теск}}$ бериш натижасида амалга оширилади:



1.1-расмдан кўриниб турибдики, реал ярим ўтказгичли диод ВАХсининг тўғри шоҳобчаси назарий характеристикага нисбатан бўсағавий кучланиш қиймати билан ифодаланадиган $U_{\text{бўс}}$ сезиларли тўғри ток юзага келадиган анча юқори тўғри кучланиш соҳасига силжиган. Германийли диодларда $U_{\text{бўс}} \approx 0,25 \div 0,4 \text{ В}$, кремнийли диодларда - $U_{\text{бўс}} \approx 0,68 \div 0,8 \text{ В}$. $U \geq U_{\text{бўс}}$ бўлганда ВАХ тўғри шоҳобчасининг эгилиши диод база соҳасининг қаршилиги r'_B билан аниқланади.

Ярим ўтказгичли диод ВАХсига ташқи муҳит температурасининг таъсири 1.2-расм билан тушунтирилади. Температура ортганда тўғри ва тескари ток ортади.



1.2 - расм

Ярим ўтказгичли диодга температура таъсирини ҳисобга оладиган асосий параметрлар бўлиб қуйидагилар ҳисобланади:

Кучланишнинг температуравий коэффиценти α_t

$$\alpha_t = \frac{\Delta U_{\text{мўзгу}}}{\Delta t^0} \bigg|_i = \text{const} \quad (1.2)$$

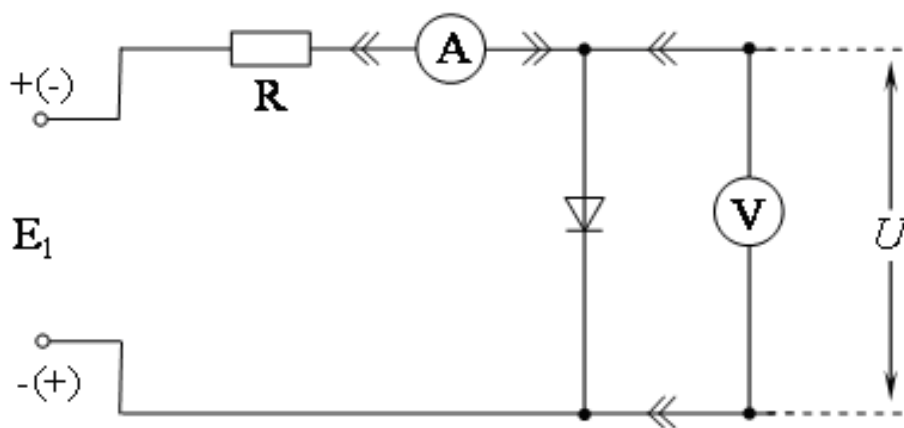
ва тескари токни e мартага ўзгаришига мос келувчи температура t^* :

$$i_{\text{теск}}(t) = i_{\text{теск}}(t'_0) e^{\frac{t-t_0}{t^*}} \quad (1.3)$$

2. Лаборатория ишини бажариш учун топширик:

2.1. Лаборатория ишини бажаришдан аввал схема (1.3-расм), ўлчаш усуллари, қўлланиладиган ўлчов асбоблари билан танишиб чиқиш керак

2.2. Ярим ўтказгичли диод ВАХсининг тўғри шоҳобчаси $i_{\text{мўзгу}} = f(U_{\text{мўзгу}})$ ни ўлчанг (1.1-расм). Тажрибани икки турдаги - германийли ва кремнийли диодлар учун бажаринг.



1.3 – расм.

Тажриба бажариш учун тавсиялар:

Ярим ўтказгичли диод тўғри токи ($i_{тўғри}$) кучланишга кучли равишда боғлиқ (1.1- расм) бўгани сабабли токни чеклаш учун $i \leq i_{куш}$ ярим ўтказгичли диодга кетма – кет чегараловчи қаршилик $R=560$ Ом улаш керак (1.3- расм). Ярим ўтказгичли диод ВАХсини амалда ўлчаш қулай, бунинг учун диодга керакли ток қийматини $i_{тўғри}$ бериб бориб, унга мос келадиган кучланиш қиймат $U_{тўғри}$ ёзиб борилади.

Тажриба вақтида бўсағавий кучланиш қиймати $U_{бўс}$ ни ($i = 500 \text{ мкА}$ бўлганда) ёзиб олиш керак.

Ўлчаш натижаларини жадвалга ёзиб олинг ва олинган $i_{тўғри} = f(U_{тўғри})$ боғлиқлик графигини чизинг.

2.3. Ярим ўтказгичли диод ВАХсининг тескари шоҳобчасини $i_{теск} = f(U_{теск})$ германийли диод учун ўлчанг (1.1- расм).

Тажриба бажариш учун тавсиялар:

Ярим ўтказгичли диод тескари токи ($i_{теск}$) кучланишга кучли боғлиқ бўлмайди (1.1- расм), шунинг учун ВАХнинг тескари шоҳобчасини $U_{теск}$ кучланиш қиймати 0 дан $U_{куш.теск}$ қийматгача ораликда ўлчаш мақсадга мувофиқ. Бу кучланиш қийматларига мос келувчи токни ўлчаш вақтида, $U = 0$ дан $U_{теск} = -1 \text{ В}$ оралиғидагина ток кучли равишда ўзгаришини инобатга олиш керак.

3. Ўлчаш натижаларини қайта ишлаш:

3.1. 2.2 – бандга мувофиқ бажарилган ўлчаш натижаларини ишлаш.

Тажрибада олинган германийли ва кремнийли ЯД ВАХларида уларга мос келувчи 1.1- ифода ёрдамида ҳисобланган назарий характеристикаларни курунг. $U_{m\ddot{y}gpi} = U_{o\ddot{y}c}$ ва $i_{m\ddot{y}z\overline{p}} = 500\text{мкА}$ нуқталарда 1.1- ифода ёрдамида иссиқлик токи I_0 катталигини ҳисобланг. Назарий ва тажриба усулида олинган боғлиқликлар бу нуқталарда мос тушади.

Тажрибада олинган ВАХдан германийли ва кремнийли диод учун $i_{m\ddot{y}gpi} = 10\text{мА}$ қийматида дифференциал қаршилик $r_{диф} = \frac{\Delta u}{\Delta i}$ ва ўзгармас ток бўйича қаршилик $r_0 = \frac{U_{m\ddot{y}gpi}}{i_{m\ddot{y}gpi}}$ ни ҳисобланг.

3.2. 2.3 ва 2.4 – бандларга мувофиқ бажарилган ўлчаш натижаларини ишлаш.

Германийли диод тажрибада олинган ВАХсидан фойдаланиб (2.3- банд) $U_{m\ddot{y}gpi} = 10\text{В}$ бўлганда дифференциал қаршилик $r_{диф} = \frac{\Delta u}{\Delta i}$ ва ўзгармас ток бўйича қаршилик $r_0 = \frac{U_{теск}}{i_{теск}}$ ни ҳисобланг.

4. Ҳисобот мазмуни:

- 1) ўлчаш схемалари;
- 2) олинган боғлиқликлар жадваллари ва графиклари;
- 3) ўлчаш ва ҳисоб натижаларининг таҳлили.

2 - лаборатория иши

Биполяр транзисторларнинг статик характеристикалари ва параметрларини тадқиқ этиш

Ишининг мақсади: Биполяр транзисторларнинг асосий статик характеристикалари ва параметрларини тадқиқ этиш, характеристикаларни ўлчаш ва тажриба натижаларини қайта ишлаш услуби билан танишиш.

1. Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик:

График кўринишда ифодаланган ток ва кучланиш орасидаги боғлиқлик транзистор статик характеристикалари деб аталади. Умумий эмиттер уланиш схемасида мустақил ўзгарувчилар сифатида база токи i_B ва коллектор – эмиттер кучланиши $u_{КЭ}$ танланади, шунда:

$$\begin{cases} u_{ЭБ} = f(i_B, u_{КЭ}) \\ i_K = f(i_B, u_{КЭ}) \end{cases} \quad (2.1)$$

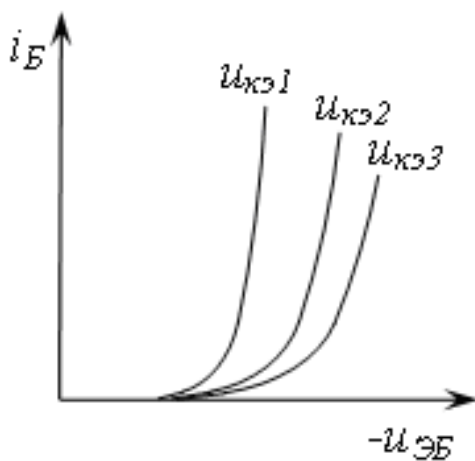
Икки ўзгарувчи функция график кўринишда характеристикалар оиласи каби тасвирланади.

БТ кириш хараakterистикалари оиласи 2.1- расмда келтирилган. Характеристикаларнинг ҳар бири қуйидаги боғлиқлик билан ифодаланади:

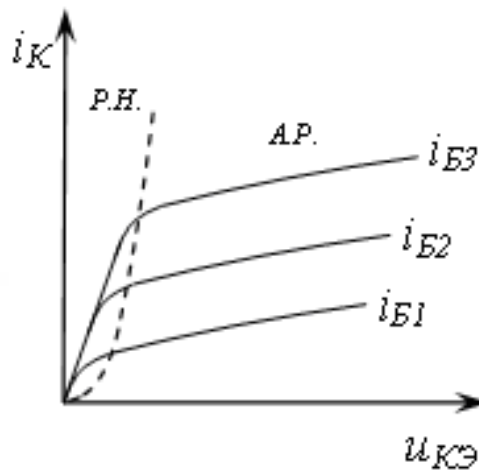
$$u_{ЭБ} = f(i_B), \quad u_{КЭ} = const \text{ бўлганда} \quad (2.2)$$

(абсцисса ўқи бўйлаб $u_{ЭБ}$, ордината ўқи бўйлаб эса i_B қўйилади).

Характеристикалар оиласидаги ҳар бир хараakterистика коллектор – эмиттер кучланишининг ўзгармас қийматида ўлчанади (2.1- расмда $u_{КЭ1} < u_{КЭ2} < u_{КЭ3}$).



2.1 – расм.



2.2 – расм.

Чиқиш характеристикалари оиласи

$$i_K = f(u_{КЭ}), \quad i_B = const \text{ бўлганда} \quad (2.3)$$

2.2- расмда келтирилган ($i_{Б3} > i_{Б2} > i_{Б1}$).

Пунктир чизигидан чапрокда жойлашганн соҳа БТ тўйиниш режимига, ўнгда жойлашган соҳа – актив режимга мос келади.

Кичик амплитудали сигналлар билан ишланганда $I_{Бм}, U_{БЭм}, I_{Км}, U_{КЭм}$ $i_B(0)$ ва $U_{КЭ}(0)$ қийматлар билан бериладиган ихтиёрий ишчи нуқта атрофидаги нозичлиқли боғлиқликлар (2.1-2.3), чизиқли тенгламалар билан алмаштирилиши мумкин, масалан транзисторнинг h - параметрлар тизимидан фойдаланиб.

$$\begin{cases} U_{БЭм} = h_{11}I_{Бм} + h_{12}U_{КЭм} \\ I_{Км} = h_{21}I_{Бм} + h_{22}U_{КЭм} \end{cases} \quad (2.4)$$

ёзиш мумкин, бу ерда $h_{11} = \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta i_B}$, $u_{КЭ} = \text{const}$ бўлганда

$$h_{21} = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_B}, \quad u_{КЭ} = \text{const} \quad \text{бўлганда}$$

$$h_{12} = \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta u_{КЭ}}, \quad i_B = \text{const} \quad \text{бўлганда} \quad (2.5)$$

$$h_{22} = \frac{\Delta i_K}{\Delta u_{КЭ}}, \quad i_B = \text{const} \quad \text{бўлганда}$$

h - параметрлар (2.5) формулалари ёрдамида характеристикалар оиласидан аниқланиши мумкин (h_{11} ва h_{12} – кириш характеристикалар оиласидан, h_{21} ва h_{22} – чиқиш характеристикалар оиласидан).

Аппроксимацияланган кириш характеристикалари учун

$$\begin{cases} u_{БЭ} < U_{БЭС} \text{ бўлганда } - i_B = 0 \\ u_{БЭ} > U_{БЭС} \text{ бўлганда } - i_B = \frac{u_{БЭ} - U_{БЭС}}{r_{КИР}} \end{cases} \quad (2.6)$$

га эгамиз.

Чиқиш характеристикалари учун эса

$$i_K = \begin{cases} \frac{u_{КЭ}}{r_{К.Тўй}}, & U_{КЭ} < U_{КЭ.Тўй}, \quad (\text{тўй.} - \text{режими}) \\ \beta i_B + \frac{u_{КЭ}}{r_K}, & (\text{актив режим}) \end{cases} \quad (2.7)$$

2.6 ва 2.7 формулаларда

$U_{БЭ}$ - эмиттер ўтишдаги бўсағавий кучланиш,

$\bar{r}_{КП}$ - транзистор кириш қаршилигининг ўрта қиймати ($\bar{r}_{КП} \approx r'_Б$),

$r_{К.ТЎЙ}$ - тўйиниш режимидаги транзистор чиқиш қаршилиги (бошланғич соҳада).

$$r_{К.ТЎЙ} = \frac{\Delta u_{КЭ}}{\Delta i_K}, \quad i_B = const \quad \text{ва} \quad u_{КЭ} < U_{КЭ.ТЎЙ} \quad (2.8)$$

r_K^* - актив режимда чиқиш қаршилиги r_K^* нинг ўрта қиймати.

$$r_K^* = \frac{\Delta u_{КЭ}}{\Delta i_K} \Bigg|_{i_B = const \quad \text{ва} \quad u_{КЭ} > U_{КЭ.ТЎЙ}} \quad \text{бўлганда} \quad (2.9)$$

2. Лаборатория ишини бажариш учун топшириқ:

2.1. Тажриба ўтказишга тайёргарлик кўриш:

Транзистор тузилиши ва чегаравий параметрлари билан танишиб чиқинг, транзистор ҳақидаги маълумотларни ёзиб олинг, ўлчаш учун жадвал тайёрланг.

2.1 - жадвал

Кириш ва бошқариш характеристикалари

E_B	В	
$u_{БЭ}$	В	
i_B	мкА	
i_K	мА	

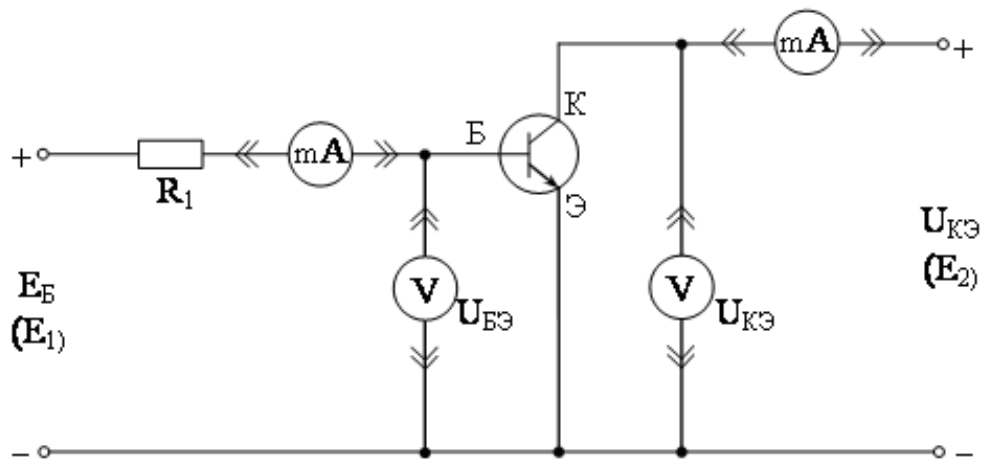
2.2 - жадвал

Транзистор чиқиш характеристикалари

$i_B,$ мкА			
	$u_{КЭ}$	В	
	i_K	мА	
	$u_{КЭ}$	В	
	i_K	мА	
	$u_{КЭ}$	В	
	i_K	мА	
ва х.з.			

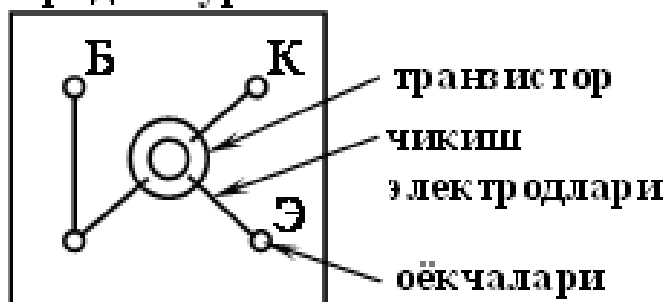
2.4 – расмда келтирилган ўлчаш схемасини йиғинг. Транзистор цоколининг схемаси 2.5 – расмда келтирилган. Резистор қаршилиги $R_1 = (5-10) \text{ кОм}$.

2.2. $u_{кэ} = 5 \text{ В}$ ўзгармас кучланиш қийматида транзисторнинг кириш ва бошқариш характеристикаларини ўлчанг. Ўлчаш натижалари ва ҳисобларни 2.1 - жадвалга киритинг.



2.4 – расм.

Юқоридан кўриниши



2.5 – расм.

2.3. Чиқиш характеристикалар оиласини ўлчанг:

Чиқиш характеристикалар оиласини база токининг $i_B = 50 \text{ мкА}$ қийматидан бошлаб ҳар 50 мкА қийматлари учун ўлчанг. Коллектор токи бу вақтда кўрсатилган чегаравий қийматлардан ошмаслиги керак;

$u_{кэ}$ кучланиш қийматининг ўзгариш оралиғи шундай танланиши керакки, актив ва тўйиниш режимларида 3-5 та нуқта олиш мумкин бўлсин.

3. Ўлчаш натижаларини ишлаш:

3.1. Кириш, бошқарув ва чиқиш характеристикалар оиласи графигини қуринг. $u_{кэ} = 5 \text{ В}$, $i_B = 100 \text{ мкА}$ нуқтада транзистор параметрларини аниқланг

$$h_{11Э} = \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta i_B}, h_{21Э} = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_B}, h_{22Э} = \frac{\Delta i_K}{\Delta u_{КЭ}}$$

3.2. База токи 100 мкА бўлганда чиқиш характеристикасини қуринг. Чизиқли – бўлак аппроксимацияни амалга ошириб $U_{КЭ.ТЎЙ}$, $I_{К.ТЎЙ}$, $r_{К.ТЎЙ}$, r_K ларни ҳисобланг.

4. Ҳисобот мазмуни:

- 1) ўлчаш схемалари;
- 2) олинган боғлиқликлар жадваллари ва графиклари;
- 3) ўлчаш ва ҳисоб натижаларининг таҳлили.

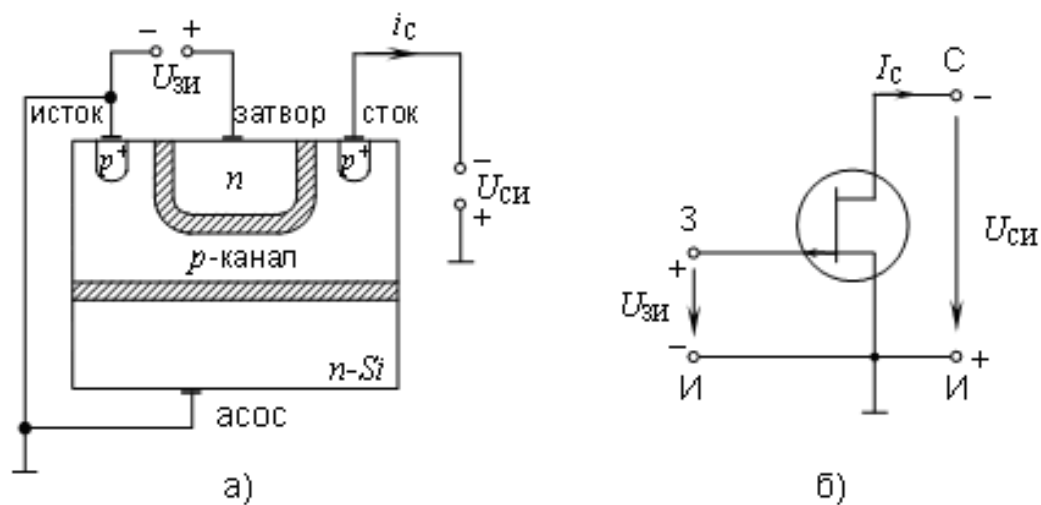
3 – лаборатория иши

Майдоний транзисторни тадқиқ этиш

Ишининг мақсади: Майдоний транзистор статик характеристикалари ва дифференциал параметрларини ўрганиш, транзистор ишига температуранинг таъсирини тадқиқ этиш.

1. Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик кўриш:

Лаборатория ишида тузилиши ва схемаларда шартли белгиланиши 3.1-расмда келтирилгани канали р- турли майдоний транзистор тадқиқ этилади.

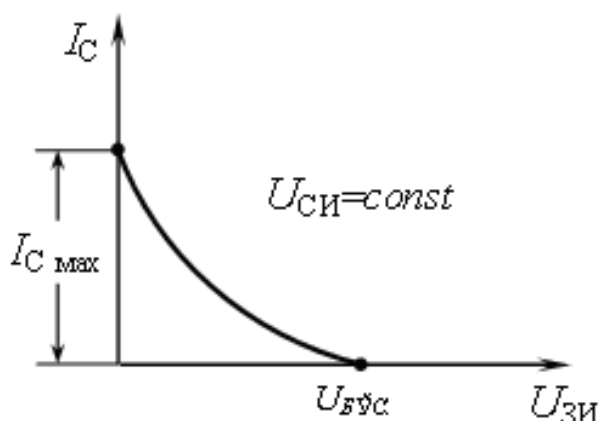


3.1 – расм.

Сток токи затворга кучланиш бериш орқали бошқарилади, яъни бошқарилаётган р-п ўтишга тесқари кучланиш $U_{зи} > 0$ берилади. $U_{зи}$ даги

беркитиш кучланиши ортган сари ҳажмий заряд соҳасининг кенглиги ортиб боради. Натижада берилган $U_{СИ}$ кучланиш қийматида канал кенглиги кичраяди, унинг қаршилиги R_K ортади, демак сток билан исток оралиғидаги сток токи I_C камаяди. 3.2- расмда бошқариш характеристикаси $I_C = f(U_{ЗИ})$ келтирилган.

Бошқарувчи p-n ўтишнинг ҳажмий заряд соҳаси ва асос билан канал орасидаги p-n ўтиш бириккандаги (сток токи I_C нольга тенг бўладиган) затвор кучланиши қиймати бўсағавий кучланиш $U_{БЎС}$ деб аталади.



3.2 – расм.

Тўйиниш режимида ишлаётган майдоний транзистор бошқарув характеристикасини қуйидаги боғлиқлик билан аппроксимациялаш қулай.

$$I_C = I_{C \max} \left(\frac{1 - U_{ЗИ}}{U_{БЎС}} \right)^2, \quad (3.1)$$

бу ерда максимал сток токи затвор – исток кучланиши ноль $I_{C \max} - U_{ЗИ} = 0$ га мос келувчи бошланғич сток токи.

Бошқарув характеристикасидан (3.2- расм) характеристика тиклиги аниқланиши мумкин.

$$S = \left. \frac{dI_C}{dU_{ЗИ}} \right|_{U_{СИ} = \text{const}}.$$

(4.1) аппроксимациядан фойдаланилганда тиклик қуйидагича аниқланади:

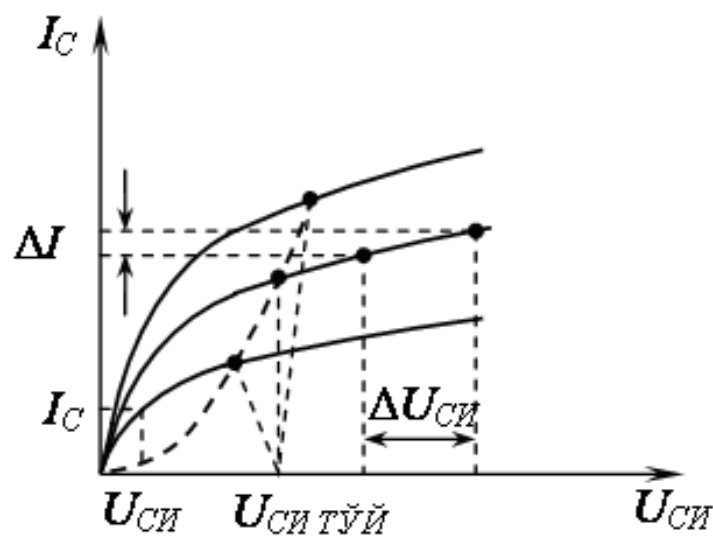
$$S = \frac{2I_{C \max}}{U_{БЎС}} \left(1 - \frac{U_{ЗИ}}{U_{БЎС}} \right), \quad (4.2)$$

Майдоний транзистор чиқиш характеристикалар оиласи 3.3 – расмда келтирилган. Характеристиканинг бошланғич соҳаси ($U_{СИ} < U_{СИ \text{ тўй}}$) чизикли

режимга мос келади. Бу режимда канал бутун исток-сток оралиғида мавжуд бўлади, шунинг учун $U_{СИ}$ ортган сари, чизикли қонунга мос равишда сток токи $I_C = \frac{U_{СИ}}{R_K}$ ҳам ортади.

$U_{СИ} < U_{СИ\ тўй}$ да транзистор тўйиниш режимига ўтади, бу соҳада сток токи I_C сток кучланиши $U_{СИ}$ га кучли боғлиқ бўлмайди. Икки режим чегараси ҳисобланган тўйиниш кучланиши $U_{СИ\ тўй}$ затвордаги кучланиш $U_{ЗИ}$ га боғлиқ бўлади ва қуйидаги формуладан аниқланади: $U_{СИ\ тўй} = U_{ЗИ} - U_{БЎС}$. Чиқиш характеристикасидан (3.3 - расм) чиқиш қаршилиги аниқланиши мумкин

$$r_{чик} = \left. \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta I_C} \right|_{U_{ЗИ} = const}$$



3.3 – расм.

Бу катталиқ тўйиниш режимда ҳисобланса, катта қийматга эга бўлади, шунинг учун транзистор кучайтиргич сифатида ишлатилаётганда схеманинг сокинлик нуқтаси шу режимда танланади. Чизикли режимда транзистор чиқиш қаршилиги затвордаги кучланиш $U_{ЗИ}$ га боғлиқ ва тахминан танланган ишчи нуқтада $U_{СИ}$ кучланишини I_C токка нисбати кўринишида ёки 3.3 – формуладан аниқланиши мумкин.

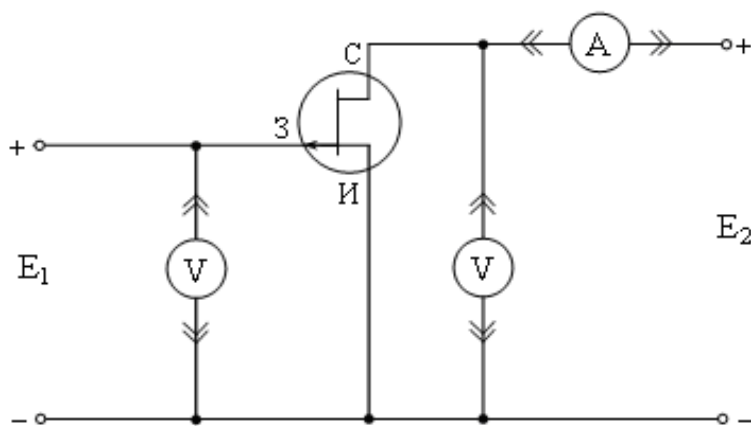
$$R_K = \frac{R_{K0}}{1 - \sqrt{\frac{U_{ЗИ}}{U_{БЎС}}}}, \quad (3.3)$$

бу ерда $R_{K0} = \frac{U_{БЎС}}{3I_{C\ max}}$.

2. Лаборатория ишини бажариш учун топшириқ:

2.1. 3.4- расмда келтирилган схема, ўлчаш асбоблари ўлчанадиган КП103 майдоний транзистор паспорт кўрсатмалари билан танишиб чиқинг. (5-иловага қаранг)

Цоколь расмини чизиб олинг ва тадқиқ этилаётган транзисторнинг чегаравий параметрлари $U_{СИ}$ чег, I_C чег, $P_{ЧЕГ}$ қийматларини ёзиб олинг. 3.4 – расмда келтирилган схемани йиғинг.



3.4 – расм.

2.2. Сток кучланишининг $U_{СИ}=1/3U_{СИ}$ чег ва $2/3U_{СИ}$ чег қийматлари учун иккита бошқарув характеристикасини ўлчанг ($U_{СИ}$ чег қиймати паспорт кўрсатмаларидан олинади). Ўлчаш натижаларини 3.1 – жадвалга киритинг ва ундан фойдаланиб бошқарув характеристикасини қуринг. Тажрибада $U_{ЗИ}$ кучланиш қийматини 0 дан бўсағавий кучланиш $U_{БЎС}$ гача ўзгартиринг.

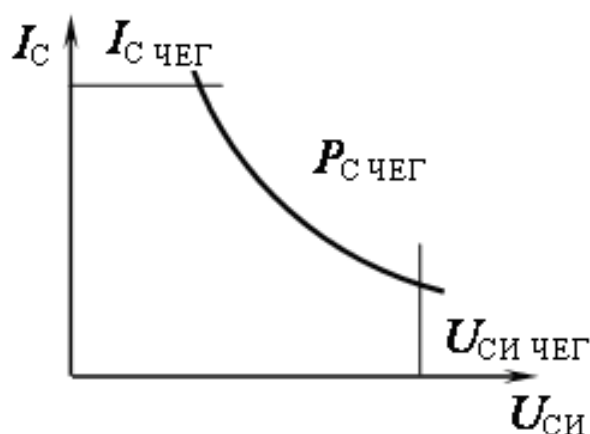
3.1 – жадвал

$U_{ЗИ}, В$	$I_C, мА$	
	$U_{СИ}=1/3U_{СИ}$ чег	$U_{СИ}=2/3U_{СИ}$ чег

2.3. Затвордаги кучланишнинг учта қийматида ($U_{ЗИ}=0$; $0,25U_{БЎС}$; $0,5U_{БЎС}$) чиқиш характеристикалар оиласи $I_C=f(U_{СИ})$ ни ўлчанг.

Тажриба ўтказишдан аввал $I_C - U_{СИ}$ координаталар тизимида транзисторнинг рухсат этилган ишчи режими соҳаларини белгилаб олинг. (3.5 - расм)

Изох: P_C чег чизигини қуриш учун $U_{СИ}$ кучланишининг 0 дан $U_{СИ}$ чег қийматлари оралиғида ихтиёрий бир нечта қийматлари танланади ва шу нуқталарда сток токи $I_C=P_C$ чег/ $U_{СИ}$ ҳисобланади.



3.5 – расм.

Тажрибада олинган нуқталарни 3.2 – жадвалга киритинг ва тайёрланган графикда уларни белгиланг (3.5 - расм). Бунда транзистор учун ишлаш рухсат этилган соҳадан чиқиб кетмасликка эътибор беринг.

3.2 – жадвал

$U_{CE}, \text{В}$	$I_C, \text{мА}$		
	$U_{BE}=0$	$U_{BE}=0,25U_{B\text{эс}}$	$U_{BE}=0,5U_{B\text{эс}}$

2.4. Транзистор сток токига температуни таъсирини тадқиқ этиш. Тадқиқ этилаётган транзисторни термостатга жойлаштиринг ва тегишли температура қийматини ўрнатинг, сток кучланишининг $U_{CE}=1/3U_{CE\text{ чег}}$ қийматида ва $T=40^\circ\text{C}$ ва 80°C температураларда иккита бошқарув характеристикаси $I_C=f(U_{BE})$ ни ўлчанг.

Ўлчаш натижаларини 3.3 – жадвалга киритинг ва улардан фойдаланиб $T=40^\circ\text{C}$ ва 80°C температуралардаги иккита бошқарув характеристикаси $I_C=f(U_{BE})$ ни қурун.

3.3 - жадвал

$U_{BE}, \text{В}$	$I_C, \text{мА}$	
	$T=40^\circ\text{C}$	$T=80^\circ\text{C}$

3. Тажрибада олинган натижаларни ишлас.

3.1. 2.2. бандда ўлчанган бошқарув характеристикаларини 3.1 – ифода ёрдамида аппроксимацияланг. Аппроксимация натижаларини қурилган $I_C=f(U_{BE})$ графигида акс эттиринг.

3.2. Бошқарув характеристикаларидан фойдаланиб, транзистор тиклигини $U_{CE}=1/3U_{CE\text{ чег}}$ ишчи нуқтада аниқланг

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \bigg|_{U_{си} = const}$$

S қийматини худди шу нукта учун 3.2 – формула ёрдамида ҳам аниқланг.

3.3. 2.3 – бандда ўлчанган чиқиш характеристикалар оиласида $U_{си\ тўй} = U_{зи} - U_{бўс}$ ораликқа мос келувчи, чизикли режим билан тўйиниш режими орасидаги чегарани кўрсатинг.

3.4. Чиқиш характеристикалар оиласидан фойдаланиб, қуйидаги ишчи нукталар учун транзистор чиқиш қаршилигини аниқланг:

- тўйиниш режимида ($U_{си} = 1/3 U_{си\ чег}$, $U_{зи} = 0,25 U_{чег}$);
- чизикли режимда $U_{си} = 0$ ва затвор кучланишининг учта қийматида ($U_{зи} = 0$; $0,25 U_{бўс}$; $0,5 U_{бўс}$).

Ҳисоблашлар натижаларини 3.4 – жадвалга киритинг ва улардан фойдаланиб чизикли режим учун $r_{чик}$ нинг $U_{зи}$ га боғлиқлик графигини қуринг.

3.4 – жадвал

$U_{зи}, В$	$R_{чик}, кОм$	
	$U_{си} = 1/3 U_{си\ чег}$	$U_{си} = 0$
$U_{зи} = 0$		
$U_{зи} = 0,25 U_{чег}$		
$U_{зи} = 0,5 U_{чег}$		

3.5. 2.4 – бандда ўлчанган бошқарув характеристикаларида, турли температураларда ўлчанган бошқарув характеристикалари кесишадиган термо барқарор нуктанинг $I_{ст}$ ва $U_{зит}$ координаталарини аниқланг.

4. Ҳисобот мазмуни.

- тадқиқ этилаётган транзистор паспорт кўрсатмалари;
- ўлчаш схемаси;
- ўлчанган боғлиқликлар жадвал ва графиклари;
- бошқарув характеристикасининг аппроксимацияси, ҳисобланган транзистор характеристикасининг тиклиги S ва чиқиш характеристикалари $r_{чик}$ натижалари.

4 – лаборатория иши

Операцион кучайтиргич параметрларини тадқиқ этиш

Ишнинг мақсади: операцион кучайтиргич параметрларини ўлчаш усулларини ўрганиш.

1. Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик кўриш:

Интеграл кўринишда бажарилган операцион кучайтиргич (ОК) – бу универсал аналог микросхемадир. У икки киришли дифференциал кучайтиргичда бажарилган кенг полосали ўзгармас ток кучайтиргичи бўлиб, чиқишида шаклланаётган сигнал киришдаги сигналларнинг фарқига тенг бўлади.

Унинг чиқишида тескари алоқа занжирини қўллаб киришдаги сигналлар устидан турли математик амаллар бажариш имконияти борлиги туфайли ҳам - операцион кучайтиргич номини олган. Чиқиш занжирини танлашга қараб ОК кўшиш, айириш, кўпайтириш, ўрта қийматни аниқлаш, интеграллаш, дифференциаллаш, логарифмлаш ва бошқа амалларни бажариш учун қўлланилиши мумкин. Амалларни бажариш аниқлиги ОКнинг кучайтириш коэффиценти ва кириш қаршилиги қанча катта, чиқиш қаршилиги эса қанча кичик бўлса, шунча юқори бўлади.

ОК ни характерловчи параметрлар сони бир неча ўн қийматга етади.

Уларга қуйидагилар киради:

- *тескари алоқасиз ОК кучайтириш коэффиценти* - K_U . K_U нинг тескари алоқасиз қиймати бир неча ўн – юз мингни ташкил этади;
- *синфаз кириш сигналларининг сўниш коэффиценти* – $K_{ТА\ СФ}$. ОКнинг иккала киришига берилаётган сигналларни сўндириш қобилиятини баҳолайди. Одатда, $K_{ТА\ СФ}$ децибелларда ифодаланади:

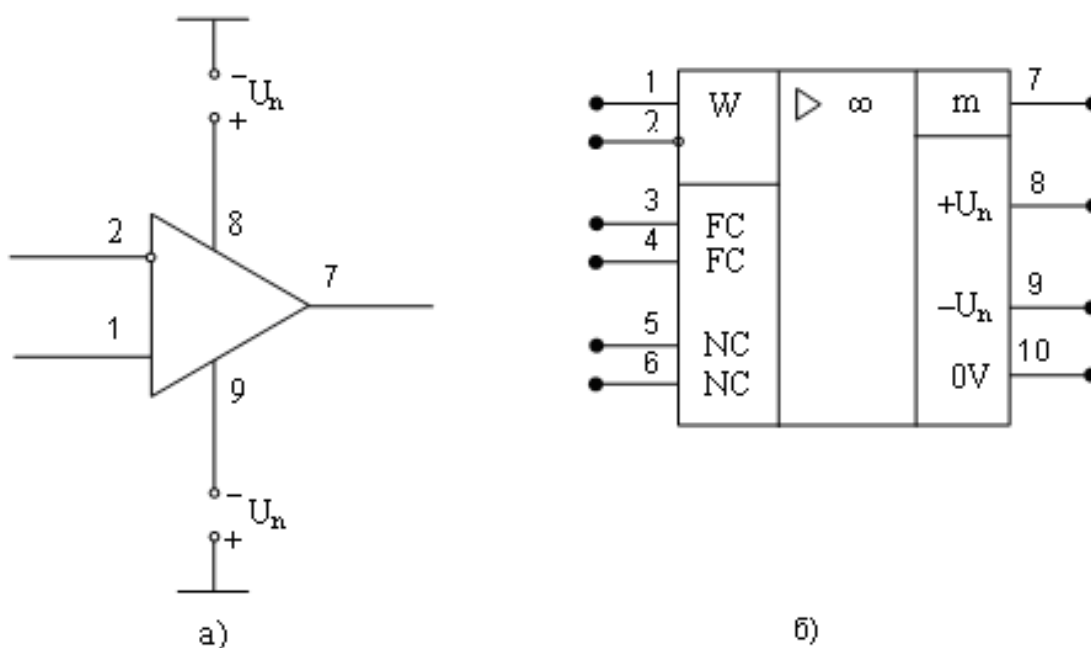
$$K_{ТА\ СФ} = 20 \lg \frac{ТА\ сиз\ ОК\ нинг\ кучайтириш\ коэффиценти}{синфаз\ сигнал\ нинг\ кучайтириш\ коэффиценти}$$

- *силжитувчи кириш кучланиши* - $U_{СИЛ}$. Бу катталик, ОК чиқишида кучланиш нольга тенг бўлиши учун, киришга бериш керак бўлган кучланиш қийматини белгилайди. Бу катталик ОК нинг идеал эмаслигини характерлайди ва кириш каскадидаги транзисторларни бир хил эмаслигига асосланган. Одатда $U_{СИЛ}$ қиймати милливольт- ўн милливольтларда бўлади;

- *кириш токлари* - $I_{КИР}$. Чиқишдаги кучланиш нольга тенг бўлганда киришларда оқиб ўтадиган токни билдиради. Бу тоklar киришдаги биполяр транзисторларнинг база токлари ёки ОК кириш каскадида майдоний транзисторлар қўлланилган бўлса затвордаги сизиш токи билан тушунтирилади. Одатда $I_{КИР}$ қиймати наноампер – ўн микроампер ($10^{-10} \dots 10^{-15}$ А) ларда белгилайди;

- *кириш тоқларининг фарқи $I_{КИР}$ – 10...20% га етиши мумкин. Бу катталиқ ОК кириш каскадининг симметрик эмаслигини ифодалайди;*
- *чиқиш кучланишининг ортиб бориш тезлиги $V_{u,ЧИҚ}$ - бу катталиқ $U_{ЧИҚ}$ қийматини ўзининг номинал қийматидан 10% дан 90% гача ўзгаришининг, шу ўзгаришларга кетган вақтга нисбатига тенг;*
- *бирлик кучайтириш частотаси - f_1 .Бу катталиқ ОКда кучланишни кучайтириш коэффиценти бирга тенг бўладиган кириш сигнали частотасини билдиради. Бу катталиқ ОК кучайтириши мумкин бўлган сигналларнинг частота диапазонини белгилайди.*

4.1 а, б – расмларда ОКнинг схемаларда бериладиган шартли белгиси ва чиқишларнинг вазифалари тасвирланган.



4.1 – расм.

- 1 – ОКнинг инверсламайдиган кириши;
- 2 - ОКнинг инверслайдиган кириши;
- 3,4 – амплитуда билан уланиш учун хизмат қиладиган чиқишлар;
- 5,6 – балансловчи ташқи элементлар билан уланиш учун хизмат қиладиган чиқишлар;
- 7 – ОК чиқиши;
- 8 – кучланиш манбаининг мусбат ишорали электродига уланиш чиқиши;
- 9 – кучланиш манбаининг манфий ишорали электродига уланиш чиқиши;
- 10 – схеманининг ноль шинасига (ноль потенциал) уланиш чиқиши.

Лаборатория ишида тадқиқ этилаётган ОКнинг чиқишларининг жойлашиши, параметрлари ва таҳрирловчи схемалар иловада келтирилган. Шуни ёдда тутиш керакки, ОК асосидаги принципиал схемаларда мавжуд манба занжирлари ва стандарт таҳрирлаш схемалари келтирилмаслиги мумкин.

2. Лаборатория ишини бажариш учун топшириқ:

Иловадан тадқиқ этилаётган ОК шартли белгисини чизиб олинг (чиқиш рақамлари ва тахрирлаш элементи билан), чегаравий қийматларини ёзиб олинг.

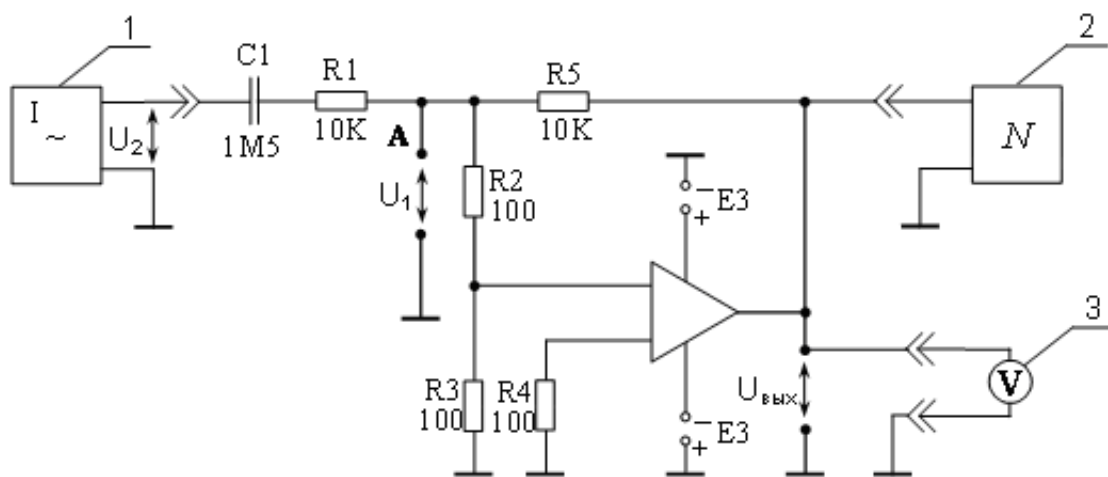
2.1. ОК кучайтириш коэффициентининг чегаравий қийматини аниқланг. Қанча катта қийматга эга бўлса, уни бевосита ўлчаш қийин. Шу сабабли K_U қиймати ҳисоблаш натижасида олинади.

2.1.1. 4.2 – расмда келтирилган схемани йиғинг (ОК цоколи иловада келтирилган). (Шуни эслатиб ўтмоқчимизки, частотани тахрирловчи схема йиғилган бўлса ҳам унинг схемаси кўрсатилмаган. Кейинчалик Е3 манба элементи ҳам тушириб қолдирилади).

2.1.2. Генератор чиқишида (1) амплитудаси $U_r=1$ В ва частотаси $f_r=10..20$ Гц бўлган синусоидал сигнал ўрнатинг. Бу вақтда осциллограф экранда (2) шакли бузилмалган сигнал кузатилиши керак (агар бузилишлар мавжуд бўлса, U_r ни камайтириш керак).

2.1.3. Вольтметр (3) ёрдамида ўзгарувчан U_1 кучланиш (“А” нуқта билан умумий сим орасида) ва $U_{чик}$ ни ўлчанг, сўнгра K_U қуйидаги формула ёрдамида аниқланг:

$$K_U = \frac{U_{чик}}{U_1} \cdot \frac{R_2}{R_3}$$



4.2 – расм.

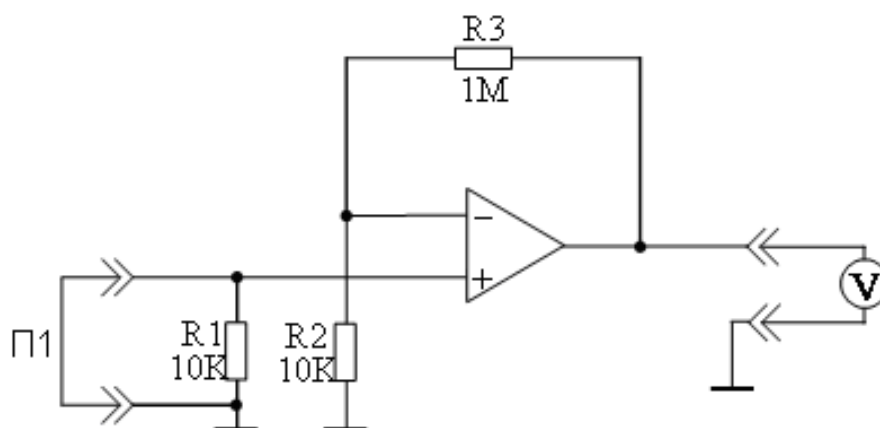
2.2. ОК силжитувчи кучланиши ($U_{сил}$) ва кириш токи ($I_{кир}$) ни ҳисоблаб топинг.

Бу катталиклар кичик қийматга эга бўлганлиги учун уларни бевосита ўлчаш мушкул. Шу сабабли улар ҳисоблаш ёрдамида аниқланади.

2.2.1. 4.3 – расмга мос равишда схемани йиғинг (схемада манба ва таҳрирлаш занжирлари кўрсатилмаган).

2.2.2. ОК инверсламайдиган киришини (схемада “+” ишора билан кўрсатилган) умумий сим билан уловчи П1 қайта улагични ўрнатинг (R1 резистор ўрнига). Вольтметр кўрсатаётган $U_{ЧИК1}$ ўзгармас кучланиш қийматини ёзиб олинг.

2.2.3. П1 қайта улагични олиб ташланг ва уни ОКнинг инверсламайдиган кириши билан R1 резистор умумий сими ўртасига ўрнатинг. Бу вақтда вольтметр кўрсатмаси ўзгаради. Бу қийматни $U_{ЧИК2}$ деб белгилаб, ёзиб олинг.



4.3 – расм.

2.2.4. $U_{ЧИК1}$ ва $U_{ЧИК2}$ қийматларнинг ишорасига эътибор берган ҳолда силжитиш кучланиши

$$U_{СИЛ} = |U_{ЧИК2} - U_{ЧИК1}| \cdot \frac{R1}{R3}$$

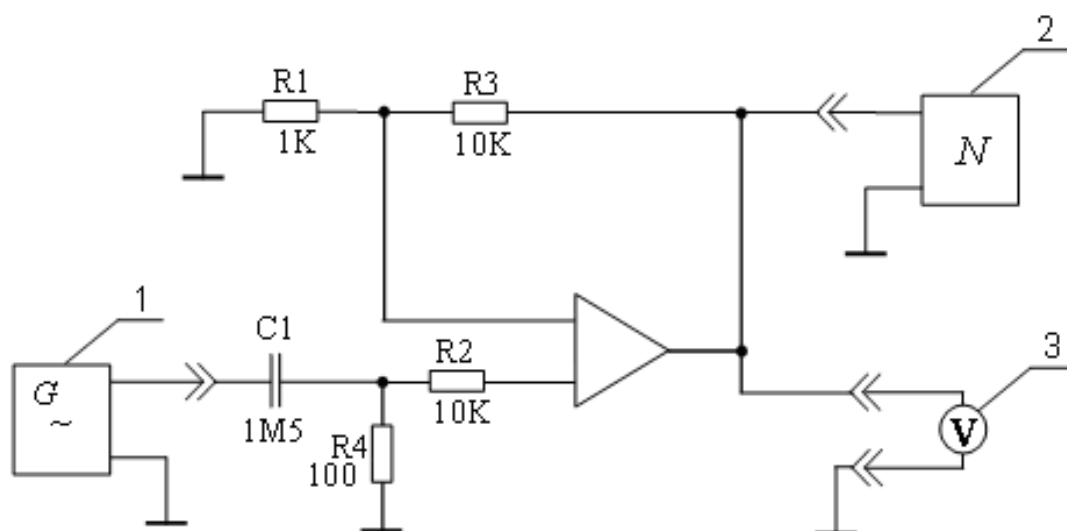
ва ОК кириш токи $I_{КИР}$

$$I_{КИР} = \frac{U_{СИЛ}}{R2}$$

2.3. ОК чиқиш кучланишининг ортиб бориш тезлиги $V_{u,ЧИК}$ ни ўлчаш.

2.3.1. 3.4 – расмга мос равишда схемани йиғинг (схемада манба кўрсатилмаган).

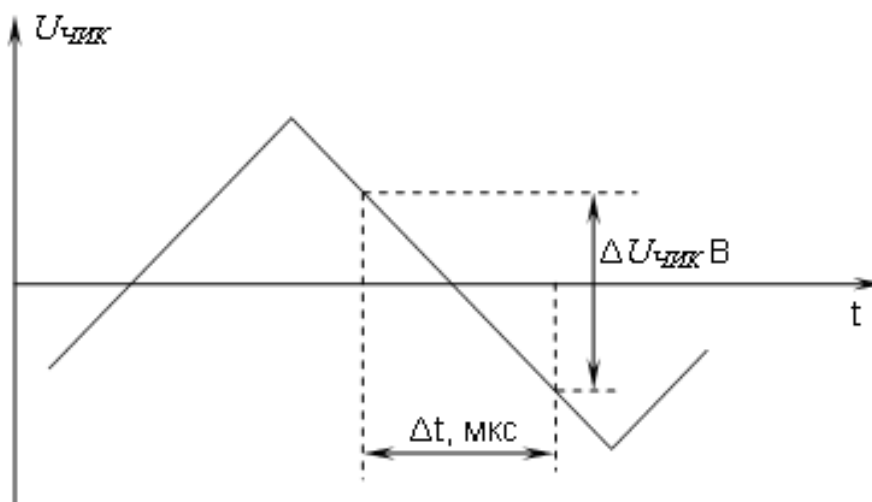
Генератор чиқишидаги сигнал (U_r) шундай ўрнатилиши керакки, ОК каскади чиқишидаги кучланиш $U_{ЧИК}$ максимал чегаравий қийматга яқин бўлсин, яъни чиқишдаги синусоидал сигнал чегаравий қийматга яқин бўлсину, лекин чегараланмасин. Бу вақтда генератор частотасини анча кичик қилиб танланг (0,1...1кГц).



4.4 – расм.

2.3.2. Генератор частотасини орттириб бориб, чиқиш сигнали осциллограммасини кузатиб боринг. Кенгайиш камайган сари учбурчак шаклга яқинлашиб боради (4.5 - расм).

2.3.3. Генератор частотасини бир неча ўн кГц тартибда ўрнатиб, ҳамда каналдаги кучланиш “У” ва ёйиш тезлиги (мкс/бўл)ни калибрлаб, олинган осциллограмма тиклигини ўлчанг (4.5 - расм).



4.5 – расм.

3. Ҳисобот мазмуни.

- тадқиқ этилаётган ОК паспорт кўрсатмалари ва таҳрирлаш схемалари;
- ОК параметрларини ўлчаш схемалари ва олинган натижалар.

5 – лаборатория иши

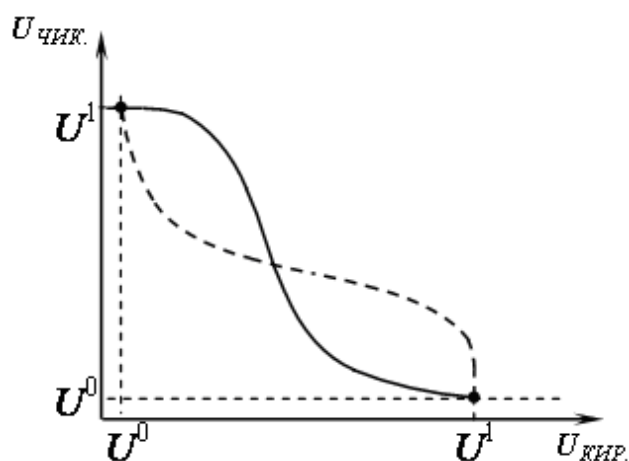
Майдоний транзисторларда ясалган калит схемаларни тадқиқ этиш

Ишнинг мақсади: Майдоний транзистор (МТ)ларни калит режимида ишлаш хоссаларини ўрганиш. МТни юклама резистори сифатида қўлланилишини ўрганиш.

1. Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик кўриш:

Бу ишни бажаришда сток токи занжиридаги қаршилик қийматининг узатиш характеристикаси кўринишига таъсирини ўрганиб чиқинг. Квази чизиқли юклама сифатида турли майдоний транзисторлар қўлланилганда узатиш характеристикалар турлича бўлишига аҳамият беринг.

Мантиқий сигналлар сатҳларини аниқлашда калитнинг узатиш характеристикаси $U_{\text{ЧИК}} = f(U_{\text{КИР}})$ дан фойдаланилишига эътибор беринг. (5.1-расм)



5.1 – расм.

Мантиқий ноль U^0 ҳамда мантиқий бир U^1 сатҳлар узатиш характеристикаси ва унинг кўзгули акси (пунктир чизиқ) кесишган нуқталардан аниқланади. $\Delta U = U^1 - U^0$ мантиқий сигналларнинг сатҳлар фарқи деб аталади.

2. Лаборатория ишини бажариш учун топшириқ:

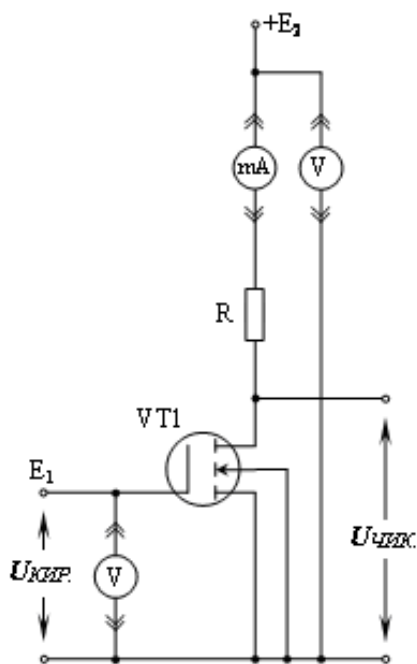
2.1. МТ да ясалган калит узатиш характеристикасига юклама қаршилигининг таъсирини $U_{\text{ЧИК}} = f(U_{\text{КИР}})$ тадқиқ этиш.

n - турдаги канали индукцияланган МДЯ транзисторда бажарилган калит схемаси 5.2- расмда келтирилган. Схема $E2 = 9\text{В}$ манбадан таъминланади. Кириш кучланиши $U_{\text{КИР}}$ росланувчи $E1$ кучланиш манбаидан берилади. Чиқиш кучланиши $U_{\text{ЧИК}}$ ва истеъмол қилинаётган токни ўлчаш учун рақамли вольтметр ва амперметрлардан фойдаланинг. VT1 сифатида

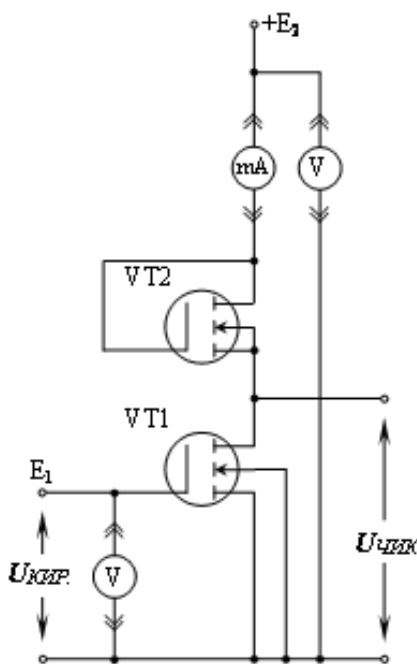
К176ЛП1 микросхемадаги n-каналли транзисторларнинг бирини олинг. Ишлаш қулай бўлиши учун иловада келтирилган микросхема принципиал схемасини чизиб олинг ва электродлари рақамларини белгилаб олинг.

Тажрибани қуйидаги тартибда олиб бориш тавсия этилади:

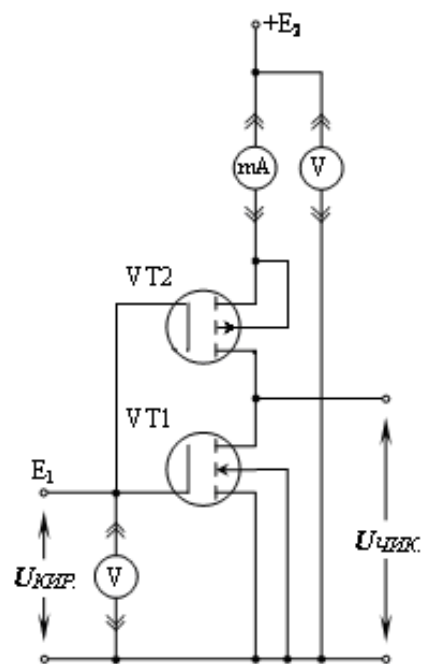
- МДЯ транзистор сток занжирига чизиқли резистор $R=51\text{ кОм}$ ни уланг;
- кучланиш манбаи қийматини $E_2=9\text{ В}$ қилиб ўрнатинг;
- кириш кучланишини 0 дан 9В гача ўзгартириб бориб, $U_{\text{ЧИК}}=f(U_{\text{КИР}})$ ва $I_{\text{ИСТ}}=f(U_{\text{КИР}})$ боғлиқлигини ўлчанг;
- қаршилиқнинг $R=10\text{ кОм}$ ва $3,5\text{ кОм}$ қийматлари учун ўлчашларни такрорланг;
- тажриба натижаларидан фойдаланиб $U_{\text{ЧИК}}=f(U_{\text{КИР}})$ боғлиқлик графикларини қуринг.



5.2 – расм.



5.3 – расм.



5.4 – расм.

2.2. n - МДЯ транзисторларда ясалган калит узатиш характеристикасини тадқиқ этиш.

n -МДЯ транзисторларда ясалган калитни тадқиқ этиш схемаси 5.3 – расмда келтирилган. VT1 ва VT2 транзисторлар сифатида К176ЛП1 микросхемадаги ихтиёрий транзисторларни ёки алоҳида калит схемасини олинг.

2.1 – банддаги тажрибаларни такрорланг.

2.3. КМДЯ транзисторларда ясалган калит узатиш характеристикасини тадқиқ этиш.

КМДЯ транзисторларда ясалган калитни тадқиқ этиш схемаси 5.4 – расмда келтирилган. VT1 ва VT2 транзисторлар сифатида К176ЛП1

микросхемадаги ихтиёрий комплементар транзисторлар жуфтлиги ёки алоҳида калит схемасини олинг.

2.1 – банддаги тажрибаларни такрорланг.

3. Тажрибада олинган натижаларни ишлаш.

3.1. 2- бандда олинган узатиш характеристикаларни қуринг.

3.2. Ҳар бир калит учун мантиқий сигнал U^0 ва U^1 сатҳлари ва мантиқий сигналлар сатҳлар фарқи $\Delta U = U^1 - U^0$ ни аниқланг.

Олинган натижаларни 5.1 – жадвалга киритинг.

5.1 – жадвал

Параметр	U^0 , В	U^1 , В	ΔU , В	$P_{\text{ўрт}}$, мВ
Юклама тури				
Қаршиликли юклама				
$R_{\text{ю}}=51\text{кОм}$				
$R_{\text{ю}}=10\text{кОм}$				
$R_{\text{ю}}=3,5\text{кОм}$				
n – МДЯ (p -МДЯ) транзисторли калит				

3.3. Мантиқий ноль ва мантиқий бир ҳолатларида манбадан истеъмол қилинаётган қувватнинг ўртача қийматини аниқланг:

$$P_{\text{ўрт}} = \frac{1}{2}(P^0 + P^1); \quad P^{0,1} = I_{\text{ист}}^{0,1} E_M.$$

4. Ҳисобот мазмуни.

- ўлчаш схемалари;
- олинган боғлиқликлар жадваллари ва графиклари;
- ўлчаш ва ҳисоб натижаларининг таҳлили.

6 – лаборатория иши

Транзистор – транзистор мантиқ интеграл схемасини тадқиқ этиш

Ишининг мақсади: Транзистор – транзистор мантиқ интеграл схемаси электр параметрларини тадқиқ этиш

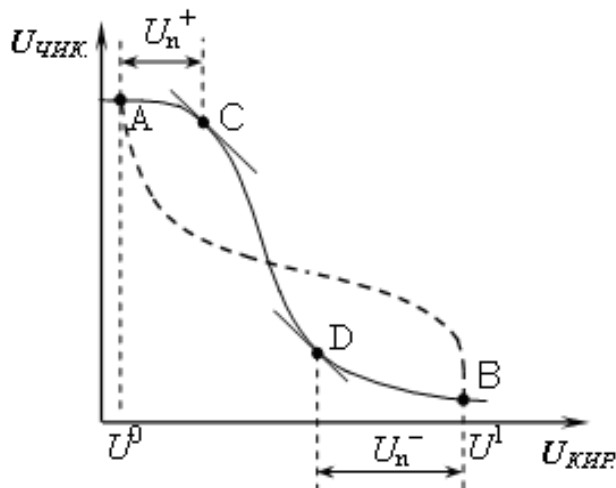
1. Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик кўриш:

Бу ишни бажаришда мантиқий микросхемалар асосий электр параметрларининг физик маъносига ва ўлчаш услубларига, ҳамда транзистор – транзисторли мантиқ (ТТМ)нинг схемотехник хоссаларига эътибор

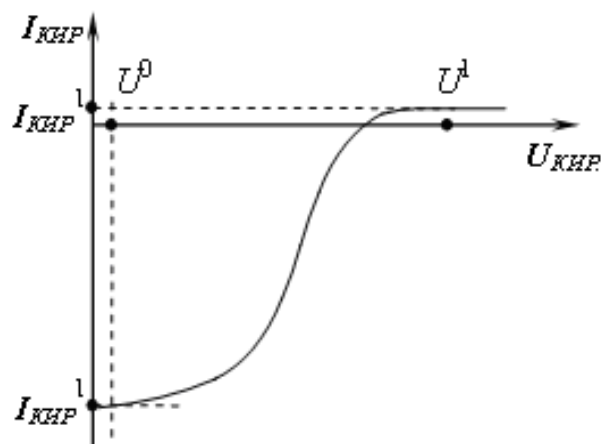
қаратиш керак. Статик параметрлар узатиш характеристикаси ($U_{ЧИК}=f(U_{КИР})$) графиги ёрдамида (6.2 - расм) аниқланиши мумкин.

Аввал узатиш характеристикасидан (6.1 - расм) мантикий ноль U^0 ва мантикий бир U^1 сатҳлари (характеристиканинг унинг кўзгули акси билан туташган А ва В нукталаридан аниқланади), сўнгра 6.2 – расмдаги графикдан $I_{КИР}^0$ и $I_{КИР}^1$ аниқланиб олинади.

График ёрдамида (6.1 – расм) ИМС статик шовқинларга бардошлиги $U_n = \min(U_n^+, U_n^-)$ аниқланади. (С ва D нукталарда уринма 45° бурчак остида ўтишини эслатиб ўтамиз).



6.1 – расм.



6.2 – расм.

Микросхема тезкорлиги сигнал тарқалишининг ўртача вақти билан аниқланади:

$$t_{\text{ўрт.кеч}} = \frac{1}{2} (t_{\text{кеч}}^{0,1} + t_{\text{кеч}}^{1,0}),$$

бу ерда $t_{\text{кеч}}^{0,1}$ ва $t_{\text{кеч}}^{1,0}$ – импульс амплитудасининг 0,5 даражасида ўлчанадиган, импульс олди ва орқа фронтларининг ўртача кечикиш вақти.

Микросхема тежамкорлиги ўртача истеъмол қуввати (ноль ва бир ҳолатларда) билан баҳоланади:

$$P_{\text{ўрт}} = \frac{1}{2} (P^0 + P^1).$$

Микросхеманинг интергал сифатини уланиш ишининг сунъий параметри белгилайди:

$$A_{\text{узатиш}} = t_{\text{ўрт.кеч}} P_{\text{ўрт}}.$$

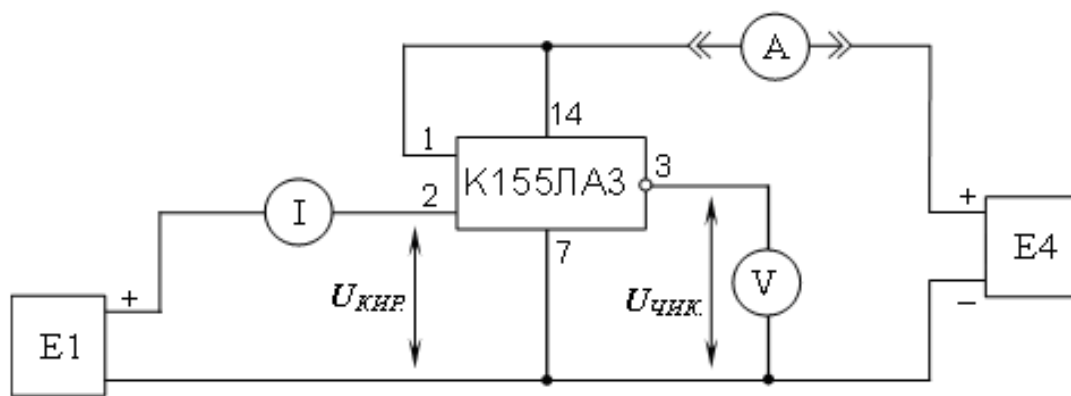
Лаборатория ишида таркибида 4 та 2ЎКИ–ЭМАС схемаси бўлган К155ЛА3 ёки К555ЛА3 микросхемаси қўлланилади. Тадқиқ этилаётган микросхема принципиал схемаси, чиқишларнинг жойлашиши ва асосий электр параметрлари иловада келтирилган.

Ишни бажаришга тайёршгарлик кўриш жараёнида иловада келтирилган ИМС схемаси ва параметрлари ҳисоботга киритилиши лозим.

2. Лаборатория ишини бажариш учун топшириқ:

2.1. Микросхеманинг узатиш ва кириш характеристикаларини ўлчаш.

2.1.1. К155ЛА3 микросхемада мавжуд тўртта 2 ЁКИ - ЭМАС элементларнинг ихтиёрий биридан фойдаланиб, 6.3 – расмда келтирилган схемани йиғинг (мисол тарикасида бир схеманинг чиқишлари тартиби келтирилган).



6.3 – расм.

ИМС киришларидан бирига кириш кучланиши беринг, иккисига (ишлатилмаяпганига) эса манбанинг “+” кутбини уланг. E1 кириш кучланишини 0...5 В оарлиғда ўзгартириб бориб кириш $I_{KIP}=f(U_{KIP})$ ҳамда узатиш характеристикасини $U_{ЧИК}=f(U_{KIP})$ ўлчанг. Ўлчаш натижаларини жадвалга киритинг.

2.1.2. $U_{KIP}=U^0 \approx 0,4$ В бўлганда ва $U_{KIP}=U^1 \approx 2,4$ В бўлганда мос равишда истеъмол $I_{ист.}^0$ ва $I_{ист.}^1$ тоқларини ўлчанг (U^0 ва U^1 сатҳ қийматлари паспорт кўрсатмаларидан олинади).

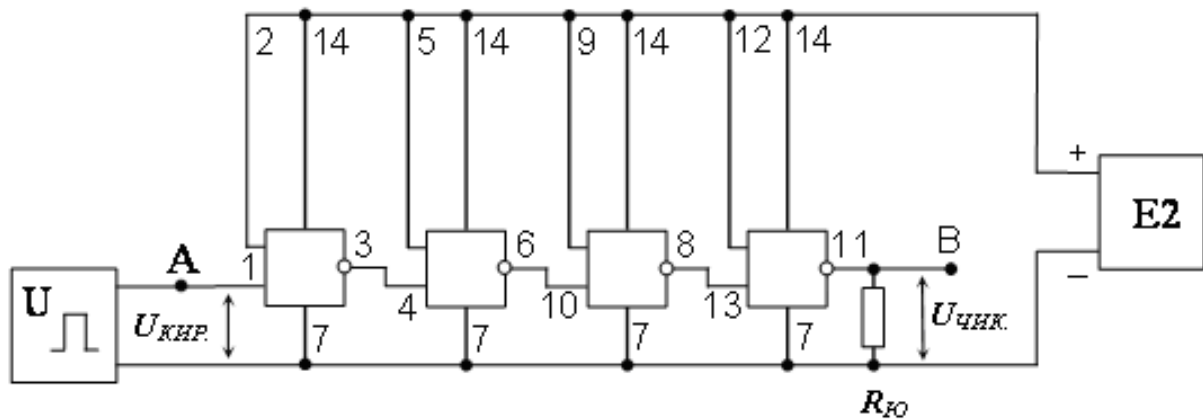
2.2. Микросхема юклама қобилятини ўлчаш.

Олдинги бандда тадқиқ этилган схемадан фойдаланинг. ИМС киришига паспорт кўрсатмасидаги мантиқий ноль қийматини $U_{кир}=0,4$ В беринг. ИМС чиқишига юклама қаршилиқлари: $R_{Ю}=10$ к Ом, 1 кОм, 470 Ом, 100 Ом бериб, юклама чиқиш характеристикасини $U_{ЧИК}=f(R_{Ю})$ ўлчанг.

2.3. Мантиқий микросхема тезкорлигини тадқиқ этиш.

6.4 – расмда келтирилган схемани йиғинг. Ўлчашни соснлаштириш мақсадида кечикиш вақтини узайтириш мақсадида тўртта микросхема кетма

– кет уланган (олинган натижани тўртга бўлиш кераклиги ёддан кўтарилмасин).



6.4 – расм.

Кириш (А нукта) ва чиқиш (В нукта) га осцилографни уланг. Бу вақтда ИМС чиқишига осцилограф пультада ўрнатилган кучланиш бўлувчиси 1:10 орқали уланиши керак. Бу ҳолат уланиш кабелли сифими ва осцилограф таъсирини 10 маротабага камайтиришга имкон беради. (Кириш занжири паст омли бўлгани учун, бу ерда бу ҳолат талаб этилмайди).

Киришга амплитудаси 5 В ва частотаси 1 кГц бўлган тўғри бурчакли импульслар берилади. Олди ва орқа фронтларнинг кечикиш вақтларини ($t_{кеч}^{0,1}$, $t_{кеч}^{1,0}$) аниқланг.

3. Тажрибада олинган натижаларни ишлаш.

3.1. 2.1 – банддаги ўлчаш натижалари бўйича $U_{ЧИК}=f(U_{КИР})$ ва $I_{КИР}=f(U_{КИР})$ боғлиқликлар графикларини чизинг ва асосий параметрларни аниқланг: U^0 , U^1 , $I_{КИР}^0$, $I_{КИР}^1$, U_M^+ , U_M^- , $U_{M..}$. Ўртача истеъмол қувватини $P_{ўрт}$ ҳисобланг.

3.2. Сигнал тарқалишидаги ўртача кечикиш вақти $t_{кеч.ўрт}$ ҳамда қайта уланиш ишини $A_{ул}$ ҳисоблаб топинг.

3.3. 2.2 – бандда ўлчанган чиқиш кучланишининг юкламага боғлиқлик графигини $U^1_{ЧИК}=f(R_{Ю})$ куринг. Графикда кучланиш пасайишинининг паспорт кўрсатмасидаги қиймати $U^1_{ЧИК}=2,4$ В га мос келувчи юкламанинг $R_{Ю..min}$ қийматини белгиланг.

4. Ҳисобот мазмуни.

- иловада келтирилган К155ЛА3 микросхема паспорт кўрсатмалари;
- ўлчаш натижалари жадваллари ва боғлиқликлар графиклари;
- олинган ИМС параметрлари қийматлари.

7 – лаборатория иши

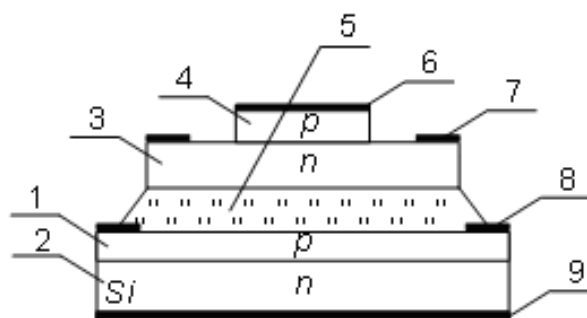
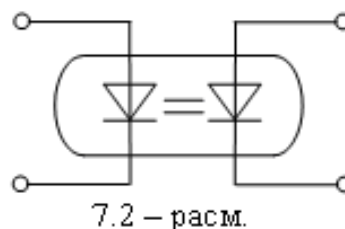
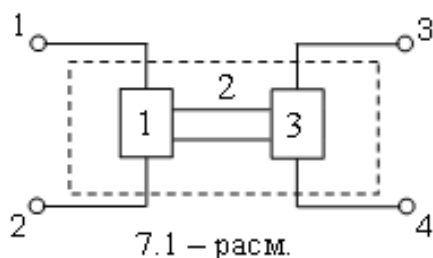
Интеграл оптронларни тадқиқ этиш

Ишининг мақсади: Оптронлар ишлашини ва параметрларини ўлчаш услубларини ўрганиш.

1. Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик кўриш:

Оптронлар – функционал электроникаанинг замонавий йўналишларидан бири – оптоэлектрониканинг асосий структура элементи ҳисобланади.

Энг содда диодли оптрон (7.1 – расм) учта элементдан ташкил топган: фотонурлатгич 1, нур ўтказгич 2 ва фото қабул қилгич 3 бўлиб, ёруғлик нури тушмайдиган герметик корпусга жойлаштирилган. Киришга электр сигнали берилса фотонурлатгич қўзғотилади. Ёруғлик нури нур ўтказгич орқали фото қабул қилгичга тушади ва унда чиқиш электр сигнали юзага келади. Оптоэлектроннинг асосий хусусияти шундаки, ундаги элементлар ўзаро нур орқали боғланган бўлиб, кириш билан чиқишлар эса электр жиҳатдан бир – биридан ажратилган. Шу хусусиятидан келиб чиққан ҳолда, юқори кучланишли ва паст кучланишли занжирлар бир – бири билан осон мувофиқлаштирилади. Диодли оптроннинг шартли белгиси 7.2 – расмда, унинг конструкцияси эса 7.3 – расмда келтирилган.

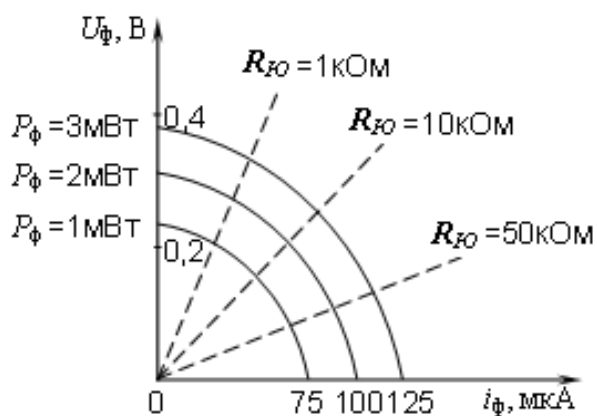


- 1,2 – фотодиоднинг p ва n соҳалари; 3,4 – ёруғлик диодининг n ва p соҳалари;
5 – селен шиша асосидаги нур ўтказгич; 6,7 – ёруғлик диоди контактлари;
8,9 – фотодиод контактлари.

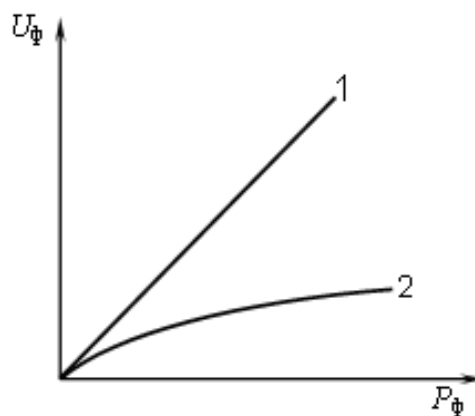
Ёруғлик сигналларини электр сигналига айлантиришда асосан фотодиодлар қўлланилади (худди шундай фоторезисторлар, фототранзисторлар ва фототиристорлар ҳам).

Фотодиод оддий n - p ўтиш бўлиб, кўп ҳолларда кремний ёки германийдан ясалади. Ундаги тескари ток ёруғлик нури тушиши натижасида юзага келаётган заряд ташувчилар генерацияси тезлиги билан аниқланади. Бу ҳодиса ички фотоэффект деб юритилади.

Фотодиодни қўллаш бўйича иккита режим мавжуд: ташқи манбасиз – вентилли ёки фотовольтаик ва ташқи манбали – фотодиодили режим. Ташқи манбасиз ёруғлик нурини электр энергиясига айлантирувчи фотодиодлар вентилли фотоэлементлар деб аталади. Фото электр юритувчи куч U_ϕ нинг юзага келиши ёруғлик билан генерацияланган электрон – ковак жуфтларининг n - p ўтиш орқали ажратилиши билан боғлиқ. Фото ЭЮК U_ϕ катталиги оптик сигнал даражаси P_ϕ ва юклама қаршилиги қийматига боғлиқ бўлади. Вентилли фотоэлементнинг чиқиш характеристикаси 7.4 – расмда келтирилган.



7.4 – расм.



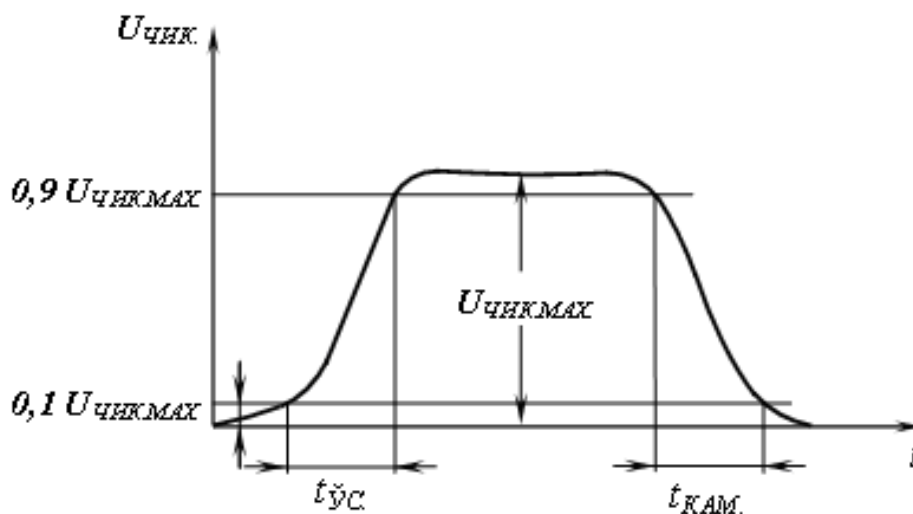
7.5 – расм.

Фотодиод режимида ташқи кучланиш манбаи ҳисобига фототок i_ϕ вентиль элементнинг қисқа туташув токига тахминан тенг бўлади, фототок ҳисобига бирор юклама қаршилигида содир бўладиган кучланиш пасайиши U_ϕ эса катта бўлади. Бир хил юклама қаршилиги қийматида сигнал кучланиши U_ϕ нинг фотодиод (1) ва вентиль элемент (2) учун оптик нурланиш қуввати P_ϕ га боғлиқликлари 7.5 – расмда келтирилган. Фотоэлектр ўзгартишлар самарадорлиги вольт – ватт $S_U = U_\phi / P_\phi$ ҳамда ампер – ватт $S_i = I_\phi / P_\phi$ (сезгирлик) билан ифодаланади.

Фотодиодларнинг афзаллиги яна шундаки, ёруғлик характеристикалари I_ϕ , $U_\phi = f(P_\phi)$ чизиқли кўринишга эга, бу эса уларни оптик алоқа линияларида қўллаш имкониятини яратади. Вентиль элементлар асосан энергия ўзгартгичлар (куёш батареялари) сифатида ишлатилади.

Ёруғлик нури орқали токни бошқаришни биполяр транзисторлар ёрдамида ҳам амалга ошириш мумкин. Уларда база токининг кучайиши туфайли, фотодиодларга нисбатан сезгирлик юқори бўлади. Фототранзистор

базасидаги заряд ташувчиларнинг оптик генерацияси базага ташқи манбадан заряд ташувчилар киритилишига эквивалентдир. Натижада, транзистор фототоки фотодиодга нисбатан β мартага кучайтирилади. Бу ерда β - фотортранзистор база токининг статик кучайтириш коэффиценти.



7.6 – расм.

Оптрон инерционлиги ёруғлик диоди ва нур қабул қилгичдаги жараёнлар билан боғлиқ бўлиб, чиқиш сигналининг ортиб бориш вақти $t_{\text{орт}}$ ва камайиб бориш вақт $t_{\text{кам}}$ лари ёрдамида аниқланади (7.6 - расм).

Диодли оптроннинг қуйидаги асосий параметрларини кўрсатиш мумкин:

- максимал кириш токи $I_{\text{КИР max}}$;
- максимал кириш кучланиши $U_{\text{кир max}}$;
- максимал чиқиш тескари кучланиши $U_{\text{ЧИК.теск. max}}$;
- берилган токка мос келувчи ўзгармас кириш кучланиши $U_{\text{КИР}}$;
- чиқишдаги тескари қоронғулик токи $I_{\text{ЧИК теск. к}}$;
- чиқиш сигналининг ортиб бориш $t_{\text{орт}}$ ва камайиб бориш $t_{\text{кам}}$ вақтлари (берилган диодли оптрон чиқишидаги сигнал ўзининг максимал қийматидан 0.1-0.9 ва 0.9-0.1 ораликларда ўзгаради) (7.6 - расм);
- ток бўйича узатиш коэффиценти K_I – чиқиш токи ўзгаришининг кириш токига нисбати $K_I = (I_{\text{ЧИК}} - I_{\text{ЧИК.теск.к}}) / I_{\text{КИРх}}$.

Лабораторияда ўлчанадиган диодли оптрон чегаравий қийматлари ва чиқишларининг жойлашиши иловада келтирилган.

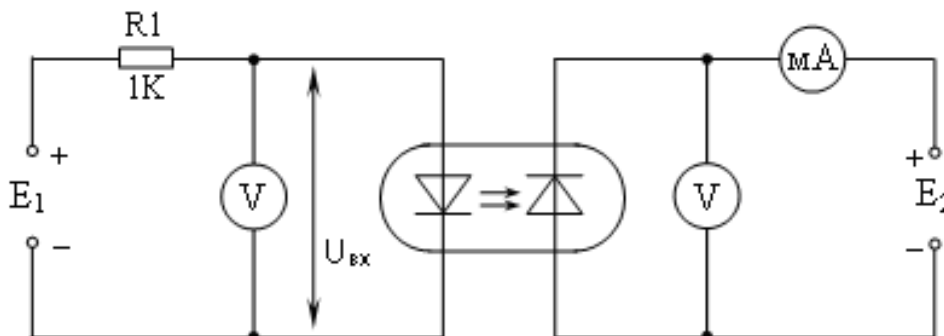
2. Лаборатория ишини бажариш учун топшириқ:

Тадқиқ этилаётган оптрон принципал схемасини ва чегаравий қийматларини ёзиб олинг.

2.1. Диодли оптрон характеристикасини тадқиқ этиш.

2.1.1. 7.7 – расмда келтирилган схемани йиғинг. Манбадан берилаётган чегаравий ток қийматини оптрон чегаравий қийматларига мос равишда ўрнатинг.

2.1.2. E_1 ни ўзгартириб бориб, оптроннинг кириш характеристикаси $I_{KIP}=f(U_{KIP})$ ни ўлчанг. Ёруғлик диоди киришидаги қаршилик $R1$ дан анча кичик бўлганлиги сабабли, кириш қаршилигини $I_{KIP}= E1/R1$ деб олинг.



7.7 – расм.

Ўлчаш натижаларини 7.1 – жадвалга киритинг.

7.1 – жадвал

$E1, \text{ В}$	
$U_{KIP}, \text{ В}$	
$I_{KIP}= E1/R1,$ мА	

2.1.3. $E_2=0$ деб олинг. E_1 ни ўзгартириб бориб, фотовольтаик режим учун оптрон узатиш характеристикасини $I_{ЧИҚ}=f(I_{KIP})$ ўлчанг.

Ўлчаш натижаларини 7.2 – жадвалга киритинг.

7.2 – жадвал

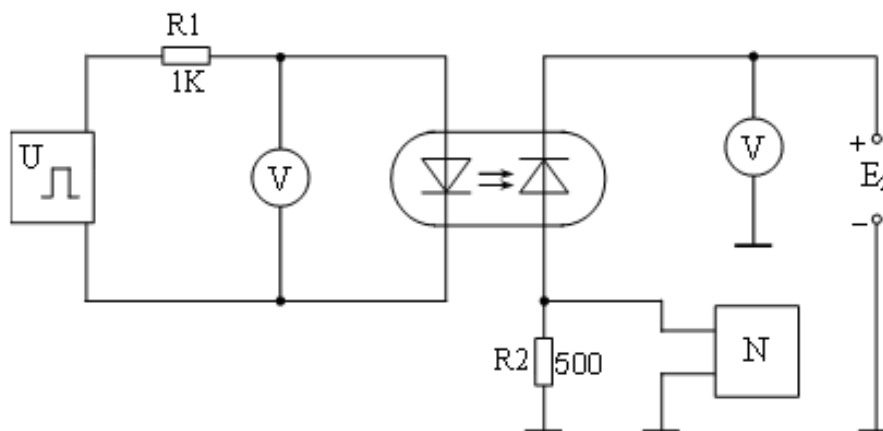
$E1, \text{ В}$	
$U_{KIP}, \text{ В}$	
$I_{KIP}= E1/R1,$ мА	

2.1.4. $E_2=5 \text{ В}$ ўрнатинг. 2.1.3 – банддаги ўлчашларни фотодиодли режим учун такрорланг. Ўлчаш натижаларини 7.2 – жадвалга ўхшаб, 7.3 – жадвалга киритинг.

2.1.5. Оптрон чиқишидаги сигналнинг ортиб бориш $t_{opt.}$ ва камайиб бориш $t_{кам.}$ вақтларини ўлчанг.

7.8 – расмда келтирилган схемани йиғинг, ёруғлик диоди занжирига импульс генераторини уланг. Генератор чиқишида амплитудаси 5В ва частотаси 1кГц

бўлган импульсни ўрнатиш. $R2$ қаршиликка 1:10 кучланиш бўлувчиси орқали осциллограф уланг. (Осциллографнинг бошқа каналидан генератор чиқишидаги импульс амплитудасини ўлчаш учун фойдаланиш). $E2=5$ В ўрнатиш ва чиқиш токи осциллограммасидан сигналнинг ортиб бориш t_{opt} ва камайиб бориш $t_{кам}$ вақтларини ўлчанг.

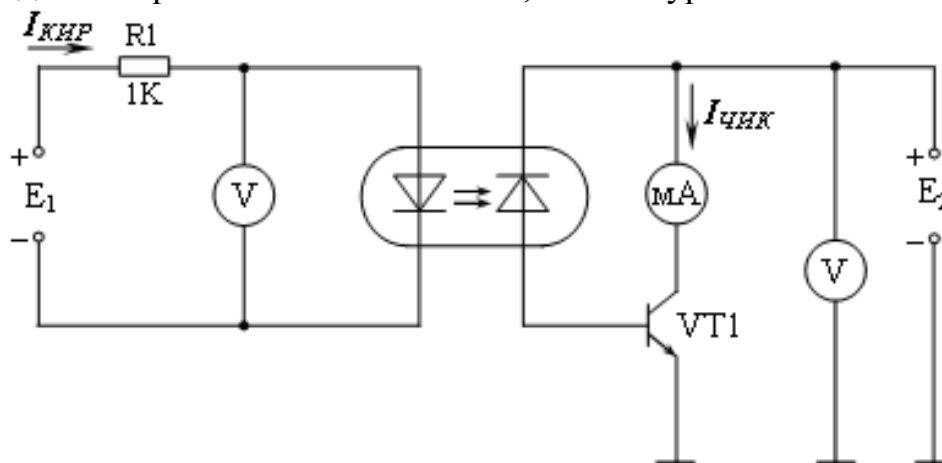


7.8 – расм.

$E2=0$ ни ўрнатиш ва фотовольтаик режим учун вақт ўлчовларини такрорланг.

2.2. Транзисторли оптрон характеристикаларини тадқиқ этиш.

7.9 – расмда келтирилган схемани йиғинг, $E2=5$ В ўрнатиш.



7.9 – расм.

(Бу схемада оптрон фотодиоди ва ташқи транзистор фототранзисторни имитация қилади).

$E1$ ни ўзгартириб бориб, $I_{KIP}=E1/P1$ ва $I_{ЧИК}=I_K$ деб олиб, транзисторли оптрон узатиш характеристикаси $I_{ЧИК}=f(I_{KIP})$ ни ўлчанг. Ўлчаш натижаларини 7.2, 7.3 жадвалларга ўхшаш тарзда 7.4 – жадвалга киритинг.

3. Тажрибада олинган натижаларни ишлаш.

3.1. Оптрон кириш характеристикасини қуринг ва $I_{КИР}=10$ мА қийматига мос келувчи кириш кучланиши $U_{кир}$ қийматини аниқланг.

3.2. Дiodли ва фотовольтаик режимлар учун оптрон узатиш характеристикаларини қуринг ва $I_{КИР}=10$ мА қийматида ток бўйича узатиш коэффициентини K_I аниқланг.

3.3. Дiodли оптронда сигнал тарқалишининг ўртача кечикиш вақтини ҳисоблаб топинг.

$$t_{\text{ўрт.кеч}} = \frac{1}{2} \left(\frac{t_{\text{орм.}}}{2} + \frac{t_{\text{кам.}}}{2} \right).$$

3.4. Транзисторли оптрон узатиш характеристикасини қуринг ва $I_{КИР}=10$ мА қийматида ток бўйича узатиш коэффициентини K_I аниқланг.

4. Ҳисобот мазмуни.

- тадқиқ этилаётган оптрон чегаравий қийматлари ва принципиал схемаси;
- ўлчаш схемалари;
- ўлчанган боғлиқликлар жадваллари ва графиклари;
- ҳисоблаб топилган параметрлар;
- ток ва кучланиш осциллограммалари.

ИЛОВА

татдиқ этиладиган электрон асбоблар ҳақидаги маълумотлар

И1. Тўғриловчи, импульсли ва юқори частота диодлар

Диод тури	Тузилиши	$I_{\text{тўғ чег,}}$ мА	$U_{\text{теск чег,}}$ В	$f_{\text{max,}}$ кГц	$\tau_{\text{тикл,}}$ мкс
D2 Е	Ge, нуқтавий	16	50		3
D2 Ж	Ge, нуқтавий	8	150		3
D7 Г	Ge, қотишмали	300	200	2,4	
D7 Ж	Ge, қотишмали	300	400	2,4	
D9 Е	Ge, нуқтавий	20	30		3
D104	Si, микроқотишмали	30	100	150	0,5
D226	Si, қотишмали	300	200	1,0	
KD503 А	Si, планар -эпитаксиал	20	30		0,01
D312	Ge, диффузион	50	75		0,7

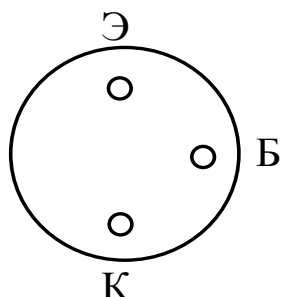
И2. Стабилитронлар ва стабисторлар

Диод тури	Тузилиши	$U_{\text{ст,}}$ В	$I_{\text{см min,}}$ мА	$I_{\text{см max,}}$ мА	$r_D,$ Ом
D814 Б	Si, қотишмали	8...9,5	3	36	10
D814 D	Si, қотишмали	11,5... 14,0	3	24	18
KC156 Т	Si, диффузион- қотишмали	5,6	1	22,4	100
D219 С	Si, микроқотишмали стабистор	0,57	1	50	
KC113 А	Si, диффузион- қотишмали стабистор	1,17... 1,8	1	100	80

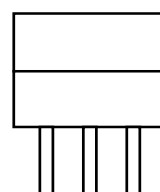
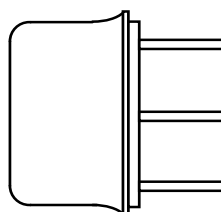
И3. Биполяр транзисторлар

Транз. тури	Тузилиши	$h_{21Э}$	$f_{h21Э}(f_T)$, МГц	$I_{к, чег}$, мА	$U_{к, чег}$, В	$P_{к, чег}$, мВт	τ_k , мкс	C_k (10В), пФ
МП37Б	п-р-п, Ge, қотишмали	20-50	1,0	20	15	150		40
МП39Б	р-п-р, Ge, қотишмали	20-50	0,5 1,5	20	20	150		40
КТ315Б	п-р-п, Si, планар - эпитаксиал	50-350	(250)	100	20	150	0,5	7
КТ361Б	р-п-р, Si, планар - эпитаксиал	50-350	(250)	50	20	150	0,5	9

(ТР 2) МП 37
МП 39



(ТР 27) КТ 315
КТ 361



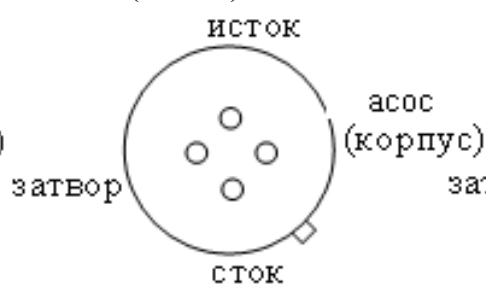
И4. Майдоний транзисторлар

Транз. тури	Тузилиши	$I_{с, чег}$ ($I_{с, боил.}$)	$U_{си, чег}$, В	$P_{с, чег}$, мВт	$C_{зи}$, пФ	$C_{зс}$, пФ	$C_{си}$, пФ	r_k , Ом	$U_{берг}$, В
КП103И	п-р ўтишли р-каналли	(0,8-1,8)	12	21	20	8	-	30	0,8-3
КП103Е	п-р ўтишли р-каналли	(0,4-1,5)	10	7	20	8	-	50	0,4-1,5
КП103М	п-р ўтишли р-каналли	(5-7,5)	10	120	20	8	-	60	3-5
КП301Б	р-МДЯ, канали индукцияланган	15	20	200	3,5	1	3,5	100	-4
КП305Д	п-МДЯ, канали қурилган	15	15	150	5	0,8	5	80	-6

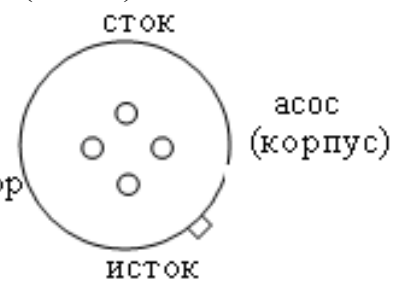
(ТР 67) КП 103



(ТР 69) КП 305

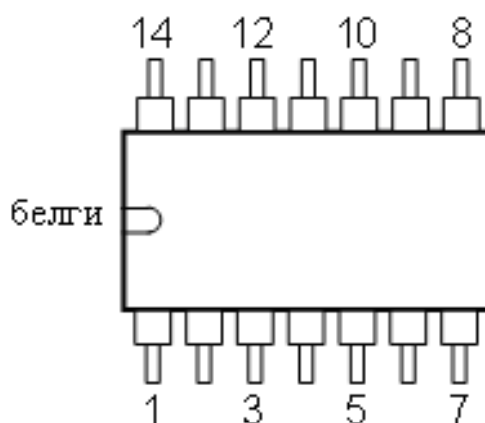


(ТР 71) КП 301



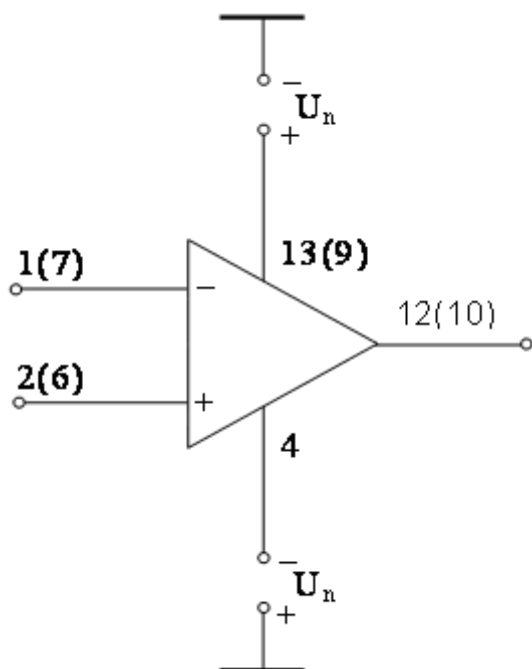
И5. Интеграл микросхемалар

Лаборатория ишларида тадқиқ этилаётган барча микросхемалар 201.14.1-201.14.9 турдаги 14 чиқишли 2 қатор қилиб жойлаштирилган тўғри бурчакли пластмасса ёки сопол қобикда бажарилган (махсус белгиси 1-чиқиш яқинида нуқта кўринишида бажарилиши мумкин).



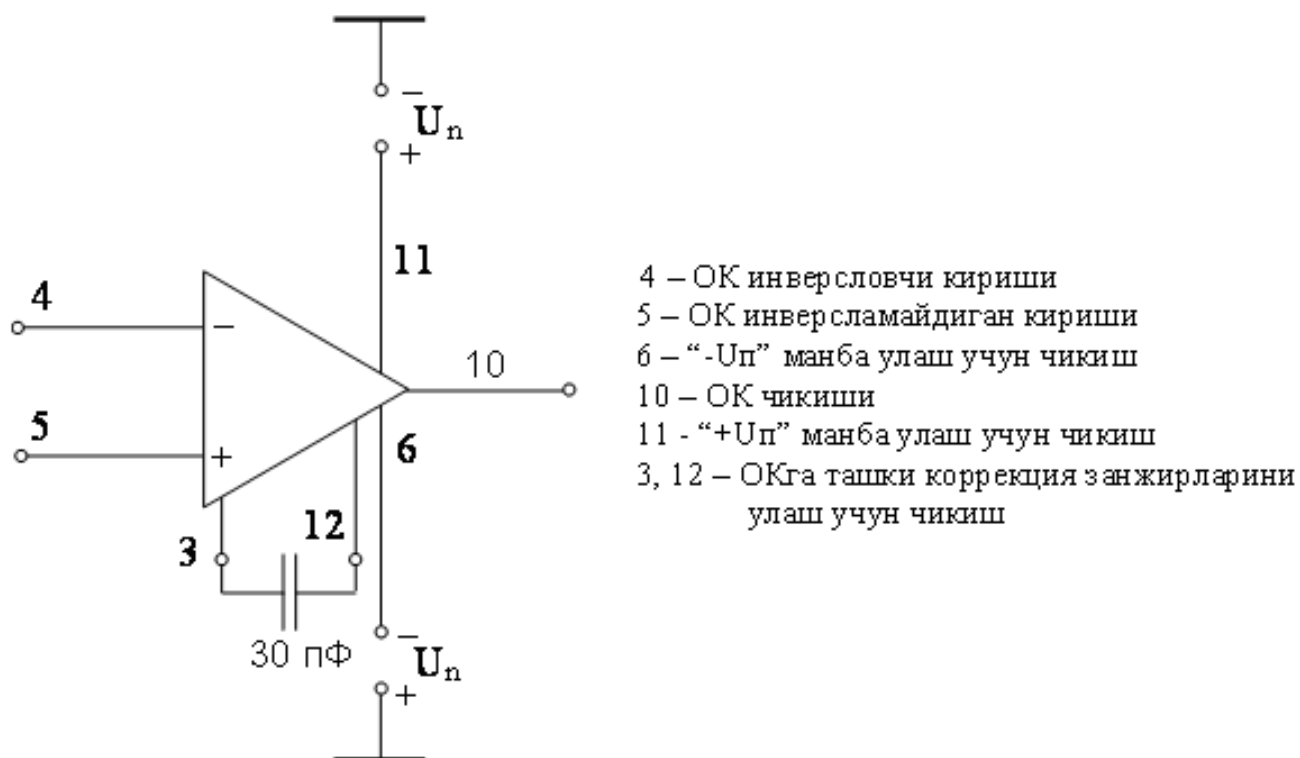
201.14.1-201.14.9 корпус (юқоридан кўриниши)

К140УД20. Иккиланган операцион кучайтиргич



- 1 (7) – ОК инверсировчи кириши
 - 2 (6) – ОК инверслайдиган кириши
 - 4 – “-U_n” манба улаш учун чиқиш
 - 12 (10) – ОК чиқиши
 - 13 (9) – “+U_n” манба улаш учун чиқиш
- (Қавс ичидаги рақамлар шу кристаллда жойлаштирилган иккинчи ОКга тегишли)

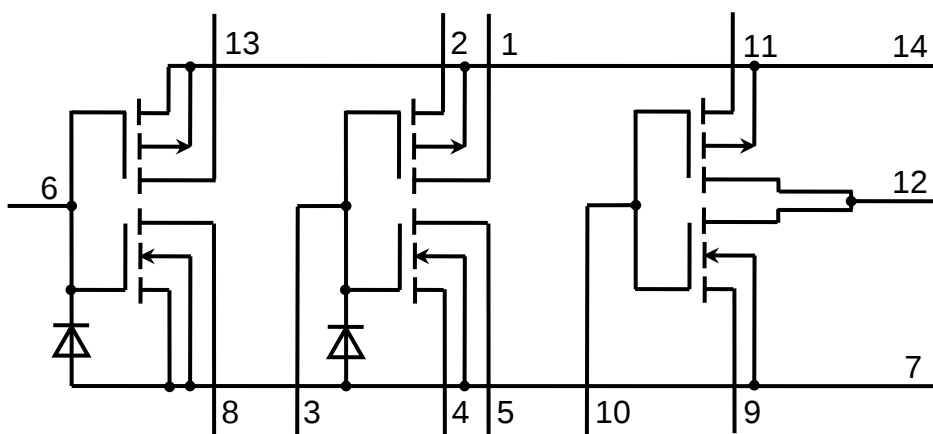
К553УД2; КР1408УД1 Операцион кучайтиргичлар



Лаборатория ишларида тадқиқ этилаётган ОК асосий параметрлари

ОК тури	$K_{уу} \cdot 10^3$	$U_{см},$ мВ	$I_{кпр},$ мкА	$I_{кпр},$ мкА	$f_1,$ МГц	$U_{чег.}$ чик, В/мкС	$K_{та}$ сф дБ	$U_{кпр},$ В	$U_{кпр}$ сф, В	$U_m, В$
К553УД2	20	7,5	1,5	0,5	1	0,5	70	10	10	+(6-15)
К140УД20	50	5	0,2	0,0 5	0,5 5	0,3	70	12	11	+(6-15)

К176ЛП1 КМДЯ тузилишли универсал мантикий элемент (мос келувчи коммутацияда учта ЭМАС элементи, катта тармоқланиш коэффициентига эга бўлган ЭМАС элементи, 3ХАМ-ЭМАС элементи, 3ЁКИ-ЭМАС элементи ва триггерли ячейка сифатида қўлланилиши мумкин).



Асосий электр параметрлари

Кучланиш манбаи $U_m = 9\text{В} + 5\%$,

Мантикий сигнал сатҳлари $U_{\text{чИҚ}}^0 \leq 0,3\text{В}$; $U_{\text{чИҚ}}^1 \geq 8,2\text{В}$;

истеъмол қилинаётган ток: $0,3\text{ мА}$ дан катта эмас;

сигнал тарқалишининг ўртача кечикиш вақти $\leq 200\text{ нс}$

Ишлаш қобилияти манба кучланиши 5В гача пасайгунча сақланади.

Кириш сигналларининг рухсат этилган диапазони (0 дан U_m гача).

Фойдаланилган адабиётлар

1. А.Г. Морозов. Электротехника, электроника и импульсная техника. – М.: Высшая школа, 1987.
2. А.Г. Алексенко, И.И. Шагурин. Микросхемотехника. – М.: Радио и связь, 1990.
3. Д.В. Игумнов, Г.В. Королев, И.С. Громов. Основы микроэлектроники. – М.: Высшая школа, 1991.
4. Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. Аналоговая и цифровая электроника. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
5. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001.
6. Ю.Л. Бобровский, С.А. Корнилов, И.А. Кратиров и др.; Под ред. проф. Н.Ф. Федорова. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: Учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 2002.

МУНДАРИЖА

Кириш.....	3
I БОБ. Ярим ўтказгичли асбоблар	
1.1. Энергетик зоналар.....	5
1.2. Хусусий электр ўтказувчанлик.....	6
1.3. Киритмали электр ўтказувчанлик.....	8
II БОБ. Электрон – ковак ўтиш	
2.1. p-n ўтишнинг ҳосил бўлиши.....	13
2.2. p-n ўтишнинг тўғри уланиши.....	15
2.3. p-n ўтишнинг тескари уланиши	16
2.4. p-n ўтишнинг вольт – амперная характеристикаси (ВАХ)	17
2.5. p – n ўтиш тешилиш турлари.....	20
III БОБ. Ярим ўтказгичли диодлар.	
3.1. Тўғриловчи диодлар.....	21
3.2. Стабилитронлар.....	22
3.3. Варикаплар.....	23
3.4. Туннель диодлари.....	23
3.5. Генератор диодлари.....	24
3.6. Оптоэлектроника диодлари.....	24
3.7. Оптронлар.....	26
IV БОБ. Биполяр транзисторлар	
4.1. Умумий маълумотлар.....	28
4.2. БТ уланиш схемалари.....	29
4.3. БТ статик характеристикалари	32
4.4. БТ физик параметрлари.....	34
V БОБ. Майдоний транзисторлар	
5.1. Умумий маълумотлар.....	37
5.2. МТ статик характеристикалари.....	39
5.3. МТ асосий параметрлари.....	40
5.4. Канали индукцияланган МДЯ – транзистор	41
5.5. Канали қурилган МДЯ - транзистор	42
VI БОБ. Кенг полосали кучайтиргичлар	
6.1. БТда ясалган кучайтиргич босқичи.....	45
6.2. МТда ясалган кучайтиргич босқичи	50
6.3. Кўп босқичли кучайтиргичлар.....	51
6.4. Аналог интеграл микросхемаларнинг чиқиш босқичлари (қувват кучайтиргичлари).....	52

6.5. Эмиттер қайтаргич.....	54
-----------------------------	----

VII БОБ. Интеграл микросхемалар

7.1. ИМС ҳақида умумий маълумотлар.....	57
7.2. Пардали ва гибрид ИМСлар.....	58
7.3. Ярим ўтказгичли ИМСлар	58

VIII БОБ. Кучайтиргич қурилмалари схемотехникаси

8.1.Кучайтиргичларнинг асосий параметрлари ва характеристикалари.....	63
8.2. Комплементар эмиттер қайтаргич.....	66
8.3. Баланс схемалар асосидаги кучайтиргич.....	67
8.4. Барқарор ток генератори.....	68
8.5. Ўзгармас кучланиш сатҳини силжитиш қурилмаси.....	69
8.6. Дифференциал кучайтиргичлар.....	70
8.7. Операцион кучайтиргичлар.....	73

IX БОБ. Ярим ўтказгичли статик рақамли интеграл микросхемалар схемотехникаси

9.1. Рақамли техника асослари.....	81
9.2. Мантикий ИМС параметрлари.....	83
9.3. Биполяр транзисторларда ясалган калит схемалар	84
9.4. Майдоний транзисторларда ясалган калит схемалар	86
9.5. Мантикий интеграл микросхемаларнинг негиз элементлари....	89

X БОБ. Лаборатория ишлари

1 – лаборатория иши. Ярим ўтказгичли диод характеристика ва параметрларини тадқиқ этиш.....	97
2 – лаборатория иши. Биполяр транзистор статик характеристикалари ва параметрларини тадқиқ этиш.....	
3 – лаборатория иши. Майдоний транзисторни тадқиқ этиш.....	101
4 – лаборатория иши. Операцион кучайтиргич параметрларини тадқиқ этиш.....	106
5 – лаборатория иши. Майдоний транзисторда бажарилган калит схемаларни тадқиқ этиш.....	112
6 – лаборатория иши. Транзистор – транзисторли мантиқ интеграл мхемаларини тадқиқ этиш.....	117
7 – лаборатория иши. Интеграл оптронларни тадқиқ этиш.....	119
Илова.....	123
Фойдаланилган адабиётлар	129

Ўқув нашри
2007-2008 ўқув йили

*Хайрулла Кабилович Арипов
Ахмед Маллаевич Абдуллаев
Нодира Батирджановна Алимова*

**ЭЛЕКТРОНИКА
ВА
СХЕМОТЕХНИКА**

5521900 “Информатика ва ахборот технологияси”
5523600 “Электрон тижорат”
5523500 “Ахборот хавфсизлиги”
5522200 “Телекоммуникация”
5522100 “Телевидение, радиоалоқа ва радиоэшиттириш”
5522000 “Радиотехника”
5140900 “Касб таълими” (телекоммуникация)
5521900 “Касб таълими” (информатика ва ахборот технологиялари)
йўналишларида таълим олаётган бакалаврлар учун

ўқув қўлланма

Нашрга рухсат берилди
Офсет қоғози. Буюртма №
Тираж нусха

Босма.

Тошкент ахборот технологиялари университети
(ТАТУ Илмий – услубий кенгашининг
даги № - сонли баённомаси)
томонидан нашрга тавсия этилган

жавобгар муҳаррир

