

**ЎЗБЕКИСТОН АЛОҚА АХБОРАТЛАШТИРИШ АГЕНТЛИГИ**  
**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

Кафедра  
Электроника

**ЭЛЕКТРОНИКА ВА СХЕМОТЕХНИКА**

**ФАНИДАН МАЪРУЗАЛАР МАТНИ**

**I қисм**

Тузувчилар: проф., Арипов Х.К.  
доц., Алимова Н.Б.

Ташкент 2011

## МУНДАРИЖА

|     |             |                                                                              |    |
|-----|-------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Маъруза 1.  | Электроника фани хакида тушунча.....                                         | 3  |
| 2.  | Маъруза 2.  | Яримўтказгичларни электр хусусиятлари.....                                   | 5  |
| 3.  | Маъруза 3.  | p-n ўтиш.....                                                                | 9  |
| 4.  | Маъруза 4.  | Яримўтказгич диодлар.....                                                    | 14 |
| 5.  | Маъруза 5.  | p-n ўтиш тешилиш турлари. диод турлари.....                                  | 16 |
| 6.  | Маъруза 6.  | Биполяр транзисторлар (бт) .....                                             | 20 |
| 7.  | Маъруза 7.  | БТ уланиш схемалари ва физик параметрлари.....                               | 22 |
| 8.  | Маъруза 8.  | БТ электрод тоқларининг параметрик тенгламаси.....                           | 26 |
| 9.  | Маъруза 9.  | БТни частота хусусиятлари.....                                               | 28 |
| 10. | Маъруза 10. | БТни импульс хусусиятлари.....                                               | 30 |
| 11. | Маъруза 11. | Майдоний (униполяр) транзисторлар.....                                       | 34 |
| 12. | Маъруза 12. | Затвори изоляцияланган МТлар.Канали<br>индукцияланган МДЯ транзисторлар..... | 37 |
| 13. | Маъруза 13. | Канали қурилган мдя транзисторлар.....                                       | 39 |
| 14. | Маъруза 14. | Динисторлар ва тиристорлар.....                                              | 41 |
| 15. | Маъруза 15. | Фотоэлектр асбоблар.....                                                     | 43 |
| 16. | Маъруза 16. | Оптронлар.....                                                               | 45 |
| 17. | Маъруза 17. | Функционал электроника ривожланишининг асосий<br>йўналишлари.....            | 46 |
| 18. | Маъруза 18. | Наноэлектроника.....                                                         | 50 |
|     |             | Фойдаланилган адабиётлар.....                                                | 53 |

## ЭЛЕКТРОНИКА ФАНИ ҲАҚИДА ТУШУНЧА

**Электроника** – фан ва техника соҳаси бўлиб, ахборот узатиш, қабул қилиш, қайта ишлаш ва сақлаш учун ишлатиладиган электрон қурилмалар ҳамда асбоблар яратиш усулларини ўрганиш, ишлаб чиқиш билан шуғулланади. Электроника электромагнит майдон назарияси, квант механикаси, қаттиқ жисм тузилиши назарияси ва электр ўтказувчанлик ходисалари каби физик билимларга асосланади. Электрониканинг ривожланиши электрон асбоблар технологиясининг такомиллашуви билан чамбар-чарс боғлиқ бўлиб, ҳозирги кунгача тўрт босқични босиб ўтди.

**Биринчи босқич** асбоблари: резисторлар, индуктивлик ғалтаклари, магнитлар, конденсаторлар, электромеханик асбоблар (қайта улагичлар, реле ва шунга ўхшаш) пассив элементлардан иборат эди.

**Иккинчи босқич** Ли де Форест томонидан 1906 йилда триод лампасининг ихтиро қилинишидан бошланди. Триод электр сигналларни ўзгартирувчи ва энг муҳими, қувват кучайтирувчи биринчи актив электрон асбоб бўлди. Электрон лампалар ёрдамида кучсиз сигналларни кучайтириш имконияти ҳисобига радио, телефон сўзлашувларни, кейинчалик эса, тасвирларни ҳам узоқ масофаларга узатиш имконияти (телевидение) пайдо бўлди. Бу даврнинг электрон асбоблари пассив элементлар билан бирга актив элементлар - электрон лампалардан иборат эди.

**Учинчи босқич** Дж. Бардин, В. Браттейн ва В. Шоклилар томонидан 1948 йилда электрониканинг асосий актив элементи бўлган биполяр транзисторнинг ихтиро этилиши билан бошланди. Бу ихтирога Нобель мукофоти берилди. Транзистор электрон лампанинг барча вазифаларини бажариши билан бирга унинг: паст ишончлилиқ, кўп энергия сарфлаш, катта ўлчамлари каби асосий камчиликларида холи эди.

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

**Микроэлектроника** – физик, конструктив – технологик ва схемотехник усуллардан фойдаланиб янги турдаги электрон асбоблар – ИМСлар ва уларнинг қўлланиш принципларини ишлаб чиқиш йўлида изланишлар олиб бораётган электрониканинг бир йўналишидир.

Ҳозирги кунда телекоммуникация ва ахборотлаштириш тизимининг ривожланиш даражаси том маънода микроэлектроника ва наноэлектроника маҳсулотларининг уларда қўлланилиш даражасига боғлиқ.

Микроэлектрониканинг қарийб ярим асрлик ривожланиш даври мобайнида ИМСларнинг кенг номенклатураси ишлаб чиқилди. Телекоммуникация ва ахборот – коммуникация тизимларини лойиҳаловчи ва эксплуатация қилувчи мутахассислар учун замонавий микроэлектрон элемент базанинг имкониятлари ҳақидаги билимларга эга бўлиш муҳим.

Интеграл микроэлектроника ривожининг физик чегаралари мавжудлиги сабабли, ҳозирги кунда анъанавий микроэлектроника билан бир қаторда электрониканинг янги йўналиши – наноэлектроника жадал ривожланмоқда.

**Наноэлектроника** ўлчамлари 0,1 дан 100 нм гача бўлган яримўтказгич тузилмалар электроникаси бўлиб, микроэлектрониканинг микроминиатюрлаш йўлидаги мантиқий давоми ҳисобланади. У қаттиқ жисм физикаси, квант электроникаси, физикавий – кимё ва яримўтказгичлар электроникасининг сўнгги ютуқлари негизидаги қаттиқ жисмли технологиянинг бир қисмини ташкил этади.

Сўнгги йилларда наноэлектроникада муҳим амалий натижаларга эришилди, яъни замонавий телекоммуникация ва ахборот тизимларнинг негиз элементларини ташкил этувчи: гетеротузилмалар асосида юқори самарадорликка эга лазерлар ва нурланувчи диодлар яратилди; фотоқабулқилгичлар, ўта юқори частотали транзисторлар, бир электронли транзисторлар, турли хил сенсорлар ҳамда бошқалар яратилди. Наноэлектрон ЎЮИС ва ГЮИС микропроцессорларни ишлаб чиқариш йўлга қўйилди.

Интеграл микроэлектроника ва наноэлектроника билан бир вақтда **функционал электроника** ривожланмоқда. Электрониканинг бу йўналиши ананавий элементлар (транзисторлар, диодлар, резисторлар ва конденсаторлар)дан воз кечиш ва қаттиқ жисмдаги турли физик ҳодиса (оптик, магнит, акустик ва ҳ.к.)лардан фойдаланиш билан боғлиқ. Функционал электроника асбобларига акустоэлектрон, магнитоэлектрон, криоген асбоблар ва бошқалар киради.

## ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРНИ ЭЛЕКТР ХУСУСИЯТЛАРИ

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 солиштирма электр ўтказувчанлиги  $\sigma$  металллар ва диэлектриклар оралиғида бўлган ярим ўтказгичлар киради (уларнинг номи ҳам шундан келиб чиқади). Хона температурасида уларнинг солиштирма 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 солиштирма 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.

2.1- расмда диэлектрик, ярим ўтказгич ва металл ўтказгичларнинг ( $0^\circ$  К температурада) энергетик диаграммалари фарқи келтирилган.



2.1- расм.

**Диэлектриклар** шундай жисмларки, уларда таъқиқланган зона кенлиги шунчалик каттаки электрон электр ўтиши кузатилмайди.

Тақиқланган зона кенглиги барча диэлектрикларда турлича бўлиб, 8 эВ гача етиши мумкин.

**Ярим ўтказгичлар** – бу ташқи энергетик таъсирлар натижасида тақиқланган зона кенглигини енгиб ўтиш хусусиятига эга бўлган, нисбатан тор таъқиқланган зона кенглигига эга бўлган моддалар.

Зона назарияси нуқтаи назаридан материалларни диэлектрик ва ярим ўтказгичларга ажратиш фақат шартли равишда. Чунки бу назария ҳеч қандай физик хусусиятлар билан асосланмайди, улардаги фарқ таъқиқланган зона кенглигида бўлиб, ярим ўтказгич деб ҳисобланадиган қаттиқ жисмларда 3 эВ дан ошмайди.

**Ўтказгичлар(металлар)** – бу электронлар билан тўлган зонаси эркин энергетик сатҳ зонасига ёпишган ёки кирган материаллардир. Бунинг натижасида улардаги эркин бўлиб ўтказгичга берилган кучсиз кучланиш таъсирида ҳам тўлган зона сатҳидан эркин зонанинг тўлмаган сатҳларига ўтиш мумкин.

Металл ўтказгичларда ўтказиш ҳолати нормал (энергетик сатҳлар орасидаги масофа  $10^{22}$  эВ), электр майдон кучи таъсирида эркин югуриш узунлигида электр оладиган энергияси  $10^8 - 10^4$  эВ бўлади. Ярим ўтказгич ва диэлектрикларда энергия қўзғатилган бўлиб, таъқиқланган зонани енгиб ўтиш учун ташқаридан энергия сарфлаш талаб қилинади.

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

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 K) ярим ўтказгичнинг валент зонасидаги барча сатҳлар электронлар билан тўлган, ўтказувчанлик зонасидаги сатҳлар эса электронлардан холи бўлади.

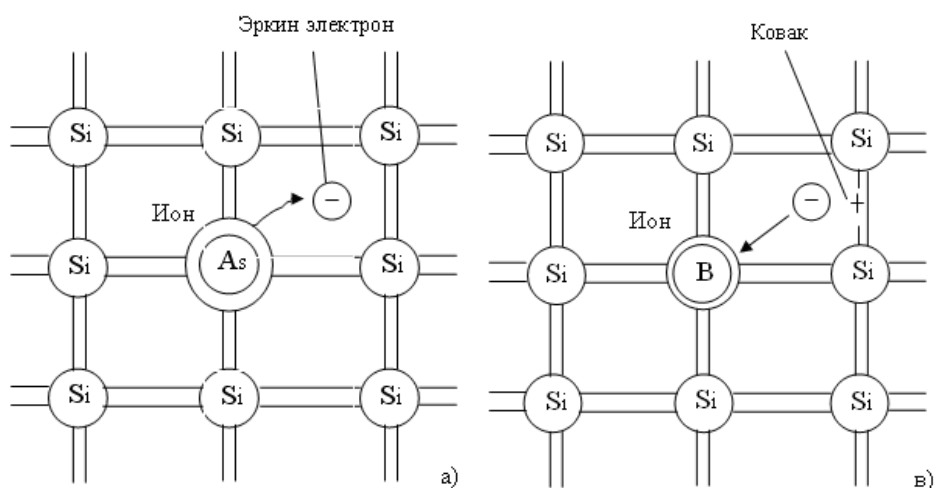
Ярим ўтказгичли асбобларнинг кўп қисми киритмали ярим ўтказгичлар асосида яратилади. Электр ўтказувчанлиги киритма атомлари ионизацияси натижасида ҳосил бўладиган заряд ташувчилар билан асосланган ярим ўтказгичлар – **киритмали ярим ўтказгичлар** дейилади.

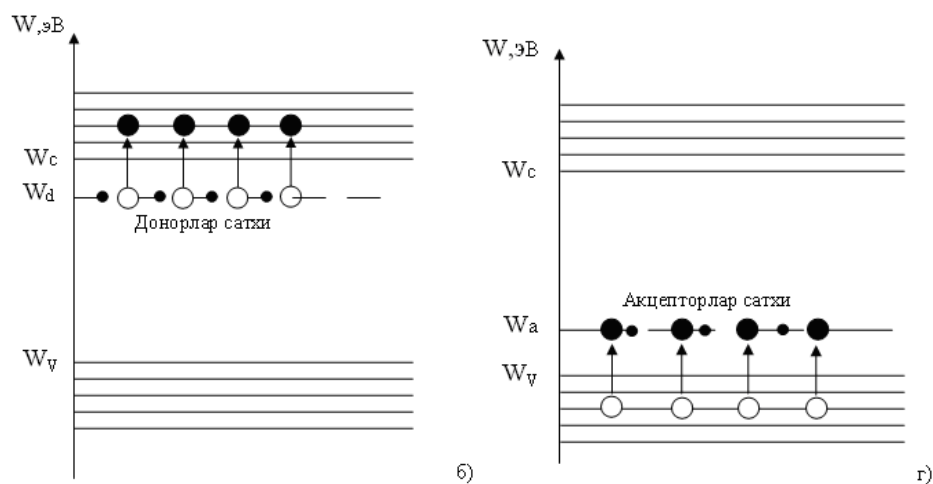
Кремний атомига Д.И. Менделеев даврий элементлар тизимидаги V гуруҳ элементлари (масалан, маргумуш As) киритилса унинг 5та валент электронидан тўрттаси қўшни кремний атомининг тўртта валент электронлари билан боғланиб- саккиз электрондан ташкил топган мустақкам қобиқ ҳосил қиладилар. Бешинчи электрон ортиқча бўлиб, ўзининг атоми билан кучсиз боғланган бўлади. Шунинг учун кичик иссиқлик энергияси таъсирида у узилади ва эркин электронга айланади (2.2, а - расм), бу вақтда ковак ҳосил бўлмайди. Энергетик диаграммада бу жараён электроннинг

донор сатҳи  $Wd$  дан ўтказувчанлик зонасига ўтишига мос келади (2.2, б - расм). Киритмали атом мусбат зарядланган қўзғалмас ионга айланади. Бундай киритма **донор** деб аталади.

Ярим ўтказгичли асбоблар ясашда кўп киритма атомлари киритилади ( $1 \text{ см}^3$  ҳажмга  $10^{14}$ - $10^{18}$  даражадаги атомлар). Хона температурасида киритманинг ҳар бир атоми биттадан эркин электрон ҳосил қилади. Коваклар эса хусусий ярим ўтказгичлардаги каби кремний атоми электронларининг ўтказувчанлик зонасига ўтишидаги термогенерация ҳисобига ҳосил бўлади.

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  $n \cdot p$  ўзгармас температурада ўзгармас қолади ва фақат ярим ўтказгич таъқиқланган зона кенглиги билан аниқланади. Шунинг учун 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  $10^{16} \text{ см}^{-3}$  бўлган донор киритма киритилса,  $T=300 \text{ К}$  да электронлар ўтказувчанлиги  $n=10^{16} \text{ см}^{-3}$ , ковакларники эса – атиги  $10^4 \text{ см}^{-3}$  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.





2.2 – расм.

Кремний атомига Д.И. Менделеев даврий элементлар тизимидаги III гуруҳ элементлари (масалан, бор В) киритилса унинг валент электронлари кўшни кремний атомлари валент электронлари билан учта тўлиқ боғлиқлик ҳосил қиладилар. Тўртинчи боғланиш эса тўлмай қолади. Унча катта бўлмаган иссиқлик энергияси таъсирида ҳам кўшни кремний атомининг валент электронлари бу боғланишни тўлдиради. Натижада борнинг ташқи қобиғида ортиқча электрон ҳосил бўлади, яъни у манфий зарядга эга бўлган кўзгалмас ионга айланади. Кремний атомининг тўлмаган боғланиши – бу ковакдир (2.2, в - расм). Энергетик диаграммада бу жараён электроннинг валент зонадан акцептор сатҳи  $W_a$  га ўтишига ва валент зонада ковак ҳосил бўлишига мос келади (2.2, 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. Р-турдаги ярим ўтказгич учун коваклар – асосий заряд ташувчилар, - электронлар эса - асосий бўлмаган заряд ташувчилар ҳисобланади.

## НОМУВОЗАНАТ P–N ЎТИШ

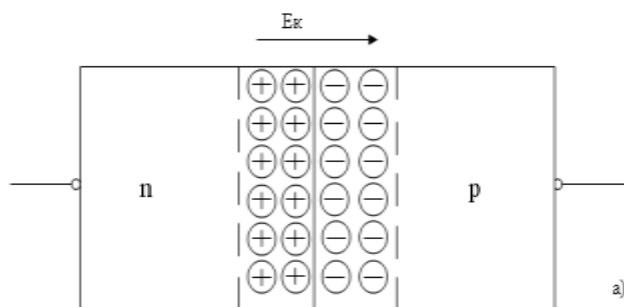
Ярим ўтказгичли асбобларнинг кўпчилиги бир жинсли бўлмаган ярим ўтказгичлардан тайёрланади. Хусусий ҳолатда бир жинсли бўлмаган ярим ўтказгич бир соҳаси p–турдаги, иккинчиси эса – n турдаги монокристалдан ташкил топади.

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

P-n ўтиш 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 бошлайдилар (расм). Плюс ва минусли 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 қаршиликларига нисбатан жуда катта. Баъзи ҳолларда адабиётларда бу қатлам **камбағаллашган ёки i – соҳа деб аталади**.

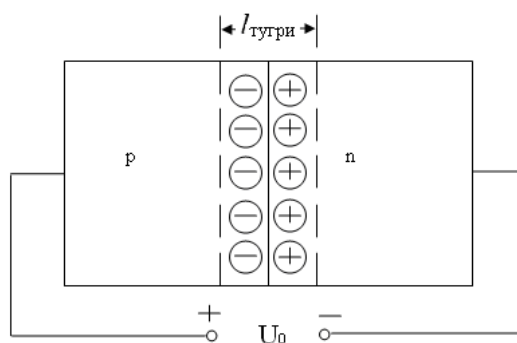


Юқорида айтиб ўтилганидек, унча катта бўлмаган тескари кучланишларда  $I_0$  қиймати катта эмас. Тескари кучланиш маълум чегаравий қийматга  $U_{ЧЕГ}$  етганда, тескари ток кескин ортиб кетади, ўтишнинг электр тешилиши юз беради.

Агар  $p-n$  ўтишга ташқи кучланиш манбаи  $U$  уланса, у ҳолда мувозанат шарти 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 (3.1-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.



3.1 – расм.

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

$$I_{\text{диф}} = I_0 e^{qU_0 / kT} \quad (3.1)$$

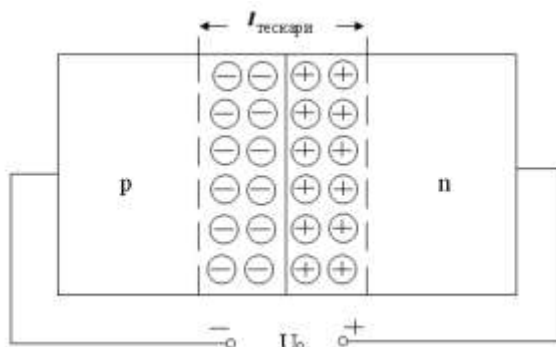
бу ерда  $I_0$  – дрейф токи бўлиб, уни ***p-n ўтишининг тескари токи*** деб ҳам аташади.

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 (3.1) дан келиб чиққан ҳолда

$$I_{T\dot{U}T} = I_{\text{ДИФ}} - I_0 = I_0 \left( e^{qU_0/kT} - 1 \right). \quad (3.2)$$

$I_0$  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.

Агар кучланиш манбаининг мусбат кутби *n* -турдаги соҳага, манфий кутби эса *p* -турдаги соҳага уланса, бундай уланиш ***тескари уланиш*** деб аталади (3. 2 - расм).



3.2 - расм

Кучланиш манбаининг электр майдони ўтишнинг 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 ( $I_{T\dot{U}T} \propto I_{\text{ТЕСК}}$ ). Амалий ҳисобларда қуйидаги ифодадан фойдаланиш қулай:

$$I = I_0 \sqrt{\frac{U_0}{U_K}}, \quad (3.3)$$

бу ерда  $I_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{q} U_K \left( \frac{1}{Na} + \frac{1}{Nd} \right)}$  - ташқи майдон таъсир этмагандаги *p-n* кенглиги,  $\varepsilon$  - ярим ўтказгич нисбий диэлектрик доимийси,  $\varepsilon_0$  - электр доимий.

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

$$I_{\text{ДИФ}} = I_0 e^{-qU_0/kT} \quad (3.4)$$

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

$$I_{\text{ТЕСК}} = I_0 e^{-qU_0/kT} - I_0 = I_0 (e^{-qU_0/kT} - 1). \quad (3.5)$$

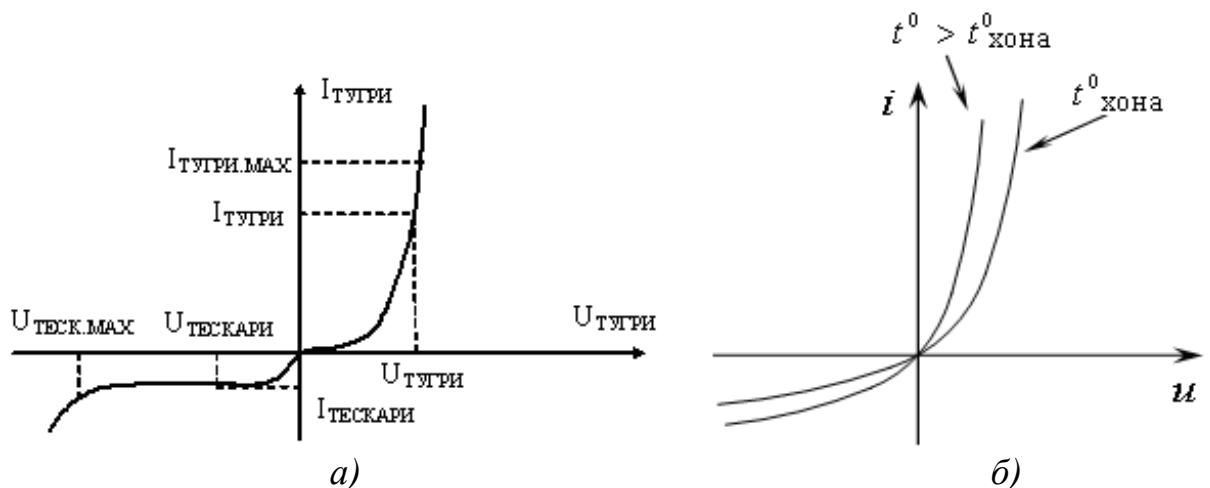
Тескари уланишда контактлашувчи ярим ўтказгичлардан асосий бўлмаган заряд ташувчилар чиқариб олинади (экстракция). Шу сабабли тескари ток **экстракция токи** деб аталади.

$P$ - $n$  ўтиш токининг унга берилаётган кучланишга боғлиқлиги  $I=f(U)$  вольт–ампер характеристика (ВАХ) дейилади. (3.2) ва (3.5) лар асосида умумий ҳолда экспоненциал боғлиқлик ёрдамида ифодаланади (3.3,  $a$  - расм).

$$I = I_0 (e^{\pm qU_0/kT} - 1). \quad (3.6)$$

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

$U_{\text{ТУГ}} \geq 0,1$  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.



3.3 - расм

Тескари ток тўғри токка нисбатан бир неча даражага кичик, яъни  $p$ - $n$  ўтиш тўғри йўналишда токни яхши ўтказади, 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 (3.3, 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 камаяди. Кремнийдан ясалган  $p$ - $n$  ўтиш учун КТК 3 мВ/град даражани ташкил этади.

(3.6) 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 (3.6) ифодага  $p$ - $n$  ўтишдаги ва ташқи кучланиш  $U_0$  орасидаги фарқни ҳисобга олувчи ўзгартириш киритилади

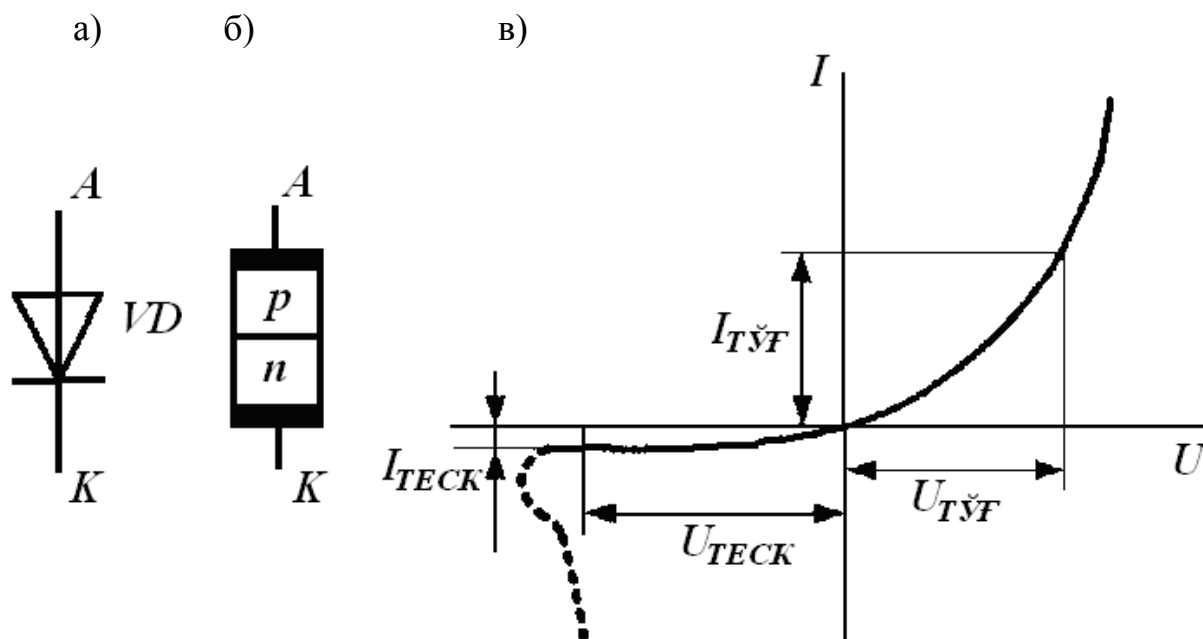
$$I = I_0 \left( e^{q(U_0 - r_B I) / kT} \right) \quad (3.7)$$

## ЯРИМЎТКАЗГИЧ ДИОДЛАР

**Яримўтказгич диод** деб бир (ёки бир неча) электр ўтишларга эга икки электродли электрон асбобга айтилади. Диодлар радиоэлектрон қурилмаларда ишлатилиши ва бажарадиган вазифасига мувофик таснифланадилар.

Барча яримўтказгич диодларни икки гуруҳга ажратиш мумкин: тўғриловчи ва махсус вазифаларни бажарувчи. **Тўғриловчи диодлар** ўзгарувчан токни ўзгармас токка ўзгартириш учун қўлланади. Тўғриланувчи ток шакли ва частотасига боғлиқ ҳолда улар паст частотали, юқори частотали ва импульс диодларга ажратилади. **Махсус вазифаларни бажарувчи диодлар**да  $p$ - $n$  ўтишларнинг турли электрофизик хусусиятларидан, масалан, тешилиш ҳодисаларидан, фотоэлектрик ҳодисалардан, манфий қаршиликка эга соҳалари мавжудлигидан ва бошқалардан фойдаланилади. Махсус вазифаларни бажарувчи диодлар, хусусан, ўзгармас кучланишни барқарорлаш, оптик нурланишни қайд этиш, электр схемаларда сигналларни шакллантириш ва бошқа вазифаларни амалга ошириш учун қўлланилади.

Яримўтказгич диодларнинг электр схемаларда шартли белгиланиши 4, а - расмда, унинг тузилмаси кўриниши б – расмда келтирилган. Расмларда диоднинг чиқишлари А ва К кўрсатилган бўлиб, улар диоднинг электродлари деб аталади. Диоднинг  $p$  – томонига уланган электрод анод деб,  $n$  – томонига улангани эса – катод деб аталади. Диоднинг статик ВАХи в – расмда келтирилган.



4 – расм. Яримўтказгич диоднинг шартли белгиланиши (а), тузилмаси кўриниши (б) ва статик ВАХи (в).

Яримўтказгич диоднинг тўғри ва тескари йўналишларидаги қаршиликлари бир – биридан кескин фарқ қилади: тўғри йўналишда силжитилган диоднинг қаршилиги қиймати кичик, тескари силжитилган диодники эса – катта бўлади. Шу сабабдан диод бир томонга электр токини яхши ўтказади, иккинчи томонга эса – ёмон ўтказади.

Диодни асосий параметрлари:

1. Статик қаршилик  $R_{ст} = \frac{u_D}{i_D}$  [Ом] ;

2. Дифференциал қаршилик  $r_{диф} = \frac{\Delta u}{\Delta i}$  [Ом] ;

3. Характеристика тиклиги  $S = \frac{\Delta i}{\Delta u}$  [А/В] .

## P–N ЎТИШ ТЕШИЛИШ ТУРЛАРИ. ДИОД ТУРЛАРИ

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

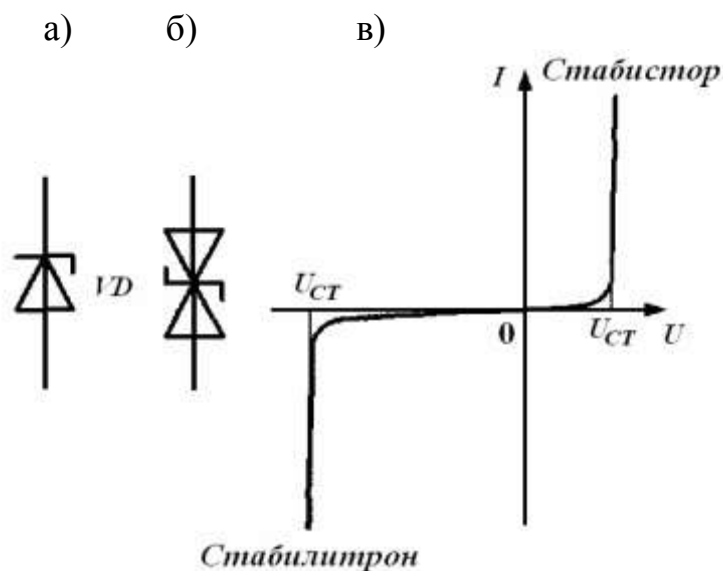
**Кўчкисимон тешилиш** нисбатан кенг p-n ўтишларда содир бўлади. Бундай ўтишда тескари кучланишда электрон ва коваклар зарба ионизацияси учун етарли бўлган энергия оладилар ва натижада кўшимча электрон-ковак жуфтлар ҳосил бўлади. Бу жуфтликларнинг ҳар бир ташкил этувчиси, ўз навбатида, электр майдонида 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.  $U_{TЭС} \geq U_{ЧЕГ}$  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.

**Стабилитрон** деб схемаларда кучланиш қийматини барқарор (стабил) сақлаб турувчи яримўтказгич асбобга айтилади. Стабилитрон сифатида ВАХида ток қиймати кескин ўзгарганда кучланиш деярли ўзгармайдиган соҳа мавжуд бўлган электрон асбоблардан фойдаланилади. Бундай соҳа кремнийли яримўтказгич диод электр тешилиш режимида ишлаганда кузатилади. Шунинг учун яримўтказгич стабилитрон сифатида кремнийли диодлардан фойдаланилади.

Стабилитронларнинг схемада шартли белгиланиши 5, а – ва б – расмларда, ВАХи эса в – расмда келтирилган.



5-расм. Бир томонлама (а) ва икки томонлама (б) стабилитронларнинг схемада шартли белгиланиши ҳамда ВАХи (в).

Кичик кучланишларни стабилизациялаш учун стабистор қўлланилади ва у ишлаганда тўғри йўналишда силжитилади. Бунда битта стабилитроннинг стабилизациялаш кучланиши  $0,7 \dots 0,8$  В ни ташкил этади. Кремнийли оддий диодлар тўғри силжитилганда ҳам шундай натижага эришилади. Бундай яримўтказгич диод **стабистор** деб аталади (5, б - расм).

Юқори кучланишларни стабилловчи стабилитронларда  $p-n$  ўтиш кенлиги катта бўлмоғи лозим. Шу сабабли улардаги киришмалар концентрацияси кичик бўлиб, кремний асосида тайёрланадилар. Стабилитронларда кўчкили тешилиш содир бўлиб, стабализациялаш кучланиши 7 В дан юқори қийматларни ташкил этади. Саноатда стабилизациялаш кучланиши 3 В дан 400 В гача бўлган стабилитронлар ишлаб чиқарилади.

Стабилитронларнинг тешилиш соҳасидаги **динамик (дифференциал) қаршилиги**  $r_d$  стабилизациялаш даражасини характерлайди. Бу қаршилиқ қиймати, берилган кичик токларда, диоддаги кучланиш қиймати кичик ўзгаришларини токнинг мос ўзгаришларига нисбати билан аниқланади,  $r_d$  қиймати қанчалик кичик бўлса, стабилизациялаш шунчалик яхши бўлади:

$$r_d = \frac{\Delta U_{CT}}{\Delta I_{CT}} \quad .$$

Стабилитрон муҳим параметрларидан бири бўлиб **стабилизациялаш кучланишининг температура коэффиценти** (КТК) ҳисобланади. У температура бир градусга ўзгарганда стабилизациялаш кучланишининг нисбий ўзгаришларини ифодалайди. Туннель тешилиш кузатиловчи кичик кучланишли стабилитронлар манфий, кўчкили тешилиш содир бўлувчи,

юқори кучланишларда ишлайдиган стабилитронлар эса мусбат КТК га эга. КТКнинг стабилитронларга хос қиймати 0,2 -0,4 % градусдан ортмайди.

**Стабилизация коэффиценти**  $K_{CT}$  деб, кириш кучланиши нисбий ўзгаришини чиқиш (стабилизация) кучланиши нисбий ўзгариши бўлинмасига тенг миқдорга айтилади.

$$K_{CT} = \frac{\Delta U_{KIP}}{U_{KIP}} \cdot \frac{U_{CT}}{\Delta U_{CT}}$$

Кириш кучланиши ёки юклама қаршилиги ортиши билан стабилизация коэффиценти ортади. Кириш кучланишининг ортиши билан таъминловчи манба қувватининг балласт қаршилиқда йўқолиши ортади. Шунинг учун манба кучланиши қиймати стабилизация кучланишидан икки, уч марта катта қилиб танланади.

Битта *p-n* ўтишга эга бўлган фотоэлектр асбоб **фотодиод** деб аталади. Ёруғлик оқими  $\Phi$  интенсивлиги ортиши билан диоднинг  $I_\phi$  тескари токи қиймати ортиб боради. Ёруғлик оқимининг турли қийматлари учун фотодиод ВАХи б – расмда келтирилган. Ёритилганликнинг кенг чегарасида фототок билан ёруғлик оқими орасидаги боғланиш амалда чизикли бўлади.

#### **Диод турлари:**

*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.

**Шоттки тўсигили 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.

**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.

**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 диапазониға эға бўлган кўпайтиргичларда қўлланилади.

**Туннель диоди** деб қўзғотилган ярим ўтказгич асосида лойиҳаланган ярим ўтказгичли асбобға айтилади. Унда тескари ва унча катта бўлмаган тўғри кучланишда туннель эффекти юзаға келади ва вольт–ампер характеристикада манфий дифференциал қаршилиққа эға бўлган соҳа мавжуд бўлади.

Туннель диодлар бошқа турдаги диодлардан сезиларли фарқ қилмайди, лекин уларни ясаш учун  $10^{20}$  см<sup>-3</sup> киритмаға эға бўлган ярим ўтказгичли материаллар қўлланилади.

Генератор диодларидан бири бўлиб **кўчкили–учма диодлар (КУД)** ҳисобланади. Унинг ВАХсида *p-n* ўтишдаги кўчкисимон тешилишда юқори частоталарда манфий қаршилиққа эға бўлган соҳа юзаға келади. Агар КУД резонаторға жойлаштирилса, унда частотаси 100 ГГцғача бўлган сўнмайдиган тебранишлар юзаға келади. Тебранишларнинг чиқиш қуввати ( $f=1$  ГГц бўлганда) 10 Втғача етиши мумкин. КУДнинг ФИК 30-50 %ға 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 ясаш учун *n*-турдаги ўтказувчанлиққа эға бўлган интерметалл бирлашмалар - GaAs, InSb, InAs ва InPлар қўлланилади. Диод тебранма контурға жойлаштирилади. Контактларға ўзгармас кучланиш берилганда Ганн диодида кучланганлиги  $3 \cdot 10^3$  В/см бўлган электр майдон ҳосил қиладиган частотаси 60 ГГц бўлган электр тебранишлар юзаға келади. Тебранишлар қуввати 10 – 15 Втғача етиши мумкин, ФИК эса 10-12 % га етади.

**Фотодиод** деб битта *p-n* ўтишға эға бўлган фото-электр асбобға айтилади.

**Ёруғлик диоди** – бу электр энергиясини нокогерент ёруғлик нуриға айлантирадиган, битта *p-n* ўтишға эға бўлган ярим ўтказгичли асбоб. Ёруғлик нури электрон – ковак жуфтларининг рекомбинацияси натижасида юзаға 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 диаграммасиға эға бўладилар. Ёруғлик диодлари оптик алоқа линиялари, индикатор қурилмалар, оптопаралар ва х.з.ларда қўлланилади.

## БИПОЛЯР ТРАНЗИСТОРЛАР

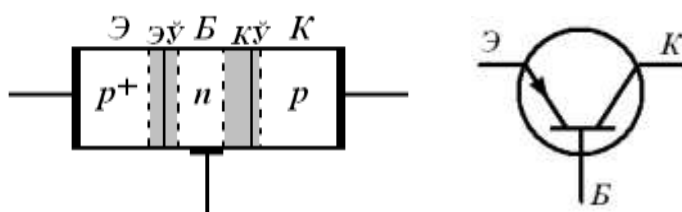
**Биполяр транзистор** (БТ) деб ўзаро таъсирлашувчи иккита  $p$ - $n$  ўтишдан ташкил топган ва сигналларни ток, кучланиш ёки қувват бўйича кучайтирувчи уч электродли яримўтказгич асбобга айтилади. БТда ток ҳосил бўлишида икки хил (биполяр) заряд ташувчилар – электронлар ва коваклар иштирок этади.

БТ  $p$ - ва  $n$ - ўтказувчанлик тури такрорланувчи учта (эмиттер, база ва коллектор) яримўтказгич соҳага эга (а ёки б - расмлар).

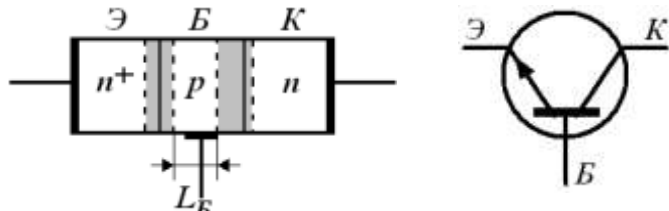
Яримўтказгич соҳаларни белгилашда асосий заряд ташувчилар концентрацияси юқори бўлган соҳа  $p^+$  ёки  $n^+$  белгиси қўйилиши билан бошқа соҳалардан фарқланиши қабул қилинган.

Транзисторнинг соҳалари ичида энг юқори концентрацияга эга бўлган чекка соҳа ( $n^+$  – соҳа)  $n^+$ - $p$ - $n$  ёки ( $p^+$  – соҳа)  $p^+$ - $n$ - $p$  турли транзисторларда **эмиттер** (Э) деб аталади. Эмиттернинг вазифаси транзисторнинг **база** (Б) соҳаси деб аталувчи ўрта ( $p$ - ёки  $n$ - турли) соҳасига заряд ташувчиларни инжекциялашдан иборат. Транзистор тузилмасининг бошқа чеккасида жойлашган  $n$  – соҳа ( $n^+$ - $p$ - $n$ ) ёки  $p$  – соҳа ( $p^+$ - $n$ - $p$ ) **коллектор** (К) деб аталади. Унинг вазифаси база соҳасидаги ноасосий заряд ташувчиларни экстракциялашдан иборат. Эмиттер билан база орасидаги  $p$  –  $n$  ўтиш **эмиттер ўтиши** (ЭЎ), коллектор билан база орасидаги  $p$  –  $n$  эса ўтиш **коллектор ўтиши** (КЎ) деб аталади.

а)



б)



6 – расм.  $p$ - $n$ - $p$  (а) ва  $n$ - $p$ - $n$  (б) турли БТ лар тузилмаси ва уларнинг схемада шартли белгиланиши.

БТни бешта асосий иш режими мавжуд.

Агар ташқи кучланиш манбалари ( $U_{ЭБ}$ ,  $U_{КБ}$ ) ёрдамида ЭЎ тўғри йўналишда, КЎ эса тескари йўналишда силжитилса, у ҳолда БТ **актив**

(*нормал*) режимда ишлайди. Бу режим аналог схемотехникада кенг қўлланилади.

Агар ЭЎ тескари йўналишда, КЎ эса тўғри йўналишда силжитилган бўлса, БТ *инверс (тескари)* режимда ишлайди.

Агар эмиттер ва коллектор ўтишлар тўғри силжитилган бўлса, БТ *тўйиниш*, тескари силжитилган бўлса - *берк* режимда ишлайди. Бу режимлар рақамли схемотехникада кенг қўлланилади. ЭЎ тўғри силжитилганда КЎда ЭЮК ҳосил бўлса, БТ *инжекция – вольтаик* режимда ишлайди.

БТнинг яна бир режими бўлиб, у тескари силжитилган КЎга юқори кучланишлар ёки температура таъсир этганда юзага келади. Бу режим *тешилиш* режими деб аталади. Кўчкили транзисторлар электр тешилиш ҳисобига ишлайди.

**БТни асосий параметрлари:**

Кириш қаршилиги:  $R_{КИР} = \frac{\Delta u_{КИР}}{\Delta i_{КИР}}$  [Ом] ;

Чиқиш қаршилиги:  $R_{ЧИК} = \frac{\Delta u_{ЧИК}}{\Delta i_{ЧИК}}$  [Ом] ;

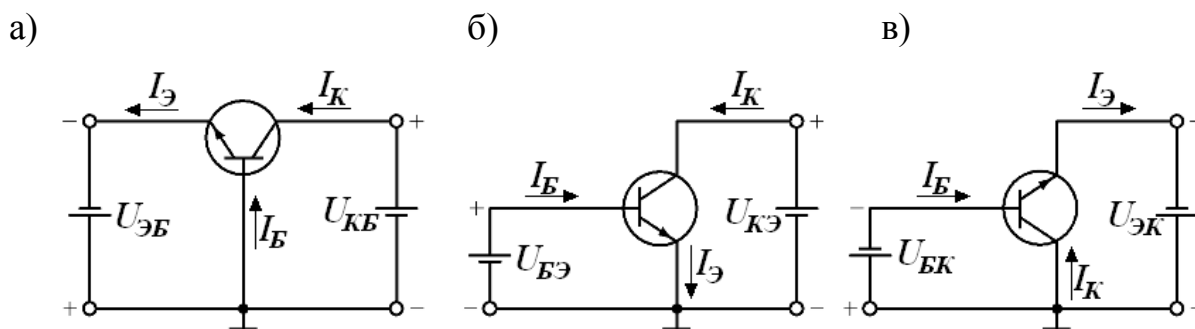
Ток бўйича кучайтириш коэффиценти:  $K_I = \frac{\Delta i_{ЧИК}}{\Delta i_{КИР}}$  ;

Кучланиш бўйича кучайтириш коэффиценти:  $K_U = \frac{\Delta u_{ЧИК}}{\Delta u_{КИР}}$  ;

Қувват бўйича кучайтириш коэффиценти:  $K_P = K_I \cdot K_U$  .

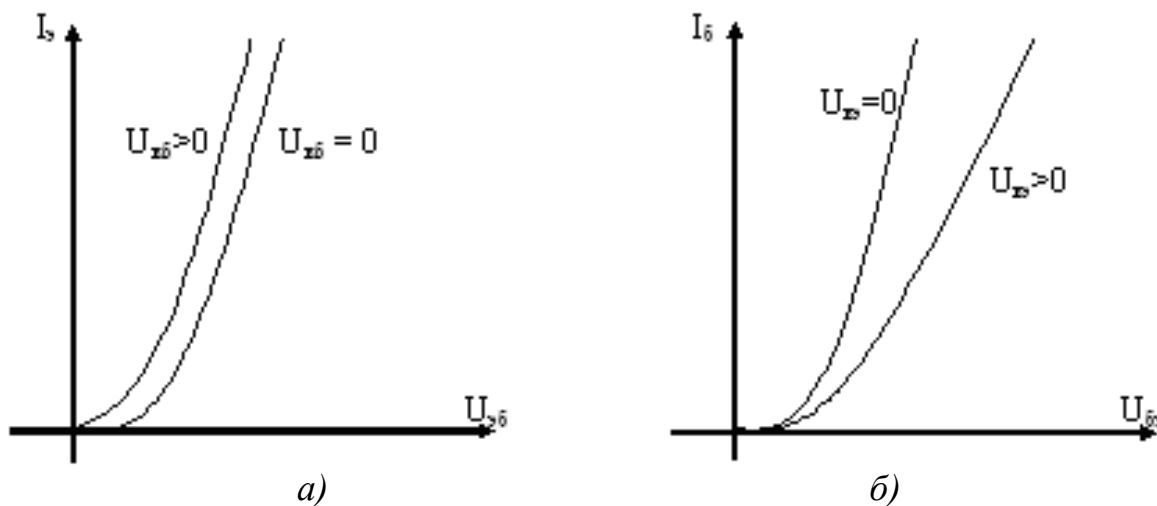
### БТ УЛАНИШ СХЕМАЛАРИ ВА ФИЗИК ПАРАМЕТРЛАРИ

БТда электродлар учта бўлгани сабабли, уч хил уланиш схемалари мавжуд: *умумий база (УБ)*; *умумий эмиттер (УЭ)*; *умумий коллектор (УК)*. Бунда БТ электродларидан бири схеманинг кириш ва чиқиш занжирлари учун умумий, унинг ўзгарувчан ток (сигнал) бўйича потенциали эса нолга тенг қилиб олинади. БТнинг расмда келтирилган уланиш схемалари актив режимга мос.



7.1 – расм. БТнинг статик режимда УБ (а), УЭ (б) ва УК (в) уланиш схемалари

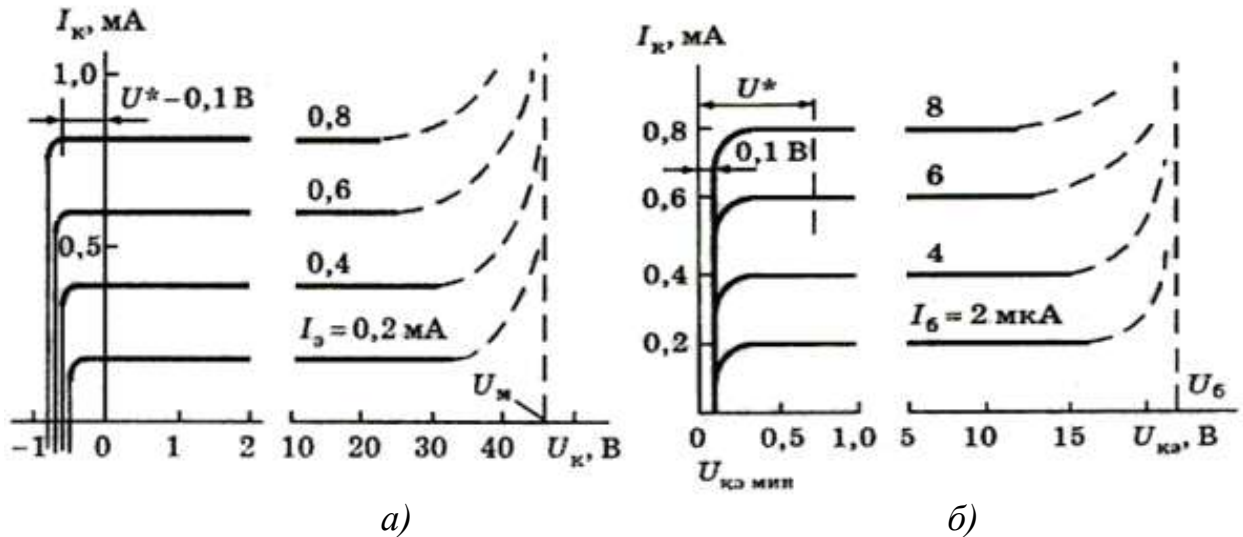
УБ схемаси учун кириш статик характериasticsи бўлиб  $U_{КБ} = const$  бўлгандаги  $I_Э = f(U_{ЭБ})$  боғлиқлик, УЭ схемаси учун эса  $U_{КЭ} = const$  бўлгандаги  $I_Б = f(U_{БЭ})$  боғлиқлик ҳисобланади. Кириш характеристикаларининг умумий характери одатда тўғри йўналишда уланган  $p-n$  билан аниқланади. Шу сабабли ташқи кўринишига кўра кириш характеристикалари экспоненциал характерга эга (7.2- расм).



7.2– расм.

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

УБ схемадаги транзисторнинг чиқиш характеристикалари оиласи бўлиб  $I_{\text{Э}} = \text{const}$  бўлгандаги  $I_{\text{К}} = f(U_{\text{КБ}})$  боғлиқлик, УЭ схемада эса  $I_{\text{Б}} = \text{const}$  бўлгандаги  $I_{\text{К}} = f(U_{\text{КЭ}})$  боғлиқлик ҳисобланади.



7.3 – расм.

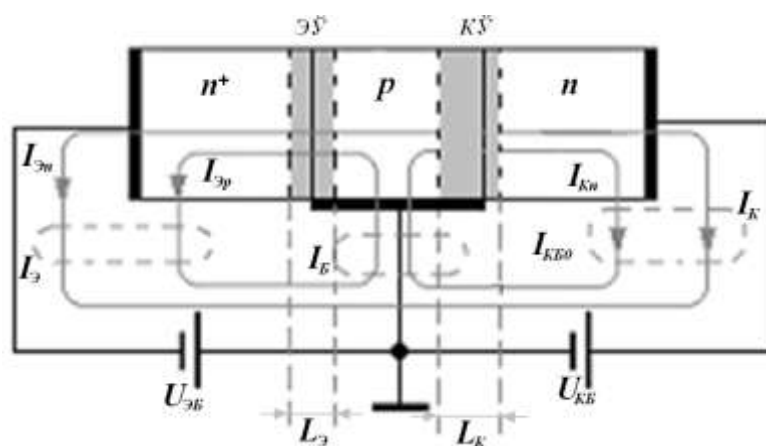
Чиқиш характеристикалари кўринишига кўра тескари уланган диод ВАХ сига ўхшайди, чунки коллектор ўтиш тескари уланган. Характеристикаларни қуришда коллектор ўтишнинг тескари кучланишини ўнгга ўрнатиш қабул қилинган (4 – расм).

УЭ схемасида уланган транзисторнинг чиқиш характеристикаси УБ схемада уланган транзисторнинг чиқиш характеристикасига нисбатан катта қияликка эга.

УБ схемада уланган, эритиб тайёрланган  $n-p-n$  БТнинг актив режимда ишлашини кўриб чиқамиз (7.4 - расм).

БТнинг ишлаши уч ҳодиса ҳисобига амалга ошади:

- эмиттердан асосий заряд ташувчиларнинг базага инжекцияланиши;
- базага инжекцияланган ЭЗТларнинг диффузия ва дрейф ҳисобига КЎгача етиб келиши;
- базага инжекцияланган ва КЎгача етиб келган ноасосий заряд ташувчиларнинг экстракцияланиши.



7.4 - расм. Актив режим учун кучланиш манбалари кутблари ва электродлар токлари йўналишлари.

ЭЎ тўғри силжитилганда ( $U_{ЭБ}$  таъминот манбаси ҳисобига амалга оширилади) унинг потенциал баръери пасаяди ва электронлар эмиттердан базага инжекцияланади. Электронларнинг эмиттердан базага ҳамда ковакларнинг базадан эмиттерга инжекцияланиши ҳисобига эмиттер токи  $I_Э$  ҳосил бўлади:

$$I_Э = I_{Эн} + I_{Эр} , \quad (7.1)$$

бу ерда  $I_{Эн}$ ,  $I_{Эр}$  – мос равишда электронлар ва коваклар инжекция токлари.

Эмиттер токининг  $I_{Эр}$  ташкил этувчиси коллектор орқали оқмайди ва шунинг учун фойдасиз ток ҳисобланади.  $I_{Эр}$  қийматини камайтириш учун базадаги акцептор киритмалар концентрацияси қиймати эмиттердаги донор киритмалар концентрациясига нисбатан икки тартиб кичик қилиб олинади.

Эмиттер токида электронларнинг инжекция токи  $I_{Эн}$  улушини **инжекция коэффиценти** деб аталувчи катталиқ ифодалайди. У эмиттер ишлаш самарадорлигини белгилаб, эмиттер токидаги фойдали ток улушини кўрсатади

$$\gamma = \frac{I_{Эн}}{I_Э} . \quad (7.2)$$

Одатда  $\gamma = 0,990-0,995$  ни ташкил этади. Базага инжекцияланган электронлар, базада коллектор томонга диффузияланиб КЎгача етиб боради. Сўнгра коллекторга экстракцияланади (КЎнинг электр майдони таъсирида коллекторга тортиб олинади) ва коллектор токи  $I_{Kn}$  ни ҳосил қилади.

Коллекторга ўтиш давомида инжекцияланган электронларнинг бир қисми база соҳадаги коваклар билан учрашиб рекомбинацияланади ва уларнинг концентрацияси камаяди. Етишмовчи коваклар ташқи занжир

орқали кириб (электр нейтраллик шарти бажарилиши учун), база токининг рекомбинацион тақшил этувчиси  $I_{БРЕК}$  ни ҳосил қилади.  $I_{БРЕК}$  қиймати катта бўлгани учун уни камайтиришга ҳаракат қилинади. Бунга база кенглигини камайтириш билан эришилади.

Эмиттердан инжекцияланган электронлар токининг база соҳасида рекомбинация ҳисобига камайиши *электронларни ташиш коэффиценти* деб аталувчи катталиқ билан ифодаланади

$$\alpha_T = \frac{I_{Kn}}{I_{Эn}} . \quad (7.3).$$

Реал транзисторларда  $\alpha_T = 0,980 \div 0,995$ .

Актив режимда транзисторнинг КЎ тескари йўналишда силжитилган ( $U_{КБ}$  билан амалга оширилади) лиги сабабли, коллектор занжирида *хусусий ток*  $I_{K0}$  оқади. У икки хил ноасосий заряд ташувчиларнинг дрейф тоқларидан ташкил топган. Натижада  $p-n$  ўтишнинг тескари тоқи  $I_{K0} = I_{pn} + I_{np}$  амалда тескари кучланишга боғлиқ бўлмайди ва хона температурасида кремнийли ўтишларда  $I_{K0} = 10^{-15}$  А ни ташкил эатди. Шундай қилиб, эмиттер тоқи *бошқарувчи*, коллектор тоқи эса *бошқарилувчидир*. Шунинг учун БТ *ток билан бошқарилувчи асбоб* дейилади.

## БТ ЭЛЕКТРОД ТОКЛАРИНИНГ ПАРАМЕТРИК ТЕНГЛАМАСИ

Коллектор токи икки ташкил этувчидан иборат

$$I_K = I_{Kn} + I_{K0} \quad .$$

Агар  $I_{Kn}$  эмиттернинг тўлиқ токи билан боғлиқлиги эътиборга олинса, у ҳолда

$$I_{Kn} = \alpha I_{\mathcal{E}} + I_{K0}, \quad (8.1)$$

бу ерда  $\alpha = \gamma\alpha_T$  - *эмиттер токини узатиш коэффициенти*.  $\alpha < 1$  бўлгани учун УБ уланган БТ ток ни кучайтирмайди ( $I_K \approx I_{\mathcal{E}}$ ).

База электродидаги ток рекомбинация ташкил этувчи  $I_{БРЕК}$  дан ташқари, ЭЎнинг инжекцияланган коваклар токи  $I_{\mathcal{E}p}$  ва КЎнинг хусусий токи  $I_{K0}$  дан ташкил топади. Кўриниб турибдики,

$$I_{БРЕК} = (1 - \alpha_T) I_{\mathcal{E}n}. \quad (8.2)$$

База токининг рекомбинация  $I_{БРЕК}$  ва инжекция  $I_{\mathcal{E}p}$  ташкил этувчилари йўналишлари бир хил. Агар КЎга қўйилган кучланиш тескари йўналишда бўлса, унинг хусусий токи  $I_{K0}$  тескари йўналган бўлади. Шунинг учун

$$I_K = (1 - \alpha_T) I_{\mathcal{E}n} + I_{\mathcal{E}p} - I_{K0} = (1 - \alpha) I_{\mathcal{E}} - I_{K0}. \quad (8.3)$$

Ток бўйича катта кучайтириш коэффициентини таъминловчи схема БТ УЭ схемада уланган. Ушбу схемада умумий электрод бўлиб эмиттер, кириш токи бўлиб – база токи, чиқиш токи бўлиб эса – коллектор токи хизмат қилади.

Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ эмиттер токи транзисторнинг бошқа электродлари токлари билан қуйидаги муносабат орқали боғланган

$$I_{\mathcal{E}} = I_B + I_K \quad . \quad (8.1')$$

(8.1') ва (8.2) муносабатларни эътиборга олган ҳолда УЭ уланган схемада коллектор токи учун тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

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

Бундан

$$I_K = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{K0}. \quad (8.4)$$

Агар  $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$  деб белгиланса, (4.7) ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$I_K = \beta I_B + (\beta + 1)I_{K0}. \quad (8.5)$$

$\beta$  коэффициент *база токини узатиш коэффициенти* деб аталади.  $\beta$  нинг қиймати  $10 \div 1000$  бўлиб, УЭ схемада уланган БТ яхши ток кучайтиргич ҳисобланади.

## БТНИ ЧАСТОТА ХУСУСИЯТЛАРИ

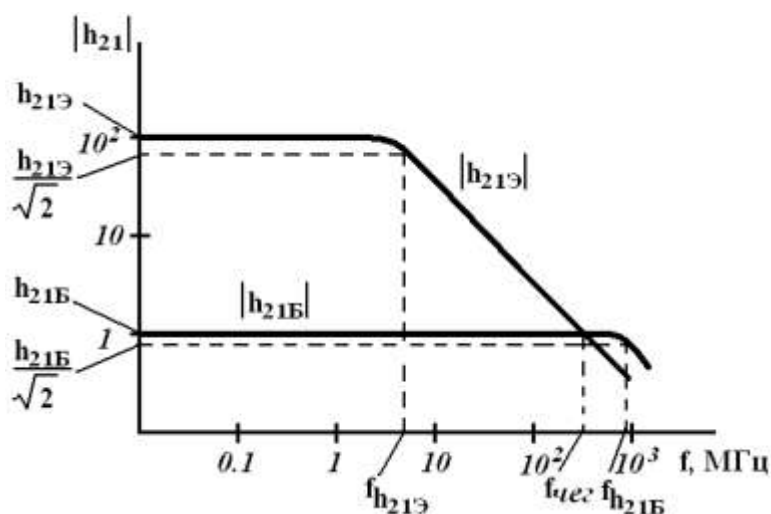
Аналог схемаларда кучайтирувчи элемент сифатида ишловчи БТнинг асосий параметрлари бўлиб ЭЎнинг  $r_{\Sigma}$  ва КЎнинг  $r_K$  дифференциал қаршиликлари ва мос равишда УБ ҳамда УЭ уланган схемаларда эса  $h_{21B}$  ва  $h_{21Э}$  дифференциал ток узатиш коэффициентлари хизмат қилади.

Транзистор частота хусусиятлари параметрларининг частотага боғлиқлиги билан ифодаланади. Ток узатиш дифференциал коэффициентининг чегаравий частотаси  $f_{ЧЕГ}$  транзистор сифатини белгиловчи энг муҳим кўрсаткич ҳисобланади. У УЭ уланган схемада, ток узатиш дифференциал коэффициенти  $h_{21Э}$  қиймати бирга тенг бўладиган частота сифатида аниқланади. УЭ ва УБ уланган схемалар ток узатиш коэффициентларининг частотага боғлиқлиги 9.1 – расмда логарифмик масштабда келтирилган, шу ерда чегаравий частоталар ҳам белгиланган бўлиб,  $f = f_{ЧЕГ}$  бўлганда бирга экстрополяцияланувчи тўғри чизиқли кесма мос келади. Бундан  $f_{ЧЕГ} = f_{h_{21Э}} h_{21Э}$  эканлиги келиб чиқади.

Тўғри чизиқли кесмада  $f_{h_{21Э}} h_{21Э}$  кўпайтма ўзгармас қолгани учун, чегаравий частотани  $|h_{21Э}|$  ни тўғри чизиқли кесмага мос ихтиёрий частотада ўлчаб топиш мумкин.

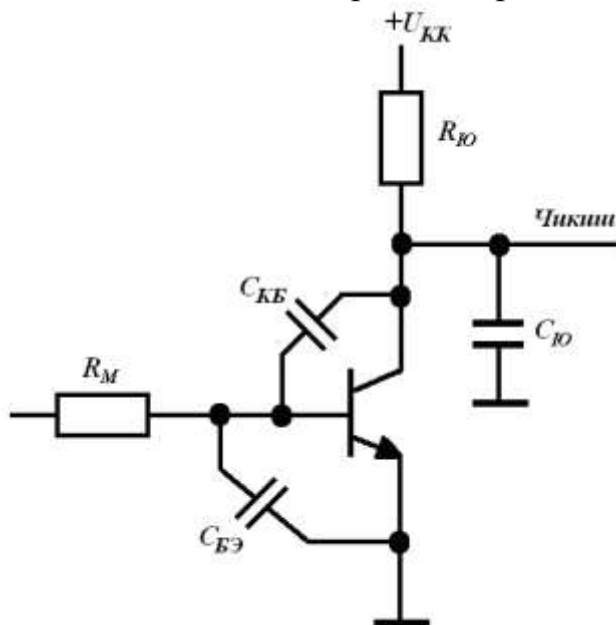
$h_{21Э}$  ва  $h_{21B}$  параметрлар орасидаги боғлиқлик асосида  $f_{h_{21B}}$  чегаравий частота  $f_{h_{21Э}}$  частотага нисбатан  $(\beta + 1)$  марта катта. Бу УЭ уланган схеманинг частота хусусиятлари УБ уланган схема частота хусусиятларига нисбатан ёмон эканлигини билдиради.

Динамик режимда  $h_{21B}$  ва  $h_{21Э}$  катталиклар частотага боғлиқ бўлади. Шу сабабдан ушбу узатиш коэффициентлари комплекс қийматлари билан алмаштирилади.



9.1 – расм. УЭ ва УБ уланган схемаларда ток узатиш коэффициентларининг частотага боғлиқлиги.

Транзистор ўтишлари сиғимларининг частота хусусиятларига таъсири 9.12 – расмда кўрсатилган. Схемда чиқиш сиғими чиқиш қаршилиги  $R_{Ю}$  билан  $RC$  – занжирни ташкил этади ( $R_{Ю}$  коллектор билан юклама қаршилигини,  $C_{Ю}$  эса ўтиш билан юклама сиғимини ўз ичига олади). Шу сабабли  $f = 1 / 2\pi R_{Ю} C_{Ю}$  частотада сигнал пасая бошлайди. Манба қаршилиги  $R_M$  ва кириш сиғими  $C_{БЭ}$  ҳақида ҳам юқоридагиларни айтиш мумкин.



9.2 – расм. Транзистор ўтишлари сиғимларининг таъсирини кўрсатувчи схема.

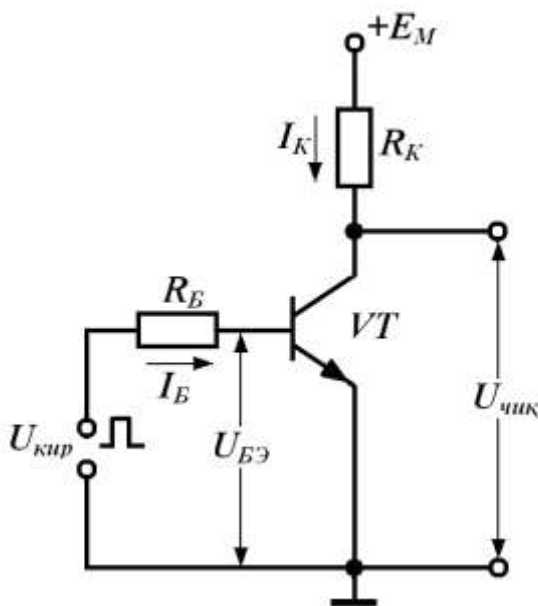
$C_{КБ}$  сиғим бошқача хусусиятга эга. Кучайтиргич кучланиш бўйича маълум кучайтириш коэффициенти  $K_U$  га эга. Киришдаги кичик сигнал кучланиши коллекторда киришдагига нисбатан  $K_U$  марта кучаяди. Бундан сигнал манбаи учун  $C_{КБ}$  уни база ва умумий нуқтага улангандагига қараганда  $(K_U + 1)$  марта катталиги келиб чиқади, яъни кириш сигнали кесилиш частотасини ҳисоблашда тескари алоқа сиғими ўзини кириш ва умумий нуқта орасига уланган  $C_{КБ}$   $(K_U + 1)$  сиғимли конденсатордек тутати.  $C_{КБ}$  сиғимнинг эффектив ортиши **Миллер эффекти** деб аталади. Бу эффект кучайтириш пасайишида асосий сабаб ҳисобланади, чунки тескари алоқани ҳосил қилувчи сиғим  $C_{КБ} \approx 4$  пФ ни ташкил этади ва умумий нуқтага уланган бир неча юз пикофарадалик эффектив сиғимга мос келади.

## БТНИ ИМПУЛЬС ХУСУСИЯТЛАРИ

Импульсли ва рақамли (мантикий) қурилмаларда электрон калит асосий элемент ҳисобланади. Электрон калит юклама занжирига уланиб ташқи бошқарув сигнали таъсирида даврий равишда улаш ва узишни амалга оширади. Бу вақтда калитнинг чиқишидаги сигнал бир – биридан етарлича фарқланадиган иккита дискрет қийматга эга бўлади. Бу хосса уни Буль алгебраси функцияларини амалга оширувчи асосий МЭ сифатида қўллашга имконини беради.

Калит икки элементдан ташкил топган: қайта уланувчи (ҚУЭ) ва юклама (ЮЭ) элементлари. ҚУЭ икки турғун ҳолатга эга: уланган ва узилган. Бу шартларга биполяр ва майдоний транзисторларнинг баъзи турлари мос келади. ЮЭ манбадан истеъмол қилинаётган токни чеклаш учун хизмат қилади.

БТли содда калит схемаси 10.1 – расмда келтирилган. У УЭ схемада уланган БТда ясалган кучайтиргич каскаддан иборат. Кучланиш манбаи  $E_M$  ва  $R_K$  кўринишдаги юклама қаршилигидан ташкил топган занжир бошқарилувчи занжир ҳисобланади. Бошқарувчи (база) занжир бошқарув сигнали манбаи  $U_{кир}$  ва унга кетма – кет уланган қаршилик  $R_B$  дан таркиб топган.



10.1 – расм. БТ асосидаги содда электрон калит схемаси.

БТ электрон калит шартига кўра ёки берк режимда, ёки тўйиниш режимда ишлаши керак.

Киришга манфий кутбли сигнал берилсагина транзистор берк режимга ўтади. Маълумки, берк режимда транзистор токлари

$$I_{\varepsilon} \approx 0, \quad I_K = I_{K0}, \quad I_B = -I_{K0}$$

га тенг бўлади. Бу ерда “-” белгиси, база токи актив режимдаги база токи йўналишига тескари йўналишда оқиб ўтишини билдиради. Калит режимида  $I_{K0}$  токи **қолдиқ ток** деб аталади. У жуда кичик бўлганлиги сабабли чиқиш кучланиши  $U_{ЧИК}$  манба кучланиши  $E_M$  қийматига яқин бўлади

$$U_{ЧИК} = E_M - I_{K0} R_K \approx E_M,$$

яъни манба занжиридан юклама узилишига мос келади (калит узилган).

Агар  $U_{КИР}$  мусбат кутбга ва етарлича катта қийматга эга бўлса, у ҳолда транзистор актив ёки тўйиниш режимига ўтади, яъни очилади (калит уланган). Юклама занжирида

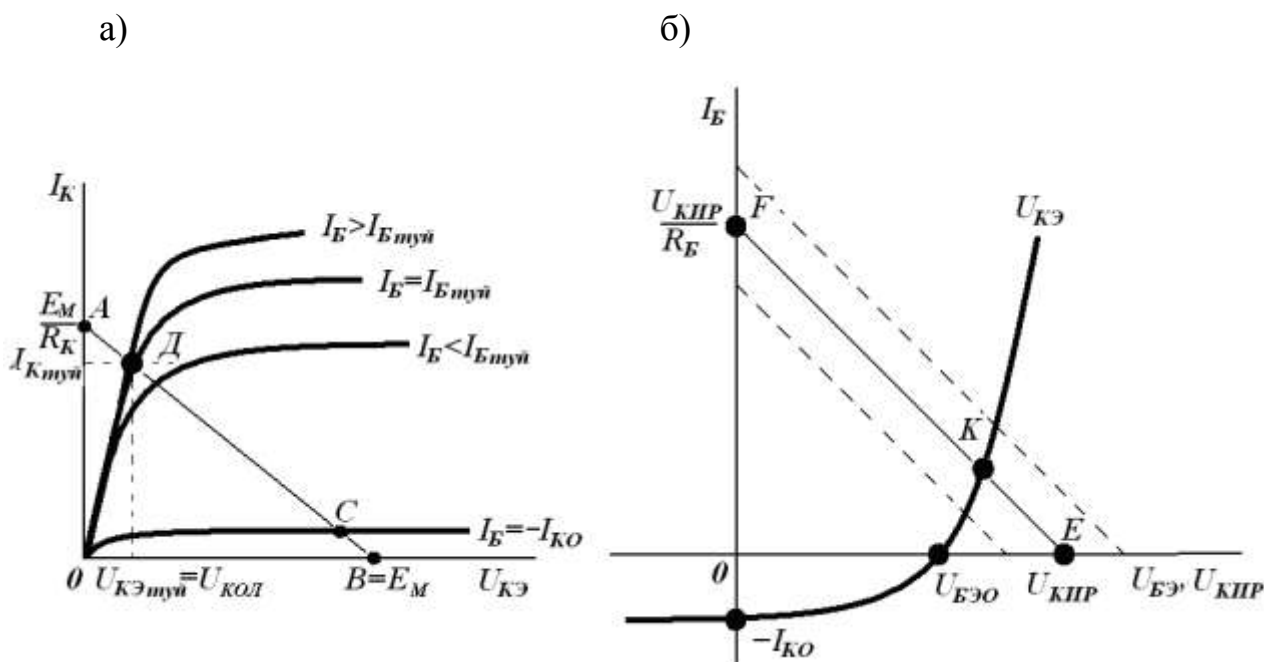
$$I_K = (E_M - U_{КЭ}) / R_K$$

ток оқиб ўтади, калит чиқишидаги кучланиш эса  $U_{ЧИК} = U_{КЭ} = U_{КОЛ}$  га тенг бўлиб, **қолдиқ кучланиш** деб аталади. Тўйиниш режимидаги қолдиқ кучланиш  $U_{ЭБ}$  ва  $U_{КБ}$  лар айирмасига тенг ва доим актив режимдаги қолдиқ кучланиш қийматдан кичик бўлади. Шу сабабли калит сифатида транзисторнинг актив режимда ишлаши маъқул эмас, чунки унда қўшимча  $P_K = I_K U_{КЭ}$  қувват сочилади ва схема ФИК пасаяди. Кремнийли транзисторлар учун тўйиниш режимида  $U_{КОЛ} \approx 0,25\text{В}$  тенг, яъни нолга яқин.

Кўрилатган калит инвертор эканлиги яққол кўриниб турибди, яъни кириш сигналининг манфий қийматлардан мусбат қийматларга ортиши, чиқиш кучланиши  $U_{КЭ}$  ни  $E_M$  дан қолдиқ кучланишгача камайишига олиб келади.

Умуман айтганда, бу калит – инвертор тўғри мантикдаги мусбат сигналлар билан ишлашга мўлжалланган. Шунинг учун бу ерда  $U_{КИР} < 0$  шарт бажарилмайди. Лекин, кремнийли  $p - n$  – ўтиш мусбат кучланишда ҳам, агар  $U_{КИР} < 0,6\text{ В}$  бўлса деярли берк қолади. Бу вақтда транзисторнинг уччала электрод токлари одатда микроампер улушларидан ортмайди.

Калитнинг асосий статик параметрлари бўлиб – қолдиқ ток ва қолдиқ кучланиш ҳисобланади. БТнинг калит режими катта диапазондаги ток ва кучланиш импульсларини ўзгариши билан таъминланади (катта сигнал режими). Шу сабабли калитнинг статик параметрлари графо – аналитик усулни қўллаш ёрдамида аниқланади. Бунинг учун калитда қўлланилатган транзисторнинг чиқиш (10.2, а – расм) ва кириш (10.2, б – расм) характеристикалари керак бўлади.



10.2 – расм. Транзисторнинг статик характеристикаларида калит ишчи нуқталарининг жойлашиши.

Чиқиш характеристикалар оиласида В нуқта (бу ерда  $U_{КЭ} = E_M$ ) ва А нуқта (бу ерда  $I_K = E_K / R_K$ ) ларни туташтириб АВ юклама чизиғини ўтказамиз. Унда Д нуқта тўйиниш чегарасини беради, С нуқта эса  $U_{КБ} = 0$  бўлганда бошланадиган берк режим чегарасини беради.

Айтилганлардан келиб чиққан ҳолда, калит режимда ишлаш учун транзисторли каскад ишчи нуқтаси ёки Д нуқтадан чапроқда, ёки С нуқтадан ўнпроқда жойлашиши керак. Бу нуқталар оралиғида каскад транзисторнинг тўйиниш режимидан берк режимга ўтиш ҳолатида, ёки аксинча бўлади. Транзистор бу ҳолатда қанчалик кам вақт турса, калитнинг тезкорлиги шунча юқори бўлади. Ўтиш ҳолатлари ноасосий заряд ташувчилар базадан чиқариб юбориш вақти ва барьер сиғимнинг қайта зарядланиш жараёнлари билан аниқланади.

Статик режимда  $R_B$  қаршилиқнинг берилган қийматларида база токининг  $U_{KHP}$  кучланишига боғлиқлигини кириш характеристикаси (4.9, б-расм) ёрдамида аниқлаш мумкин. Бунинг учун ЕҒ юклама чизиғини ўтказиш керак. Е нуқта  $U_{БЭ} = U_{KHP}$ , F нуқта эса  $U_{KHP} / R_B$  қиймати билан аниқланади. Кириш характеристикаси билан юклама чизиғи кесишган К нуқта база токи ва  $U_{БЭ}$  кучланишининг ишчи қийматларини аниқлайди.  $U_{KHP}$  нинг вақт бўйича ўзгариши ЕҒ тўғри чизикни параллель силжишига ва мос равишда К нуқтанинг силжишига олиб келади (штрих чизиклар).

Д нуқта билан аниқланадиган тўйиниш режимига ўтиш учун, кириш токи  $I_B$  ни **базанинг тўйиниш токи** деб аталувчи  $I_{B\text{тўй}}$  қийматгача ошириш керак. Бу вақтда унга мос келувчи коллектор токи **коллекторнинг тўйиниш**

токи  $I_{К.ТЎЙ}$ , кучланиш эса – **тўйиниш кучланиши**  $U_{КЭ.ТЎЙ}$  ёки **қолдиқ кучланиш**  $U_{КЭ.ТЎЙ} = U_{КОЛ} = E_M - I_{К.ТЎЙ} R_K$  деб аталади. Малумки,

$$I_{К.ТЎЙ} = \beta I_{Б.ТЎЙ},$$

бу ерда  $\beta = h_{21Э}$  - база токининг интеграл узатиш коэффициенти . Тахминан  $I_{К.ТЎЙ} \approx E_M / R_K$  деб олиш мумкин. У ҳолда

$$I_{Б.ТЎЙ} \approx E_M / \beta R_K .$$

База токи  $I_{Б.ТЎЙ}$  қийматидан ортиши мумкин. База токининг бундай ортишини **тўйиниш коэффициенти** деб аташ қабул қилинган.

$$S_{ТЎЙ} = I_B / I_{Б.ТЎЙ} .$$

$S_{ТЎЙ}$  нинг ортиши  $U_{ЧИҚ}$  ни камайишига олиб келади, яъни БТ чиқиш занжирида сочилаётган қувват камаяди. Аммо  $S_{ТЎЙ}$  нинг керагидан ортиқ ортиши БТ кириш занжирида сочилаётган қувватни сезиларли ортишига олиб келади. Ҳисоблар  $S_{ТЎЙ} = 1,5...2,0$  қийматлар оптимал бўлишини кўрсатди.

Кўриб ўтилган содда калит схемасида БТ иш режими билан боғлиқ бўлган катта инерцияликка эга. Транзистор тўйиниш режимига ўтаётганда базада кўп сонли ноасосий заряд ташувчиларнинг тўпланиши учун вақт талаб қилинади. Транзистор тўйиниш режимидан берк режимга ўтаётганда эса бу заряд ташувчиларнинг тўпланиши ва, айниқса, уларнинг базадан чиқариб юборилиши табиатан жуда секин кечадиган жараён.

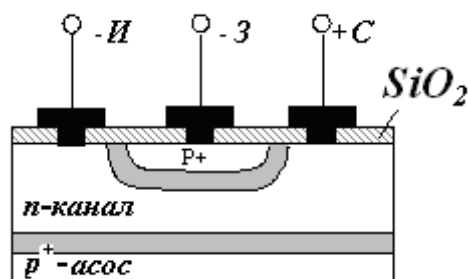
## МАЙДОНИЙ (УНИПОЛЯР) ТРАНЗИСТОРЛАР

Электрод токлари асосий заряд ташувчиларнинг кристалл ҳажмидаги электр майдон таъсирида дрейф ҳаракатланишига асосланган уч электродли, кучланиш билан бошқариладиган яримўтказгич асбоб **майдоний транзистор** (МТ) дейилади. МТларда ток ҳосил бўлишида фақат бир турли–асосий заряд ташувчилар (электронлар ёки коваклар) қатнашгани сабабли улар баъзан **униполяр транзисторлар** деб аталади. МТларда, БТлардаги каби тезкорликка таъсир этувчи инжекция ва экстракция натижасида ноасосий заряд ташувчиларнинг тўпланиш жараёнлари мавжуд эмас.

$p-n$  ўтиш билан бошқарилувчи  $n$  – каналли МТ тузилмасининг кўндаланг кесими ва унинг шартли белгиланиши 11.1 - расмда келтирилган.

$n$ –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 келадиған 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.

а)



б)



11.1 – расм.  $n$  – каналли МТ тузилмасининг кўндаланг кесими (а) ва унинг шартли белгиланиши (б).

Каналнинг кўндаланг кесими нольга тенг бўладиган вақтдаги затвор кучланиши **беркилиш кучланиши**  $U_{ЗИ.БЕРК.}$  деб аталади ва бу вақтда транзистор истоки стокдан узилиб қолади, яъни **берк режимда** ишлайди.

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

Бу ердан

$$U_{СИ.ТЎЙ.} = |U_{ЗИ.БЕРК.}| - |U_{ЗИ}|$$

$U_{СИ} \leq U_{СИ.ТҰЙ}$ . вақтдаги транзисторнинг ишчи режими **текис ўзгариш** режими,  $U_{СИ} \geq U_{СИ.ТҰЙ}$ . вақтдаги транзисторнинг ишчи режими эса **тўйиниш** режими деб аталади. Тўйиниш режимида  $U_{СИ}$  кучланиш қийматининг ортишига қарамай  $I_C$  токининг ортиши деярли тўхтайтиди. 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.

### МТнинг асосий параметрлари:

Характеристика тигклиги

$$U_{СИ} = \text{const} \text{ бўлгандаги } S = \frac{\partial I_C}{\partial U_{ЗИ}} ;$$

Ички (дифференциал) қаршилиқ

$$U_{ЗИ} = \text{const} \text{ бўлгандаги } R_i = \frac{\partial U_{СИ}}{\partial I_C} ;$$

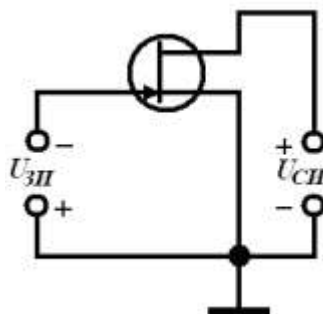
Кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти

$$I_C = \text{const} \text{ бўлгандаги } \mu = \frac{\partial U_{СИ}}{\partial U_{ЗИ}} .$$

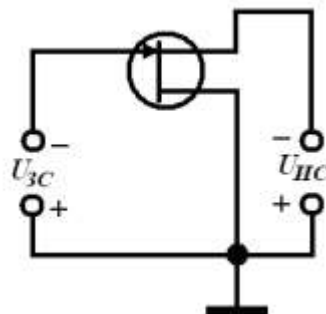
Кичик сигнал параметрлари ўзаро  $\mu = SR_i$  ифода билан боғланган.

МТда электродлар учта бўлгани сабабли, уч хил уланиш схемалари мавжуд: **умумий исток (УИ)**, **умумий сток (УС)** ва **умумий затвор (УЗ)**. Бунда МТ электродларидан бири схеманинг кириш ва чиқиш занжирлари учун умумий, унинг ўзгарувчан ток (сигнал) бўйича потенциали эса нолга тенг қилиб олинади. Асосий уланиш схемаси бўлиб УИ уланиш хизмат қилади.

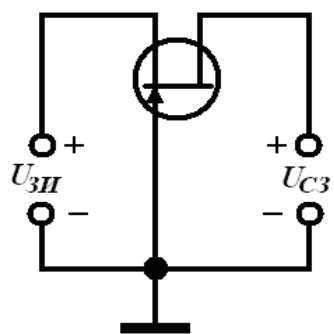
а)



б)



в)

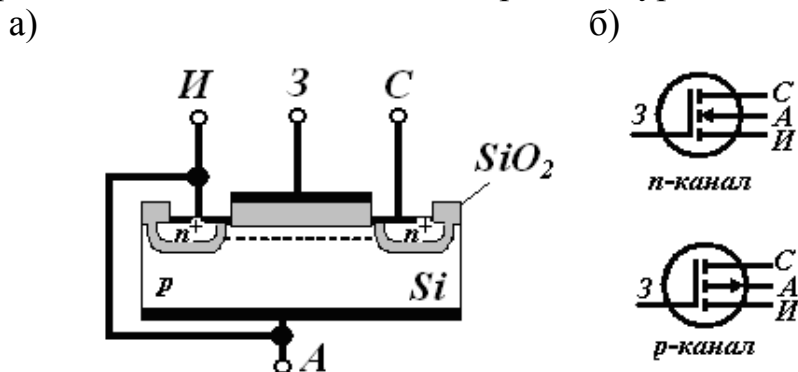


11.2 – расм. МТларнинг ураниш схемалари: УИ (а), УС (б) ва УЗ (в).

## ЗАТВОРИ ИЗОЛЯЦИЯЛАНГАН МТЛАР. КАНАЛИ ИНДУКЦИЯЛАНГАН МДЯ ТРАНЗИСТОРЛАР

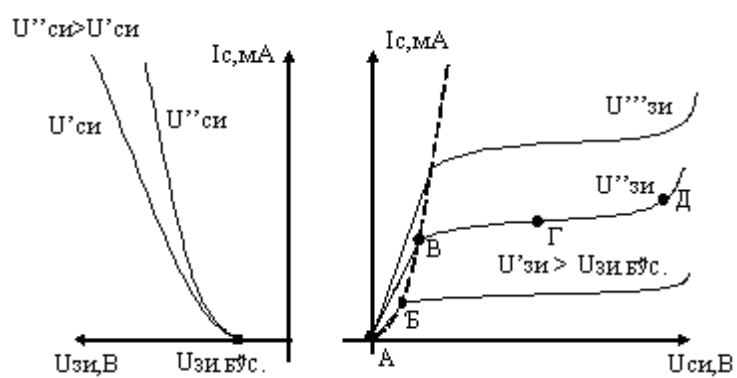
**Затвори изоляцияланган МТлар**да металл затвор ва канал орасида юпка диэлектрик қатлам мавжуд. Бундай МТ металл – диэлектрик – яримўтказгич (МДЯ) тузилмага эгаллиги сабабли **МДЯ – транзистор** деб ҳам аталади. Унинг **каналли қурилган** ва **каналли индукцияланган** турлари мавжуд бўлиб: биринчи турдаги транзисторларда канал соҳаси технологик усул билан ҳосил қилинади, иккинчисида эса – канал соҳаси затворга маълум кутбли ва қийматли кучланиш берилганда ҳосил бўлади (индукцияланади). Кўндаланг электр майдон юпка диэлектрик орқали ўтиб, каналдаги заряд ташувчилар концентрациясини бошқаради.

***n* – канали индукцияланган МДЯ – транзистор** тузилмаси 12.1 а – расмда, шартли белгиланиши эса 12.1, б – расмда кўрсатилган.



12.1-расм. *n* – канали индукцияланган МДЯ – транзистор тузилмаси (а) ва унинг шартли белгиланиши (б).

*p* – турли кремнийдан иборат асос сусти легирланган бўлиб, акцепторлар концентрацияси тахминан  $10^{15} \text{ см}^{-3}$  ни ташкил этади. Асос сиртида диффузия ёки ион легирлаш усуллари билан қалинлиги 1 мкм га яқин  $n^+$  – ўтказувчанликка эга бўлган чўнтаксимон исток ва сток соҳалар ҳосил қилинган. Исток ва сток орасидаги узунлиги  $L=0,1 \div 10$  мкмни ташкил этувчи соҳа канал узунлигини ташкил этади. Яримўтказгич сиртида қалинлиги 0,05-0,1 мкмни ташкил этувчи диэлектрик ( $\text{SiO}_2$ ) қатлам ҳосил қилинган. Диэлектрик сиртига затвор деб аталувчи металл электрод ўрнатилган. Исток ва сток соҳалари билан асос орасида иккита  $n^+$  - *p* ўтишлар ҳосил бўлади. МДЯ тузилмага исток ва стокни қўшиш инверс қатлам (*n* - канал) ҳосил қилиш жараёнига кескин таъсир этади. Ўтишларнинг камбағаллашган соҳалари расмда штрихлаб кўрсатилган.



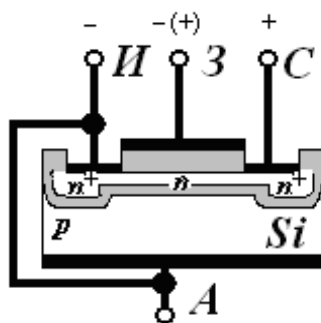
12.2 – расм.  $n$  – канали индукцияланган МДЯ – транзистор ВАХлари.

## 13– маъруза

### КАНАЛИ ҚУРИЛГАН МДЯ ТРАНЗИСТОРЛАР

*n* – канали қурилган МДЯ – транзистор тузилмаси 13.1, а – расмда ва шартли график тасвирланиши 13.1, б – расмда келтирилган.

а)



б)

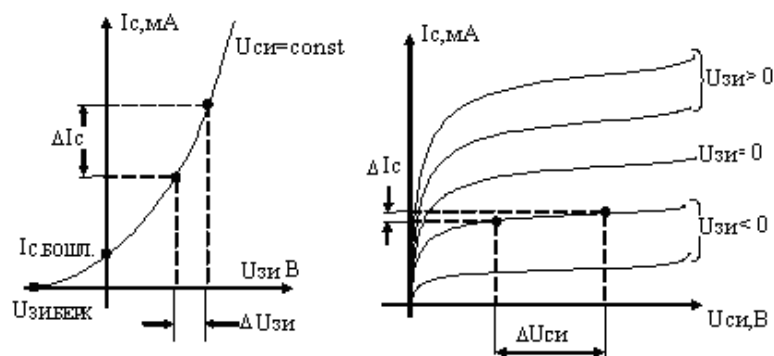


13.1 – расм *n* – канали қурилган МДЯ – транзистор тузилмаси (а) ва унинг шартли белгиланиши (б).

Бундай транзисторларда исток ва сток орасида жойлашган ток ўтказувчи канал транзисторни тайёрлаш жараёнида ҳосил қилинади. Шунинг учун бундай транзистор канали “қурилган” МТ деб аталади. Канал ион легирлаш усули билан яримўтказгич сиртига яқин соҳаларда юпқа қатлам ҳосил қилиш билан амалга оширилади. Канали қурилган МДЯ – транзисторлар истокка нисбатан затворга икки хил ишорали кучланишлар берилганда ҳам ишлай олади.

Агар  $U_{ЗИ} = 0$  бўлганда транзисторга  $U_{СИ}$  кучланиш берилса, канал орқали электронлар токи оқади. Бу ток стокнинг бошланғич токи  $I_{С.БОШЛ}$  деб аталади. Затворга истокка нисбатан манфий кучланиш берилганда каналда ток йўналишига кўндаланг электр майдон ҳосил бўлади. Бу майдон таъсирида электронлар каналдан суриб чиқарилади. Каналда электронлар сони камаяди (канал камбағаллашади), унинг қаршилиги ортади ва сток токи қиймати камаяди. Затвордаги манфий кучланиш қиймати ортган сари, ток қиймати камаяверади. Транзисторнинг бу режими **камбағаллашган режим** деб аталади. Затворга берилган манфий кучланишнинг маълум қийматида сток токи нолгача камаяди (берк режим), ушбу кучланиш **беркитиш кучланиши**  $U_{ЗИ.БЕРК}$  деб аталади.

Агар затворга мусбат кучланиш берилса, ушбу кучланиш ҳосил қилган майдон таъсирида исток, сток ҳамда кристалл асосдан электронлар каналга кела бошлайди, канал ўтказувчанлиги ва сток токи қиймати ортади. Ушбу режим канали **бойитилган режим** деб аталади.



13.2 – расм.  $n$  – канали қурилган МДЯ – транзистор ВАХлари.  
**МДЯ транзисторларнинг асосий параметрлари:**

Характеристика тигклиги

$$U_{СИ} = \text{const} \text{ бўлгандаги } S = \frac{\partial I_c}{\partial U_{ЗИ}} ;$$

Ички (дифференциал) қаршилиқ

$$U_{ЗИ} = \text{const} \text{ бўлгандаги } R_i = \frac{\partial U_{СИ}}{\partial I_c} ;$$

Кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти

$$I_c = \text{const} \text{ бўлгандаги } \mu = \frac{\partial U_{СИ}}{\partial U_{ЗИ}}$$

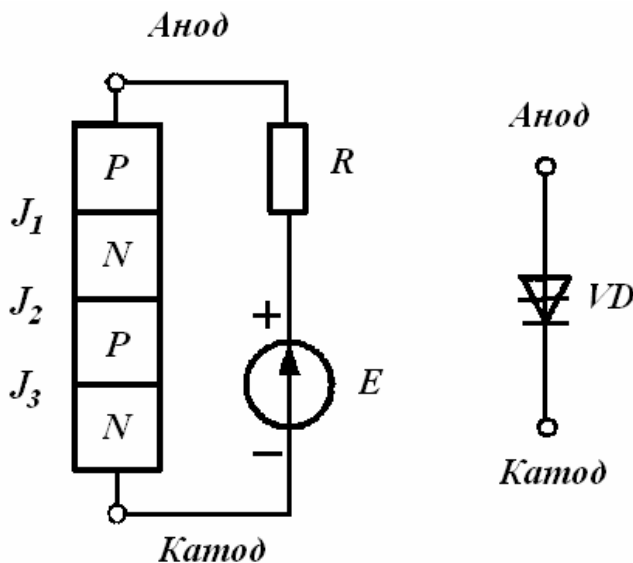
## ДИНИСТОРЛАР ВА ТИРИСТОРЛАР

ВАХида манфий дифференциал қаршилик мавжуд бўлган, уч ва ундан ортиқ  $p$ - $n$  ўтишларга эга кўп қатламли яримўтказгич асбоб **тиристор** деб аталади.

Тиристор ишлаганда иккита мувозанат ҳолатда бўлиши мумкин. Берк ҳолатда тиристор катта қаршиликка эга ва ундан кичик ток оқади. Очик ҳолатда тиристор қаршилиги кичик ва ундан катта ток оқади. Шундан яримўтказгич асбобнинг номи (тира - эшик) қўйилган. Тиристорлар радиолокацияда, радиоалоқа қурилмаларида, автоматикада манфий ўтказувчанликка эга яримўтказгич асбоб сифатида ҳамда ток бошқарувчи калитлар, энергия ўзгартгичларнинг бўсағавий элементлари сифатида ёки бошланғич ҳолатда энергия истеъмол қилмайдиган асбоб - триггерлар сифатида кенг ишлатилади.

Тиристорлар чиқишлари сонига қараб диодли (**динистор**), триодли (**тринистор**) ва **тетродли тиристорларга** бўлинади ва тўрт қатламли  $p$ - $n$ - $p$ - $n$  тузилмадан мос равишда чиқарилган икки, уч ва тўрт чиқишга эга бўлади. Тузилма чеккасидаги  $p$  – қатлам **анод** (А),  $n$  – қатлам эса **катод** (К) деб номланади. Анод ва катод орасидаги  $n$  – ва  $p$  – соҳалар **база** деб аталади, уларга ўрнатилган электродлар эса **бошқарувчи электродлар** деб аталади. Диодли ва триодли тиристорлар токни фақат бир томонлама ўтказди. Бу ўз навбатида, тиристорларнинг ўзгарувчан токни бошқариш имкониятини чеклайди. Ўзгарувчан ток занжирларида икки томонлама калит сифатида **симистор** (симметрик тиристор) ишлатилади. Симистор **триак** деб ҳам аталади. Симистор  $p$ - $n$ - $p$ - $n$ - $p$  тузилмага ва бир ёки икки бошқарувчи электродга эга.

Учта  $p$ - $n$  ўтишга эга диодга ўхшаш икки электродли асбоб **динистор** деб аталади. Унинг тузилмаси 14.1, а – расмда, шартли белгиланиши эса 14.1, б – расмда келтирилган. Динисторнинг учта  $p$ - $n$  ўтиши  $J_1$ ,  $J_2$  ва  $J_3$  деб белгиланган.

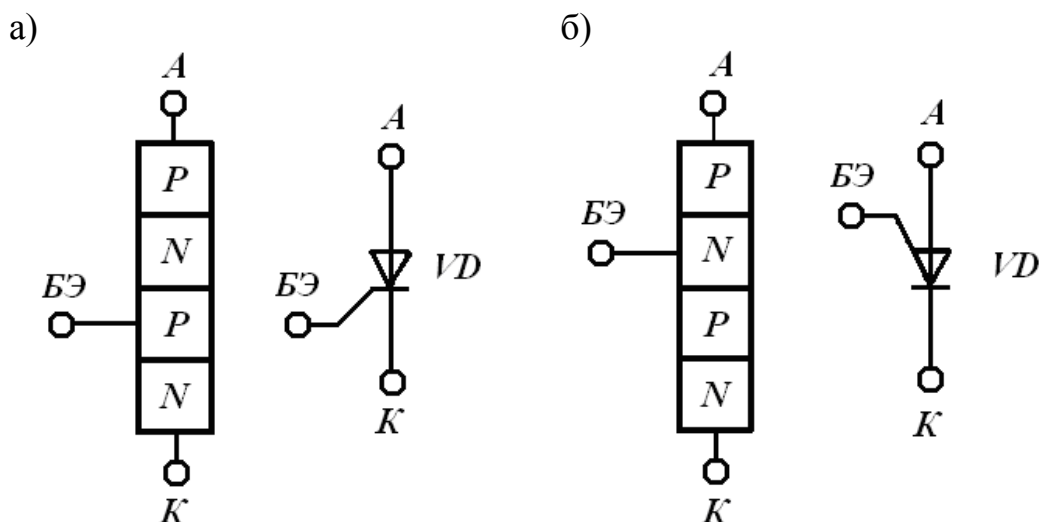


14.1 – расм. Динистор тузилмаси (а) ва унинг схемаларда шартли график белгиланиши (б).

Динистор схемаларда ўзаро уланган иккита триодли тузилма билан алмаштирилган ҳолда кўрсатилиши мумкин. Динисторни ташкил этувчи транзисторларга ажратилиши ва ўзаро уланган транзисторлар билан алмаштирилиши 5.3 – расмда кўрсатилган. Бу уланишда Т1 транзисторнинг коллектор токи Т2 транзисторнинг база токини, Т2 транзисторнинг коллектор токи эса Т1 транзисторнинг база токини ташкил этади. Транзисторларнинг бундай уланиши ҳисобига асбоб ичида мусбат ТА ҳосил бўлади.

Тиристор динисторга ўхшаш тузилмага эга бўлиб, база соҳаларидан бири бошқарувчи бўлади. Агар базалардан бирига бошқарувчи ток берилса, мос транзисторнинг узатиш коэффициенти ортади ва тиристор уланади.

Бошқарувчи электрод (БЭ) жойлашган соҳасига мос равишда тиристорлар катод билан ва анод билан бошқарувчиларга ажратилади. БЭ ларнинг жойлашиши ва тиристорларнинг шартли белгиланиши 14.2 – расмда келтирилган.



14.2 – расм. Катод (а) ва анод (б) орқали бошқарилувчи тиристор тузилмаси ва шартли белгиланиши.

БЭ га сигнал берилганда ёпилувчи тиристорлар ҳам мавжуд. Бундай тиристорларнинг БЭ токи тиристор узилаётганда асосий коммутацияланаётган токка қиймат жиҳатдан яқинлашгани учун чегараланган ҳолларда қўлланилади.

## ФОТОЭЛЕКТР АСБОБЛАР

Битта  $p$ - $n$  ўтишга эга бўлган фотоэлектр асбоб **фотодиод** деб аталади. Фотодиод схемага ташқи электр манба билан (фотодиод режими) ва ташқи электр манбасиз (фотовольтаик режим) уланиши мумкин. Ташқи электр манба шундай уланадики, бунда  $p$ - $n$  ўтиш тескари йўналишда силжиган бўлсин. Фотодиодга ёруғлик тушмаганда диоддан берилган кучланишга боғлиқ бўлмаган  $I_0$  экстракция токи деб аталувчи, жуда кичик қийматга эга “қоронғулик” токи оқиб ўтади. Диоднинг  $n$  – база соҳаси тақиқланган зона кенглигидан катта  $h\nu$  энергияга эга бўлган фотонлар билан ёритилганда электрон – ковак жуфтликлар генерацияланади. Агар ҳосил бўлган жуфтликлар билан  $p$ - $n$  ўтиш орасидаги масофа заряд ташувчиларнинг диффузия узунлигидан кичик бўлса, генерацияланган коваклар  $p$ - $n$  ўтиш майдони ёрдамида экстракцияланади ва тескари ток қиймати унинг “қоронғулик”даги қийматига нисбатан ортади. Ёруғлик оқими  $\Phi$  интенсивлиги ортиши билан диоднинг  $I_\phi$  тескари токи қиймати ортиб боради. Ёритилганликнинг кенг чегарасида фототок билан ёруғлик оқими орасидаги боғланиш амалда чизикли бўлади.

Пропорционаллик коэффиценти  $K_\phi = \partial I_\phi / \partial \Phi$  бир неча мА/лм ни ташкил этади ва **фотодиоднинг сезгирлиги** деб аталади. Фотодиодлар турли ўлчаш қурилмаларида ҳамда оптик толали алоқа линияларида ёруғлик оқимини қабул қилувчилар сифатида ишлатилади.

Фотодиоднинг фотодиод режимидан ташқари фотовольтаик режими кенг ишлатилади. Ушбу режимда фотодиод ташқи электр манба уланмаган ҳолда ишлатилади ва ёруғлик (куёш) энергиясини бевосита электр энергияга ўзгартириш учун қўлланилади.

Диод фотовольтаик режимда ёритилганда унинг чиқишида фото ЭЮК ҳосил бўлади. Куёш нури энергиясини электр энергияга ўзгартирувчи ўзаро уланган ўзгартгичлар электр манба сифатида космик кемаларда ва ер устидаги автоном электр энергия қурилмаларида ишлатилиб келинмоқда.

**Нурланувчи диодлар** – битта  $p$ - $n$  ўтишга эга бўлган, электр энергияни нокогерент ёруғлик нурига ўзгартувчи яримўтказгич нурланувчи электрон асбобдир. Нурланувчи диодларда электрон – ковак жуфтликларининг рекомбинациялашуви натижасида ёруғлик нури пайдо бўлади. Агар  $p$ - $n$  ўтиш тўғри йўналишда силжитилган бўлса рекомбинация содир бўлади. Нурланувчи рекомбинация тўғри зонали деб аталувчи яримўтказгичларда ҳосил бўлади. Бундай яримўтказгич сифатида арсенид галлийни келтириш мумкин. Нурланаётган ёруғликнинг тўлқин узунлиги  $\lambda$  энергияси тахминан яримўтказгич таъқиқланган зонаси кенглигига мос келувчи квант энергияси билан аниқланади. Арсенид галлий асосида тайёрланган нурланувчи диодларнинг тўлқин узунлиги  $\lambda = 0,9-1,4$  мкм ни ташкил этади. Кўринувчи нурлар диапазонидаги нурланувчи диодлар фосфид галлий, карбид кремний

ва бошқалар асосида тайёрланади. Замонавий нурланувчи диодларда галлийнинг азот ва алюминий билан бирикмаларидан фойдаланилади.

Нурланувчи диодларнинг энергетик характеристикаси сифатида **квант чиқиши** (самарадорлик) дан фойдаланилади. Квант чиқиши бошқарув занжиридан ўтаётган ҳар бир электронга нурланувчи диод чиқишида нечта нурланиш кванти тўғри келишини кўрсатади. Гомоўтишли нурланувчи диодлар учун одатда квант чиқиши 0,01-0,04 ни ташкил этади. Гетероўтишли нурланувчи диодлар ҳосил қилиш учун бинар ва уч компонентали яримўтказгич бирикмалардан фойдаланилади, улар учун квант чиқиши анча юқори қийматни (0,3 гача) ташкил этади, лекин ҳамма вақт бирдан кичик бўлади. ВАХлари, оддий диодларникидек, экспоненциал боғланиш билан ифодаланади. Нурланувчи диоднинг қайта уланиш вақти  $10^{-7} \div 10^{-9}$  с ни ташкил этади.

Нурланувчи диодлар оптик алоқа линияларида, индикация қурилмаларида, оптоэлектрон жуфтликларда ва яқин келажакда электр ёритгич асбобларни алмаштиришда қўлланилади.

## ОПТРОНЛАР

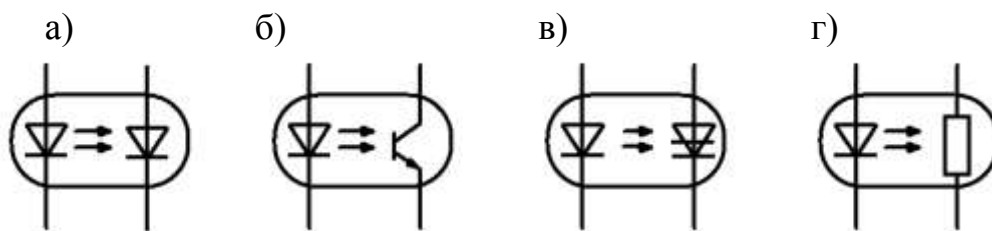
Фотодиод ва нурланувчи диод оптоэлектрониканинг асосий яримўтказгич асбобларидир. **Оптоэлектроника** – электрониканинг бўлими бўлиб, ахборотларни қабул қилиш, узатиш ва қайта ишлашда ёруғлик сигналлар электр сигналларга ва аксинча ўзгартирилишини таъминловчи электрон қурилмаларни ишлаб чиқиш, яратиш ва амалий қўллаш билан шуғулланади.

Оптоэлектрон жуфтлик, ёки **оптожуфтлик** конструкторияси жихатдан оптик муҳит орқали ўзаро боғланган нурлатгич ва фото қабул қилгичдан ташкил топган бўлади.

Кирувчи электр сигнал таъсирида нурланувчи диод ёруғлик тўлқинларини генерациялайди, фотоқабулқилгич эса (фотодиод, фоторезистор, фототранзистор ва бошқалар) ёруғлик таъсирида фототок генерациялайди.

Нурланувчи диод ва фотодиоддан (а), фототранзистордан (б), фототиристордан (в), фоторезистордан (г) ташкил топган оптожуфтликларнинг схемада шартли белгиланиши 16.1 – расмда келтирилган.

Оптожуфтликлар рақамли ва импульс қурилмаларда, аналог сигналларни узатувчи қурилмаларда, автоматика тизимларида юқори вольтли таъминловчи манбаларни контактсиз бошқариш ва бошқалар учун қўлланилади.



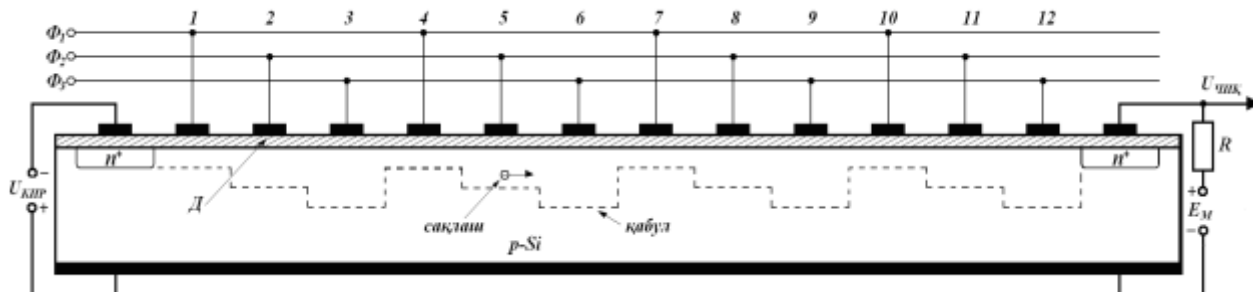
16.1 – расм. Нурланувчи диод ва фотодиоддан (а), фототранзистордан (б), фототиристордан (в), фоторезистордан (г) ташкил топган оптожуфтликларнинг схемаларда шартли белгиланиши.

## ФУНКЦИОНАЛ ЭЛЕКТРОНИКА РИВОЖЛАНИШИНИНГ АСОСИЙ ЙЎНАЛИШЛАРИ

ИМСларда компонентли тузилишдан четлашиш ва динамик бир жинсликмаслилардан фойдаланишга асосланган йўналиш “*функционал электроника*” номини олди. Функционал электроника (ФЭ) ривожланишининг бошланғич босқичида турибди. ФЭнинг кўп қурилмалари микроэлектрониканинг рақамли қурилмалари билан ишлашга мослашган. Улар биринчи навбатда юқори тезкорлик ва  $10^5 \div 10^7$  бит сифимга эга хотира қурилмаларидир.

Функционал электрониканинг энг истикболли баъзи асбоблари ишлаш принципларини кўриб чиқамиз.

**Заряд алоқали асбоб (ЗАА)** (17.1 – расм) юпқа диэлектрик қатлам Д билан қопланган ва юзасига 12 та бошқарувчи метал электродлар тизими жойлаштирилган яримўтказгич кристалдан (масалан  $p$  – турли) иборат. Шундай қилиб 12 та МДЯ – тизим ҳосил қилинади. Тизимлар сони  $N$  элементлар орасидаги масофага, ёзувчи импульс давомийлигига боғлиқ бўлади ва  $N = 200$  га етиши мумкин. Ҳар бир электрод кенглиги  $10 \div 12$  мкм ни, улар орасидаги масофа эса  $2 \div 4$  мкм ни ташкил этиши мумкин.



17.1 – расм. ЗАА туркумидаги уч фазали силжитувчи  
регистр тизимида заряд кўчиши.

Барча электродларга бўсағавий кучланиш  $U_0$  берилганда диэлектрик билан яримўтказгич орасида камбағаллашган соҳа ҳосил бўлади, бу соҳа потенциал чуқур деб аталади. Алоҳида электроддаги кучланиш қиймати ахборотни сақлаш кучланиши  $U_{CAK} > U_0$  гача ўзгартирилганда, ушбу электрод остидаги камбағаллашган соҳа яримўтказгичнинг бошқа юзаларига қараганда “чуқурроқ” бўлади. Потенциал чуқурда электронларни (пакетини) тўплаш мумкин. Демак, МДЯ – тузилма маълум вақтгача потенциал чуқурдаги зарядга мос ахборотни эслаб қолувчи элемент сифатида хизмат қилиши мумкин. Электрон пакет динамик бир жинсликмасликни ташкил этади. Электрон пакетни сақлаш жараёнида маълум электрод (затвор) остида

термогенерация ҳисобига қўшимча электронлар ҳосил бўлиши мумкин. Агар заряд ўзгаришининг рухсат этилган қиймати 1 % ни ташкил этса, ахборотни сақлаш вақти эса бир неча секунддан ошмайди. Шунинг учун ЗАА **динамик турдаги асбоб**дир. Бирламчи тўпланган ва маълум аниқ потенциал чуқур билан боғлиқ зарядлар, яримўтказгич сирти бўйлаб потенциал чуқур силжитилган ҳолда кўчирилиши мумкин. Бунинг учун затворлардаги кучланишлар аниқ кетма – кетликда ўзгартирилиши мумкин.

Зарядни маълум йўналишда кўчириш учун ҳар бир электрод уч фазага бошқариш тизимининг  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$  такт шиналаридан бирига уланади. Демак, ЗААнинг бир элементи учта МДЯ – тузилмали ячейкадан иборат бўлади. Агар ЗАА қўшни электродларига берилган кучланишлар қиймат жиҳатдан бир-биридан фарқ қилса, қўшни потенциал чуқурлар орасида электр майдон ҳосил бўлади. Ушбу майдон йўналиши шундай-ки, электронлар каттарок потенциалга эга соҳага дрейф ҳаракат қилади, яъни “саёзроқ” потенциал чуқурдан нисбатан “чуқурроқ”га кўчади.

Агар заряд биринчи электрод остида тўпланган бўлса–ю, уни иккинчи электрод остига силжитиш зарур бўлса, унга каттарок кучланиш берилади, бунда заряд юқориок кучланишли электрод остига кўчади. Кейинги тактда юқориок кучланиш навбатдаги электродга берилади ва заряд унга кўчади. Заряд кўчиришнинг уч тактли тизимида 1,4,7,10 ва шунга ўхшаш электродлар  $\Phi_1$  шинага, 2,5,8,11 электродлар  $\Phi_2$  шинага, 3,6,9,12 ва шунга ўхшаш электродлар эса  $\Phi_3$  шинага уланади.

Зарядларнинг электродлараро циркуляцияси барча ЗААлар қўлланишларнинг асоси ҳисобланади. Зарядларни кўчириш имконияти ЗААлар асосида силжитувчи регистрлар ва хотира қурилмалар яратиш имконини беради. Регистр деб иккилик код асосида берилган кўп разрядли ахборотни ёзиш, сақлаш ёки силжитиш учун қўлланиладиган қурилмага айтилади.

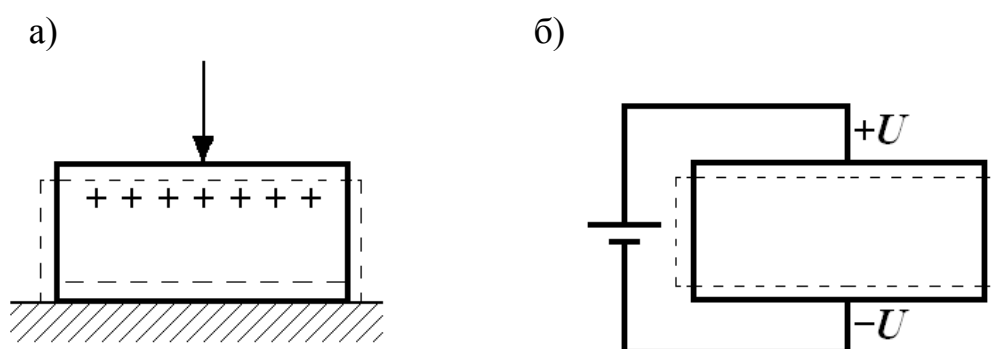
Сигналнинг заряд пакетларини бир неча усуллар билан, масалан,  $p - n$  ўтишдан заряд ташувчиларни метал электродлар остига инъекциялаш, МДЯ – турдаги тузилмада юза бўйлаб кўчкисимон тешилиш ёки метал электродлар орасидаги аниқ жойлар орқали ёруғлик киритиб электрон – ковак жуфтликларни генерациялаш билан ҳосил қилиш мумкин.

**Акустоэлектроника асбоблари.** Акустоэлектрон асбобларнинг ишлаши электр сигнални ультратовуш тўлқинларга, уни товуш ўтказувчи орқали тарқалишига ва кейинчалик чиқиш электр сигналга ўзгартирилишига асосланади.

Шундай қилиб, бундай асбобларда кириш билан чиқиш орасида ахборот ташувчи бўлиб ультратовуш (акустик) сигнал деб аталувчи динамик бир жинслимаслик хизмат қилади. У  $10^{13}$  Гц частотали тебранишлардан иборат бўлиб, каттик жисмда  $1,5 \div 5,5$  км/с товуш тезлигида тарқалади. Акустик тўлқин тезлиги электромагнит тебранишлар тарқалиш тезлигига нисбатан 5 тартибга кичиклиги кўриниб турибди. Шунинг учун ушбу хусусиятдан биринчи навбатда кичик ўлчамли кечиктириш линияларини ишлаб чиқишда фойдаланилди. Акустоэлектрон асбоблар

микроэлектроникада қўлланиладиган усуллар билан ҳосил қилиниши ва ИМСларга ўхшашлиги билан эътиборга лойиқ.

Ультратовуш тўлқинлар пьезоактив материалларда (пьезоэлектрикларда) ҳосил қилиниши мумкин. Шунинг учун ушбу синф асбоблар учун ишчи муҳит сифатида пьезоэффект жуда яққол наомён бўладиган диэлектрик ва яримўтказгич кристаллар хизмат қилади. **Тўғри пьезоэффект** деб механик кучланиш натижасида пьезоэлектрикнинг қутбланиш ҳодисасига айтилади (17.2, а – расм). Қутбланиш натижасида пьезоэлектрикнинг қарама – қарши томонларида пьезо – ЭЮК деб аталувчи потенциаллар фарқи ҳосил бўлади. **Тескари пьезоэффект** деб берилган ташқи кучланиш таъсирида жисмнинг геометрик ўлчамлари ўзгаришига айтилади (17.2, б – расм). Расмда жисмнинг деформациядан кейинги ўлчамлари пунктир чизиқ билан кўрсатилган.



17.2 – расм. Тўғри (а) ва тескари (б) пьезоэффект.

Кучланиш берилган жойда электр майдон кучланганлиги йўналишига боғлиқ ҳолда пьезоэлектрик сиқилади ёки кенгаяди. Натижада, товуш ўтказувчи деб аталадиган, кристал пластинада кўндаланг ёки бўйлама акустик ультратовуш частотаси берилган кучланиш частотасига тенг бўлади. Пьезоэлектрик маълум хусусий механик тебранишлар частотасига эга бўлгани сабабли, ташқи ЭЮК частотаси билан пластина хусусий тебранишлар частотаси бир – бирига тенг бўлганда (резонанс ҳодисаси) пластинанинг тебранишлари амплитудаси энг катта қийматга эга бўлади.

Акустоэлектроника асбобларида частотаси  $1 \div 10$  ГГц бўлган, кварц, литий ниобити ва танталати ҳамда CdS, ZnS, ZnO, GaAs, InSb ва бошқа юпқа яримўтказгич қатламларда генерацияланадиган ультратовуш тўлқинлар ишлатилади. Ушбу диапазондаги ҳажмий ва сирт акустик тўлқинлар (САТ) ишлатилади. САТларда ишлайдиган акустоэлектрон асбоблар кенг тарқалган. Уларга кечиктириш линиялари, полосали филтрлар, резонаторлар, турли датчиклар ва шунга ўхшашлар киради. Бу асбобларда электр сигналларни акустик сигналга ва аксинча ўзгартириш махсус ўзгартиргичлар ёрдамида амалга ошади. САТлар ўзгартгичларининг етти тури мавжуд бўлиб, амалда икки метал электродлари синфаз ва қозиксимон жойлашган турлари кенг тарқалган.

САТли фильтрлар кўп каналли электр алоқа ва космик алоқа тизимлари фильтрлари сифатида кенг ишлатилади. Улар телевизион қабулқилгичларнинг тасвир орқали частота кучайтиргич блокларида  $LC$  – фильтрларни алмаштирмоқда. Ҳозирги вақтда тасвирни ташиш частотаси 38 ва 38,9 МГц ни ташкил этувчи САТли телевизион фильтрлар серияли равишда ишлаб чиқарилмоқда.

Замонавий САТли фильтрлар  $\Delta f=0,05-50$  % ўтказиш полосасига эга, ўтказиш полосасидаги сўниш  $2 \div 6$  дБ, селективлиги 100 дБ гача. Бундай фильтрлар 900 МГц гача частоталарда ишлайди.

**Магнитоэлектроника асбоблари.** Магнитоэлектрон асбобларда ферромагнит материаллар ишлатилади. Улар домен тузилишга эга, яъни бутун ҳажми кўп сонли локал соҳалар – доменлардан ташкил топади. Доменлар тўйингунча спонтан магнитланган. Улар **полосали**, **лабиринтсимон** ва **цилиндрик** шаклга эга бўлиши мумкин. Доменнинг чизиқли ўлчамлари миллиметрнинг мингларча улушидан ўнларча улушига тенг. Доменлар ўзаро **чегарадош деворлар** (Блох деворлари) билан ажралиб туради. Бу деворларда битта домен магнитланганлик векторига нисбатан аста ўзгаришлари содир бўлади.

Магнитоэлектроника асбобларида ахборот сигнадини ташувчи сифатида қуйидаги динамик биржинслимасликларнинг биридан фойдаланилади:

- 1) цилиндрик шаклдаги доменлар;
- 2) чизиқли доменларда вертикал Блох чизиқлар (ВБЧ). Қўшни ВБЧлар орасидаги масофа етарли кичик, ўлчами 0,5 мкм бўлган чизиқли домен деворида 100 битгача ахборот сақлаш мумкин;
- 3) ферромагнит материални частотаси квант ўтишлар частотасига тенг ёруғлик билан ёритилганда ҳосил бўлувчи резонанслар ва тўлқинлар;
- 4) спин тўлқинлари ва бошқаларнинг квант тебранишларини акс эттирувчи квазизаррачалар – магنونлар.

## НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Нанoeлектроника** нанотехнологияларнинг илмий ва технологик усулларида фойдаланишга асосланади.

**Нанотехнология** – алоҳида атом ва молекулаларни бошқаришни (манипуляция), шунингдек бунинг учун зарур назарий ва амалий текширишларни қўллаш асосида нанообъектларни ишлаб чиқиш ва ишлаб чиқариш билан шуғулланувчи фан ва техника соҳасидир.

ISO/TK 229 техник комитетда нанотехнология деганда:

– бир ёки ундан ортиқ координаталарда 100 нм дан кичик ўлчамларда ўлчамли ҳодисаларни эътиборга олиш одатда янги қўлланишларга олиб келувчи нмли диапазонда материалларни тушуниш ва материалдаги жараён ва хусусиятларни бошқариш;

– алоҳида атом ва молекула, шунингдек ҳажмий материаллар хусусиятларидан фарқ қилувчи нмли материаллардан янги хусусиятларни намоён қилувчи мукаммаллашган материаллар, асбоблар ва тизимлар ҳосил қилиш учун фойдаланиш назарда тутилади.

Нанотехнологиялар объекти – аввалам бор ўлчамлари 12÷100 нм бўлган “нанозаррача” деб аталувчи зарралардан иборат. Нанозаррачалар катализатор ва адсорбцияловчи моддалар сифатида қизиқ. Оксиллар, нуклин кислоталар билан таъсирлашувида нанозаррачалар қизиқ хусусиятларга эга. Нанозаррачалар ўз – ўзидан янги хусусиятларни намоён этувчи маълум тизимни ҳосил қилиши мумкин.

Нанозаррачаларнинг қуйидаги турлари маълум:

– ўтказгичларни портлатиш, плазма синтези, юпқа пардаларни тиклаш ва бошқа йўللар билан олинувчи уч ўлчамли объектлар;

– молекуляр ва атом нури эпитаксия, газ фазали эпитаксия, ион ўстириш ва бошқа усуллар билан ҳосил қилинувчи наноқатламлар – икки ўлчамли объектлар;

– бир ўлчамли объектлар – вискерлар;

– ноль – ўлчамли объектлар – квант нуқталар.

Нанотехнологиялар олдидаги энг муҳим масалалардан бири табиатда мавжуд биополимерларнинг ўз – ўзини ташкил этишига ўхшаш нанозарраларни ўз – ўзидан ташкилланишидан иборат.

Қўлланилиши нуқтаи – назаридан, жумладан, наноэлектроникада энг қизиқ ва истиқболли нанообъектлар:

– Углеродли нанотрубкалар – одатда яримсферик бошча билан тугалланувчи ва диаметри бир нм дан бир неча нм гача узунлиги бир неча см ни ташкил этувчи, бир ёки бир неча (кўп қатламли нанотрубка) трубка шаклида ўралган гексагонал графит текисликлар (графен).

– Фуллеренлар – жуфт сонли уч координатали углерод атомларидан тузилган қаварик туташ кўпёқликлар.

– Графен – углерод атомларининг моноқатлами. Графен хона температурасида электронларнинг юқори ҳаракатчанлигига, тузилиши бўйича ноёб тақиқланган зонага эга ва шунинг учун нисбатан арзон кремнийни алмаштириш истиқболи мавжуд.

– Нанокристаллар – турли кристал нанозаррачалар – наностерженлар, наносимлар, нанотрубкалар, наноленталар, нанохалқалар, нанопружиналар ва бошқалар, микро – ва оптоэлектроникада, микросенсорларда, фотокатализда, пьезоўзгартгичларда ва шунга ўхшашларда истиқболли. Барча нанозаррачалар кристал тузилишга эга бўлгани сабабли нанокристал ва нанозарра синонимлардир. Нанокристалл атамаси билан нанообъектнинг кристаллигига қўшимча урғу берилади. Шу билан биргаликда, охириги вақтда нанокристалл деб кристалга ўхшаш икки ўлчамли ва уч ўлчамли нанозаррачалардан иборат тузилмалар атала бошланди, яъни ушбу атама янги маънога эга бўлди.

– Наноқурилма, хусусан, наноэлектроникада асосий объект – электрон наноқурилма.

Наноўлчамларга ўтганда модда хусусияти (нанообъект хусусияти) ўзгаради. Биринчидан, моддалар ҳажмидаги атомларга нисбатан нанозаррачалар сиртидаги кимёвий боғланишлари тўйинмаган атомлар бошқача хусусиятга эга бўлади. Микрозаррачаларда сиртки атомларнинг нисбий зичлиги улуши эътиборга олмаса бўладиган даражада кичик, нанозаррачаларда эса – сезиларли ва хатто кўп бўлади. Иккинчидан, 12 мкм дан кичик ўлчамларда, электр ўтказишнинг классик назарияси нотўғри бўлади ва нанозарралар ўлчами электроннинг эркин юриш йўли узунлигидан кичик бўлгани учун Ом қонуни бузилади. Электронлар ҳаракати баллистик бўлиб қолади. Учинчидан, нанотузилмаларда электронлар ҳаракатининг квант табиати ва нанотузилмаларнинг де – Бройль тўлқин узунлигига яқин  $\lambda = h/(mv)$  кичик ўлчамлари ҳамда электронлар ҳаракатининг квант табиати билан боғлиқ турли квант – ўлчамли эффектлар кузатилади.

Микроэлектроника ўзининг ярим асрлик тарихи давомида ИМСлар элементлари ўлчамларини камайтириш йўлида Мур қонунига мувофиқ ривожланмоқда. 1999 йилда микроэлектроника технологик ажратишнинг 100 нмли довоини енгиб наноэлектроникага айланди. Ҳозирги вақтда 45 нмли технологик жараён кенг тарқалган. Бу жараён оптик литографияга асосланишини айтиб ўтамыз.

Микроэлектрон қурилмалар (ИМСлар) яратишнинг ананавий, планар жараён каби, усуллари яқин 10 йиллик ичида иқтисодий, технологик ва интеллектуал чегарага келиб қолиши мумкин, бунда қурилмалар ўлчамларини камайтириш ва уларни тузилиш мураккаблигининг ошиши билан ҳаражатларнинг экспоненциал ошиши кузатилади. Муаммони нанотехнологиялар усуллари қўллаган ҳолда янги сифат даражасида ечишга тўғри келади.

МДЯ транзисторларда затворости диэлектриги ананавий равишда  $\text{SiO}_2$  ишлатилади, 45 нм ўлчамли технологияга ўтилганда диэлектрик қалинлиги 1 нмдан кичик бўлади. Бунда затвор ости орқали сизилиш токи ортади.

Кристалнинг  $1 \text{ см}^2$  юзасида энергия ажралиш  $1 \text{ кВтга}$  етади. Юпқа диэлектрик орқали ток оқиш муаммоси  $\text{SiO}_2$  ни диэлектрик сингдирувчанлик коэффиценти  $\epsilon$  катта бошқа диэлектрикларга, масалан  $\epsilon \sim 20 \div 25$  бўлган гафний ёки цирконий оксидларига алмаштириш йўли билан хал этилади.

Келгусида, транзистор канали узунлиги  $5 \text{ нмгача}$  камайтирилганда, транзистордаги квант ҳодисалар унинг характеристикаларига катта таъсир кўрсата бошлайди ва хусусан, сток – исток орасидаги туннеллашув токи  $1 \text{ см}^2$  юзада ажраладиган энергияни  $1 \text{ кВт}$  га етказади.

Планар технологиянинг замонавий процессорлар, хотира қурилмалари ва бошқа рақамли ИМСлар ҳосил қилишдаги ютуқлари ўлчамлари  $90 \text{ нм}$ ,  $45 \text{ нм}$  ва ҳатто  $28 \text{ нм}$ ни ташкил этувчи ИМСлар ишчи элементларини ҳосил қилиш имконини яратганлиги бугунги кунда кўпчилик тадқиқотчилар томонидан нанотехнологияларнинг қўлланилиш натижасидек қаралмоқдалигини айтиб ўтамиз. Бу мавжуд ISO /ТК 229 нуқтаи – назаридан тўғри. Лекин, планар жараён биринчи ИМСлар пайдо бўлиши билан, ўтган асрнинг  $60$  – йилларида ҳеч қандай нанотехнологиялар мавжуд бўлмаган вақтда пайдо бўлди ва шундан бери принципиал ўзгаргани йўқ.

## **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.