

## Өрістік транзистор

Өрісті транзистор деп күшейту қасиеті өткізуші канал арқылы өтетін негізгі тасымалдағыштар ағымымен және басқарушы электрлік өріспен анықталынатын, жартылай өткізгіш аспапты атайды. Өрістік транзисторды униполярлы транзистор деп атайды, өйткені оның жұмысы тек негізгі зарядты тасымалдағыштарды (электрондарды немесе кемтіктерді) қолдануға ғана негізделген.

Каналға заряд тасымалдағыштарын енгізетін электрод – бастау (исток), ал арнадан заряд тасымалдауыштарын қабылдап шығыс тізбекке беретін электрод – құйма (сток) деп аталады; каналдың көлденең қимасын реттеуге арналған электрод – бекітпе (затвор), ол каналдан электрлік оқшаулану керек. Өрісті транзистордың жұмыс тогы пайда болатын өткізуші қабат канал деп аталады. Өрісті транзистор токпен емес, кернеумен  $U$  (электрлік өріспен – осыдан транзистордың өрісті деп аталуы шығады) басқарылады. Оқшауланудың әдістері бойынша мынандай түрлерін ажыратады:

Басқарушы p-n ауысуы бар ӨТ ;

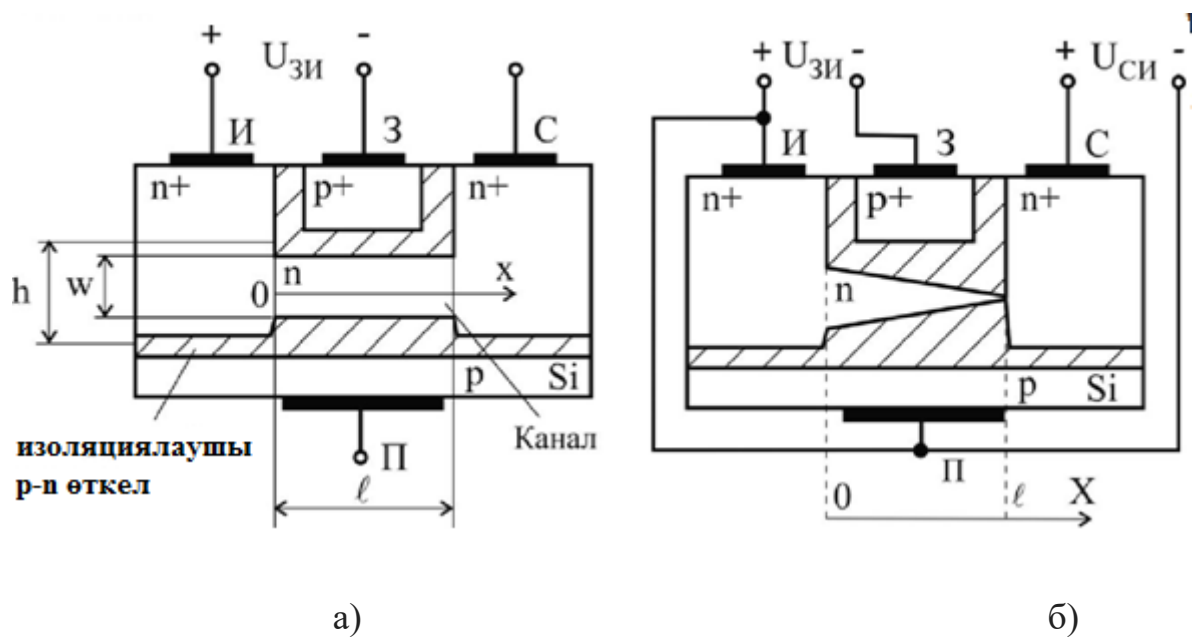
Оқшауланған ысырмасы бар ӨТ немесе металл – диэлектрик – жартылай өткізгіш (МДЖ) транзисторлар;

Қазіргі кезде Шотки барьерлары бар өріс транзисторлары кеңінен қолданылады. Олардағы басқарушы өткел ретінде Шотки барьері қолданылады. Гетероауысу қасиетін қолданатын, электрондарының жоғары ұтқырлығы бар өрістік транзисторлар аса жоғары жиілік (АЖЖ) диапазонында жұмыс істейді.

Басқарушы p-n-ауысуы мен n-типті арнасы бар өрістік транзистордың структурасы сурет-6.21 а көрсетілген. Астары кремнийден n-типті жартылай өткізгіштің жұқа қабаты пайда болады. Олар қарсылығы электр өрісімен басқарылатын өткізгіш аймақ, яғни канал функциясын орындайды. Төменгі p-n-өткел каналды астарынан оқшаулайды және каналдың бастапқы қалыңдығын белгілейді.

Басқарушы p-n-ауысуы бар ӨТ жұмыс істеу принципі p-n ауысуын кері кернеу беру арқылы кеңейту және осыған байланысты активті қабаттың (каналдың) кедергісін күшейту. Каналдың кедергісін эффективті басқару мақсатында, бекітпе аймағын қалыптастыратын жартылай өткізгіш, (n) канал облысына карағанда, күшті легирленген болып табылады (p +) (сурет-6.21). Ал сарқылу қабаты арнаға қарай кеңейеді. Өрістік транзисторлардың ең басты ерекшелігі жоғары кіріс кедергісі. Ысырма тогы аз болғандықтан, олар кернеумен басқарылады.

$U_{зи} = 0$  кезінде каналдың кедергісі минималды  $R_{к0} = \rho_1/hw$ ,  $\rho_1$  – жартылай өткізгіш арна кедергісі;  $l-w$  – тиісінше арна ұзындығы мен ені;  $h$  – каналдың n қабатының металлургиялық шекараларының ара қашықтығы;



Сурет-6.21. Басқарушы р-п-ауысуы бар ӨТ жұмыс істеу принципі  
 И – бастау (исток), З – бекітпе (затвор), С – құйма (сток), П – астары (подложка)

Кері кернеу  $U_{зи}$  қақтада жоғарғы болған сайын, р-п-өткелі кеңейеді, канал жіңішкереді және оның кедергісі жоғарылайды. Бекітпеде (қақпасында)  $U_{зи}$  отс деп аталатын кесімді кернеу орнаған кезде, канал толығымен сарқылған қабаттармен жабылады. Каналдың кедергісі өте үлкен болады және шын мәнінде ондаған – жүздеген МОмға жетеді.

Құймаға  $U_{си}$  оң кернеуді берген кезде (сурет-6.21 б.), каналда  $I_C$  тогы пайда болады. Бастауға қатысты салыстырмалы өлшенген, каналдың кез-келген қимасындағы кернеу  $U_{ки}(x)$  каналдың кедергісінің ақырғы мәніне байланысты алынған  $X$  көзіне дейінгі қашықтық функциясы болып табылады. Сондықтан, каналдың кез келген қимасы мен ысырма арасындағы  $U_{кз}(x)$  кернеу  $X$  көзіне дейінгі арақашықтық функциясы болып табылады. Минималды кернеу  $U_{кз}(x)$  кезінде  $x = 0$ ,  $U_{кз}(0) = U_{из} = -U_{из}$ , ал максималды -  $U_{кз}(x)$  кезінде  $x = 1$ ,  $U_{кз}(1) = U_{сз} = U_{си} + U_{из}$  болады. Өтпелі басқарушы үшін бұл кернеу бекітілген, сондықтан өтпеліге көшу ені артып, және канал ені азаяды.  $U_{си} = U_{си\text{нас}}$  деп аталатын қанығу кернеуі кернеу көзінің кейбір мәндерінде, құймаға жақын канал минималды қалыңдыққа дейін тарылады (сурет-6.21 б).  $R_{к\text{нас}} \neq \infty$  канал кедергісі бастапқысынан  $R_{к0}$  көп. Қанығу кернеуі әсерінен каналда максималды мәнге ие  $I_{\text{мах}} = U_{си\text{нас}} / R_{к\text{нас}}$  тогы өтеді.

Оқшауланған қақпасы бар транзисторлар (МДЖ-транзисторлар).

Оқшауланған қақпасы бар өрісті транзисторлардың ерекшелігі металлдық қақта мен жартылай өткізгіш аймағында кремний қостотығы  $SiO_2$  диэлектриктік қабаты бар. Оқшауланған қақпасы бар өрісті транзисторлар қарама-қарсы өткізгіштік түрі екі аймақтар құрылған салыстырмалы жоғары электркедергілігі бар жартылай өткізгіш пластиналардан (субстрат) тұрады. Сондықтан оларды МДЖ (металл – диэлектрик – жартылай өткізгіш) немесе

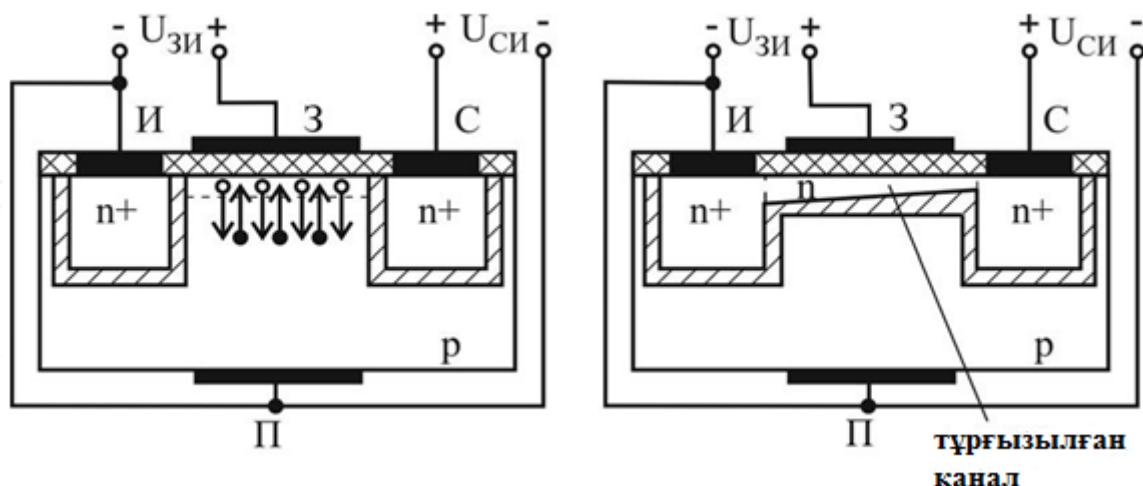
МОЖ (металл – окисел – жартылай өткізгіш) деп атайды. Индукцияланған және кіріктірілген каналы бар МДЖ транзисторлар шығарылады.

Бұл транзисторлардың әрекетінің негізінде, жартылай өткізгіштің электр өтімділігінің түрі мен аумағының өзгерісін көрсететін, өрісті әсер жатыр.

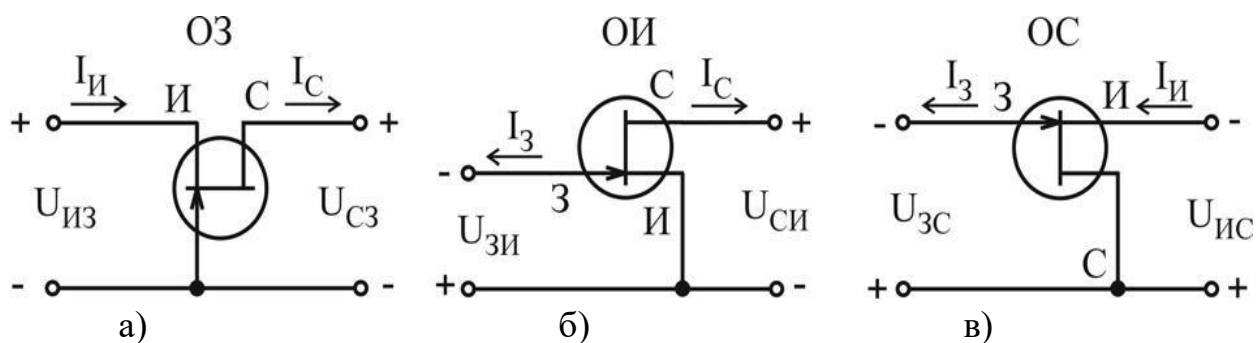
Сурет-6.22 а көрсетілген р-типті жартылай өткізгіші бар МДЖ транзисторының структурасын қарастырайық. Ысырмаға оң кернеу, ал астарына теріс кернеу берілген кезде, тесіктер өрістің әсерінен жартылай өткізгіштің беткі қабатынан төменге жылжиды, осыдан концентрациясы азырақ болатын қабат қалыптасады. Бұл режимді сарқылу режимі деп атаймыз. Бұл жағдайда электрондар жартылай өткізгіштің тереңдігінен диэлектрикке тартылады және кернеудің кейбір мәнінде р-типті жартылай өткізгіштің беткі қабатындағы электрондардың концентрациясы тесіктердің концентрациясынан артылып кетеді, яғни n-типті электрөтімділігі бар жартылай өткізгіштің жұқа қабаты пайда болады. Мұны жартылай өткізгіштің электрөтімділігінің инверсиясы болды деп айтады. n-типті бастау және құйма аймақтарында тура осы типті өткізгіштігі бар каналдың аймағы пайда болады (индукцияланады). Ысырманың кернеуін өзгерту арқылы каналдағы электрондардың концентрациясын, яғни оның кедергісін де өзгертуге болады. Егер ысырмадағы оң кернеуді ұлғайтсақ, каналдағы электрондардың концентрациясы көбейеді. Бұл режимді қанығу режимі деп атайды.

Индукцияланған n-типті каналы бар МДЖ транзисторларда (сурет-6.22) ысырмадағы кернеуі  $U_{зи} = 0$  болғанда канал болмайды және  $U_{си} > 0$  берген кезде құйма тогы 0-ге тең болады. Егер ысырмада оң кернеуді көбейтіп отырсақ,  $U_{зи\ пор}$  шекті деп аталатын, белгілі бір мәннен бастап астарының электр өтімділігінің инверсиясы құбылысы болып, жаңа канал пайда болады (сурет-6.22 а). Сілтемелерде әдетте шекті мән ретінде  $U_{зи}$  мәні беріледі, онда құйманың ток ағыны  $I_C = 10$  мкА. n-типті арнасы бар МДЖ транзисторларында  $U_{зи} > U_{зи\ пор}$  болса, ысырмадағы кернеуді ұлғайту, каналдың кедергісінің азаюына алып келеді (электрондармен байыту есебінен), ал құймадағы ток ағыны ұлғаяды. Индукцияланған каналы бар МДЖ-транзистор қанығу режимінде жұмыс істейді.

Структурасы сурет-6.22 б көрсетілген кіріктірілген n-типті каналы бар МДЖ-транзисторларда ешқандай сыртқы кернеу болмаған кезде бастау мен құйманы байланыстыратын каналы болады. Сондықтан  $U_{зи} = 0$  және  $U_{си} > 0$  болғанда құйма тогы жүреді. Ысырмада оң кернеуді ұлғайтқанда, канал электрондармен қанығады, құйма тогы көбейеді. Ал егер ысырмада теріс кернеуді ұғайтқанда, каналдағы электрондар сарқылады, құйма тогы азаяды. Кіріктірілген арнасы бар МДЖ транзисторлары қанығу және сарқылу режимінде жұмыс жасайды.



Сурет-6.22. Кіріктірілген n-типті каналы бар МДЖ-транзистор  
И – бастау(исток), З – ысырма (затвор), С – құйма (сток), П – астары (подложка);



Сурет-6.23. Өрісті транзисторлар

Сурет-6.23 Өрісті транзисторларда ортақ ысырма (ОЗ) (сурет-6.23 а), ортақ бастау (ОИ) (сурет-6.23 б), ортақ құйма (ОС) (сурет-6.23 в) схемаларымен қосылады.

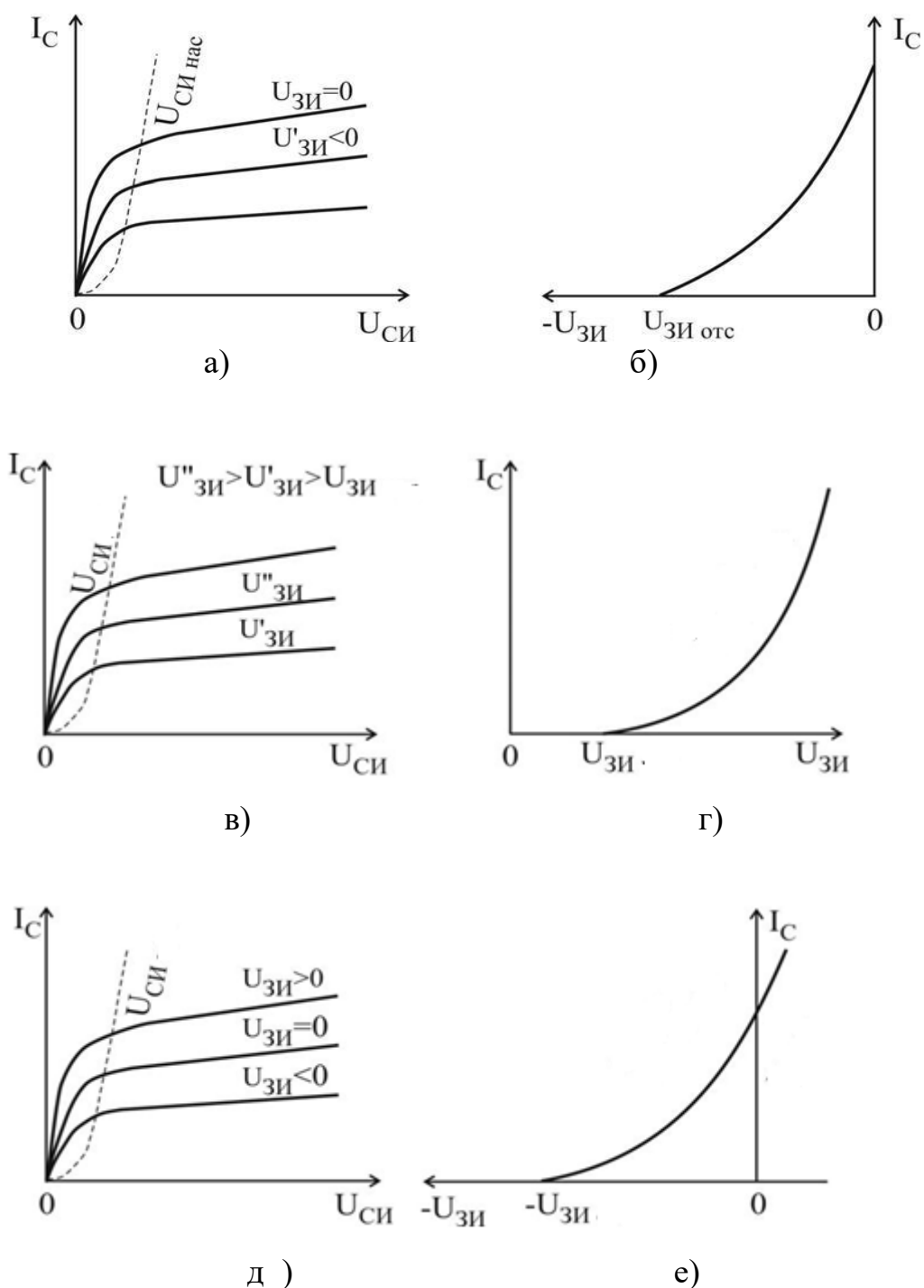
Өрістік транзисторлардың статикалық ВАС-ы. Негізгі ӨТ ВАС-ы шығыс (кұймалық)  $I_C = f(U_{СИ})|_{U_{ЗИ}=\text{const}}$  және жіберу сипаттамасы (кұйма-ысырмалық)  $I_C = f(U_{ЗИ})|_{U_{СИ}=\text{const}}$  болып келеді.

Сурет-6.24 n-типті каналды әртүрлі ӨТ-ның, ОИ схемасы бойынша қосылған, басқарушы p-n-ауысуы бар, (сурет-6.24 а, б); индукцияланған каналы бар МДЖ-транзисторының (сурет-6.24 в, г); кіріктірілген арнасы бар МДЖ-транзисторының (сурет-6.24 д, е) шығыс және жіберу ВАС-ы келтірілген.

Өрістік транзисторлардың дифференциалды параметрлері. Өрісті транзисторлардың негізгі дифференциалды параметрлері болып:

- тіктілік  $S = dI_C/dU_{ЗИ}|_{U_{СИ}=\text{const}}$  ;
- ішкі (дифференциалды) кедергі  $R_i = dU_{СИ}/dI_{И}|_{U_{ЗИ}=\text{const}}$  ;
- кернеу бойынша күшейту коэффициенті  $\mu = dU_{СИ}/dU_{ЗИ}|_{I_C=\text{const}}$ ;

Барлық 3 параметр мына өрнекпен байланысқан  $\mu = SR_i$ ;

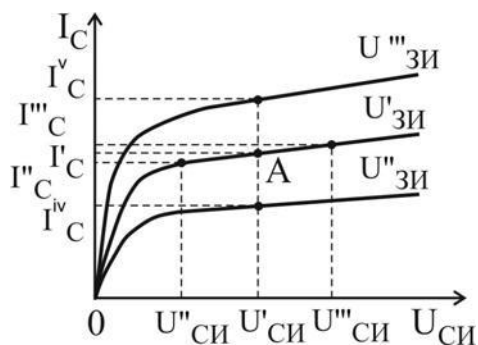


Сурет-6.24. n-типті каналды әртүрлі ӨТ

Транзистордың параметрлерін сурет-6.25 көрсетілгендей статикалық параметрлері арқылы анықтауға болады. А жұмыс нүктесі үшін ( $U_{СИ}$ ,  $I_C$ ,  $U_{ЗИ}$ ) тіктілік және дифференциалдық кедергісі келесі теңдеулермен анықталады.

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{ЗИ}} U_{СИ} = U'_{СИ} = \frac{I_C^V - I_C^{iV}}{U_{ЗИ}''' - U_{ЗИ}''} U_{СИ} = U'_{СИ};$$

$$R_i = \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta I_C} U_{ЗИ} = U'_{ЗИ} = \frac{U_{СИ}''' - U_{СИ}''}{I_C''' - I_C''} U_{ЗИ} = U'_{ЗИ};$$



Сурет-6.25. Транзистордың параметрлері

Қазіргі таңда галлий арсенидінен жасалған және 30 ГГц жиілікте жұмыс жасайтын транзисторлар кеңінен қолданысқа ие болып жатыр. Олар төменгі шуылды АЖЖ күшейткіштерінде, қуатты күшейткіштерде және генераторларда қолданылады.