Коммерциялық емес акционерлік қоғам

АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

Электроника кафедрасы

АНАЛОГТЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ СҰЛБАТЕХНИКАСЫ МЕН ЭЛЕМЕНТТЕРІ

5В071600 – Приборлар жасау мамандығының студенттеріне арналған дәрістер жинағы

Алматы 2014

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: Т.М. Жолшараева, С.Б. Абдрешова. Аналогтық құрылғылардың сұлбатехникасы мен элементтері: 5В071600 – Приборлар жасау мамандығының студенттеріне арналған дәрістер жинағы. – Алматы: АЭжБУ, 2013. – 51 б.

Дәрістер жинағы «Аналогтық құрылғылардың сұлбатехникасы мен элементтері» курсын өз бетінше оқуға арналған. Жинақта жартылай өткізгіш аспаптардың және аналогтық құрылғылардың: диодтардың, транзисторлардың, тиристорлардың, оптрондардың, күшейткіштердің және күшейткіштер негізіндегі құрылғылардың негізгі сипаттамалары мен көрсеткіштері келтірілген. Сонымен бірге, негізгі құрылымдық және принципиалды сұлбалары, уақыттық диаграммалары және құрылғылардың жұмыс істеу принциптері де келтірілген.

Дәрістер жинағы 5В071600 – Приборлар жасау мамандығының барлық оқу түріндегі студенттерге арналған.

Кесте – 3, ил. – 57, әдеб.көрсеткіші – 17 атау.

Пікір беруші: доцент Туманов М.Е.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2013 жылғы жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2014 ж.

1 Дәріс №1. Жартылай өткізгіш диодтар

Дәрістің мазмұны:

– меншікті және қоспалы жартылай өткізгіштер;
– электронды-кемтіктік ауысу;
– металл-жартылай өткізгіш түйіспелері;
– жартылай өткізгіш диодтар.

Дәрістің мақсаттары:

– меншікті және қоспалы жартылай өткізгіштердің өткізгіштігін оқып білу;
– тепе теңдік күйде және ығысу кернеуін түсіргенде *p-n* – ауысуда болатын процесстерді (үрдістерді) оқып білу;
– металл-жартылай өткізгіш түйіспелерін оқып білу;
– жартылай өткізгіш диодтарды оқып білу.

1.1 Меншікті және қоспалы жартылай өткізгіштер

Жартылай өткізгіштер – қалыпты температурадағы меншікті электр кедергісі $\rho = 10^{-3} \div 10^{9}$ Ом·см болатын заттар, өткізгіштерде бұл сипаттама $\rho < 10^{-3} \div 10^{-6}$ Ом·см арасында, ал диэлектриктерде $\rho > 10^{9} \div 10^{18}$ Ом·см.

Жартылай өткізгіштерге элементтердің периодтық кестесінің төртінші тобындағы элементтер, интерметалдық қоспалар, тотықтар, сульфидтер, карбидтер жатады.

Жартылай өткізгіштердің металлдардан негізгі айырмашылықтары:

а) таза жартылай өткізгіштердің электр кедергісі температураға тәуелдігі жоғары болып келеді. Олардағы кедергінің температуралық еселігі КТЕ = −(5÷6) %/ºС, металдарда КТЕ = (0,4 ÷ 0,6) %/ºС;

б) жартылай өткізгішке қоспа қосылса оның меншікті кедергісі азаяды. Мысалы, германийге 10^{-5} % мышьякты қосу оның кедергісін 200 есе азайтады, ал қорытпалардың кедергісі қорытпа құрамына кіретін жеке металлдардың кедергісінен әрқашан үлкен болады.

Энергияның таза және бір текті меншікті жартылай өткізгішке әсер етуі кезінде бос электрондар мен кемтіктер жұпталып түзіледі және меншікті өткізгіштік *i* (intrinsic) электрондық (*n*) және кемтіктіктің (*p*) қосындысына тең болады $i = n + p$, мұнда $n = p$.

Бос электрондар мен кемтіктер саны параллель жүретін процестердің – генерация және рекомбинацияның динамикалық тепе-теңдігімен анықталады.

Генерация – заряд тасымалдаушылардың бос жұбының пайда болу процесі (мысалы, жылудың әсерінен болса – термогенерация), рекомбинация – босаған деңгейді (кемтіктер) электронмен толтыру кезінде тасымалдаушылар жұбының жойылуы.

Генерация және рекомбинация актілерінің орташа саны тұрақты температурадағы уақыт бірлігінде бірдей, сондықтан берілген температурада

кристаллдағы электрондар мен кемтіктердің орташа саны белгілі. Бұл жағдайда кристалл толғымен электрлік бейтарап күйде болады.

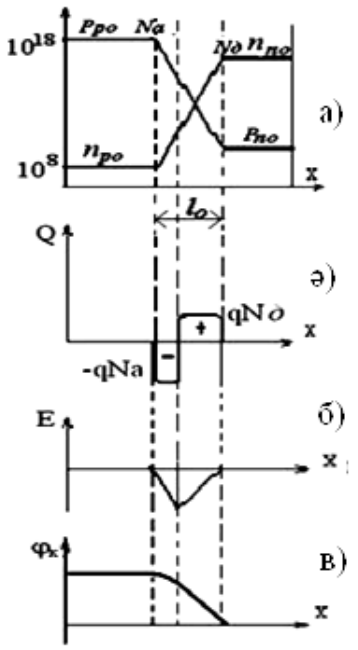
Таза жартылай өткізгіштерде заряд тасымалдаушылардың – бос электрондар мен кемтіктердің салыстырмалы үлесі – негізінде температураға және рұқсат етілмеген аймақтың еніне тәуелді. Мысалы, кремнийде $E_З$ = 1,2 эВ, бұл кездегі меншікті кедергі ρ = 60 кОм·см, германийде $E_З$ = 0,75 эВ, ал ρ = 50 Ом·см.

1.2 Электронды кемтіктік ауысу

Тепе-теңдік күйдегі *p-n* ауысуды қарастырамыз. Ауысудың тепе-теңдік күйі – бұл сыртқы кернеу ($U_{сырт}$= 0) түсірілмеген күйі.

p- және *n*-типті екі жартылай өткізгішті біріктіреміз (1.1,а сурет). Қоспалардың, демек, тасымалдаушылардың бастапқы шоғырлануы бірдей емес (1.1,ә сурет): $p_{p0}>>p_{n0}$ және $n_{n0}>>n_{p0}$. Сонымен қатар, ауысу симметриялы емес ($p_{p0}>n_{n0}$). Ауысу шекарасындағы шоғырлану градиенті кемтіктердің *p*-облыстан *n*-облысқа диффузиясын, және керісінше, электрондардың *n*-облыстан *p*- облысқа диффузиясын туындатады. Ауысу маңында кемтіктер электрондармен рекомбинацияланады және *p*-облыста иондалған акцепторлардың көлемдік теріс заряды, ал *n*-облыста иондалған донорлардың көлемдік оң заряды пайда болады (1.1,ә сурет).

Осылайша, екі жартылай өткізгіштің шекарасында, қозғалатын заряд тасымалдаушылары жоқ, сондықтан электр ағысына кедергісі жоғары l_0 жабушы қабат пайда болады. Жабушы қабаттың қалыңдығы әдетте бірнеше микрометрден аспайды.



1.1 сурет

Донорлар мен акцепторлардың кеңістіктік зарядтарының көлемдік тығыздықтары бір-біріне тең, яғни $q \cdot N_д = -q \cdot N_a$. Көлемдік заряд есебінен *p-n* ауысуында *E* өрісі пайда болады (1.1,б сурет), оның кернеулігі ауысу шекарасында ең үлкен шамаға жетеді. Бұл өріс негізгі тасымалдаушылардың диффузиясына кедергі жасайды (диффузиялық ток кемиді), бірақ қосалқы заряд тасымалдаушылардың қозғалысына септігін тигізеді. *E* өрісінің әсерінен қосалқы заряд тасымалдаушылардың қарама-қарсы бағыттардағы қозғалысы әсерінен, яғни кемтіктердің *n*-облыстан *p*-облысқа, ал электрондардың p-облыстан *n*-облысқа қозғалысынан, ығу тогы пайда болады. Оқшауланған жартылай өткізгіште токтардың қосындысы нөлге тең, сондықтан динамикалық

тепе-теңдік орнайды. Ауысу облысында энергетикалық диаграммалардың қисаюы болады және қабаттар шекарасында беттесу потенциалдарының айырмасы деп аталатын потенциалдық тосқауыл пайда болады $\varphi_к = \Delta E/q$ (1.1,в сурет).

p-n ауысуға тура ығысу кернеуін $U_{тура}$ берейік, яғни *p*-облысқа плюс, ал *n*- облысқа – минус. $U_{тура}$ *p-n* ауысудың потенциалдық тосқауыл шамасын $\varphi_к$ азайтады $U_{ауыс}=\varphi_к - U_{тура}$.

p-n ауысудың ені азаяды да, негізгі заряд тасушылар ауысуға қарай қозғалып, инжекция есебінен диффузиялық ток өседі. Инжекция – негізгі заряд тасушыларды ауысу арқылы, тура ығысу кезінде олар қосалқыға айналатын облысқа енгізу.

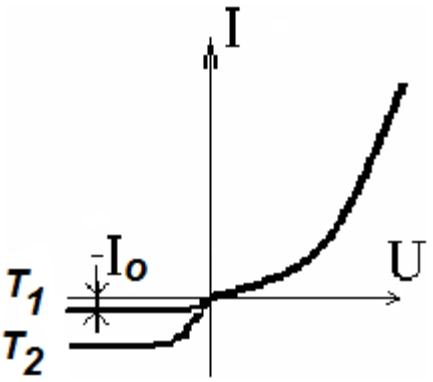
Әдетте $U_{тура}$ – вольттың ондық бөліктеріне, ал $I_{тура}$ – бірден бастап ондаған миллиамперге жетуі мүмкін.

p-n ауысуға кері ығыстыру кернеуін түсірейік. *p*-облысқа минус, ал *n*-облысқа – плюс береміз. Потенциалдық тосқауыл шамасы өседі. Жабушы қабат кеңейеді, $U_{ауыс} = \varphi_к+U_{кері}$. Заряд тасушылар ауысудан алыстайды да, ауысу кедергісі жоғарылайды. Диффузиялық ток кемиді де, кері ток шамасы өседі. Кері ығысуда экстракция орын алды – кері ығысу салдарынан қосалқы заряд тасушыларды, негізгі тасушыға айналатын облысқа енгізу.

$|U_{кері}| > \varphi_T$ болғанда, кері ток $I_{кері}$, *p-n* ауысудың ығу тогының қанығу шамасына I_0 ұмтылады. I_0 тек қосалқы тасушылардан туындағандықтан $U_{кері}$ кернеуінен тәуелсіз.

$U_{кері}$ шамасы ондаған және жүздеген вольтқа жетуі мүмкін (жылу әсерінен тесілумен шектеледі), $I_{кері}$ – бірлеген және жүздеген микроампер болады.

Тура және кері ығысуды қарастыра отырып, мынандай маңызды қорытынды жасауға болады: қосалқы тасушылардың үлесі негізгі тасушылардың үлесінен біршама аз болғандықтан, қосалқы тасушылардан туындаған кері ток, негізгі тасушылардан туындаған тура токтан біршама аз ($I_{кері} << I_{тура}$), яғни өткел біржақты өткізгіштікке немесе түзеткіштік қасиетке ие болады.



1.2 сурет

p-n ауысу арқылы өтетін токтың оған келтірілген кернеуден тәуелділігі электрондық-кемтіктік өткелдің вольтамперлік сипаттамасы деп аталады (ВАС). Оның түрі:

$$I = I_0 [exp (U/\varphi_T) – 1],$$

мұндағы I_0 – $|–U| >> \varphi_T$ болғандағы қанығудың кері тогы.

1.2 суретте *p-n* ауысудың ВАС келтірілген, мұндағы өстердің масштабтары токтың оң (миллиампер) және теріс мәндері (микроампер) үшін әртүрлі.

Тура кернеуді $U_{тура}$ арттырғанда тура ток $I_{тура}$ экспонента бойынша өседі, өйткені $U_{тура}$ артуымен потенциалдық тосқауыл төмендеп негізгі тасушылардың диффузиясы өседі.

Кері ток шамасы температураға аса тәуелді (графикте $T_2 > T_1$), $|U_{кері}| >> \varphi_T$ болғанда I_0 тогы кері кернеуге тәуелді емес, ол қосалқы заряд тасушылардың концентрациясымен шартталған.

p-n ауысудың негізгі көрсеткіштері:

а) тұрақты ток және айнымалы ток бойынша кедергілер;

ә) *p-n* ауысудағы сыйымдылықтар тосқауылдық және диффузиялық болып ажыратылады: тосқауылдық (зарядтық) сыйымдылық $C_{тосқ}$ *p-n* ауысудың тепе-теңдік шарты және кері ығысуы кезінде жабушы қабатта зарядтардың (оң және теріс иондардың) болуынан туындайды, яғни ауысудағы зарядтардың қайта таралуын бейнелейді және диффузиялық сыйымдылық $C_{диф}$ *p-n* ауысудағы тура ығысу кезінде негізгі тасушылардың инжекциясы есебінен зарядтардың өзгеруінен пайда болады (өткел маңындағы зарядтардың қайта таралуын бейнелейді);

б) кері токтың температуралық тәуелділігі.

p-n ауысудағы тесілуілер. Тесілу дегеніміз кернеуді елеусіз арттырғанда кері кедергінің кенеттен азайып кері токтың артуы. Тесілудің екі түрі болады:

а) жылулық – өткелдегі бөлінген қуат қоршаған ортаға таралатын қуаттан көп болғанда, яғни жылуды сыртқа шығару жеткіліксіз болу нәтижесінде орын алады. Тесілу қайтымсыз болса, аспап істен шығады;

ә) электрлік тесілу жабушы қабаттағы кернеуліктің артуымен байланысты.

Электрлік тесілу екі түрге бөлінеді:

а) көшкіндік тесілу қарқынды ионизация әсерінен пайда болатын күшті электр өрісінде тасушылардың көбеюімен байланысты.

ә) туннельдік тесілу (зенерлік) тар өткелдерде орын алады. Қоспа концентраиясы жоғары жартылай өткізгіштерде өріс кернеулігінің әсерінен туннельдік тесілу туындайды, яғни электрондардың потенциалдық тосқауылдан қосымша энергия жұмсамай өтіп кетуі (егер тосқауыл қалыңдығы аз болса). Туннельдік эффект кері және аз шамадағы тура кернеулерде, өткізу аймағының түбі валенттік аймақ төбесінен төмен болған жағдайда мүмкін.

1.3 Металл -жартылай өткізгіш түйіспелері

Түйіспелерді түзеткіш және түзетпейтін деп ажыратады. Түйіспе түрі металдан (φ_{Me}) және жартылай өткізгіштен (φ_n) шығу жұмыстарының қатынасымен анықталады. Қатты денеден шығу жұмысы – бұл электронды Ферми деңгейінен вакуумға өткізу үшін жұмсауға қажетті жұмыс.

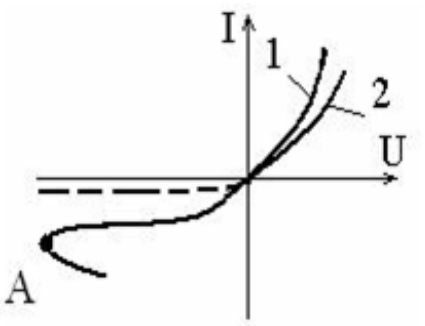
n-жартылай өткізгіштер үшін қарастырайық:

а) $\varphi_{Me} > \varphi_n$ болғанда, шығу жұмыстарының шамаларының айырмашылығынан беттер арасында потенциалдар айырмасы $n\ \varphi_{Mn} = \varphi_{Me} - \varphi$

пайда болады. Электрондар жартылай өткізгіштен металға өтеді. Метал электрондар есебінен теріс зарядталады, ал жартылай өткізгіште беттесу қабатында донорлардың көлемдік оң заряды түзіледі – заряд тасушылар саны азайған аймақ, яғни жабушы қабат. Ол бүкіл жүйенің кедергісін анықтайтын жоғары кедергіге ие. Бұл беттесу Шоттки барьері деп аталады.

1.4 Жартылай өткізгіш диодтар

Жартылай өткізгіш диод – бұл екі шықпасы бар және жұмыс істеу принципі *p-n* ауысудың қасиеттерін пайдалануға негізделген жартылай өткізгішті аспап (бірақ *p-n* ауысуды пайдаланбайтын да диодтар бар).



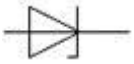
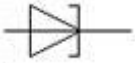
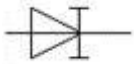
1.3 сурет

Мысалы, түзеткіш диодта униполярлы өткізгіштік қасиеті қолданылады. Түзеткіш диод айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіруге арналған аспап. *p-n* ауысудың бір жақты өткізгіштік қасиеті пайдаланылады. Түзеткіш диодтың негізгі сипаттамасы оның вольт-амперлік сипаттамасы болып табылады. 1.3 суретте *p-n* ауысудың (1) немесе диодтың (2) теориялық және нақты ВАС-ы келтірілген.

Сигналдар қуатының деңгейін сантиметрлік және миллиметрлік диапазонда түрлендіру, бөліп алу, күшейту, көбейту, туындату және қуат деңгейін басқару үшін қолданылады. Бұл аспаптарда ауданы аз нүктелік *p-n* өткел пайдаланылады. Төменгі жиілікті диодтардан ерекшелігі, оның коаксиалды шықпасы бар. Араластырғыш диод АЖЖ сигналдарды аралық жиілікке түрлендіру үшін супергетеродиндік қабылдағыштарда, детекторлық диодтар – АЖЖ сигналдарын табуда, төменгі жиілікті сигналды модуляцияланған жоғары жиілікті сигналдан бөліп алуда пайдаланылады. Параметрлік диодтар параметрлік күшейткіштерде пайдаланылады. Көбейткіш диодтар – варикаптардың бір түрі – жиілік көбейткіштерінде қолданылады.

1.1 кестеде диодтардың графикалық шартты белгіленулері келтірілген.

1.1 кесте

Атауы	Белгіленуі
Түзеткіш диод	
Стабилитрон	
Туннельдік диод	
Қайтымды диод	

Варикап	
Шоттки диоды	
Екі жақты стабилитрон	

2 Дәріс № 2. Биполярлық транзисторлар

Дәрістің мазмұны:

– биполярлық транзистордың құрылысы мен жұмыс істеу принципі;

– транзисторлардың қосылу сұлбалары;

– ортақ эмиттер сұлбасымен қосылған транзистордың статикалық сипаттамалары мен негізгі көрсеткіштері;

– транзистордың күшейту коэффициентінің жиілікке тәуелділігі.

Дәрістің мақсаттары:

– транзистордың құрылысы мен жұмыс істеу принципін оқып білу;

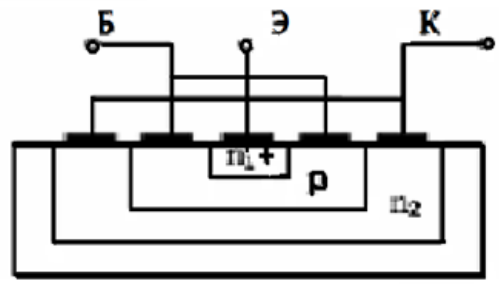
– транзистордың жұмыс режимдерін және база модуляциясын оқып үйрену;

– транзистордың қосылу сұлбаларын оқып білу;

– транзистордың статикалық сипаттамаларын оқып үйрену.

2.1 Биполярлық транзистордың құрылымы

Биполярлық транзистор – күшейту қасиеттері заряд тасушылардың инжекциясы және экстракциясы құбылыстарымен туындайтын, өзара әрекеттесуші екі *p-n* ауысуы бар жартылай өткізгіш триод. Ток түзуге заряд тасушылардың екі тегіде: электрондарда кемтіктерде қатысатындықтан олар биполярлы деп аталады.



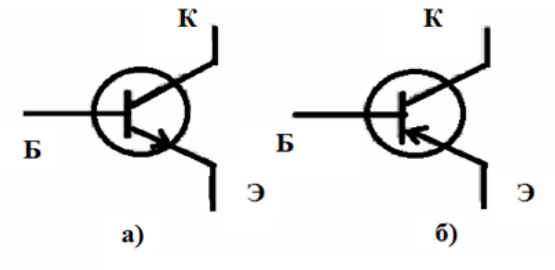
2.1 сурет

Олар үш электрод және екі *p-n* ауысудан тұратын үш қабаттан құралады (2.1 сурет). n_1-*p* арасындағы аудан *p*-n_2 арасындағыға қарағанда әлдеқайда аз. Транзистордың құрылымы бейсимметриялы. Ауданы кіші асқын қоспаланған тасушыларды базаға инжекциялауға арналған қабаты эмиттер деп аталады (Э).

Ауданы үлкен, тасушыларды базадан экстракциялауға арналған және осы тасушыларды жинайтын қабат, коллектор деп аталады (К). Тасушылардың эмиттерден коллекторға қарай қозғалысын басқаратын ортаңғы қабат, база деп аталады (Б).

База арқылы эмиттерлік (ЭА) және коллекторлық (КА) ауысулар деп аталатын екі *p-n* ауысулардың байланысы жүзеге асырылады. Ауысулардың

өзара әсерлесуі ауысулар арасындағы базаның өте аз қалыңдығы арқылы жүзеге асырылады (ондаған микрометр). Кез келген жағдайда ол базадағы қосалқы тасушылардың диффузиялық қабатының қалыңдығынан әлдеқайда аз болуы қажет. Сонымен қатар базаның электрөткізгіштігі эмиттердің электрөткізгіштігінен айтарлықтай аз болуы қажет.



2.2 сурет

Базасы бір текті транзисторлар дрейфсіз, базасы әр текті – дрейфті деп аталады. Жартылай өткізгіш қабаттары типтерінің орналасу ретіне байланысты *n-p-n-* және *p-n-p-* типті транзисторлар болып бөлінеді. Екі типтегі транзисторлардың жұмыс істеу принциптері бірдей, айырмашылығы тек *n-p-n*-типті транзисторда базадан коллекторға, эмиттерден инжекцияланған, электрондар қозғалады, ал *p-n-p*-типті транзисторда – кемтіктер. Ол үшін транзистордың электродтарына кері полюсті қорек көздері қосылады. Микросұлбаларда негізінен *n-p-n*-транзисторлар пайдаланылады, ал *p-n-p*-типті *n-p-n* – типпен бірге пайдаланылады және бұл жұп комплементарлы деп аталады, дискреттік жүйелер үшін негізінен *p-n-p*-тип қолданылады.

2.2 Биполярлы транзистордың жұмыс істеу режимдері. Транзистордың активті күшейту режимінде жұмыс істеу принципі

Ауысулардың ығысу кернеуіне қарай үш түрлі – активті, ток тоқтату және қанығу қосылу режимдерін ажыратады:

Активті режимде ауысулардың бірі тура, екіншісі – кері бағытта ығысады. Егер тура бағытта эмиттерлік ауысу қосылса, онда мұндай режим қалыпты активті немесе күшейту режимі деп аталады. Сыртқы тізбектердегі токтар активті режимде ашық ауысудың басқарушы потенциалдық тосқауылының биіктігімен, яғни, ауысудың қосалқы тасушыларды базаға инжекциялау қабілетімен анықталады.

Инверсті активті режимде ЭА кері бағытта, ал КА – тура ығысады.

Ток тоқтату режимінде екі ауысу да кері бағытта ығысады. Бұл жағдайда сыртқы тізбектердегі токтар аз және ауысулардың бірінің кері тогымен шамалас, басқаша айтқанда, транзистор жабық.

Қанығу режимінде екі ауысу да тура бағытта ығысады, яғни ашық. Базаға эмиттер және коллектор облыстарынан қосалқы тасушылар инжекцияланады (қос инжекция режимі). Екі ауысу да ашық болғандықтан, құрылымда аздаған кернеу түседі. Сондықтан қанығу режимі, транзистор тізбекті тұйықтауға арналған кілттің рөлін атқаратын кездедерде жиі қолданылады. Тізбекті ажырату транзисторды ток тоқтату режиміне

ауыстырумен жүзеге асырылады, бұл кезде транзисторлық құрылымның кедергісі жоғары болады.

Активті режимде транзисторды басқару толығымен жүзеге асырылады және ол активті элементтің рөлін атқарады. Ток тоқтату және қанығу режимдерінде күшейту жоқ деуге болады.

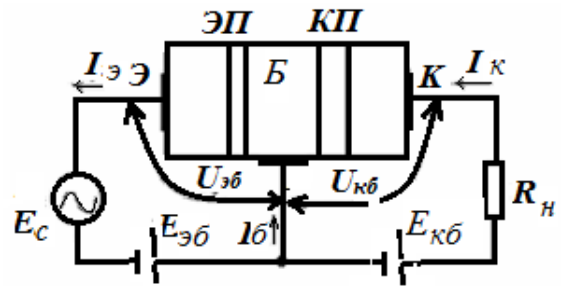
Транзисторлық құрылымдағы физикалық процестер эмиттерлік және коллекторлық ауысулардың күйімен анықталады. Біздің жалғыз *p-n* ауысу үшін жасаған тұжырымдарымыз транзистордың әрбір *p-n* ауысуы үшін күшін сақтайды. Тепе-теңдік күйде әрбір *p-n* ауысу арқылы ағатын, электрондар мен кемтіктердің арасындағы динамикалық тепе-теңдік байқалады және қорытынды токтар нөлге тең. Қалыпты активті режимде транзистор электродтарына $E_{ЭБ}$ және $E_{КБ}$ кернеулерін бергенде, 5.3-суретте көрсетілгендей, эмиттерлік ауысу тура, ал коллекторлық ауысу кері бағытта ығысады. Потенциалдық тосқауылдың төмендеуі нәтижесінде электрондар эмиттер облысынан эмиттерлік ауысу арқылы база облысына (электрондар инжекциясы), ал кемтіктер – базадан эмиттер облысына сіңеді. Бірақ, базаның меншікті кедергісі жоғары болғандықтан, заряд тасушылардың электрондық ағыны кемтіктікінен басым болады да, базада электрондардың үлесі көбейеді. ЭА-дағы толық токтың құрамын мөлшерлеу үшін эмиттерлік инжекция немесе тиімділік еселігі $\gamma_Э$ пайдаланылады:

$$\gamma_э = I_{эа}/(I_{эа}+I_{эа}) = I_{эа}/I_э,$$

мұндағы $I_{эр}$ және $I_{эп}$ – эмиттерлік ауысу тогының кемтіктік және электрондық құраушылары;

$I_э$ – ауысудың толық тогы.

$\gamma_Э$ мәні 0,98÷0,995 аралығында болады.



2.3 сурет

Коллекторлық ауысу кері бағытта ығысады, сондықтан электрондардың базадан коллекторға шығуы күшейеді де, базада коллектормен шекарада электрондардың үлесі азаяды.

Базада электрондар үлесінің градиенті пайда болуы нәтижесінде электрондар ЭА-дан КА-ға енеді.

Базаның ені диффузиялық қалыңдықтан көп есе аз болғандықтан, базаға енген электрондардың көбі ондағы кемтіктермен әсерлесіп үлгермейді. Электрондардың тек аздаған бөлігі ғана кемтіктермен әсерлеседі (шамамен 1 %). Электрондардың қалған 99 %-і коллекторға жетеді де, коллекторлық өткелдің үдетілген өрісіне түсіп, оған тартылады (электрондардың шығуы). Базаның бейтараптығына байланысты одан сыртқы тізбекке шықпа бойынша электрондардың кемтіктермен әсерлескен бөлігі кетеді де, база тогын құрайды.

Осылайша, эмиттерлік ауысу тогы коллекторлық ауысу тогынан біршама үлкен болады. Транзистордың коллекторлық ауысуына жеткен және

коллектор тогын $I_к$ құрайтын қосалқы заряд тасушылардың салыстырмалы мөлшері, тасымалдау еселігімен $\delta_{өтк}$ сипатталады:

$$\delta_{өтк} = I_{кө} / I_{эө} = 0{,}98 \div 0{,}995.$$

Коллектор тогын $I_{кө}$ өсіру үшін, электрондардың өмір сүру уақыты базадағы тасымалдау уақытынан әлдеқайда үлкен болуы қажет. Ол үшін:

– базадағы қоспалардың үлесін азайту қажет, сонда эмиттер тогының әсерлесуші құраушысы $I_{ээсер}$ азаяды;

– база енін w азайту қажет;

– коллекторлық ауысудың ауданы эмиттерлік ауысу ауданынан әлдеқайда үлкен болуы қажет $S_{кө} >> S_{эө}$.

Коллекторлық ауысуда соққы ионизация әсерінен заряд тасушылардың көбеюі туындауы мүмкін, ол көбею еселігімен сипатталады:

$$M = 1/\ [1-(U_{кері}/U_{тура})^n],$$

мұндағы $n = 3 \div 5$ транзистор материалына байланысты қабылданады.

Эмиттер тогын коллектор тізбегіне берудің жалпы еселігі:

$$\alpha = I_{кө}/I_э = \gamma_э \cdot \delta_{өтк} \cdot M.$$

Нақты құрылымдар үшін $\alpha = 0{,}9 \div 0{,}99$.

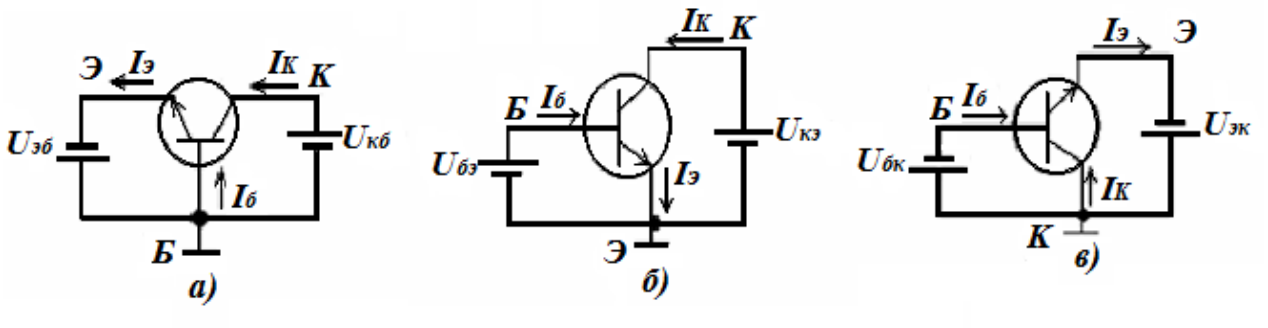
Эмиттерлік ауысудың кедергісі аз (жүздеген ом), ал коллекторлық ауысудың кедергісі жүздеген килоомды құрайды.

Коллекторлық тізбекке тіркей жалғанған жүктеме кедергісі $R_ж \approx 1$ *кОм* қосылсын делік, ол транзистордың жұмыс істеу режиміне әсерін тигізбейді, бірақ кедергіден үлкен кернеу алуға болады.

Эмиттер тізбегіне айнымалы сигнал көзін $E_с$ қосу базада инжекцияланатын қосалқы заряд тасушылардың санын өзгертеді және эмиттер мен коллектор тогының $E_с$-мен бірдей өзгеруіне әкеледі. $R_ж$ жүктемесінде жиілігі кіріс сигналдың жиілігіне тең күшейтілген кернеу бөлінеді, бірақ бұл кездегі шығыс сигналдың кернеуі кіріс сигналдан $E_с$ әлдеқайда үлкен болады. Осылайша сигналдың күшейтілуі жүзеге асады.

2.3 Транзисторлардың қосылу сұлбалары

Транзистор шықпаларының қайсысы кірістегі сигнал көзі мен транзистордың шығыс тізбегі арасында ортақ болып табылатынына байланысты, транзисторды электр тізбегіне қосудың үш негізгі сұлбасы бар: ортақ базалы (ОБ, 2.4,а сурет), ортақ эмиттерлі (ОЭ, 2.4,б сурет), ортақ коллекторлы (ОК, 2.4,в сурет).



2.4 сурет

2.4 Ортақ эмиттерлі транзистордың статикалық сипаттамалары

ОЭ сұлба бойынша қосылған транзистордың кіріс сипаттамасы, берілген $U_{кэ}$ кернеуінде кіріс $I_б$ тогының $U_{бэ}$ кернеуінен тәуелділігі болып табылады: $I_б = f(U_{бэ})$. Мұндай тәуелділіктердің жиынтығы транзистордың кіріс сипаттамаларының тобы деп аталады (2.5,а сурет). $U_{кэ} = 0$ болған кезде коллектор тізбегінде жылулық ток $I_{к0}$ болмайды және $I_Б = f(U_{бэ})$ тәуелділігі тура бағытта қосылған *p-n*–ауысудың ВАС-на сәйкес. $U_{кэ} > 0$ болғанда коллектор тізбегінде $I_б$ тогына қарсы бағытталған $-I_{к0}$ тогы пайда болады.

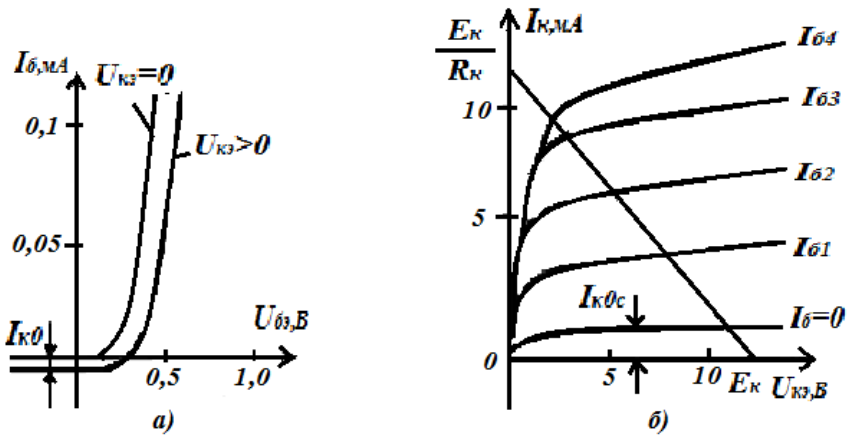
База тогындағы бұл токтың орнын толықтыру үшін қажетті $U_{бэ}$ кернеуін беріп, $I_б = I_{к0}$ токты алу қажет. Бұл кіріс сипаттаманың оңға және төмен ығысуына әкеледі.

Ортақ эмиттерлі сұлба бойынша транзистордың шығыс сипаттамасы дегеніміз берілген $I_б$ тогындағы $I_к = f(U_{кэ})$ тәуелділігі (2.5,б сурет). Егер $I_б = 0$ болса, онда коллектор тізбегінде тек жылулық ток қана ағады, өйткені бұл жағдайда кемтіктердің эмиттерден базаға енуі (*p-n-p*-транзистор үшін) немесе электрондардың эмиттерден базаға енуі (*n-p-n*–транзистор үшін) болмайды. $U_{кэ} = 0$ болғанда коллектор тізбегінен ток өтпейді, бұл $U_{бэ}$ және $U_{кэ}$ кернеулерінің бір-біріне қарама-қарсы бағытталуымен түсіндіріледі, яғни коллектор потенциалы база потенциалынан жоғары және коллекторлық ауысу бұл кезде жабық болады. Сондықтан шығыс сипаттамалар ординаталар өсін қиып өтпейді:

а) $I_б = -I_{к0}$, қисығы *p-n* ауысудың кері тармағына сәйкес келеді;

б) ОЭ шығыс сипаттамалары ОБ-ның сәйкес сипаттамаларының $U_к = 0$, $I_к = 0$ жағдайдағы бастапқы бөлігінен өзгеше өйткені, коллекторлық ауысудағы потенциалдар айырмасы нөлге тең;

в) $I_б = 0$ болғандағы қисық, ажыратылған базалы режимге сәйкес келеді. Транзистор арқылы коллектордың $I_{к0б}$ – өтпелі (сквозной) тогы ағады. $I_{к0б} > I_{к0}$, өйткені тек $I_{к0}$ тогы ғана емес, сонымен бірге $I_{эр}$ тогы да ағады.

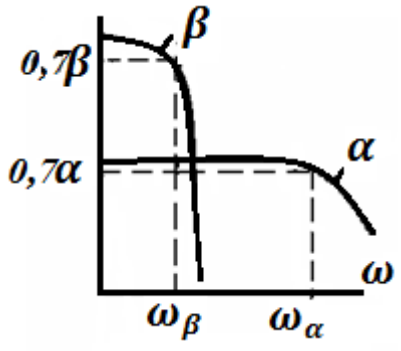


2.5 сурет

Ортақ эмиттерлі сұлба үшін коллектор тогын анықтайық:

$$I_к = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_б + \frac{I_{к0}}{1-\alpha} = \beta I_б + I_{к0}.$$

ОЭ сұлбасының артықшылықтары:



2.6 сурет

а) токты, кернеуді және қуатты күшейтеді;

б) шығыс және кіріс кедергілерінің арасындағы айырмашылық аз, $R_{кірэ} >> R_{кірб}$.

Сонымен қатар кемшіліктері:

а) температураға тәуелділігі жоғары;

б) сипаттамалары пропорционалдықтан айтарлықтай ауытқиды;

в) жұмыс істейтін жиілігі төмен.

ОЭ сұлбасы күшейткіштерде, генераторларда және басқа да құрылғыларда қолданылады.

2.5 Транзистордың күшейту коэффициентінің жиіліке тәуелділігі

Төменгі жиіліктерде, заряд тасушылардың базадағы ұшып өту уақыты сигналдың қайталану периодынан аз болғанда, электрондар үлесінің базада таралуы эмиттерден коллекторға қарай бір қалыпты азаяды.

Егер электрондардың базадағы ұшып өту уақыты сигналдың қайталану периодымен бірдей болса, таралу сипаты өзгереді.

Транзистордың кірісіне синусоида тәрізді сигнал берілсін делік. Сигналдың оң жарты толқыны әсер еткенде эмиттерлік ауысудың потенциалдық тосқауылы азаяды да, ЭА арқылы өтетін инжекцияланған заряд тасушылардың ағыны көбейеді. Жарты периодтан кейін сигналдың полюсі өзгеріп, ЭА потенциалдық тосқауылы жоғарылайды. Егер электрондар эмиттерден коллекторға дейінгі жолдың бір бөлігінен өтсе, онда электрондар үлесінің таралуы өзгереді және заряд тасушылар коллекторға ғана емес кері бағытта да, яғни эмиттерге де инжекцияланады. Ток беру еселігі азаяды. Ток

беру еселігі α төменгі жиілікте α_0-мен салыстырғанда $\sqrt{2}$ есеге (3 дБ) азаятын жиілік ω_α - күшейтудің шектік жиілігі деп аталады (2.6 сурет).

Ығу транзисторы деп, базадағы қосалқы заряд тасушыларды тасымалдау негізінен электр өрісіндегі ығу процесі негізінде болатын, биполюсті транзисторды айтамыз.

Өріс, эмиттерден коллекторға қарай экспонентамен азаятын, базадағы қоспалардың бастапқы үлесінің әркелкі болуынан туындайды. Мысалы, *n-p-n*-транзисторда акцепторлық қоспа үлесінің градиенті әсерінен кемтіктер эмиттерлік өткелден коллекторлыққ өткелге қарай диффузиямен беріледі. КӨ маңында кемтіктер есебінен оң зарядтар жиналады, ал ЭӨ теріс иондардың орны толтырылмаған заряды жинақталады. Базада электрондардың эмиттерден коллекторға қозғалысын диффузиямен салыстырғанда 2…5 есе үлкен жылдамдықпен үдететін, электр өрісі *E* туындайды. Транзистордың шекаралық күшейту жиілігі 2 - 5 есеге өседі .

Ығу транзисторлары қосарланған диффузия технологиясымен жасалады.

3 Дәріс № 3. Өрістік транзисторлар

Дәрістің мазмұны:

– басқарылатын *p-n*-ауысуы бар және оқшауланған тиекті өрістік транзистордың құрылысы мен жұмыс істеу принципі;

– транзистордың негізгі көрсеткіштері мен статикалық сипаттамалары;

– зарядтық байланысы бар аспаптар.

Дәрістің мақсаттары:

– өрістік транзистордың құрылысы мен жұмыс істеу принципін оқып білу;

– транзистордың негізгі көрсеткіштері мен сипаттамаларын оқып үйрену;

– зарядтық байланысы бар аспаптарды оқып білу.

Өрістік транзистор дегеніміз жұмыс істеу принципі жартылай өткізгіштің кедергісін көлденең электр өрісімен модуляциялауға негізделген, жартылай өткізгішті аспап. Оның күшейткіштік қасиеттері, өткізуші арнасы арқылы өтетін бір таңбалы негізгі заряд тасушылардың (униполюсті) ағынымен анықталады.

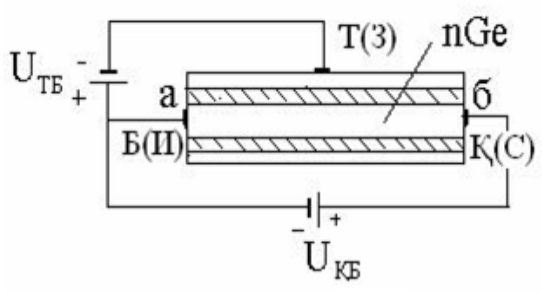
Транзисторлар мына түрлерге бөлінеді:

а) басқарылатын *p-n* ауысуы бар ӨТ;

б) оқшауланған тиекті ӨТ (МДЖ, МОЖ);

в) диэлектрлік табандағы шел тәрізді өрістік (ҚӨТ).

3.1 Басқарылатын p-n ауысуы бар өрістік транзистор



3.1 сурет

Мұндай транзисторлардың бірнеше түрі бар. 1952 ж. Шокли алғашқы рет унитронды – жазық конфигурациялы өрістік транзисторды сипаттады. Транзистордағы өткізуші арна тиектен, кері бағытта ығысқан *p-n* ауысулармен, оқшауланған. Құйма және бастау электродтары арасындағы арна бойынша негізгі тасушылардың тогы ағады.

Бастау (Б) деп арнадағы негізгі заряд тасушылардың қозғалысы басталатын электродты атайды. Заряд тасушылар жиналатын (құйылатын) электрод құйма (Қ) деп аталады. Басқарушы кернеу үшінші электрод – тиекке (Т) беріледі. Мұндай транзистордың құрылымы кернеу беру сұлбасымен және токтардың бағытымен 3.1 суретте бейнеленген.

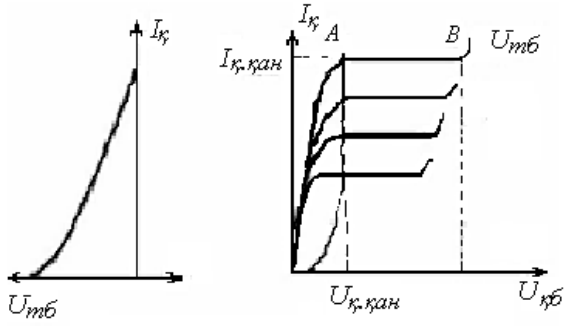
Мысалы, $U_{ТБ} < 0$ делік:

а) егер $U_{ҚБ} = 0$ болса, онда біркелкі *p-n* ауысу пайда болады, $|U_{ТБ}|$ кернеуі өскен сайын, ауысу кеңейеді, ал өткізуші арна тарылады;

б) егер $U_{ҚБ}$ кернеуі нөлге тең болмаса, онда арнаның ені, құйма тогының $I_Қ$ әсерінен арна кедергісіндегі кернеудің түсуі себебінен әркелкі болады. *а* нүктесінде кернеу $U_а = U_{ТБ}$-ға тең, *б* нүктесінде – $U_б = U_{ТБ} + U_{ҚБ}$. Арнаның қимасы бастаудан құймаға қарай кішірейеді. Басқарылатын *p-n* ауысуы бар транзистордың жұмыс істеу принципі, кері кернеудің әсерінен *p-n* ауысудың заряд тасушылар үлесі азайған облысының енінің өзгеруі себебінен, арна кедергісінің өзгеруіне негізделген. $U_{ТБ}$ артқан кезде *p-n* ауысу арнаға қарай өседі, арнаның көлденең қимасы және құйма тогы азаяды. Тиекте кернеу $U_{ТБ}$ үлкен болған кезде арна жабылады (қабысады) да, ток нөлге ұмтылады. Тиек пен бастау арасындағы бұл кернеу $U_{ТБ}$ ток токтату кернеуі $U_{ТТ}$ деп аталады.

Транзистордың негізгі сипаттамалары $U_{ҚБ} = const$ болғандағы құйма тиектік $I_Қ = f(U_{ТБ})$ (3.2,а сурет) және $U_{ТБ} = const$ болғандағы құймалық немесе шығыс сипаттамалары $I_Қ = f(U_{ҚБ})$ (3.2,б сурет). Шығыс сипаттамаларды екі аймаққа бөлуге болады: I-аймақ токтың күрт өзгеруі (сипаттаманың сызықты омдық бөлігі) және қанығу режиміне сәйкес келетін П аймағы (бейсызықты жазық, жұмыстық бөлік). Аз $U_{ҚБ}$ кезінде жабушы қабаттың кеңеюі мардымсыз. $U_{ҚБ}$ артқан кезде құйма тогы Ом заңы бойынша өседі, динамикалық тепе-теңдік туындайды: құйма тогының артуы *p-n* ауысудағы кернеудің түсуіне және құйма тогын азайтатын, арнаның тарылуына әкеледі. $U_{ҚБ}$-ның кезекті артуы қиманы азайтпайды ал, «дәліз» немесе «қылта» деп аталатын, қиманың тар бөлігінің ұзындығын арттырады. Сондықтан құйма тогы тұрақты болады. *В* нүктесінде құйма кернеуі өткелдің тесілу кернеуіне жетеді. $U_{ҚБ}$ кернеуін ары қарай арттырсақ құйма тогы артып, аспап істен шығуы мүмкін.

$U_{ТБ}$ арттырғандағы үрдістер (бастапқы қималар аз болғанда)



3.2 сурет

осыған сәйкес, бірақ арнаның тарылуы ертерек басталады, бұл қанығу бөлігіне ерте шығуға әкеледі. Құйма тогы төмен деңгейде шектеледі.

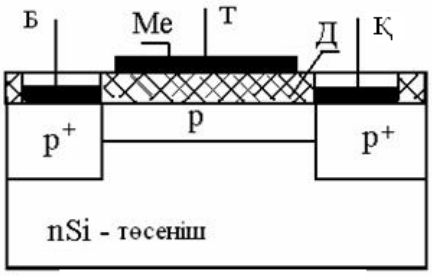
$U_{ҚБ}$ = *const* болған кездегі құйма тиектік немесе беріліс сипаттамасы $I_Қ = f(U_{ТБ})$ (3.2,а сурет). Бұл сипаттаманы, тиектің басқарушы әрекетінің тиімділігін көрсететін көрсеткіш – сипаттама тіктігін $S = \frac{dI_к}{dU_{тб}} \Big|_{U_{кб}=const}$ есептеуде пайдаланады. Транзистордың екінші маңызды параметрі шығыс кедергісі $R_i = \frac{dU_{кб}}{dI_к} \Big|_{U_{тб}=const}$ болып табылады. Өрістік транзисторлардың күшейткіштік қасиеттері, сипаттаманың тіктігіне және шығыс кедергісіне байланысты $\mu = R_i S$, күшейту коэффициентімен $\mu = \frac{dU_{кб}}{dU_{тб}} \Big|_{I_к=const}$ сипатталады.

3.2 Оқшауланған тиекті өрістік транзисторлар

Оқшауланған тиекті өрістік транзисторлардың басқарушы *p-n* ауысуы бар өрістік транзисторлардан ерекшелігі, алғашқыларындағы тиек электроды арнаның жартылай өткізгішті облысынан диэлектрик қабатымен оқшауланған. Бұл транзисторлар құрылымы металл – диэлектрик – жартылай өткізгіш болады да қысқаша МДЖ деп аталады. Егер диэлектрик ретінде кремний оксиді пайдаланылса, оларды МОЖ-транзисторлар деп атайды. Арнаның кедергісі, сыртқы электр өрісі әсерінен жартылай өткізгіштің беткі қабатындағы (тиек асты) қозғалмалы тасушылар үлесінің өзгеруі себебінен өзгереді. Өріс, тиекке келтірілетін кернеумен жасалады. Тиек – бұл жартылай өткізгіш бетінен диэлектрлік қабаттан жұқа шелмен бөлінген, металл электрод. Шел тиекке оң немесе теріс кернеу беруге мүмкіндік береді. Тиек арқылы өтетін ток екі жағдайда да болмайды. Транзисторлар екі класқа бөлінеді:

а) қондырылған (өткізуші) арналы;

б) индукцияланған (өткізбейтін) арналы.



3.3 сурет

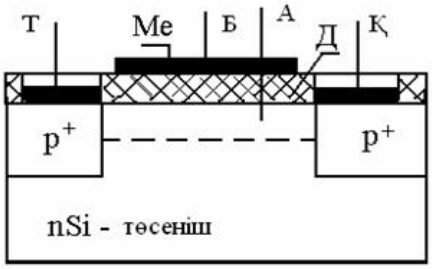
3.2.1 Қондырылған арналы өрістік транзистор

Транзистордың құрылымы 3.3 суретте келтірілген. Мұндағы p^+ – қоспаның (концентрациясы) үлесі жоғары аймақ; Д – диэлектрик; Ме – металл; Б – бастау; Т – тиек; Қ – құйма.

$U_{КБ} \neq 0$ және $U_T = 0$ болғанда құйма тогы $I_К$ ағады.

Егер $U_T < 0$ болса, арнаға кемтіктер тартылады – байыту режимі, $I_К$ тогы өседі. Ал $U_T > 0$ болса, кемтіктер тиектен кейін тебіледі де кедейлену режимі орын алады, $I_К$ тогы азаяды.

3.2.2 Индукцияланған арналы өрістік транзистор.



3.4 сурет

Бұл транзисторда (3.4 сурет) құрылымдық тұрғыдан анықталған арна болмайды.

$U_T = 0$, $U_{КБ} \neq 0$ болса, онда $I_К = 0$, өйткені құйма мен бастау арасында өткізгіштік болмайды. Мұнда қарама-қарсы қосылған екі *p-n* ауысу болады.

$U_T > 0$ болғанда электрондар бетке қарай тартылады $I_К = 0$. Кедейлену режимі қолданылмайды. $U_T < 0$ болғанда кемтіктер тартылып ток өтетін индукцияланған арна А пайда болады.

Индукцияланған *p* арналы транзистор, жасалуы қарапайым болғандығына байланысты кеңінен қолданылады.

Өрістік транзисторлар әртүрлі күшейткіш және ажыратып қосқыш құрылғыларда қолданылады, оларды биполярлы транзисторлармен бірге жиі пайдаланады.

Оқшауланған тиекті транзисторлардың артықшылықтары:

а) жоғары кіріс кедергісі – $R_{кір} = 10^9 \div 10^{12} Ом$ (*p-n* ауысулы ӨТ); $R_{кірМДЖ} = 10^{12} \div 10^{15} Ом$;

б) жоғары шапшаңдық және температуралық тұрақтылық өйткені, ток негізгі тасушылардан құралады – инжекция және экстракция болмайды;

в) жасалу қарапайымдылығы және технологиясының оңайлылығы;

г) өлшемдері мен алатын орны аз;

д) функциялық мүмкіндіктері кең – резистор, конденсатор, диод ретінде пайдалануға болады – технологиялық тұрғыдан тиімді ИС;

е) кіріс және шығыс тізбектің гальваникалық ажыратылуы;

ж) арнайы ығыстырусыз жұмыс істеу мүмкіндігі (ИС ықшамдайды);

и) шу деңгейі төмен;

к) температуралық тұрақтылығы арқасында, арнайы түзетусіз параллель жұмыс істеу мүмкіндігі.

Кемшіліктері**:**

а) төзімділігі төмен;

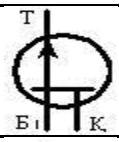
б) ескіруге байланысты уақытқа тұрақтылығы төмен (диэлектриктің қасиеттері нашарлайды);

в) жұқа диэлектрик қабатының статикалық немесе келтірілген зарядпен тесілу мүмкіндігіне байланысты қауіпсіздік шараларын қабылдауды қажет етеді;

г) үлкен кіріс сыйымдылығына байланысты жиіліктік қасиеттерінің нашарлауы.

3.1 кестеде өрістік транзисторлардың шартты графикалық белгіленулері келтірілген.

3.1 кесте

Аспаптың атауы	Белгіленуі
Басқарылатын *p-n* ауысуы бар *n*-арналы өрістік транзистор	
Басқарылатын *p-n* ауысуы бар *p*-арналы өрістік транзистор	
Оқшауланған тиекті қондырылған *n*-арналы өрістік транзистор	
Оқшауланған тиекті қондырылған *p*-арналы өрістік транзистор	
Оқшауланған тиекті индукцияланған *n*-арналы өрістік транзистор	
Оқшауланған тиекті индукцияланған *p*-арналы өрістік транзистор	

4 Дәріс №4. Оптоэлектрондық аспаптар

Дәрістің мазмұны:

– оптоэлектрониканың элементтік базасы;
– жарық жолдары, жарық көздері, фотоқабылдағыштар;
– оптрондар;
– ауыстырып қосқыш жартылай өткізгіш аспаптар.

Дәрістің мақсаттары:

– оптоэлектрониканың элементтік базасын оқып білу;
– жарық жолдарын оқып үйрену;
– сәулелік диодтың құрылысы мен жұмыс істеу принципін оқып білу;
– фотодиодтың құрылысы мен жұмыс істеу принципін оқып білу;

– оптрондардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін оқып білу;

– динисторлар мен тиристорлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін оқып үйрену.

4.1 Оптоэлектрониканың элементтік базасы

Оптоэлектроника – оптикалық сигналдарды электр сигналына және кері түрлендіру мәселелерімен айналысатын, электроника облысы. Радиоэлектроникадағы жаңа бағыт – оптоэлекроника (ОЭ), үш ғылымның тоғысында – қатты дене физикасы, оптика және электроника пайда болды. ОЭ-ның элементтік негізін жарық көздері, оптикалық орталар (жарық жолдары) және фото кабылдағыштар құрайды.

4.2 Жарық жолдары

Жарық жолдары – мөлдір шыныдан жасалатын, қабырғадан көп сатылы ішкі шағылысу нәтижесінде жарық таратуға арналған, жіңішке талшықтардың бумасы. Қалыңдығы бірнеше микрон шыны талшық арқылы жүзден аса оптикалық сигналдар елеусіз шығындармен беріле алады. Егер талшықтарға белгілі бір химиялық элементтер қосылып жасалса, олар жарық сигналын күшейте алады.

4.3 Жарық көздері (ЖК)

ЖК жұмыс істеу принципі сәуленің индукциялану және электр люминесценция құбылыстарын пайдалануға негізделген.

Индукцияланған сәулелену сыртқы фотондардың әсерімен жүзеге асырылады. Осы принципмен жұмыс істейтін сәулелендіргіштер – лазерлер (келесі ағылшын сөздерінен қысқартылған (аббревиатура) атау - light amplification by stimulated emission of radiation – жарықты индукцияланған сәуленің көмегімен күшейту).

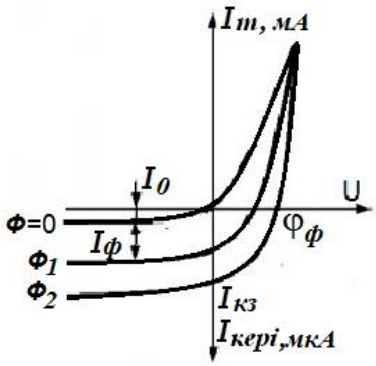
4.3.1 Сәулелік диод.

Сәулелік диодтың жұмыс істеуі *p-n*-өткелдегі сәуле шашырату рекомбинациясына негізделген. Тура ығысу кезінде инжекцияланған қосалқы тасушылар өткел маңында базадағы негізгі тасушылармен рекомбинацияланады. Бұл кезде жарық кванттары шашырайды. Сәуле шашу спектрдің инфрақызыл, көрінетін және ультракүлгін облыстарында болуы мүмкін.

4.4 Фотоқабылдағыштар

Фотокабылдағышта немесе фотоэлектрлік аспапта сәуле энергиясының электр энергиясына түрленуі жүреді.

Олардың жұмысы негізгі үш фотоэлектрлік құбылыстарға негізделген:



4.1 сурет

а) ішкі фотоэффект – өткізгішті жарықтандыру кезінде ток тасушылардың үлесінің артуы себебінен оның электр өткізгіштігінің артуы (фоторезистор);

б) бекітуші қабаттағы фотоэффект – екі материалдың шекарасында жарықтың әсерінен ЭҚК-ң туындауы (фотодиод, фототранзистор);

в) сыртқы фотоэффект – жарықтың әсерінен заттың электрондарды шығаруы – фотоэлектрондық эмиссия (фотоэлемент, фотоэлектрондық көбейткіш).

Фотодиодты қарастырайық. Фотодиод – жұмыс істеуі бекітуші қабаттағы фотоэффектіге негізделген фотоэлектрондық аспап, *p-n* ауысуда жарық ағынының әсерінен ЭҚК пайда болады.

Құрылымы қарапайым *p-n* ауысуындағыдай. Германий немесе кремнийден жасалады, көбінесе кремнийден, өйткені оның түрлендіру еселігі жоғары.

Фотодиод сыртқы қорек көзімен немесе онсыз да қосыла алады:

а) сыртқы қорек көзінсіз – вентильдік немесе фотогенераторлық режим деп аталады;

б) сыртқы қорек көзі бар болса $E_{сырт}$ – фотодиодтық немесе фототүрлендіргіш режим деп аталады.

Фотодиодтың вольт-амперлік сипаттамасы $I=f(U)|\Phi= const$ (4.1 сурет).

Мұндағы IV ширекте генераторлық режим бейнеленген:

1) $I = 0$ болғанда (бос жүріс режимі) $U = \varphi_ф$ – фото ЭҚК;

2) $U = 0$ болғанда (қысқа тұйықтау режимі) $I_{ҚТ}$ тогы ағады;

3) $R_ж \neq 0$ болғанда ток $I = \varphi_ф / R_ж$.

III ширекте фотодиодтық режим бейнеленген. $\Phi = 0$ болса, сипаттама түзеткіш диодтың кері тармағымен (қараңғылық режимі) сәйкес келеді. Φ-ң артуымен I_Φ фототогы да өседі. Жалпы ток $I_{жалпы}$ кері ток пен фототоктың қосындысына тең $I_{жалпы}=I_0+I_\Phi$.

I-ширекте – $\Phi = 0$ болғанда ВАС түзеткіш диодтікіндей болады.

$\Phi > 0$ болғанда $I_{тур} >> I_\Phi$ және I_Φ –ті $I_{тур}$ қалқасында ажырату мүмкін емес. Сондықтан фотодиод тура қосылуда пайдаланылмайды. I_Φ және $I_{кер}$ мөлшерлес болғандықтан, фотодиод кері бағытта қосылады.

Кемшіліктері:

а) температураның күшті әсер етуі;

б) инерциялылығы жоғары;

в) шығынның жоғарылығынан түрлендіру еселігі төмен.

Фотодиодтардың қолданылуы:

а) әлсіз төмен жиілікті жарық сигналдарын тіркеу үшін;

б) жарық энергиясын электр энергиясына түрлендіргенде (күн батареялары, қорек көздері);

в) ақпаратты оқу құрылғыларында;

г) автоматикада, фотометрияда, сәулелену көздерінің бар болуын қадағалау кезінде және т.б.

4.5 Оптрондар

Ең қарапайым оптрон – фотондық байланысы бар жұп.

Оптрон – жарық көзін және онымен сәйкестендірілген фотокабылдағышты біріктіретін активті элемент, онда сыртқы электр сигналы оптикалық сигналға түрленіп күшейтіледі, сонан кейін қайтадан электрлік сигналға айналдырылады, немесе осы процестер кері бағытта жүргізіледі, бірақ күшейту еселігі міндетті түрде бірден үлкен болуы қажет.

Негізгі артықшылығы – кіріс және шығыс тізбектерін ажырату мүмкіндігі, яғни гальваникалық немесе оптикалық ажырату.

Оптрондар екі түрге бөлінеді:

а) сыртқы фотондық және ішкі электрлік байланысы бар оптрон;

б) ішкі фотондық байланысы бар оптрон.

Оптрондар электр сигналын түрлендіру, күшейту, қалыптастыру және т.б. мақсаттарда пайдаланылады.

Негізінен жарық көзі ретінде оптрондарда инжекциялық сәулелі диод пайдаланылады. Сәулелену спектрі даярлану материалына тәуелді және фотокабылдағыштың типімен ерекшеленеді. А қосымшасында оптрондардың шартты белгілері келтірілген.

4.6 Ажыратып - қосқыш жартылай өткізгіш аспаптар

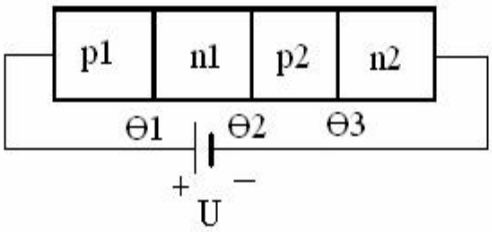
Ажыратып қосқыш жартылай өткізгіш аспаптарға тиристорлар, бір ауысулы және құйындық транзисторлар жатады. Тиристорлар – екі тепе-теңдік күйі бар көп қабатты ажыратып қосқыш құрылымдар. Онда 4 немесе одан көп *p-n* қабаты және 3 немесе одан да көп *p-n* ауысуы бар.

Олар мына түрлерге бөлінеді:

а) басқарылмайтын тиристорлар – екі электродты – динисторлар немесе диод-тиристорлар;

б) басқарылатын тиристорлар – ортаңғы электродтардың бірімен басқарылады – тринисторлар немесе триод-тиристорлар.

Барлық төрт электродынан шықпалары бар ортаңғы электродтардан басқарылатын – тетрод-тиристор.



4.2 сурет

4.6.1 Динистор.

4.2-суретте динистордың құрылымы келтірілген. Бұл құрылымды екі транзистордың бірігуі ретінде көрсетуге болады: *p-n-p* және *n-p-n* текті (4.2 сурет), биполярлық транзисторға ұқсас p1, n2 – эмиттерлер, n1, p2 – базалар, П1, П3 –

эмиттерлік ауысулар, П2 – коллекторлық ауысу.

П1 және П3 тура, П2 – кері бағытта қосылған. Сыртқы кернеу *U* толығымен дерлік П2 ауысуға түседі. Аспап арқылы жабық коллекторлық ауысудың $I = I_{ко}$ тогы ағады.

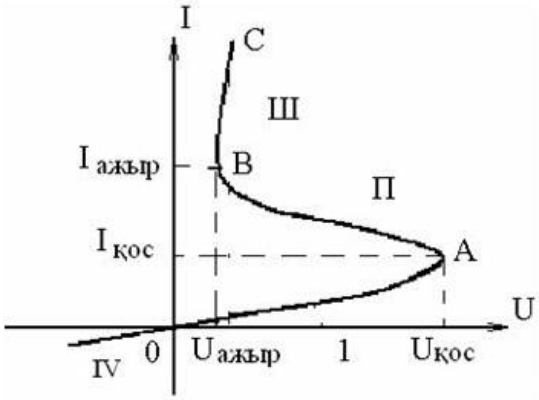
U кернеуін $U_{қос}$-ға дейін арттырғанда П2 ауысуда соққылық ионизация және құйындық тесілу дамиды, тасушылардың жаңа жұптары түзіледі. П2 өрісімен электрондар n1-базасына, ал кемтіктер p2-базасына қайтарылады. Базалардағы негізгі тасушылардың үлесі өседі. n1-базадағы электрондар сол жақ ЭА - П1 жақындап, потенциалдық тосқауылды төмендетіп, иондардың оң зарядын бейтараптайды. Бұл, кемтіктердің p1-ден n1-ге сонан кейін П2 арқылы ағынын арттырады. Осындай процестер оң жақ П3 ауысуда да жүреді. Электрондардың ағыны өседі. Процесс құйын тәріздес дамиды.

П2 арқылы және бүкіл аспап арқылы өтетін ток өседі. П2 арқылы қорытынды ток өтеді:

$$I_{П2} = M(\alpha_1 I_{э1} + I_{к0} + \alpha_3 I_{э3}),$$

мұндағы *M* – көбейту коэффициенті;

α_1, α_3 – П1 және П3-тен П2-ге ток беру коэффициенттері.



4.3 сурет

Барлық үш ауысудан өтетін токтар бірдей және сыртқы токқа тең болғандықтан, былай жазуға болады

$$I = \frac{MI_{к0}}{1 - M\alpha}. \qquad (4.1)$$

Мұндағы $\alpha = \alpha_1 + \alpha_3$ – екі эмиттерден коллекторға ток берудің қорытынды коэффициенті.

Әдетте базалар әртүрлі қалыңдықпен жасалады: *P2* – қалың, *w>L* (диффузиялық ұзындық) және ток беру коэффициенті $\alpha_3 << 1$, n1 – жұқа, $w < L$, $\alpha_1 \approx 1$. *M=f(U)* болғандықтан, (4.1) өрнегі айқын емес түрдегі ВАС.

(4.1) бойынша динистордың ВАС салайық (4.3 сурет). ВАС-ны 4 бөлікке бөлуге болады:

а) I – кернеудің аз мәндерінде П2- жабық, $\alpha \ll 0{,}5$. Кернеудің артуымен α әлсіз өседі, М көбірек өседі. Бұл бөлік аз токтармен және үлкен кернеулермен сипатталады – аспап ажыратылған;

б) $П - U = U_{ажыр}$ болғанда $M \cdot \alpha = 1$, яғни (4.1) өрнектің бөлімі нөлге тең. П2 коллекторлық ауысуы тура бағытта ығысады. α_1 және α_3 ток беру коэффициенттері көп өседі, бірақ өрнектің бөлімі нөлден кіші бола алмайды, өйткені ток тура бағытта ағады. Сондықтан α-ның артуы *M*-нің азаюымен қатар болуы қажет, ал *M*-нің азаюы U азайғанда ғана мүмкін, яғни токтың артуы кернеудің төмендеуімен қатар жүреді. Бұл теріс кедергісі бар өтпелі бөлік болғандықтан процесс құйын тәріздес жүреді;

в) Ш – динистор қосылған, кернеулер аз, токтар үлкен және динистор тізбегіне тізбектей кедергі қосумен шектеледі;

г) IV– аспап қосылған, ВАС кері тармағы қарапайым диодтікіндей.

Динистордың өлшемдері басқа ажыратып қосқыш сұлбалармен (реле) салыстырғанда кіші, бірақ кемшілігі – қосылу сәті басқарылмайды.

Тиристорлардың бірнеше түрлері қолданылады:

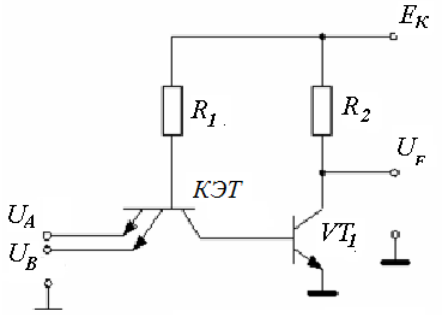
а) жабылатын триодтық тиристорлар – басқарушы электрод арқылы эмиттерлік өткелге $U_{кері}$ қысқа импульс бергенде жабылады;

б) симисторлар немесе симметриялы тиристорлар токты екі бағытта да өткізеді.

Тиристорлардың шартты графикалық белгілері Б қосымшасында келтірілген.

5 Дәріс №5. Интегралдық микросұлбалар

Транзисторлы-транзисторлы логика (ТТЛ) сұлбасы (5.1 сурет) – *ТТЛ*-ның дамуының нәтижесі. Диодтар матрицасы көпэмиттерлік транзистормен (*КЭТ*) ауыстырылады.



5.1 сурет

Бұл диодтық логикалық сұлбалар мен транзисторлық күшейткішті қосатын интегралды құрылғы. *КЭТ* құрамында бірнеше эмиттерлер бар, олар бір-бірімен тура әрекеттеспейтін етіп орналастырылған. *КЭТ* тез-әрекеттесуді үлкейтуге, қолданылатын қуатты төмендетуге және ықшамсұлбаларды дайындау технологиясын кемелдендіруге мүмкіндік береді. КЭТ интегралды сұлбатехника кезеңінде дайындалғандықтан, дискретті компонентті ТТЛ аналогтары болмады.

ТТЛ потенциалды элементтерге жатады. ЭЕМ сұлбаларын құру кезінде олардың негізінде олар потенциалды байланыспен, яғни конденсатор мен трансформаторларсыз байланыстырылады.

Логикалық бірдің кернеуі U^1=2,4 *В*, логикалық нөлдің кернеуі $U^0 < 0,4$ *В*.

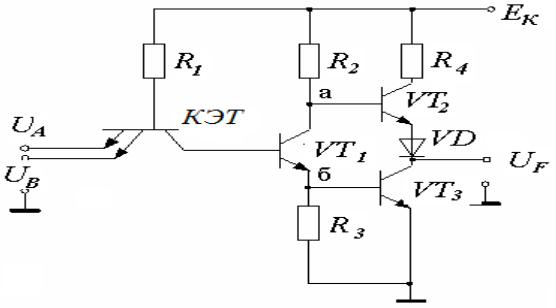
5.2 суретінің сұлбасындағы $VD_1 ... VD_3$ диодтары *КЭТ*-дің эмиттерлік ауысуларымен, ал $D_{ыг1}$, $D_{ыг2}$ – *КЭТ*-дің коллекторлық ауысуларымен алмастырылған. Бұл жағдайда $E_{ЫГ}$ диодында R_2 қажеттілігі жоғалады.

ТТЛ базалық элементі *ДТЛ* секілді ЖӘНЕ-ЕМЕС логикалық операциясын орындайды. Сигналдың төменгі деңгейінде (логикалық 0) *КЭТ* көпэмиттерлік транзистордың кірістердің ең болмағанда біреуінде транзистор қанныққан күйде болады, ал VT_1 жабық. Сұлба шығысында кернеудің жоғары деңгейі (логикалық бір) болады. Барлық кірістерінде сигналдың жоғары деңгейі болғанда КЭТ активті инверсті режимде жұмыс жасайды (эмиттерлік ауысу кері бағытта жылжыған, ал коллекторлық – тура бағытта), VT_1

қаныққан күйде болады. Сұлба шығысында сигналдың төмен деңгейі, яғни нөл.

Мұнда жазылған ТТЛ базалық элементі, дайындалу технологиясының қарапайымдылығына қарамастан, кейбір сипаттамаларына байланысты үлкен қолданысқа ие болған жоқ, яғни бөгеуілдерге тұрақтылығы төмен, сыйымдылықты жүкетемемен жұмыс кезіндегі тез-әрекеттілігі аз, жүктемелік қабілеттілігі төмен.

Төмен жүктемелік қабілеттілік және кіші айырылыс коэффициенті келесі түрде түсіндіріледі. VT_1 транзисторының жабық күйінде R_2 арқылы жүктемелік элементтердің кіріс токтары ағады, және олар көп болса, R_2 коллекторлық жүктемесінде кернеудің төмен түсуі көбейеді. VT_1 коллекторындағы кернеу, яғни жоғарғы логикалық деңгейдің мәні, азаяды, сұлба жұмысы бұзылады. Сондықтан күрделі инвертерлі *ТТЛ* қолданылады.



5.2 сурет

Күрделі инвертерлі ТТЛ сұлбасы.

Күрделі инвертерлі *ТТЛ* сұлбасы (5.2 сурет) екі бөліктен тұрады:

а) *КЭТ* көпэмиттерлі транзисторды қосатын *ЖӘНЕ* конъюнкторы және R_1 резисторы. *ЖӘНЕ* сұлбасының 2-ден 8-ге дейін кірістері болуы мүмкін (кірістер санының көбеюі *ТТЛ*-дің логикалық мүмкіндіктерін кеңейтеді);

б) құрамында VT_1, VT_2, VT_3, VD, R_2, R_3, R_4 бар *ЕМЕС* күрделі инвертері.

Күрделі инвертерді фаза-ажыратушы каскад пен кіріс күшейткішінен тұрады деп қарастыруға болады.

Фаза-ажыратушы немесе фазоинверсті каскад (VT_1, R_2, R_3-тен тұрады) VT_2 және VT_3 транзисторларын басқару үшін қызмет етеді. VT_1 транзисторы ауыстырып қосып ажырату шегін үлкейтеді, ТТЛ-дің бөгеуілдерге тұрақтылығын арттырады.

Кірістегі күшейткіш (VT_2, VT_3, VD, R_4) эмиттерлік қайталағыш болып табылады.

VT_1, VT_3 транзисторлары қосарланған транзисторлар немесе Дарлингтон жұбы болып табылады. Жұмыстың статикалық режимдерінде VT_3 сұлбалары VT_1 күйін қайталайды. VT_1 жабылса, VT_3 транзисторының базасы R_3 резисторы арқылы корпусқа қосылады, сонда VT_3 жабық күйі қамтамасыз етіледі.

VT_2 транзисторы қаныққан және токсыз күйде жұмыс істей алады. Жұмыстың статикалық режимдерінде оның күйі әрқашан VT_3 күйіне, сәйкесінше VT_1 күйіне қарама-қарсы болады. VT_3 транзисторының қаныққан

күйінде VT_2 жабық немесе керісінше. VT_2, VT_3 транзисторлары екітактілі қуат күшейткіші болып табылады.

VD диоды VT_3 ашық кезінде VT_2 транзисторын берік жабу мақсатында қызмет етеді. VT_3 транзисторының қаныққан күйі кезінде VT_2 ашылу шегін көтеру арқылы оның жабық күйін қамтамасыз етеді. Шынымен:

$U_{БЭ2} = U_{КЭН1} + U_{БЭ3} - U_{КЭН3} - U_{VD} \approx U_{БЭ3} - U_{VD} < U_{таб2}$, мынадай мәндерге ие болғандықтан: $U_{БЭ} = 0,7$ *В*; $U_{КЭ}=0,3$ *В*; $U_{VD} = 0,7$ *В*; $U_{таб} = 0,6$ *В*.

$U_{БЭ2} = U_{Б2} - (U_D+U_{КЭ3}) = U_{КЭ1}+U_{БЭ3} - U_{VD} - U_{КЭ3} =0,3 + 0,7 - 0,7 - 0,3 = 0.$

Егер *VD* жоқ болса, $U_{БЭ2} = U_{КЭ1} + U_{БЭ3} - U_{КЭ3} = 0,7$ *В*, мұнда VT_2 ашық.

$U_{БЭ2} = U_{Б2} - U_{Э2} = (U_{КЭ1}+U_{БЭ3н}) - (U_{КЭ3н}+U_D) = 0.$

Егер VT_1 қаныққан болса, VT_3 базасы арқылы ток ағады

$I_{Б3} = I_{Э1} - I_{R3} = [(E_K - U_{КЭН1} - U_{БЭ3})/\alpha_2 \cdot R_2] - (U_{БЭ3}/R_3).$

VT_2 транзисторы және *VD* диодының жабық кезіндегі VT_3 транзисторының қаныққан күйін қамтамасыз ету үшін келесі шартты орындау кажет

$$I_{Б3} \cdot B_3 \geq I_{КН} = n \cdot I^0_{кір\ жүкт},$$

мұндағы *B* – үлкен сигнал режиміндегі токты жіберу коэффициенті;

n – қарастырылып жатқан сұлбаның шығысына қосылған жүктемелі *ТТЛ*-сұлбалар саны;

$I^0_{кір\ жүкт}$ – жүктемелі *ТТЛ*-сұлбаның кіріс тогы.

Осы жерден берілген сұлбаның жүктемелік қабілеттілігін анықтауға, яғни VT_3 транзисторы әлі де қаныққан режимде жұмыс істей алатын кездегі жүктемелік сұлбалардың максималды санын анықтауға болады:

$$n_{макс} = I_{Б3} \cdot B_3 / I^0_{кір\ жүкт}.$$

R_4 резисторы төменгілер үшін қажет:

а) кірісте қысқа тұйықталу жағдайында VT_2 және *VD* қорғау;

б) сұлбаны логикалық нөлден логикалық бірге ауыстырған кезде коллекторлық тогын шектеу. VT_1 жабылғаннан соң, VT_2 транзисторы VT_3 қаныққан транзисторынан бұрын ашылады өйткені, транзисторына қанығу режимінен шығу үшін біршама уақыт қажет. Нәтижесінде, біршама уақыт аралығында, VT_2 және VT_3 транзисторлары ашық, және $E_к$, VT_2, *VD* и VT_3 элементтерінен тұратын тізбек бойынша, $E_к$ қоректендіру көзінен тұтынылып жатқан ток ағады, және қоректендіру шинасы бойыша бөгеуіл импульсі пайда болады. Бөгеуіл амплитудасын шектеу үшін, шамамен бірнеше ондаған Ом-ға тең R_4 резисторы қойылады.

ТТЛ сұлбасы келесі түрде жұмыс жасайды. Егер ең болмағанда кірістердің біреуінде төмен деңгейлі $U^0_{кір}$ кернеуі болса, КЭТ эмиттерлік ауысуы ашылады да, ток ағады: $+E_K$-дан, R_1 арқылы, база-эмиттер ауысуы жерге. КЭТ коллекторлық ауысуы кері бағытта жылжыған (*КЭТ* активті режимде). База тогы $I_{Б1} = 0$, сәйкесінше, VT_1 транзисторы жабылады. VT_1 коллекторында кернеудің жоғары деңгейі $U_{К1} = E_K$. VT_1 эмиттеріндегі кернеу $U_{Э1} = 0$.

VT_2 транзисторы токпен R_2 резисторы арқылы ашылады. $U_{Б3} = U_{Э1} = 0$ болғандықтан, VT_3 транзисторы жабық және $U_{шығ} = U^1_{шығ}$.

Егер *ТТЛ*-дің барлық кірістерінде U^1 жоғары деңгейлі болса, *КЭТ* эмиттерлік ауысулары жабылады, база потенциалы үлкейеді, *КЭТ* коллекторлық ауысуы тура бағытта жылжиды. КЭТ активті инверсті режимде жұмыс жасайды.

VT_1 және VT_3 транзисторлары ашық және қаныққан. VT_2 транзисторы және *VD* диоды жабық. *ТТЛ* шығысында төмен деңгейлі = $U^0 = 0$. Өз кезегінде, *ТТЛ ЖӘНЕ-ЕМЕС* операциясын орындайды, яғни Шеффер элементі болып табылады.

ТТЛ-сұлбаларының тез-әрекет ету қабілеті негізінен транзисторды ауыстырып қосу кезіндегі ауыспалы процестерімен, сонымен қатар C_H паразитті қосынды сыйымдылығының зарядымен анықталады. Қарапайым инвертерлі *ТТЛ* сұлбасында (5.2 сурет) C_H сыйымдылығының заряды үлкен тұрақты уақыттан R_2 резисторы арқылы шығады, бұл сұлбаның тез-әрекет ету қабілетін төмендетеді.

Күрделі инвертерлі *ТТЛ* сұлбасында жүктемелік сыйымдылықтың тұрақты заряды азаяды, өйткені сыйымдылығы эмиттерлік қайталағыш схемасындағы VT_3 транзисторының шығыс резисторы арқылы зарядталады $(R_{вых\ 3} << R_2)$. Осының арқасында тез-әрекет ету қабілеті артады.

ТТЛ сұлбаларының түрлері.

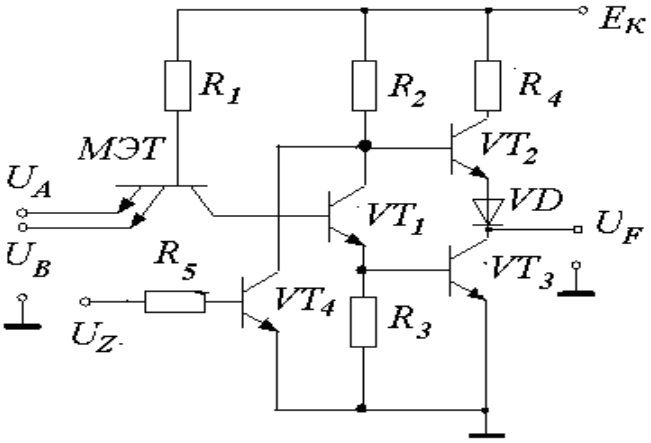
ТТЛ сұлбаларының келесі түрлері практикада кеңінен қолданылады:

а) шығысының үш күйі бар *ТТЛ* сұлбасы.

Базалық *ТТЛ* сұлбаларын, қоректендіру көзінен үлкен ток қолданылғандықтан, сонымен қатар шығыс сигнал деңгейі логикалық түрде анықталмағандықтан, шығыс бойынша біріктіру мүмкін емес.

Бірақ кейде (мысалы, екі бағытты ақпараттық шиналарды дайындау кезінде) шығыстарды біріктіру керек. Бұл үшін үшінші күйі бар (жоғары-импедансты) шығысты *ТТЛ* қызмет етеді.

ТТЛ-дің базалық сұлбасына (5.3 сурет) қосымша R_5 резисторы және VT_4 транзисторы қосылған (5.4 сурет). *Z* кірісіне төмен деңгейлі $U_Z = U^0_{кір}$ кернеуін берген кезде, VT_4 жабық және *ТТЛ* жұмысына әсер етпейді. Сұлба шығысында кіріс сигналдарына байланысты *1* немесе *0* болады.



5.3 сурет

VT_4 кірісіне жоғары деңгейлі $U_Z = U^1_{BX}$ бергенде, VT_4 транзистор қанығады. $U_{K4} = 0$. Бұл VT_2 және VT_3 жабылуын қамтамасыз етеді. *ТТЛ* толығымен жүктемеден ажыратылады, яғни токты қолданбайды да, бермейді де. Бұл күй U_A және U_B кіріс сигналдарынан тәуелді емес. Бұл сұлбаларды шығыстары бойынша бір ортақ жүктемеге біріктіруге болады, және кез келген уақыт мезетінде жүктеме кез келген элементпен күтілуі керек, ал қалған элементте үшінші күйде қалуы қажет;

б) Шоттки транзисторлы *ТТЛ* сұлбалары.

Базалық элемент сұлбасында қарапайым транзисторлар орнына активті режимде жұмыс істейтін Шоттки транзисторларын қолданып, *ТТЛ*-сұлбаларын тез әрекет ету қабілеттілігін көтеруге болады. Мұнда сұлба транзисторларының ауыстырып қосу уақыты қысқарады. Шоттки транзисторлары негізінде жасалған логикалық *ТТЛ* микросұлбалары *ТТЛШ* микросұлбалары деп аталады;

в) ашық коллекторлы *ТТЛ* сұлбалары.

Ашық коллекторлы *ТТЛ* сұлбасы сыртқы атқарушы және индикаторлық құрылғылардың логикалық сұлбаларын қиыстыруға арналған, мысалы, жарықдиодты индикаторлар, лампалар, реле орамдары және т.б. Алдыңғы қарастырылғаннан айырмашылығы шығыс қуатты күшейткішінің біртактілік сұлба бойынша жеке жүктемелік резисторынсыз жасалуында.

Мұндай элементтің принципиалды электрлік сұлбасы 5.3 суретте көрсетілген. Бұл элементте, сонымен қатар, сызықсыз коррекция тізбегі жоқ. Элементтің логикалық құрылғының шығысына қойылуы және оған сигнал кванттау талаптарының төмен дәрежеде қойылуымен байланысты. Әдетте схеманың VT_2 кіріс транзисторы қарапайым элементке қарағанда, коллекторлық ток пен кернеудің үлкен мәндерінде орындалады.

Кернеудің қауіпті кері әсерлі кіріс ауысуларынан *КЭТ*-ті қорғау үшін *ТТЛ*-де эмиттерлер мен жер арасында қосымша диодтар қосылады (5.3 суретте VD_1 және VD_2).

ЭБЛ сұлбасы - эмиттерлі-байланысқан логика сұлбасы.

ЭБЛ сұлбаларының ерекшеліктері.

ТТЛ сұлбаларына қарағанда, эмиттерлі-байланысқан логиканың цифрлық микросұлбаларының тез әрекет ету қабілеттілігі жоғарырақ. Олар қазіргі уақытта субнаносекундтық диапазонға қол жеткізді, себебі:

а) транзисторлардың қанығуы болмайды (артық заряд тасушыларды тарату уақыты $t_{тар} = 0$);

б) сұлбада эмиттерлік қайталағыштар (*ЭҚ*), сыйымдылық зарядының процесін жылдамдататын жүктемелер қолданылады, эмиттерлік қайталағыштың $R_{шығ}$ шығыс кедергісі аз болғандықтан, шығыс ток үлкен;

в) логикалық ауысу азырақ $\Delta U_л = U^1 - U^0$.

Жұпфазалы шығыстың болуы түзу және инверсті мәндер алуға мүмкіндік береді, бұл қолданылатын микросұлбалар санын азайтады.

ТТЛ-дың қарапайым сұлбаларынан айырмашылығы – логикалық мүмкіндіктерді шешу үшін, *ЭБЛ* бірнеше элементтерінің шығыстарын біріктіруге болады.

6 Дәріс №6. Аналогтық электрондық құрылғылардың негізгі сипаттамалары

Дәрістің мазмұны:

– аналогтық электрондық күшейткіштердің жіктелуі;

– аналогтық электрондық құрылғылардың негізгі техникалық көрсеткіштері мен сипаттамалары;

– күшейткіштердегі кері байланыстар.

Дәрістің мақсаттары:

– аналогтық электрондық күшейкіштердің жіктелуін оқып үйрену;

– аналогтық электрондық құрылғылардың сипаттамалары мен негізгі техникалық көрсеткіштерін оқып білу;

– күшейткіштердегі кері байланыстарды оқып білу.

6.1 Аналогтық электрондық құрылғылардың жіктелуі

Электрондық құрылғылар аналогтық және цифрлық болып екіге бөлінеді.

Аналогтық электрондық құрылғылар дегеніміз, үздіксіз функция заңы бойынша өзгеретін сигналдарды күшейтуге, түрлендіруге және өңдеуге арналған құрылғылар.

Аналогтық құрылғылардың артықшылықтары:

1) салыстырмалы қарапайымдылығы;
2) сенімділігі;
3) тез әрекеттілігі.

Осы артықшылықтарына байланысты кең қолданысқа ие болды.

Цифрлық құрылғылар екілік немесе басқада бір кодтардағы импульстік сигналдарды өңдеуге арналған құрылғылар.

Аналогтық электрондық құрылғылар үлкен екі топқа бөлінеді:

1) күшейткіштер;
2) күшейткіштер негізіндегі құрылғылар.

Электрондық күшейткіштер дегеніміз тұрақты кернеу көзінің энергиясын пайдаланып, сигналдың қуатын күшейтуге арналған құрылғы.

Электрондық күшейткіштер радиоаппаратура мен электрондық жүйелердің негізі болып табылады.

Күшейткіштер негізіндегі құрылғылар келесідей түрлерге бөлінеді:

1) электр сигналдарын түрлендіргіштер немесе сигналдарды өңдеуге арналған аналогтық құрылғылар. Арнайы кері байланыс тізбектері бар күшейткіштер негізінде жасалады.

Оларға: қосындылауыштар (сумматор), интеграторлар, дифференциаторлар, активті сүзгілер, логарифмдік күшейткіштер, детекторлар, көбейткіштер, бөлгіштер, салыстыру құрылғылары (компаратор) және басқа да құрылғылар жатады;

2) кедергі түрлендіргіштері. Бұларда кері байланысы бар күшейткіштер негізінде тұрғызылады. Олар кедергілердің сипатын, таңбасын және мәнін түрлендіреді;

3) ерекше топты барлық мүмкін болатын сигналдар генераторлары және олармен байланысқан құрылғылар құрайды.

Аналогтық электрондық күшейткіштердің жіктелуі.

Күшейткіштер бірнеше белгілеріне қарай бөлінеді:

1) күшейтілетін жиілік аумағына қарай:

а) тұрақты ток күшейткіштері (ТТК), ТТК кіріс сигналды нөлдік мәннен қандайда бір жоғарғы жиілікке дейінгі аумақта күшейтеді

$$0 \leq f_{ттк} \leq f_ж,$$

олар, $0 \div 10^8$Гц аумағында кіріс сигналдың айнымалы құраушыларымен қатар тұрақты құраушыларында күшейтеді;

б) айнымалы ток күшейткіштері, олар сигналдың тек айнымалы құраушыларынғана күшейте алады. Олар төменгі шектік жиілік аумағынан жоғары шектік жиілікке дейінгі сигнал толқындарын күшейтеді,

$$f_т \leq f_{Атк} \leq f_ж.$$

Амплитудалы жиіліктік сипаттамаларының (АЖС) түрлеріне байланысты, келесідей түрлерге бөлінеді:

а) төменгі жиілік күшейткіштері (ТЖК) немесе дыбыстық жиілік күшейткіштері (ДЖК), олардың жиіліктері,

$$f_т \approx 15\ Гц, \quad f_ж \approx 20\ кГц;$$

б) жоғары жиілік күшейткіштері (ЖЖК),

$$f_т \approx \text{ондаған кГц}, \quad f_ж \approx \text{ондаған МГц};$$

в) кең жолақты күшейткіштер (КЖК),

$$f_т \approx \text{ондаған Гц}, \quad f_ж \approx \text{жүздеген МГц};$$

г) таңдаулы күшейткіштер немесе таржолақты; резонанстық LC-контурлары негізінде тұрғызылатын – резонанстық күшейткіштер; RC-сүзгілері негізіндегі - жолақтық күшейткіштер болады.

Күшейтілетін сигналдардың тегіне байланысты, олар: тұрақты ток күшейткіштері (ТТК), синусоидалық немесе гармоникалық толқындар күшейткіштері және импульстік сигналдар күшейткіштеріне бөлінеді.

Күшейткіштің жұмыс істеу режимдері бойынша ток күшейткіші, кернеу және қуат күшейткіштері болып бөлінеді.

Элементтік базасы бойынша – шамдық, транзисторлық, интегралдық және оптоэлектрондық болып бөлінеді.

Каскадаралық байланыс әдісі бойынша – гальваникалық байланыспен (тікелей), сыйымдылықты резистивті байланыспен (RC) және трансформаторлық байланыспен болып бөлінеді.

Атқаратын қызметіне және қолдану аймағына байланысты – микрофондық, трансляциялық, өлшеуіш, радиолокациялық, аз шулы, көпарналы, жоғары сызықты және тағы басқа болып бөлінеді.

Қарастырылған негізгі жіктелу белгілерінен басқа олардың басқа да түрлері қолданылады: мысалы, қоректендіру түріне, каскадтар санына, конструктивті немесе технологиялық орындалуына байланысты.

6.2 Аналогтық электрондық құрылғылардың негізгі техникалық көрсеткіштері және сипаттамалары

Номиналды шығыс қуаты:

$$P_{шығ.ном.} = \frac{U^2 шығ.ном.}{Rж} = I^2_{шығ.ном.} \cdot Rж,$$

мұндағы $U_{шығ.ном.}$ және $I_{шығ.ном.}$

Күшейту коэффициенті (КК), КК – күшейткіштің жұмысын көрсететін маңызды сандық көрсеткіш:

$$K_U = \frac{U_ш}{U_{кір}} \text{ – кернеу КК;}$$

$$K_I = \frac{I_ш}{I_{кір}} \text{ – ток КК;}$$

$$K_P = K_I \cdot K_U \text{ – қуат КК.}$$

Көпкаскадты күшейткіштің жалпы күшейту коэффициенті, каскадтардың КК көбейтіндісіне тең болады:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = \sum_{j=1}^{n} K_j.$$

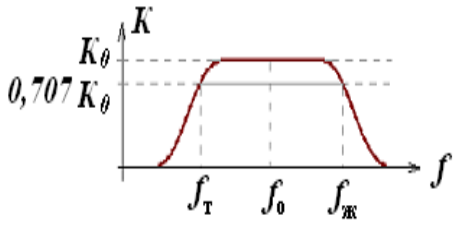
Күшейту коэффициенті өлшемсіз шама болып табылады, ол кейде дБ-де өлшенеді:

$$K_u(дБ)=20lg\ (K_u);$$
$$K_I(дБ)=20lg\ (K_I);$$
$$K_p(дБ)=10lg\ (K_P).$$

Күшейту коэффициенті комплекстік шама болып табылады, өйткені шығыстағы сигнал кірістегі сигнал фаза бойынша ерекшеленеді. Жалпы түрде, мысалы кернеу үшін:

$$K_U = \frac{U_ш}{U_{кір}} = \frac{U_ш \cdot e^{j\omega t} \cdot e^{j\varphi_ш}}{U_{кір} \cdot e^{j\omega t} \cdot e^{j\varphi_{кір}}} = K \cdot e^{j\varphi_к},$$

мұндағы K – модуль K_U; $\varphi_к = \varphi_ш - \varphi_{кір}$ – кіріс және шығыс фазаларының айырымы.

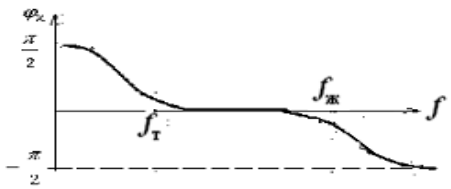


6.1 сурет

Амплитудалы жиіліктік сипаттама (АЖС):

К=F_1(f) – жиіліктің К күшейту коэффициентіне тәуелділігі.

АЖС – бойынша келесі көрсеткіштер анықталады:



6.2 сурет

а) $\Delta f = f_ж - f_т$ – өткізу жолағы;

$f_ж$, $f_т$ – төменгі және жоғары шектік күшейту жиіліктері;

M_f – берілген жиіліктегі жиіліктік бұрмалану коэффициенті,

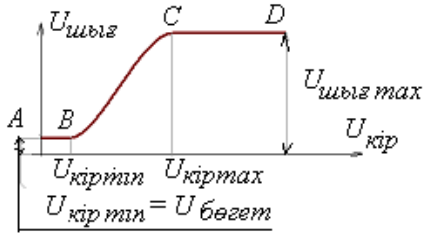
$$M_f = \frac{K_0}{K_1} = 1{,}02 \div 1{,}2.$$

Жиіліктік бұрмаланулар сызықты болып табылады, яғни сигналдың формасы өзгермейді, ешқандай спектралдық құраушылар қосылмайды, тек төменгі және жоғарғы жиіліктерде КК-ті құлайды.

Фаза жиіліктік сипаттама (ФЖС).

ФЖС – сигналдың фаза ығысуының φ_k, жиілікке тәуелділігін $\varphi_k = F_2(f)$, φ_k – кіріс және шығыс сигналдарының арасындағы бұрыш.

Амплитудалық сипаттама:



6.3 сурет

$U_{шығ} = f(U_{кір})$ – (жиілік тұрақты болған кезде).

А нүктесінде $U_{кір} = 0$, $U_{шығ.мин} = U_{бөгет}$.

В нүктесінде кірісінде $U_{кір.мин}$ бұл кезде бөгеттен сигналды ажыратуға болады.

ВС – аймағында, сызықты күшейту орын алады, яғни сигналдың пішіні өзгермейді.

С – нүктесінде, сызықсыз күшейту басталады, $U_{шығ.макс}$ сызықсыз бұзылыстардың берілген деңгейімен шектеледі.

Амплитудалық сипаттама сызықты күшейту шекарасына сәйкес келетін кіріс сигналдың амплитудасының шектік мәнін бағалауға мүмкіндік береді.

Бұл сипаттама бойынша күшейткіштің динамикалық аумағы D анықталады:

$$D_{дб} = 20 \lg (U_{кір.макс} / U_{кір.мин}).$$

CD – аймағында, транзистордың сипаттамаларының сызықсыздығының есебінен сызықсыз бұрмаланулар туындайды және сигналдың пішінінің бұрмалануларына әсер етеді.

Ол, сызықсыз бұрмалану коэффициенті немесе клирфактормен бағаланады, ν:

$$\nu = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots}}{U_1},$$

мұндағы U_2, U_3 – жоғары гармоникалар;

U_1 – бірінші гармоника (пайдалы гармоника).

Шығыс сигналдың спектрінде жаңа жоғары гармоникалар пайда болады, олар сигналдың бұрмалануына себеп болады.

Күшейткіш шығысқа тек пайдалы күшейтілген сигналдарғана беріп қоймай, сонымен қатар оның ішінде туатын қажетсіз толқындардыда береді,

оларды меншікті бөгеттер деп атайды. Олардың негізгілері: резисторлардың жылулық шулары, фон, наводкалар және күшейткіш элементтердің шулары.

Күшейткіштің ПӘКі – $\eta = \dfrac{P_H}{P_\Sigma}$,

жүктемеге берілетін номиналды шығыс қуаттың барлық қорек көздерінен тұтынатын қуаттардың қосындыларының қатынасымен анықталады.

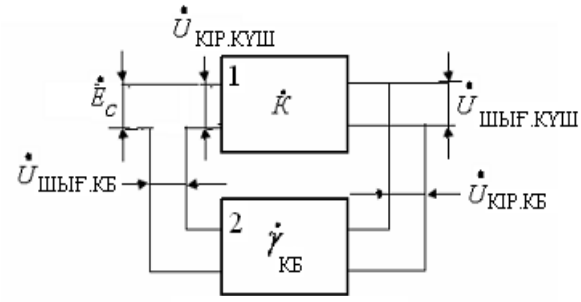
6.3 Күшейткіштердегі кері байланыс түрлері

Күшейткіштердің сапалық көрсеткіштерін жоғарылату үшін қолданылатын ең көп таралған тәсілдің біреуі - кері байланыс (КБ) теориясын пайдалану.

КБ-ты күшейту коэффициентін тұрақтандыруға, күшейтілген сигналдың бұзылыстарын кемітуге және күшейткіш элементтерінің жұмыс режимін тиянақтауға қолданады.

КБ деп сигналдың шығыс тізбегінен кіріс тізбегіне берілісін айтады.

Күшейткіштердегі кері байланыс деп, күшейткіштің шығыс тізбектерінен сигналдың бір бөлігін кіріс тізбектеріне беруді қамтамасыз ететін электрлік тізбектердің арасындағы байланысты айтады.



6.4 сурет

1) (К) – күшейткіш;

2) (β) – кері байланыс тізбегі.

КБ келесідей түрлерге бөлінеді:

1) ішкі КБ – активті элементтің физикалық қасиеті мен құрылысына (конструкциясына) негізделген;

2) сыртқы КБ – арнайы КБ тізбектері енгізіледі;

3) паразиттік КБ – өндірушінің қалауынсыз туатын байланыс. Энергияны кері қарай тарату үшін, пайда болатын жолдар тізбектер арасындағы индуктивті, сыйымдылықтық және гальваникалық байланыс. Оны арнайы сұлбаларды енгізу арқылы жоюға тырысады.

Күшейткіштің кері байланыс кіргізілген бөлімін КБ тұзағы деп атайды.

КБ тұзағы бір немесе бірнеше күшейту каскадтарын қамти алады.

Енгізілген тұзақ санына байланысты КБ-ты бір тұзақты және көп тұзақты деп 2-ге бөледі.

КБ тұзақтары тәуелсіз бола алады және жартылай немесе түгелдей біреуі екіншісіне кіре алады.

Егер, тұзақ күшейткіштің тек бір ғана каскадын қамтыса, оларды жергілікті КБ деп атайды.

Егер, тұзақ күшейткіштің екі немесе одан да көп, барлық каскадтарын қамтыса, оларды ортақ КБ деп атайды.

Егерде кіріс сигналдың кернеуі $U_{КІР}$ мен кері байланыс сигналының кернеуі $U_{КБ}$ фаза бойынша сәйкес болып, бірімен-бірі қосылса, онда мұндай КБ-ты оң КБ деп атайды.

Бұл жағдайда күшейткіштің кірісінде үлкейтілген сигнал U_1 әсер етеді.

Егерде КБ қосқанда, кіріс сигналдың кернеуі $U_{КІР}$ мен КБ сигналының кернеуі $U_{КБ}$ фаза бойынша қарама-қарсы болып, бірінен-бірі алынса, онда мұндай КБ-ты теріс КБ деп атайды.

Күшейткіштерде негізінен теріс КБ-ты қолданады, өйткені ол жұмыс тұрақтылығын жоғарылатады, бұрмалануларды және меншікті шу деңгейлерін азайтады.

Оң КБ-ты, автогенератор сұлбаларында көп қолданады екен.

Сандық түрде (сан мәнінде) КБ-ты КБ-ты беру коэффициентімен бағалайды ß, ол шығыстағы кернеудің қанша бөлігі кіріске келетінін көрсететін көрсеткіш.

$$\dot{\beta} = \frac{\dot{U}_{кб}}{\dot{U}_{ш}}.$$

КБ-ты шығыс тізбектерге қосу әдістеріне қарай кернеу бойынша және ток бойынша КБ-ға бөледі:

а) кернеу бойынша КБ-та $U_{КБ} = \beta \cdot U_{ШЫҒ}$,

бұл жағдайда КБ тізбегі жүктемеге параллель қосылады;

$U_{КБ}$ – КБ кернеуі;

β – КБ ты беру коэффициенті;

$U_{ШЫҒ}$ – шығыс кернеу;

б) ток бойынша КБ-та $U_{КБ} = R_{КБ} \cdot I_{ШЫҒ}$,

$R_{КБ}$ – КБ кедергісі;

$I_{ШЫҒ}$ – шығыс ток.

Яғни КБ тізбегі күшейткіштің шығысына, жүктемеге тізбектеліп қосылады.

Егерде, сұлбада КБ, аталған екі әдістің қосылып түрленуінен жасалса, онда шығыс бойынша аралас КБ деп аталады.

Күшейткіш құрылғының кірісіне КБ тізбегін үш түрлі әдіспен қосуға болады:

а) сигнал көзімен тізбектеп қосса – тізбекті КБ деп аталады;

б) сигнал көзіне паралель қосса – паралель КБ деп аталады;

в) аралас қосылса – кіріс бойынша аралас КБ деп аталады.

Кіріс бойынша аралас КБ, немесе кернеу бойынша тізбекті КБ, $R_Ж$-ны өзгерткенде күшейткіштің шығысындағы кернеуді тұрақтандырады.

Сонымен қатар, тоқ бойынша тізбекті және кернеу бойынша паралель КБ-да кездеседі.

Енді КБ-тың күшейткіш көрсеткіштеріне әсерін қарастырайық.

КБ-тың әсері күшейткіштің кіріс сигналының мәнінің өзгеруіне әкеліп соғады.

$$\dot{U}_с = \dot{U}_{кір} + \dot{U}_{кб} = \dot{U}_{кір} + \beta \cdot \dot{U}_{шыг}.$$

$K = \frac{U_ш}{U_c}$ – КБ жоқ кезіндегі күшейткіштің кернеу күшейту коэффициенті,

$\dot{K}_{кб} = \frac{U_{шыг}}{U_{кір}}$ – КБ-пен қамтылған күшейткіштің КК коэффициенті,

онда, $\dot{U}_{шыг} = \dot{K} \cdot \dot{U}_с = \dot{K} \cdot (\dot{U}_{кір} + \beta \cdot \dot{U}_{шыг})$,

екі бөлігінде $\dot{U}_{кір}$- ке бөлсек:

$\frac{U_ш}{U_{кір}} = \dot{K} \cdot (1 + \beta \cdot \frac{U_ш}{U_{кір}})$ немесе $\Rightarrow \dot{K}_{кб} = \dot{K} \cdot (1 + \beta * \dot{K}_{кб})$ бұл жерден

$\dot{K}_{кб} = \dot{K} \cdot (1 - \beta \cdot \dot{K})$,

мұндағы $\beta \cdot \dot{K}$ – КБ факторы, ол КБ сипатын және $К_{КБ}$ күшейту коэффициентінің мәнін анықтайды.

Жалпы жағдайда, $\dot{K} = \dot{K} \cdot e^{j\varphi k}$ және $\dot{\beta} = \beta \cdot e^{j\varphi кб}$, мұндағы $\varphi_к$ және $\varphi_{кб}$ - күшейткішпен және КБ тұзағы арқылы енгізілген, сигналдың фазалық ығысу бұрыштары. Онда 3 формуланы келесідей етіп жазуға болады:

$$\dot{K}_{кб} = \frac{\dot{K} \cdot e^{j\varphi к}}{1 - \beta \cdot \dot{K}_{кб} e^{j(\varphi_к + \varphi_{кб})}}.$$

Егер $\varphi_к + \varphi_{кб} = \pi$, $\dot{\beta}\dot{K} = -\beta K$, яғни КБ коэффициенті мәнді әрі теріс шамалы болады. Бұл жағдайда:

$$К_{КБ} = К/(1 + \beta K).$$

Сондықтан, егер КБ сигналы күшейткіштің кірісіндегі сигналға фаза бойынша қарама қарсы түссе, онда күшейткіштің күшейту коэффициенті $1 + \beta K$ есе азаяды.

$А = 1 - \dot{\beta}\dot{K}_{кб}$ – А шамасын КБ тереңдігі деп атайды.

Мұндай КБ-ты теріс КБ деп атайды.

Күшейтудің азайғанына қарамастан, теріс КБ-ты күшейткіштерде кеңінен қолданады. Өйткені, ондай КБ енгізу күшейткіштің бірнеше көрсеткіштерін жақсартады екен:

1) Егер, $\beta\dot{K}_{кб}$ – КБ тереңдігі, мәнді әрі оң болса, онда КБ-та оң болады:

$$\dot{K}_{кб} = \dot{K}/1 - \beta \cdot \dot{K}_{кб} \varphi k + \varphi кб = 0.$$

2) Егер, $\beta \cdot \dot{K}_{кб}$ мәнді әрі теріс болса, онда КБ та теріс болады:

$\dot{K}_{кб} = K / 1 + \beta \cdot \dot{K}_{кб}$;

$$\varphi_к + \varphi_{кб} = \pi.$$

Оң КБ күшейткіштің кернеу күшейту коэффициентің үлкейтеді (өйткені фазалары сәйкес келеді, кіріс сигнал мен КБ сигналдарының).

Күшейткіш техникада негізінен теріс КБ қолданылыды, ол келесі көрсеткіштерді *үлкейтеді:*

а) өткізу жолағы;

б) күшейткіштің динамикалық аумағын;

в) тізбекті КБ кезінде;

г) тоқ бойынша КБ та

азайтады:

а) күшейту коэффициентін;

б) тұрақсыздығын;

в) сызықсыз және сызықты бұрмалануларды;

г) паралель КБ-та $R_{КІР}$-ті;

д) кернеу бойынша КБ-та $R_{ШЫҒ}$-ты.

Қорытынды:

1) КБ тізбегін енгізу, күшейткіш құрылғылырдың негізгі көрсеткіштерін санды әрі сапалы өзгертеді;

2) оң КБ және теріс КБ тізбектерін енгізу, әдеттегідей күшейткіш көрсеткіштеріне қарама қарсы әсер етеді.

7 Дәріс № 7. Күшейткіштің жұмыс режимін қамтамасыз ету

Дәрістің мазмұны:

– күшейткіштің жұмыс режимдерін қамтамасыз ету әдістері;
– күшейткіш каскадта жұмыс режимін тұрақтандыру әдістері;
– күшейткіштердің шығыс каскадтары.

Дәрістің мақсаттары:

– жұмыс нүктесін ығыстыру түрлерін оқып үйрену;
– күшейткіштің жұмыс режимін тұрақтандыру әдістерін оқып білу;
– күшейткіштердің шығыс каскадтарының жұмыстарын оқып үйрену.

Күшейткіштің кірісінде сигнал жоқ кезіндегі оның тізбектеріндегі тұрақты ток пен кернеуді тыныштық тогы және кернеуі деп атайды.

Тыныштық тогы мен кернеуі күшейту элементтерінің статикалық кіріс және шығыс сипаттамаларындағы тыныштық нүктесін анықтайды.

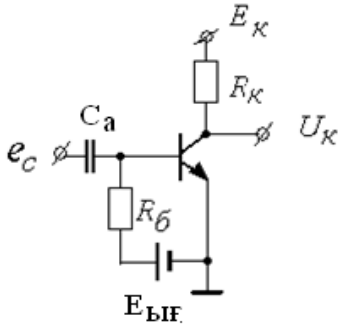
Тыныштық нүктесі күшейту элементтің жұмыс режимін сипаттайды. Қажетті жұмыс режимін қамтамасыз ету үшін күшейту элементіне ығыстыру және қоректендіру көзінің кернеулері беріледі.

Ығыстыру тізбектері (ЫТ) тұрақталған және тұрақталмаған болып бөлінеді.

Тұрақталмаған ЫТ екі түрде құрылады:

1) нақтылы (фиксацияланған) базалық тогы арқылы;

2) нақтылы база-эмиттер кернеуі арқылы.



7.1 сурет

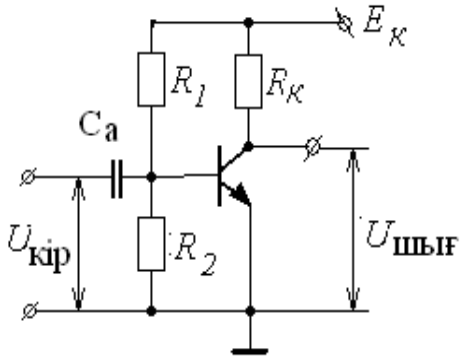
7.1 Күшейткіштің жұмыс нүктесін ығыстыруды қамтамасыз ету

Транзистордың жұмыс режимі, жүктеме сызығындағы немесе өтпелі динамикалық сипаттамадағы, тыныштық режимде, яғни кіріс сигналы болмаған кезде, жұмыс нүктесінің (ЖН) бастапқы күйімен сипатталады. Ол кіріс тізбектегі

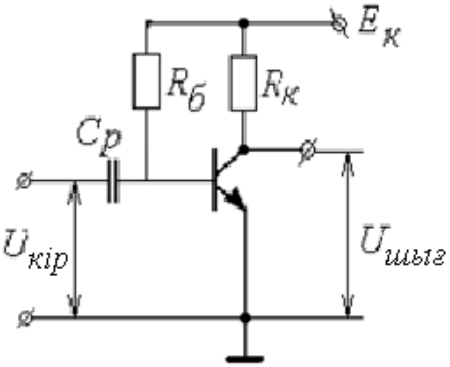
ток мәнімен немесе ығыстыру кернеуімен беріледі.

Көп таралған түрлері: тәуелсіз ығыстыру мен коллекторлық қоректендіруден ығыстыру. $E_{ығыс.}$-дан $R_б$ арқылы болатын тәуелсіз ығыстыру (7.1 сурет) қуат күшейткіштерінде және импульстік сұлбаларда қолданылады.

7.2 Жұмыс нүктесін коллекторлық қоректендіруден ығыстыру



7.2 сурет



7.3 сурет

7.2.1 Коллекторлық қоректендіруден базалық бөлгіш арқылы фиксирленген ығыстыру.

Базаның потенциалы қатаң түрде R_1, R_2 бөлгіші арқылы фиксирленеді (7.2 сурет). Ток, $E_к$ дан базалық бөлгіш арқылы ағады. R_2 дегі құлау кернеуі базаға $E_{ығыс.}=U_{БЭ}$ ығысуын туғызады. Бөлгіштің тогы базалық тыныштық токка тәуелді болмас үшін, келесі шарт орындалуы керек $I_{бөл}=(2\div5)I_{б.тын.}$.

Сондықтан, $R_2 = \frac{E_{ығыс.}}{(2\div5)I_{б.тын.}}$ таңдалады, сонымен қатар $R_1 = \frac{E_к - E_{ығыс.}}{(2\div5)^{I_{к.тын.}}/_{\beta}}$ болады.

R_1, R_2 резисторлары тұрақты ток бойынша тізбектей жалғанған $R_{1,2} = R_1 + R_2$, ал айнымалы құраушылары бойынша параллель –

$$R_{1,2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} >> R_{кір}.$$

Сұлбаның артықшылығы транзисторды ауыстыру кезінде қолайсыздық туғызбайды, кемшілігі – температураны өзгерткенде жұмыс режимі ауысады.

7.2.2 Жұмыс нүктесін базалық тыныштық токпен ығыстыру.

Сұлбада (7.3 сурет) ығысу, $E_к$дан $R_б$, *БЭ*, ⊥ ; – $E_к$; $E_{ығыс.}=U_{БЭ}=E_к - I_б R_б$ арқылы ағатын базалық тыныштық токпен туады.

Осы жерден, қажетті ығысуды қамтамасыз ету үшін сұлбаға орнату керек $R_б$, кедергісін анықтауымызға болады

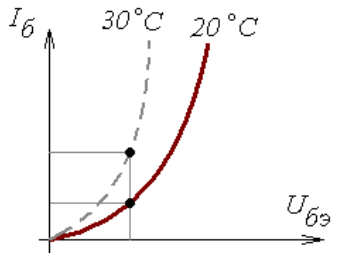
$$R_б = \frac{E_к - E_{см}}{I_{бп}} = \frac{E_к - U_{бэ}}{I_к/\beta}.$$

Сұлбаның кемшілігі, транзисторды ауыстырғанда және қоршаған ортаның температурасы өзгергенде, ығысудың өзгеруі болып табылады.

7.3 Күшейткіш каскадта режимді тұрақтандыру

7.3.1 Транзистордың көрсеткіштерінің температураға тәуелділігі.

Температураны арттырғанда:



7.4 сурет

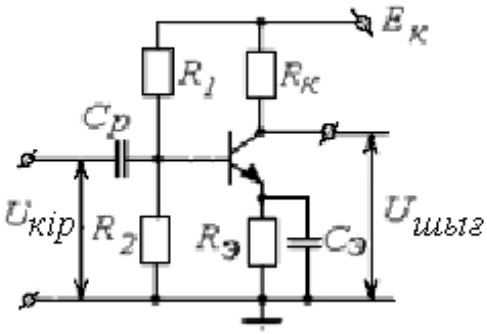
а) $I_{к0}$ коллектордың жылулық тогы артады;

б) кіріс сипаттама солға қарай ығысады (7.4 сурет). Кернеудің температуралық коэффициенті *КТК=–2,5 В/°С,* ал ығысу $\Delta U_{бэ}=\gamma\Delta t$ $\gamma=(2,2...2,5)10^{-3}$.

Температураның әсерін азайту үшін, яғни жұмыс режимін тұрақтандыру үшін, арнайы көрсеткіштерді термотұрақтандырғыш немесе термокомпенсация тізбектері енгізіледі.

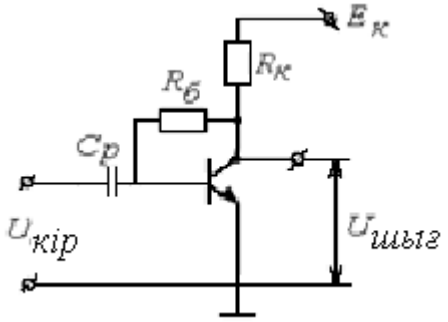
7.3.2 Жұмыс нүктесін эмиттерлік термотұрақтандыру.

Сұлба тыныштық нүктесінің жоғары тұрақтылығын қамтамасыз етеді. $R_э$ ден алынатын, ток бойынша тізбектей теріс кері байланыс (ТКБ) (7.5 сурет) қолданылады. Ығысу R_1, R_2 кернеу бөлгіші арқылы жасалып, R_2 ден өлшеніп алынады. $1/(\omega\ C_э) << R_э$ жиіліктері үшін $R_э$ні тұйықтай отырып, жиіліктердің жұмыс жолағында айнымалы құраушылары бойынша КБ алдын алу үшін $C_э$ қойылады. Тек $x_c= 0,1\cdot R_э$ шарты орындалуы қажет.



7.5 сурет

Қоршаған ортаның температурасын *T* ұлғайтқан кезде коллекторлық ауысудың $I_{к0}$ жылулық тогыда артады, сәйкесінше коллектор тогыда арта түседі ($I_к= I_{к0}+\beta I_б$). Бұл эмиттер тогының $I_э$ ($I_э= I_к+ I_б$) және $R_э$ ($U_{Rэ}= I_э\ R_э$)гі $U_{Rэ}$ құлау кернеуінің үлкейуіне әкеліп соғады. Онда базадағы ығысу $U_{бэ}$ азаяды, өйткені $U_{бэ}= U_{R2} – U_{Rэ}$. $U_{бэ}$ азаюы коллекторлық токтың өсуін тежейді, сонымен бірге оның мәнін тұрақтандырады.



7.6 сурет

7.3.2 Коллекторлық термотұрақтандыру.

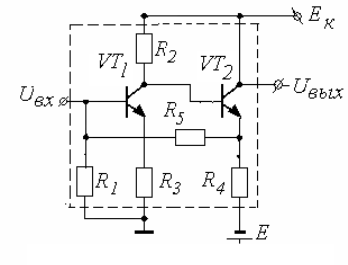
$R_б$ арқылы кернеу бойынша параллель теріс кері байланыс (ТКБ) (7.6 сурет) қолданылады.

Қоршаған ортаның температурасын *T* өсірген кезде, коллекторлық ауысудың жылулық тогы $I_{к0}$ артады, сәйкесінше коллектор тогыда $I_к$ артады. $R_к$ дағы құлау кернеуіде үлкейеді, ал ол $U_к$ мен база тогының $I_{бт}$ $I_{бт} = U_{кэ}/R_б$ азаюына әкеліп соғады.

База тогының азаюы коллектор тогыныңда азаюына әкеледі яғни, бастапқы мәнге қайта оралады.

Сұлбаның артықшылығы, базаға ығысу $E_к$дан $R_к$ және $R_б$ арқылы жасалатындықтан, арнайы ығысу тізбегі қажет етілмейді. Бірақ, тізбекте айнымалы құраушылары бойынша ТКБ болғаны, күшейту коэффициенті мен кіріс кедергісін кемітеді, осы кемшілігі болып табылады.

7.4 ИС ЖН термотұрақтандыру



7.7 сурет

Күшейткіш каскадтардың ИС көп таралған түрлерінің біреуі, 7.7 суретте көрсетілген сұлба болып табылады, тек конденсаторларсыз, яғни эмиттерлік термотұрақтандыру сұлбасы. Сонымен қатар, шығысында эмиттерлік қайталағышы бар сұлбада жиі қолданылады (7.7 сурет).

Мұнда R_5 – КБ кедергісі. R_4 – КБ кірісі, R_1 – КБ шығысы. Кернеу бойынша ($U_{шыг.күш.}$ пен $U_{кір.КБ}$ бір нүктеде жалғанған) параллель КБ ($U_{кір.күш.}$ пен $U_{шыг.КБ}$ бір нүктеде жалғанған және өз ара параллель) орын алады.

Кері байланыс теріс болады өйткені, $U_{шыг.КБ}$ күшейткіштің кіріс кернеуімен $U_{кір.күш.}$ фаза бойынша қарама қарсы. VT_1 (*ОЭ бар*) бірінші каскад фазаны π бұрады, ал VT_2 (*ОК бар*) екінші каскад фазаны өзгертпейді, яғни жалпы фазалық ығысу π тең.

R_3 қосымша ток бойынша тізбектей теріс жергілікті КБ туғызады.

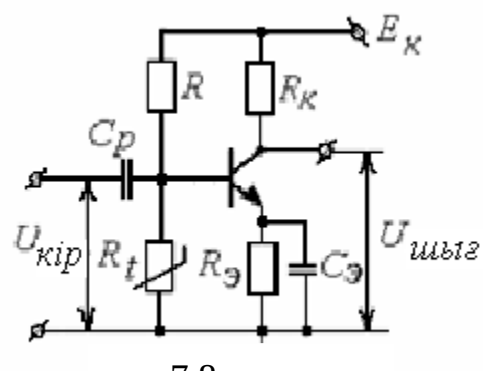
7.5 Жұмыс нүктесін термокомпенсациялау

Жоғары тұрақтылықты алу және қуаттың шашырауын азайту үшін, сызықсыз термосезімтал кедергілер: термисторлар, диодтар және ерекше кедергінің температуралық коэффициенті (КТК) бар басқа да элементтерді, қолдануға болады.

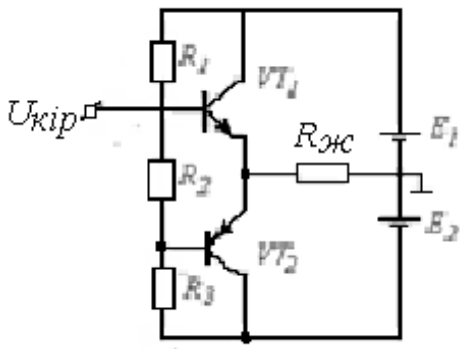
7.8 суретте режимнің термокомпенсациясы қолданылған. Базалық бөлгіштің тізбегіндегі термистордың кедергісі R_t температураға тәуелді (t). Температураны арттырсақ коллекторлық ауысудың жылулық тогы $I_{к0}$ арта түседі, сәйкесінше коллектор тогы да $I_к$ артады, сонымен бірге R_t кедергісі азаяды, $U_б$ ығысу кернеуі және коллектор тогы азаяды.

7.6 Күшейткіштердің шығыс каскадтары

Шығыс каскадтары – бұл, қуат күшейткіштері. Олар, максимал мүмкін болатын ПӘКде және минимал сызықсыз бұрмалануларда, жүктемеде максимал қуатты алу үшін қызымет атқарады.



7.8 сурет



7.9 сурет

Микроэлектроникада А күшейту класын ПӘК төмен болғандықтан, өте сирек қолданады. Әйгілілеулері *В* және *АВ* кластарының екі тактілі күшейткіштері.

Базалық тізбегінде кернеу бөлгіші бар бестрансформатолық қуат күшейткішінің көп түрінің бірін қарастырайық (7.9 сурет). Мұндай сұлба қосымша симметриясы бар сұлба деп те аталады. Мұндағы R_1, R_2, R_3 – *В* класында ығысу тудыратын кернеу бөлгіш.

$R_1 = R_3 >> R_2$ шарты орындалуы қажет.

R_2 ортаңғы нүктесінің нөлдік потенциалы бары анық. Екі транзистордың да базаларын айнымалы ток бойынша тұйықталған деп есептеуге болады және кіріс кернеуді базалардың біріне түсіруге болады. Сигнал екі транзисторғада бір фазада берілетіндіктен, олар кезектесе жұмыс істейді. R_2 орнына әдетте диодтар қояды. Әр диодта *U*= 0,7 В* кернеу құлайды, ал ол *В* класс режимі қамтамасыз ететін ығысуды туғызады.

Ортақ коллектормен қосылған транзисторлардың қосылу сұлбалары.

8 Дәріс №8. Дифференциалдық күшейткіш

Дәріс мазмұны:

– дифференциалдық күшейткіш;

– тұрақты ток генераторы бар дифференциалдық күшейткіш;

– динамикалық жүктемесі бар дифференциалдық күшейткіш.

Дәрістің мақсаттары:

– дифференциалдық күшейткішті оқып үйрену;

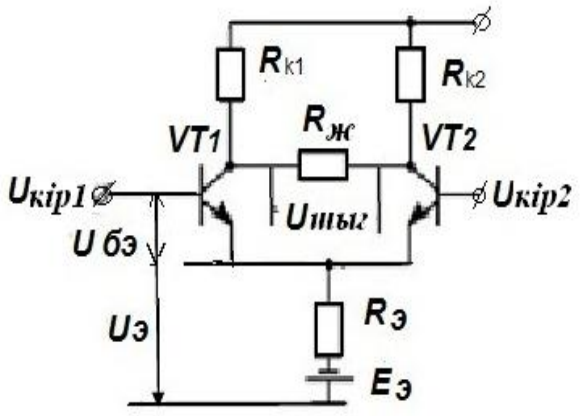
– дифференциалдық күшейткіштің жұмыс істеу режимдерін оқып үйрену;

– синфазалық сигналдың әсерін, оны тұрақты ток генераторы бар дифференциалдық күшейткіште (ТТГ ДК) азайту, ТТГ ерекшеліктерін оқып үйрену;

– динамикалық жүктемесі бар дифференциалдық күшейткішті оқып үйрену.

8.1 Дифференциалдық күшейткіш

8.1.1 Дифференциалдық күшейткіштің (ДК) сұлбасы.



8.1 сурет

Тұрақты ток күшейткішінің (ТТК) дрейфін азайтудың бір амалы – ол параллельді балансты (дифференциалдық) каскадтарды қолдану болып табылады.

ДК сигналдардың арасындағы айырмасын күшейтеді. Олар негізінен БТ және ӨТ негізінде жасалады.

Балансты схема деп аталуы, бұл күшейткіштің шығыс тізбегі балансталған көпір болып табылады, оның бір диагоналына - қоректену көзі қосылып, ал екінші диагоналына - жүктеме кедергі қосылған. Көпірдің бірінші екі иығындағы біріне-бірі параллель резисторлар R_{K1} мен R_{K2}, біріне-бірі шама жағынан тең де, яғни $R_{K1} = R_{K2}$. Ал екінші иығындағы біріне-бірі параллель екі транзистор VT1 мен VT2 көрсеткіштері жағынан бірдей болатындай етіп орнатылады.

Сондықтан, жалпы түрде сұлба параллельді – балансты деп аталады.

$R_Э$ резисторы, транзисторлардың тоғын тұрақтандыру үшін қойылады.

1) $R_{K1}= R_{K2}$;

2) VT1 және VT2 – көрсеткіштері бірдей болып алынады;

3) $E_K = E_Э$ қоректендіру екі қорек көзінен алынады;

4) жалпы сұлбаны қоректендіру $E_{ҚОР}=E_K+E_Э$.

Дифференциалдық күшейткіштің кірісіне U_{KIP1} және U_{KIP2} сигналдарын берсек, онда каскадтың шығысында кернеу:

$$U_{ШЫҒ} = U_{KIP1} - U_{KIP2} = K_Д (U_{KIP1} - U_{KIP2}), \quad (1)$$

$K_Д$ – дифференциалдық күшейту коэффициенті.

Күшейткіштің дифференциалдық деп аталуы, ол тек қана дифференциалдық (айырмашылдық) сигналдарды күшейтеді, яғни бірінші және екінші кірістер арасындағы сигнал кернеуінің айырмасын күшейтеді, U_{KIP1}-U_{KIP2} айырымын.

1) U_{KIP1} мен U_{KIP2} кернеулерінің таңбалары әр түрлі болса, яғни фаза бойынша қарама-қарсы болса, U_{KIP1}-U_{KIP2} айырымы өте үлкен болады, өйткені олардың абсолюттік мәндері қосылады, мұндай кіріс сигнал дифференциалдық кіріс сигнал деп аталады.

2) Ал, егер U_{KIP1} мен U_{KIP2} бірдей фазада болса, онда сигнал синфазалы деп аталады.

Дифференциалдық күшейткіштің кірісіне симметриялы синфазалы сигнал берсек, яғни $U_{KIP1}=U_{KIP2}$, онда олардың айырымы $U_{KIP1} - U_{KIP2} = 0$ тең болады, ал ДК-тің шығысында сигнал болмайды (1) формула бойынша.

Сөйтіп, ДК синфазалық сигналды әлсіретіп, дифференциалдық сигналды күшейтеді.

ДК толығымен симметриялы бола алмайды, себебі дәлме-дәл бірдей R_{K1} мен R_{K2}, VT1 мен VT2-ні таңдап алуға болмайды.

Сондықтан, синфазалық сигнал бергенде ДК шығысында кішкентай кернеу $\Delta U_{СФ}$ болады.

Синфазалық сигналды күшейту коэффициенті:

$$К_{СФ} = \Delta U_{СФ}/\Delta U_{КІР.СФ}.$$

ДК синфазалық сигналды мүмкіндігінше көп әлсірету қабілетін синфазалық сигналды әлсірету коэффициентімен сипаттайды:

$$К_{ССӘК} = 20\lg(К_{СФ}/К_{Д}); \qquad (\approx 60\div100 \text{ дБ}).$$

8.1.2 Дифференциалдық күшейткіштің жұмыс істеу режимдері.

а) тыныштық режимі (кіріс сигналдарының көздері жерге қосылған),

$U_{КІР1} = U_{КІР2} = 0$, сәйкесінше $U_{БЭ1} = U_{БЭ2} = -U_{Э}$.

Өз кезегінде $U_{Э} = -E_{Э} + (I_{Э1} + I_{Э2})R_{Э} \leq 0$ болады, бұдан мынадай қорытынды жасауға болады, $U_{БЭ1} = U_{БЭ2} \geq 0$.

Екі транзисторда активті режимде жұмыс істейді. Оның бойынан тыныштық токтары ағады. $I_{К1} = I_{К2} \geq 0$, бұл токтар $R_{К1}$ мен $R_{К2}$-де бірдей құлау кернеулерін туғызады, сәйкесінше $U_{К1} = U_{К2}$, шығыс кернеуі $R_{Ж}$-дан алынады, $U_{ШЫҒ} = U_{К1} - U_{К2} = 0$.

Сұлбаның артықшылықтары:

1) потенциалдарды келістіру үшін ЭҚК компенсациялайтын қорек көзін қажет етпейді;

2) нөльдік дрейфті азайтады.

Мысалы, қоректендіру кернеуінің тұрақсыздығынан пайда болатын дрейфті қарастыратын болсақ: $E_{К}$-ң шамасы үлкейді делік, онда $I_{К1} = I_{К2}$ коллекторлардағы токтарының шамалары да арта түседі және коллекторлардағы кернеулердіңде шамасы бірдей шамаға өзгереді $\Delta U_{К1} = \Delta U_{К2}$ және $U_{ШЫҒ} = 0$ болады.

б) кірісте сигналдар бар кездегі режимдер. Сигналды үш түрлі әдіспен беруге болады.

1) Кіріс сигналды базалардың арасына беру:

а) $e_{C} \geq 0$;

ә) онда $U_{КІР1} = e_{C}/2$; $U_{КІР2} = -e_{C}/2$;

б) коллектордағы токтардың өсімшесі $0 < I_{К1} = -\Delta I_{К2}$.

Кернеулердің өсімшесі $0>\Delta U_{К1}=-\Delta U_{К2}$, онда шығыс кернеу $U_{ШЫҒ} = U_{К1} + \Delta U_{К1} - U_{К2} + \Delta U_{К2} = 2\Delta U_{К}$.

Коллектор тогының өзгерісі, эммиттердегі токты да өзгертеді $0 \leq \Delta I_{Э1} = -I_{Э2}$, эммиттердегі жалпы ток $I_{Э}=I_{Э1}+I_{Э2}$, сәйкесінше $I_{Э}=I_{Э1}+\Delta I_{Э1}+\Delta I_{Э2}-\Delta I_{Э2}= I_{Э1}+I_{Э2}=const$ – эмиттер тогы тұрақты болады, $U_{Э}=const$, $\Delta U_{Э}=0$.

2) Сигнал ДК бір кірісіне беріледі, ал екіншісі жерленеді. Кірістер дифференциалдық деп аталады.

$U_{КІР1} = e_{C} \geq 0$, $U_{КІР2} = 0$.

$\Delta I_{Б1} \geq 0$, $\Delta I_{Э1} \geq 0$, $\Delta U_{К1} \leq 0$.

$I_{Э1} + I_{Э2} = const$ – тұрақты құраушылар бойынша кері байланыстың арқасында эмиттер тогы тұрақты болады. Сәйкесінше $\Delta I_{Э2} = -\Delta I_{Э1}$, $\Delta I_{К2} = -\Delta I_{К1}$, $\Delta U_{К2} = -\Delta U_{К1}$, онда $U_{ШЫҒ} = U_{К1}-U_{К2} = \Delta U_{К2}-\Delta U_{К1}=2\Delta U_{К}$.

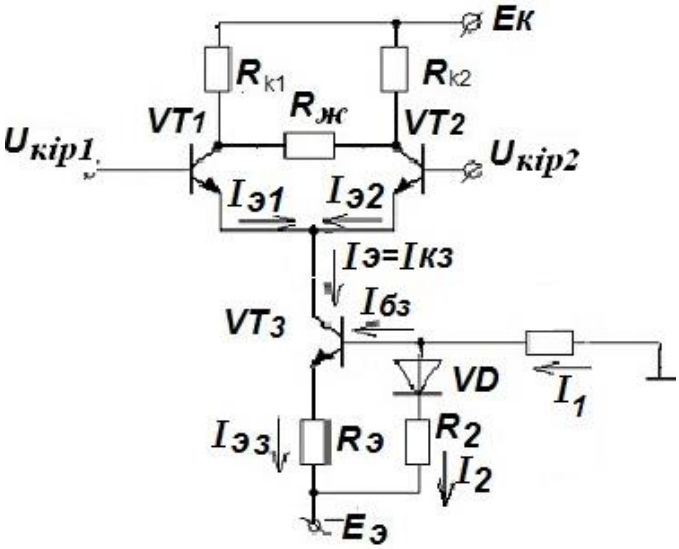
2) Екі тәуелсіз қорек көздерінен, сигналдар екі кіріске де беріледі. Мұнда суперпозиция принципі іске асырылады

$U_{ШЫҒ} = K(U_{КІР1} - U_{КІР2})$, К – дифференциалдық күшейткіштің күшейту коэффициенті.

Егер шығыс сигналды коллекторлардың арасынан алатын болса (симметриялық шығыс) деп аталады, ал тек бір коллектордан алса (симметриялық емес шығыс) деп аталады.

8.2 Тұрақталған ток генераторы бар ДК. Қосылу схемасы

Синфазалық сигнал (СС) дегеніміз, сұлбаның екі кірісіне бір уақытта әсер ететін сигнал. Ол қоректену кернеуінің өзгеруінен, температураның өзгеруінен және т.б. әсерінен пайда болатын бөгет сигнал. Яғни сұлбада оның әсерін әлсірету қажет.



8.2 сурет

Синфазалық сигналдың әсерін азайту үшін, эмиттер тогын тұрақтандыру керек.

Мысалы, екі кіріске де СС әсер етеді делік. Ол коллектордағы токтарды арттыруға тырысады, ал коллектордағы токтардың қосындысы дегеніміз – ол эмиттердегі токты береді, ал эмиттердегі ток тұрақты шама болып табылады. Сондықтан коллектордағы ток өспейді және $U_К$ мен $U_{ШЫҒ}$ өзгермейді.

Эмиттердегі токты $I_Э$-ні тұрақтандыру үшін, $R_Э$-нің шамасын арттыру керек, ал оны арттырсақ, қоректену кернеуінің де шамасын ұлғайту керек болады, ал оны өзгертуге болмайды. $R_Э$-нің орнына токтың қоректену көзін немесе тұрақты ток бойынша аз ғана кедергісі бар, ал айнымалы ток бойынша үлкен кедергісі бар, транзистор негізінде жасалған, тұрақталған ток генераторын пайдалануға болады.

ТТГ-ң сұлбасына: VT_3 транзисторы, VD диоды, R_1, R_2 және $R_Э$ кедергілері, $E_Э$ – қоректену көзі кіреді.

1) $I_Э = I_{Э2} + I_{Э1}$ – тең болады, бұл $I_Э$ VT_1 және VT_2 транзисторлары үшін $I_{Э1}$ мен $I_{Э2}$ қосындысын анықтайды, және ол ТТГ-нан, VT_3 – негізінде беріледі.

2) Ал оның шығыс кедергісі $R_Э$-ден біршама үлкен болады.

3) VT_3 транзисторының базасына ығысу R_1, R_2, VD бөлгіші арқылы беріледі.

4) VD диоды термокомпенсация үшін қажет.

5) $R_1 \gg R_2$, $R_Э$ деген шарт орындалуы керек. R_1 арқылы ағатын ток тұрақты және R_1-дің шамасы үлкен болғандықтан температураға тәуелсіз өз кезегінде, $I_1 = I_2 + I_{Б3}$ тең болады.

6) Температураны жоғарлатқанда, кіріс сипаттама солға ығысады, яғни $I_{Э3}$ үлкейеді. Сонымен бірге VD диодтың кедергісі төмендейді, I_2 тогы өседі және $I_{Б3}$ тогы азаяды, ал ол $I_{Б3} = I_1 - I_2$. Сонымен бірге $I_{к3} = \alpha I_{Б3}$ тогыда азаяды. Сондықтан, сол себептен ДК-тің $I_Э$ тогы тұрақты болып тұрады.

$t\uparrow$: $I_{кір} = f(U_{кір})$ – солға қарай ығысады, $I_{Э3}\uparrow$, $R_{VD}\downarrow \Rightarrow I_2\uparrow\Rightarrow I_{б3}\downarrow$:$I_{б3} = I_1 - I_2$

$I_{б3}\downarrow$-са, $I_{к3} = \alpha * I_{б3}\downarrow$, сондықтан $I_{э3}$ тоғы тұрақты болады.

$I_э$ тоғын, күрделі емес түрлендіруден аналитикалық жолмен алуға болады:

1) $I_{б3} \ll$ Iэ болғандықтан $I_{э3} \approx I_{к3}$ = Iэдеп есептеуге болады, онда $U_{б3}$ + Iэ $\cdot R_э = I_2 \cdot R_2 + U_{VD}$;

2) $I_{б3} \ll$ Iэ болғандықтан, онда $I_1 = I_2$

$$I_1 = \frac{Eэ - Uvd}{R1+R2} \approx \frac{Eэ}{R1+R2},$$

$U_{VD} \approx U_{бэ3}$, онда $I_э$-ні былай табамыз.

$I_э = \frac{I1 \cdot R2 + (UVD - Uбэ3)}{Rэ} \approx \frac{I1 \cdot R2}{Rэ}$, яғни Iэ-тоғы температураға аз тәуелді, ТТТ-нан талап етіліп отырғаны да осы.

8.3 Дифференциалдық күшейткіш сұлбаларының түрлері

ДК сұлбаларының түрлерін (өндіргенде) жасағанда негізгі мақсат: күшейткіштің күшейту коэффициентін жоғарлату және кіріс кедергісін жоғарлату болып табылады.

ДК-ның сұлбаларының келесідей түрлері қолданылады:

а) ДК-тің кірістеріне қосарланған транзисторлар (Дарлингтон жұбы) қойылады, олардың кіріс кедергілері әлде қайда жоғары болады және ток беру коэффициенті екі транзистордың ток беру коэффициентінің көбейтіндісіне тең болады;

б) ДК-тің кірістеріне эмиттерлік қайталағыштар қойылады, олардың кіріс кедергілері жүздеген килоОм шамасында болады;

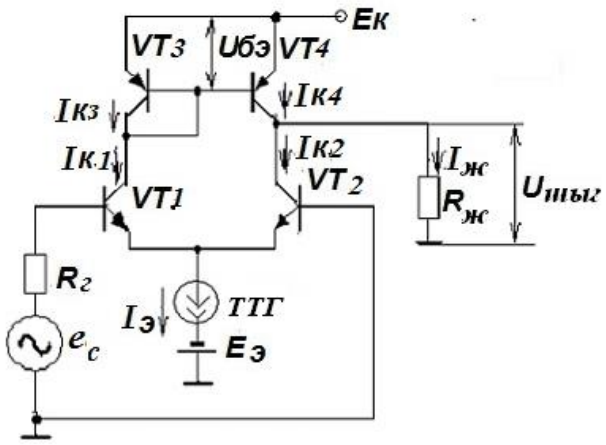
в) кірісінде ӨТ-ры бар ДК;

г) динамикалық жүктемесі бар ДК.

8.4 Динамикалық жүктемесі бар ДК

Қосылу сұлбасы.

Күшейткіштің K_U – кернеу бойынша күшейту коэффициентін үлкейту үшін оның R_K-ның коллекторлық жүктемесін үлкейту керек, бірақ ол кезде E_K-ны қоректену көзінің кернеуін үлкейту қажет болады. Интегралдық сұлбаларда, R_K-ның шамасын үлкейту, тиімсіз болып табылады, өйткені ол, ИС-ң ауданы мен көлемінің үлкейуіне әкеліп соғады. Сол себептен ИС динамикалық жүктеме қолданылады, яғни R_{K1} мен R_{K2} кедергілерінің орнына



8.3 сурет

VT_3 және VT_4 транзисторлары қойылады екен, олардың тұрақты тоқ бойынша төмен, ал айнымалы тоқ бойынша жоғары кедергісі болады.

VT_3 және VT_4 транзисторлары негізгі транзисторларға қарама – қарсы полюста қосылады.

VT_1 және VT_4 транзисторлары – n-p-n-текті – негізгі жүктеме.

VT_3 және VT_4 транзисторлары – p-n-p-текті – коллекторлық жүктеме.

Бұл транзисторлар бір- бірімен коллекторларымен жалғанған.

VT_3 транзисторы диодтық қосылуда қолданылады.

Эмиттерлік тізбегінде ТТГ қойылады, ол сұлбаның жұмысына синфазалық сигналдың әсерін азайту үшін қосылады.

ДК-тің кірісі – дифференциалдық, ал шығысы – біртактілі деп аталады.

VT_3 және VT_4 транзисторлары, тоқтардың көрінісі, тоқтық айналар сұлбасы бойынша қосылған.

1) I_{k1} тоғы VT_3транзисторы арқылы ағып, $U_{бэ3} = U_{бэ4}$ транзисторының базаларында бірдей ығысу тудырады. Сондықтан $I_{k3} = I_{k4}$, ал I_{k3} - I_{k1}- дің тоғы болып табылады, яғни $I_{k1} = I_{k4}$– ке. VT_4транзисторы, VT_1- дегі тоқтардың өзгерісін қайталайды, яғни I_{k4} толығымен I_{k1}– ді қайталайды, сол себептен VT_3 және VT_4транзисторлары тоқтық айна деп аталады.

2) $I_{шығ}$, $U_{шығ}$ және K_u –ды табайық. Сұлбаның кірісіне e_c - сигналы берілген, онда базадағы тоқтардың өсімшелері $\Delta I_{б1} = I_{кір}$және$\Delta I_{б2} = I_{кір}$ - тең. Онда коллектордағы тоқтар:

$$I_{к1} = \frac{I_э}{2} + \beta I_{кір}, \text{онда } I_{к2} = \frac{I_э}{2} - \beta I_{кір}$$

$$I_{к1} = I_{к4},\ I_{к4} = \frac{I_э}{2} + \beta I_{кір}$$

1) Дифференциалдық күшейткіштің шығысындағы тоқ :

$I_ж = I_{к4} - I_{к2} = 2 \cdot \beta \cdot I_{кір}$.

Көріп отырғанымыздай ДК-тің шығысындағы тоқ β– есеге және 2 есеге күшейеді екен.

2) ДК-тің шығысындағы кернеу

$U_{шығ} = I_ж \cdot R_ж = 2 \cdot \beta \cdot I_{кір} \cdot R_ж$,

$R_ж$ – келесі каскадтың кіріс кедергісі.

3) ДК-тің кернеу бойынша күшейту коэффициенті

$$K_U = \frac{U_ш}{e_c} = \frac{2\beta I_{кір} R_ж}{e_c} = \frac{2\beta I_{кір} R_ж}{I_{кір}\{R_г + 2[r_б + r_э(1+\beta)]},$$

$$R_г \to 0,\ K_U = \frac{\beta R_ж}{r_б + r_э(1+\beta)}.$$

$R_ж$ – ның шамасы бірнеше жүздеген кило Ом болуы мүмкін , сәйкесінше, ДК-тің күшейту коэффициентінің, кернеу бойынша K_u-дың шамасы бірнеше жүздеген және мыңдаған болады.

Сондықтан, тоқтарды бейненлегіш K_u-дың жоғары мәнін және біртактілі шығыста сигналды екі еселендіре алады екен.

9 Дәріс №9. Операциялық күшейткіштердің негізгі көрсеткіштері

Дәрістің мазмұны:

– операциялық күшейткіштердің негізгі көрсеткіштері мен тағайындалуы;

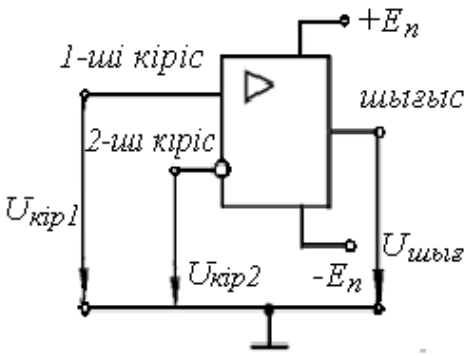
– екі каскадты операциялық күшейткіш.

Дәрістің мақсаттары:

– интегралдық операциялық күшейткіштердің негізгі көрсеткіштері мен сипаттамаларын және олардың ерекшеліктерін оқып үйрену;

– екі каскадты операциялық күшейткіштің жұмыс істеу принципін оқып үйрену.

9.1 Операциялық күшейткіштердің негізгі көрсеткіштері мен тағайындалуы



9.1 сурет

Операциялық күшейткіш (ОК) дегеніміз дифференциалдық кірісі және біртактілі шығысы бар, әмбебап тұрақты тоқ күшейткіш.

ОК-тер – конструкциялық жағынан біртұтас жасалатын, өте кішкене көлемді, жоғары сапалы, жоғары стабильді, жиілік бойынша кең ауқымды, өте үлкен күшейту коэффицциенті бар тұрақты тоқ күшейткіштері.

ОК-жартылай дифференциалдық каскадтардан тұратын, күрделі көп каскадты электрондық құрылғы болып табылады.

ОК-тің бірінші каскадтары кернеу шамасын күшейтуге бағытталса, қалғандары жүктемедегі ток (қуат) шамасын күшейтуге арналған.

Бұл күшейткіштің атауы алғашқыда оларды математикалық операциалар, амалдар: қосу, алу, көбейту, логорифмдеу және т.б. жүргізуге қолданудан туған. Қазіргі кезде ОК-тер әмбебап құрылғылар болып табылады.

ОК-тің шартты белгісі 9.1 суретте келтірілген.

Мұнда:

1 кіріс – терістемейтін кіріс, яғни шығыс сигнал фаза бойынша кіріс сигналмен сәйкес келеді;

2 кіріс – терістейтін кіріс, яғни шығыс сигнал кіріс сигналға фаза бойынша қарама-қарсы;

шығыс – біртактілі;

$+E_{ҚОР}$ және $-E_{ҚОР}$ – екі қоректену көзінің шықпалары немесе екі полярлы көздің шықпалары.

Идеалды ОК келесі көрсеткіштермен сипатталады:

1) кернеу бойынша күшейту коэфиценті, $K_U \to \infty$;
2) кіріс кедергісі, $R_{КІР} \to \infty$;
3) шығыс кедергісі, $R_{ШЫҒ} \to 0$;

Мұндай көрсеткіштер сұлбада терең кері байланысты (КБ) қолдануға мүмкіндік береді және ОК қасиеттері КБ тізбегінің элементтерінің көрсеткіштерімен ғана, анықталады. КБ-тың әр түрін қолдана отырып, әр түрлі математикалық амалдарды орындауға болады.

Реалды ОК-тің сипаттамалары идеалдыдан аз ғана ерекшеленеді.

Идеалды, реалдыны әдетте статикалық және динамикалық көрсеткіштері деп те айтады.

Реалды ОК-тің негізгі көрсеткіштері:

1) дифференциалдық сигналды күшейту коэффиценті:

$K_{диф} = \dfrac{U_ш}{U_{кір.диф.}} = \dfrac{U_ш}{U_{кір.1} - U_{кір.2}}$, шамасы ($10^5$) дейін болады,

2) синфазалық сигналды күшейту коэффиценті:

$K_{сф} = \dfrac{U_ш}{U_{кір.сф}}, \approx 10^{-3} \div 10^{-5}$;

3) ОК-тің синфазалық сигналын сөндіру коэффиценті, дБ-мен:

$K_{ссс} = 20\lg\dfrac{K_{диф.}}{K_{сф}}, \approx (80 \div 100) дБ$,

4) $R_{КІР.}$, әдетте 400 кОм (ондаған кОм-нан, ондаған МОм дейін болады),

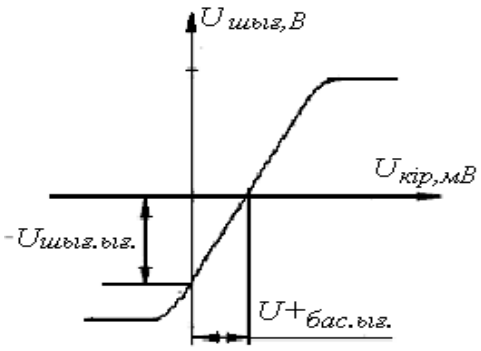
5) $R_{ШЫҒ.}$, $\approx 20 \div 2000$ *Ом*. $R_{ШЫГ} = \dfrac{\Delta U_{ШЫГ}}{\Delta I_{ШЫГ}}$.

6) $R_{КІР} = \dfrac{\Delta U_{КІР}}{\Delta I_{КІР}}$.

ОК-тің негізгі сипаттамалары:

1) амплитудалық немесе беріліс сипаттамасы;
2) АЖС, ФЖС.

Амплитудалық немесе беріліс сипаттамасы.



9.2 сурет

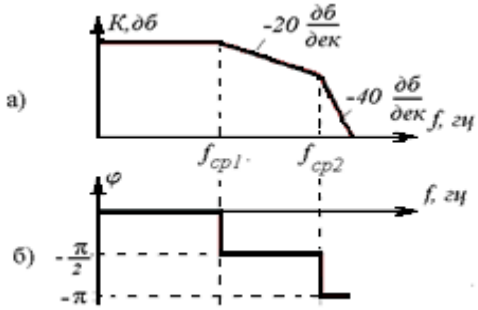
$U_{ШЫҒ} = F(Uкір)$ – шығыс сигналы амплитудасының кіріс сигнал амплитудасына тәуелді өзгеруін көрсетеді.

1-1' – күшейту режимі, күшейткіш оңда, терісте сигналды пропорцианал күшейте алады.

1-2 немесе 1'-2' аралықтары – сипаттаманың қанығу бөліктері.

Яғни, кіріс сигналы белгілі бір шамадан асқан соң (U_{K1})-ден, ОК-тегі шығыс сигналының өсуі доғарылады. Оның себебі де түсінікті: шығыс сигналы ($U_{ШЫҒ}$) өзін қоректендіріп отырған ЭҚК шамасынан (E_K) асып кете алмайды. Оның үстіне тізбектеле қосылған транзисторлардағы өзіндік кернеудің түсуі (2-3)В шамасында болса, онда шығыс сигналының ең үлкен амплитудасы қоректендіргіш көзінің кернеуінен осы шамаға төмен болады, яғни $U_{ШМ}=[E_K-(2-3)]В$, бұл анықтама кітаптарында арнайы көрсетіліп, негізгі көрсеткіштердің бірі болып саналады, $U_{Ы}$–ығысу кернеуі = [1 ... 3мВ].

Ығысу кернеуі технологиялық кемшіліктердің қалдығы болып табылады. Ол, дрейфке ұқсас, кіріс сигналы жоқ кезде, шығыс сигналы нөлге тең емес ($U_{Ш1}$). $U_Ш$ – шамасын нөлге тең ету үшін күшейткіш кірісіне белгілі бір бағытта, белгілі бір шамалы кіріс сигналын беруіміз керек. Осы шаманы ығысу кернеуі деп атайды, $U_{ыг.}$ Оның әдеттегі шамасы бірнеше 1...3 мВ болады.

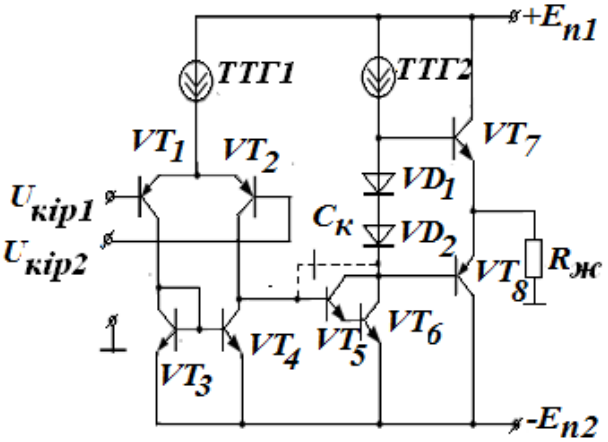


9.3 сурет

Амплитудалы жиіліктік сипаттама (АЖС), күшейткіштің күшейту коэффициентінің жиілікке тәуелді өзгерісін көрсетеді, – К = F(f). ОК-тің АЖС-ы жекелеген каскадтардың АЖС-ның қосындысынан тұрады. Жиіліктің он есе өзгеруі (бір декадаға), кернеу бойынша күшейту коэффициентінің он есе азаюына әкеліп соғады (яғни–20дб/дек). Екі каскадты ОК-тің, АЖС-да екі сынығы болады (әр каскад бір сынық енгізеді).

Фаза жиіліктік сипаттама (ФЖС), ОК-тің сигналдың фазасының жиілікке тәуелді графигі $\varphi = F(f)$. Әр каскад, жоғарғы жиілікте ($-\frac{\pi}{2}$) тең болатын, фазалық ығысу енгізеді. ФЖС-ға ($n\frac{\pi}{2}$)-шамасына кешігіп отырады, мұндағы n – ОК-тің каскадтарының саны. ОК-тің жұмысын тұрақтандыру үшін АЖС мен ФЖС-ды түзету (коррекция) талап етіледі.

f_T – бірлік күшейту жиілігі, яғни күшейту коэффиценті бірге тең болған кездегі жиілік.



9.4 сурет

Операциялық күшейткіштің екі каскадты модель сұлбасы 9.4 суретте көрсетілген.

Кіріс дифференциалдық күшейткіш $VT_1 \div VT_4$ транзисторларында тұрғызылған. VT_1 және VT_2 транзисторлары - *p-n-p*-типті. Динамикалық жүктеме (VT_3 және VT_4 - *n-p-n*-типті транзисторлары) токтық айна немесе токтарды шағылыстырғышты береді. Токтық айнасы бар ДК дифферен-циалдық кірісі және біртактілі шығысы болады. Эмиттерлік тізбектегі $ТТГ_1$ эмиттерлік токты тұрақтандыру және кернеудің дрейфін азайту үшін қойылады. Каскад, ОК-тің қажетті кіріс көрсеткіштерін қамтамасыз етеді.

Ортақ эмиттер сұлбасы бойынша VT_5 және VT_6 құрама транзисторларынан тұрғызылған екінші каскад, амплитудаларды күшейткіш болып табылады. ОК қажетті кернеу бойынша күшейту коэффициентін қамтамасыз етеді. Каскадтың жүктеме кедергісі ретінде, $ТТГ_2$ ток көзі қызымет атқарады. $C_K \approx 30$ *пФ* - сыйымдылығы жиіліктік сипаттаманы түзету үшін қойылады. VD_1 және VD_2 диодтары шығыс каскадта бастапқы жұмыс нүктесін ығыстыруды қамтамасыз етеді.

Шығыс каскадқа: VT_7 (*n-p-n*-типті) және VT_8 (*p-n-p*-типті) транзисторларының комплементар жұбы, VD_1 және VD_2 диодтары, $ТТГ_2$ тұрақталған ток генераторы, VT_6 транзисторы кіреді. Шығыс каскад *АВ* класының екі тактілі қуат күшейткіші болып табылады. $ТТГ_2$, VD_1, VD_2 және VT_6 тұратын кернеу бөлгіш, VT_7 және VT_8 транзисторларының жұмыс нүктесін ығыстыруды тудырады. Сонымен қатар, $R_д << R_{Ш.ТТГ2} = R_Ш$ болады. Қажетті бастапқы ығысу, алдында айтылғандай, VD_1 және VD_2 диодтарымен жасалады. Дәл осы диодтар, шығыс күшейткіштің тыныштық режимінің температуралық тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

ОК кірісінде сигнал болмаған кезде $U_{КІР.} = 0$ жүктеме арқылы ағатын ток $I_Ж = 0$ болады. VT_7 транзисторында U_{VD1} кернеуінің тура және VT_8 транзисторында U_{VD2} кернеуінің теріс ығысуымен алынған, VT_7 және VT_8 транзисторлары арқылы аз ғана бастапқы ток ағады. Диодтар тура бағытта қосылған және әркезде ашық болады өйткені, VT_6.транзисторының коллекторынан оң құлау кернеуін берген кезде, + $E_{к1}$ және – $E_{к2}$ қоректендіру кернеуінің көздерінің есебінен диодтың анодтарына катодтарына қарағанда үлкенірек оң кернеу берілген. Айнымалы құраушылары бойынша диодтардың кедергісі нөлге жуық болғандықтан, екі транзистордың да базалары айнымалы ток бойынша тұйықталған деп есептеуге болады. VT_7 және VT_8 транзисторлары кезектесе ашылады. VT_6 транзисторының коллекторынан оң құлау кернеуін берсек, VT_8 транзисторы жабылады да, ал VT_7 – ашылады. Ток:

+ $E_{қор.1}$, $кэ_{VT7}$, $R_ж$, - $E_{қор.1}$.тізбегі бойынша ағады. VT_6 транзисторының коллекторынан теріс құлау кернеуін берсек, VT_7 транзисторы жабылады да, ал VT_8 – ашылады. Ток: + $E_{қор.2}$, $R_ж$, $кэ_{VT8}$, - $E_{қор.2}$ тізбегі бойынша ағады.

10 Дәріс №10. Сигналдарды аналогтық өңдеу құрылғылары

Дәрістің мазмұны:

– терістейтін және терістемейтін күшейткіш;

– шешуші күшейткіштер: қосындылауыш, интегратор, дифференциатор, логарифмдеуші күшейткіш;

– компаратор және Шмидт триггері.

Дәрістің мақсаттары:

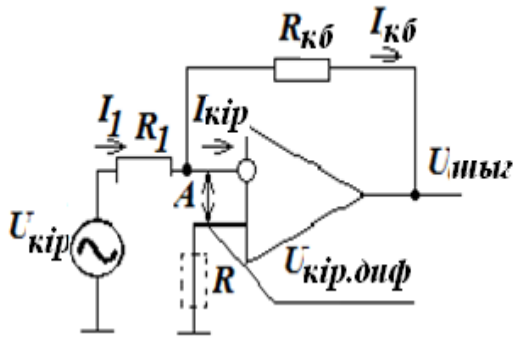
– шешуші күшейткіштердің сұлбаларының жұмысын оқып үйрену;

– компаратор және Шмидт триггерінің ерекшеліктерін оқып үйрену.

Операциялық күшейткіштерде әдетте теріс кері байланыс қолданылады, өйткені олсыз $U_{кір.диф.} = 0$ болса да, күшейту коэффициенті шексіздікке ұмтылады және $U_ш$ шектік мәнге жетуі мүмкін.

Теріс кері байланыс, берілген функциясы бар сұлбаны алуға, қажетті күшейту коэффициентіне жетуге, сұлбаның тұрақтылығы мен төзімділігін арттыруға, қажетті $R_{кір}$ және $R_ш$ мәндерін алуға және сызықты және сызықсыз бұрмалануларды азайтуға мүмкіндік береді.

10.1 суретте терістейтін күшейткіш сұлбасы келтірілген. Каскадтың күшейту коэффициентін анықтайық.



10.1 сурет

Егер ОКтің келесі көрсеткіштерін есімізге алсақ:

$$K_{дф} \to \infty;\ R_{кір} \to \infty; \qquad (10.1)$$

$$U_{кір.диф.} = \frac{U_ш}{K_{диф.}}. \qquad (10.2)$$

$K_{дф} \to \infty$ болса, онда $U_{кір.дф} \to 0$.

Сәйкесінше А нүктесін жерленген деп есептеуге болады. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша $I_1 = I_{кір.} + I_{КБ}$, кіріс кедергі $R_{кір.} \to \infty$ ұмтылса, онда $I_{кір.} = 0$ және $I_1 = I_{КБ}$. Енді терістейтін күшейткіштің күшейту коэффициентін анықтайық:

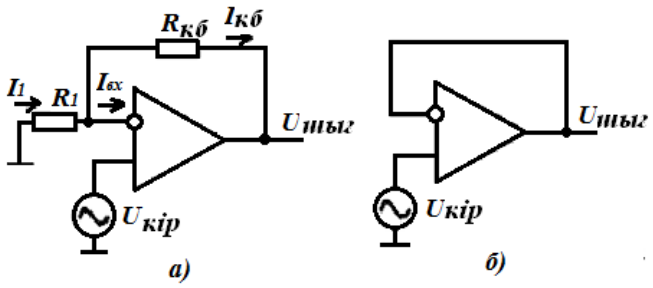
$$K_U = -\frac{U_ш}{U_{кір}} = -\frac{R_{КБ} \cdot I_{КБ}}{R_1 \cdot I_{КБ}} = -\frac{R_{КБ}}{R_1}. \qquad (10.3)$$

(10.3) бұл формуладан көріп отырғанымыздай, терістейтін күшейткіштің күшейту коэффициенті ОК-тің көрсеткіштеріне тәуелді емес, ол

тек енгізілген кері байланыс түрімен ғана анықталады. Мұнда кернеу бойынша параллель теріс кері байланыс орын алады. Егер $R_{КБ} = R_1 \Rightarrow K_U = -1$, бұл жағдайда күшейткіш терістегіш (инвертор) болады. Кіріс токтарды симметриялау (теңдестіру) үшін, терістемейтін кіріске *R* кедергісі қойылады, ол параллель қосылған $R_{КБ}$ пен R_1 арқылы анықталады,

$$R = \frac{R_{КБ} \cdot R_1}{R_{КБ} + R_1}.$$

10.2,а суретте терістемейтін күшейткіштің сұлбасы келтірілген. $R_{КБ}$–R_1 тізбегі, кернеу бойынша тізбектелген теріс кері байланыс туғызады. Кіріс сигнал ОКтің терістемейтін кірісіне беріледі. Мысалы, $K_{дф} \to \infty$ және $R_{кір} \to \infty$ шарттары орындалады деп есептесек, онда $K_{дф} \to \infty$ болғандықтан, $U_{кір.дф} \to 0$, ал $R_{кір} \to \infty$ болғандықтан $I_{кір.} = 0$ болады. Сұлбадан табамыз, онда терістемейтін күшейткіштің күшейту коэффициенті келесі мәнге тең болады:



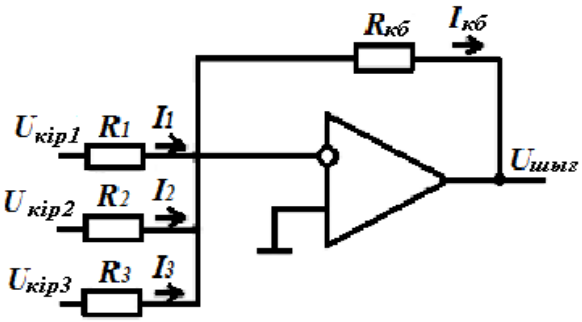
10.2 сурет

$$K_U = \frac{U_ш}{U_{кір}} = \frac{I_1(R_1 + R_{КБ})}{I_1 R_1} = 1 + \frac{R_{КБ}}{R_1}.$$

Егер $R_{КБ} = 0$ және $R_1 = \infty \Rightarrow K_U = 1$ болса, (10.2,б сурет) онда бұл сұлба кернеу қайталағышы болады. Мұнда кернеу бойынша тізбектелген ТКБ 100% орындалады. Шығыстағы сигнал кірістегі сигналды қайталайды.

10.3 суретте терістейтін қосындылауыш көрсетілген. Сұлба бойынша,

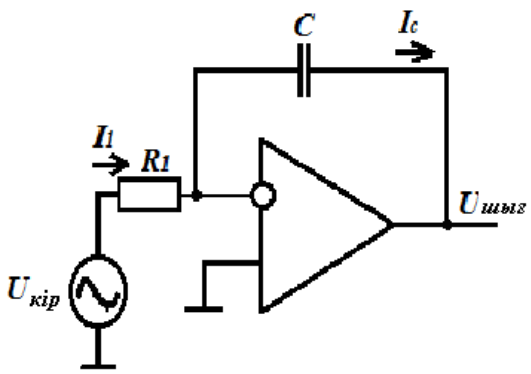
$$U_ш = -R_{КБ} \cdot I_{КБ} = -R_{КБ}\left(\frac{U_{кір1}}{R_1} + \frac{U_{кір2}}{R_2} + \frac{U_{кір3}}{R_3}\right).$$



10.3 сурет

10.4 суретте терістейтін интегратор (интегралдауыш) көрсетілген.

(10.1) шарттарынан $U_ш = -U_C$ болады. Конденсатор арқылы ағатын ток: $i_C = -\frac{dQ}{dt} = -\frac{CdU_C}{dt}$, ал кіріс ток $I_1 = \frac{U_{кір}}{R_1}$.



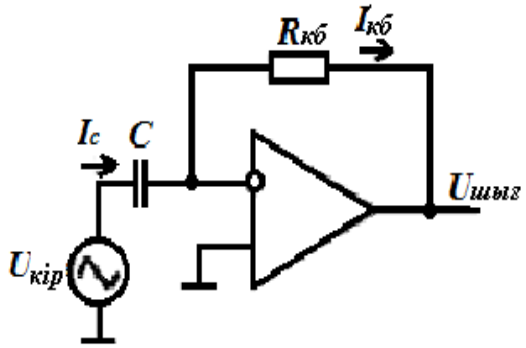
10.4 сурет

(10.1) формуладағы шарттар орындалатындықтан, $I_{кір.} = 0$ және $I_1 = I_C$. Сәйкесінше, $\frac{U_{кір}}{R_1} = -\frac{CdU_ш}{dt}$;

$dU_ш = -\frac{U_{кір}}{R_1 \cdot C}dt$, бұл теңдеуді интегралдап, келесі теңдеуді аламыз:

$$U_ш = -\frac{1}{R_1 C}\int_{t_1}^{t_2} U_{кір}dt = -\frac{1}{R_1 C}U_{кір}.$$

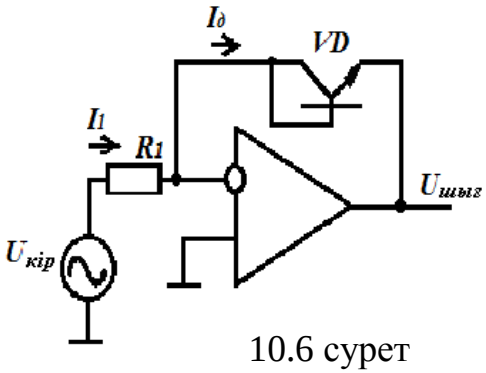
$U_ш$ сызықты түрде $U_{кір}$ тәуелді болады, бұл сұлба сызықты өзгеретін кернеу генераторының қарапайым сұлбасы болып табылады.



10.5 сурет

10.5 суретте терістейтін дифференциалдауыш сұлбасы келтірілген, мұндағы $R_{КБ}$ арқылы ағатын ток $I = -\frac{U_ш}{R_{КБ}}$ тең, ал C сыйымдылығы арқылы ағатын ток $i_C = C\frac{dU_{кір}}{dt}$ тең.

Кірістегі ток нөлге тең болғандықтан, $I_{КБ} = I_C$ және $\frac{U_ш}{R_{КБ}} = -C\frac{dU_{кір}}{dt}$ болады. Осы жерден $U_ш = -CR_{КБ}\frac{dU_{кір}}{dt}$.



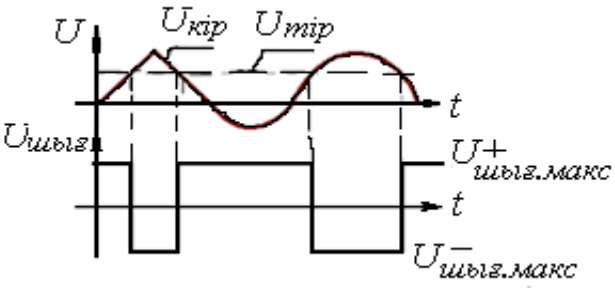
10.6 сурет

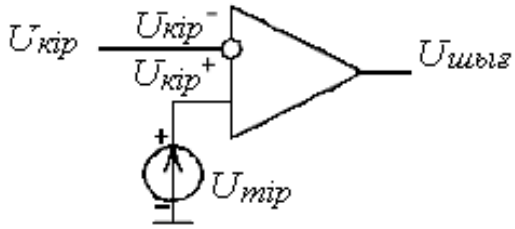
10.6 суретте келтірілген логарифмдік күшейткіш үшін $I_\partial = I_1$, мұндағы $I_\partial = I_0 e^{\frac{U_ш}{\varphi_T}}$, $I_1 = \frac{U_{кір}}{R_1}$.

Сәйкесінше, $I_0 e^{\frac{U_ш}{\varphi_T}} = \frac{U_{кір}}{R_1}$. Бұл жерден $U_ш = -\varphi_T \ln\left(\frac{U_{кір}}{R_1 I_0}\right)$.

Аналогтық сигналды тіректі кернеумен салыстыру үшін аналогтық компаратор қолданылады (10.7,а сурет).

10.7,а суретте ОК-тің терістемейтін кірісіне U_{TIP} тіректі кернеу, ал терістейтін кірісіне U_{KIP} аналогтық сигналы берілген.





а) б)

10.7 сурет

Бұл кезде келесідей шарттар орындалады (беріліс сипаттамасы):

Егер: $U_{кір} < U_{тір}$, онда $U_{шығ} = U^{+}_{шығ.макс}$.

Егер: $U_{кір} > U_{тір}$, онда $U_{шығ} = U^{-}_{шығ.макс}$.

Ал $U_{кір} = U_{тір}$ болса, $U_{шығ}=0$ болады. ОК күшейту коэффициенті жүз мыңдаған шамада болатындықтан, компаратордың шығысы қарама – қарсы мәнге ауысады.

10.8 суретте компаратодың жұмысын айқын көрсететін, оның кіріс және шығыс кернеулерінің уақыттық диаграммалары келтірілген.

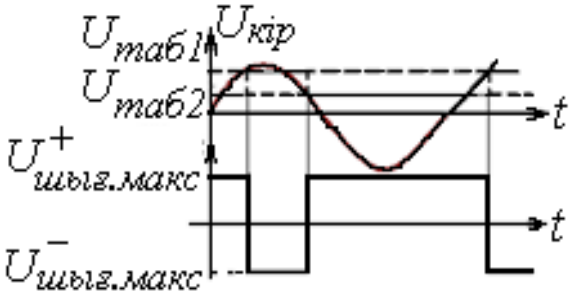
Компаратор – қисынды шығыс сигнал кірісіне түсірілген екі кернеудің қайсысы үлкен екенін көрсететін сұлба.

10.4 Шмидт триггері

Шмидт триггерінің екі тұрақты күйі бар және ол аналогтық сигналды импульстікке түрлендіреді.

10.9,а суретте триггердің принципиалды сұлбасы келтірілген, 10.9,б оның беріліс сипаттамасы.

R_1 және R_2 кедергілері оң кері байланыс туғызады, ол триггердің шығысының, оңнан теріске және керісінше, пәрменді күйде ауысуын қамтамасыз етеді. Триггердің ауысуы кезіндегі, табалдырықтық кернеуі келесі түрде анықталады:



10.9 сурет

$$U_{таб1} = U_{тір} + \frac{(U^{+}_{ш.макс} - U_{тір})R_2}{R_1 + R_2};$$

$$U_{таб2} = U_{тір} - \frac{(U^{-}_{ш.макс} + U_{тір})R_2}{R_1 + R_2}.$$

10.9 суреттен көріп отырғанымыздай,

1) егер $U_{кір} = 0$, онда шығыста $U_{шығ} = U^{+}_{шығ.макс}$, терістемейтін кірісіне $U^{+}_{кір}$, $U_{тір} > 0$ берілгендіктен.

2) $U_{кір}$, $U_{таб.1}$ шамасына дейін ұлғайғанда $U^{+}_{кір}$ ығысу шамасына теңдесіп, триггер $U_{шығ} = U^{-}_{шығ.макс}$ шамасына ауысады.

3) R_1 және R_2 кедергілері арқылы алынатын оң кері байланыс есебінен, енді $U^{+}_{кір}$-тегі ығысу $U_{таб.2}$ шамасына тең болады. Ал $U_{кір}$, $U_{таб.2}$ шамасына дейін азайғанда, триггердің кері қосылуы болады, яғни $U_{шығ} = U^{+}_{шығ.макс}$.

1) $U_{кір} = 0$; $U_{шығ} = U^{+}_{шығ.макс}$ болады, өйткені $U^{+}_{кір}$:$U_{тір} > 0$

2) $U_{кір} \rightarrow U_{таб.1}\uparrow$,$U^{+}_{кір} = U_{кір}$, $U_{шығ} = U^{-}_{шығ.макс}$ болады.

3) R_1, R_2: $U^{+}_{кір} = U_{таб.2}$; $U_{кір} \rightarrow U_{таб.2}\downarrow$: $U_{шығ} = U^{+}_{шығ.макс}$

Табалдырықты кернеу шамасы бір мәннен екіншісіне секіріспен ауысатындықтан (өзгеретіндіктен), триггер – басқарылатын компаратор болып табылады.

11 Дәріс №11. Сигналдар генераторлары

Дәрістің мазмұны:

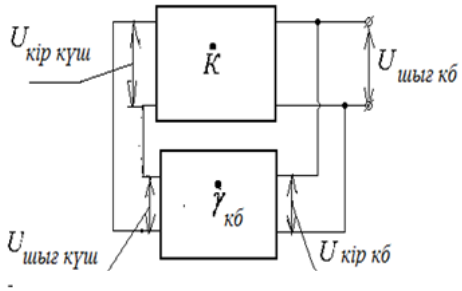
– сигналдар генераторлары, генератордың өзіндік қозу шарттары;
– Вин көпірі бар синусоидалық толқындардың RC-генераторы;
– мультивибратор;
– сызықты өзгеретін кернеудің генераторы.

Дәрістің мақсаттары:

– генератордың жұмыс ерекшеліктерін оқып үйрену;
– түрлі пішінді толқынды генераторлардың сұлбаларын оқып үйрену.

11.1 Сигналдар генераторлары, генератордың өзіндік қозу шарттары

Электрлік толқындар генераторлары қоректену көзінің тұрақты кернеу энергиясын, сигналдың пішіні бойынша гармоникалық немесе синусоидалық толқындар және релаксациялық толқындар генераторларына бөлінетін, берілген пішіндіжәне жиіліктегі айнымалы кернеу энергиясына түрлендіру үшін қызмет атқарады.



11.1 сурет

Электрлік толқындар генераторлары қоректендіру көздерінің тұрақты кернеу энергиясын берілген пішін мен жиіліктегі айнымалы кернеу энергиясына түрлендіреді, олар сәйкесінше сигналдың пішіні бойынша гармоникалық немесе синуоидалық толқындар және релаксациалық толқындар генераторларына бөлінеді.

Генератор дегеніміз кері байланыс тізбегімен қамтылған күшейткіш. 11.1 суретте

генератордың құрылымдық сұлбасы келтірілген:

$\dot{K}$ - күшейткіштің күшейту коэффициентті;

$\dot{\gamma}_{кб}$ - оң кері байланыспен қамтылған күшейткіштің күшейту коэффициенті.

Кері байланысы бар күшейткіштің күшейту коэффициенті:

$$K_{кб} = \frac{\dot{K}}{1 - \dot{\gamma}_{кб} \cdot \dot{K}}.$$

Күшейткіштің өздігінен қоздыру шарты $\gamma_{кб} \cdot \dot{K} = 1.$

Сол сияқты, оң кері байланыстыда:

$$\dot{K}_{кб} \to \infty. \qquad (11.1)$$

$$\gamma_{кб} \left| e^{j\varphi кб} \cdot |K| e^{j\varphi к} \right| = 1 \qquad (11.2)$$

ашып қарайық.

Ол, екі бөлімнен тұрады:

а) $|\gamma_{кб}| \cdot |K| \geq 1$ - амплитуда балансының шарты. (11.3)

Ол кері байланыс тізбегіндегі $|\gamma_{кб}|$ -рет әлсізденген сигнал күшейткішпен сонша рет (K) күшейтілуі тиіс дегенді білдіреді;

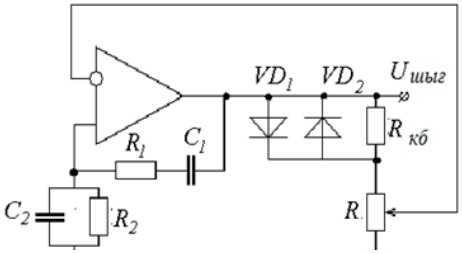
б) $e^{j\varphi_{кб}} \cdot e^{j\varphi_к} = 1$ және $\varphi_{кб} + \varphi_K = 2\pi n$ - фаза балансының шарты. (11.4)

Ол кері байланыс тізбегінің және күшейткіштің суммарлық фазалық бұрылуы 2π (0,1,..) бүтін мәніне тең болуы керек дегенді көрсетеді.

Егер, фазалар балансының шарты бір ғана гармоника үшін орындалатын болса, онда синусоидалы тербелістер генерацияланады, егер жиіліктің кең спектрі үшін болса – релакционды тербелістер генерацияланады.

11.2 RC-генераторының синусоидалы тербелісі

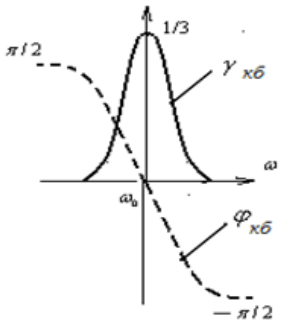
ОК-тегі синусоидалы тербелістер *RC*-генераторларының артықшылықтары болып, қарапайымдылық, арзандылық, салмағының жеңілдігі, өлшемінің аздығы табылады, ал кемшілігі – генерациялау жиілігінің тұрақтылығының жоғары болмауы саналады.



11.2 сурет

Вина көпірі негізіндегі генератор сұлбасын (11.2 сурет) қарастырайық.

Кері байланыс тізбегінің күшейту коэффициенті (Вина көпірі) мынаған тең болса, $\gamma_{кб} = \dfrac{1}{1 + \dfrac{R_1}{R_2} + \dfrac{C_1}{C_2}}$ онда, квазирезонансты жиілік $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}$.



11.3 сурет

Егер $C_1 = C_2 = C$ және $R_1 = R_2 = R$, онда $\gamma_{кб} = \frac{1}{3}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.

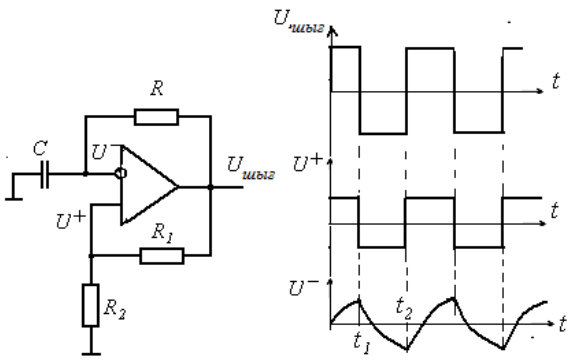
11.3 суретте Вина көпірінің АЖМ және ФЖМ келтірілген, бұл жерде квазирезонансты жиілікте ω_0 фазалық бұру $\gamma_{кб}$ нөлге, ал кері байланыс тізбегінің үшейту коэффициенті $\gamma_{кб}$ *1/3*-ге тең екенін көреміз.

Бұл сұлбада (11.2 сурет) кедергі *R* амплитуда балансын орындау үшін қажетті теріс кері байланыс тереңдігін құру үшін қосылған. VD_1 және VD_2 қарама-қарсы параллельді диодтар шығыс сигнал амплитудасын сақтау үшін қосылған. Өте жоғары $U_{шыг}$ кезінде диодтар тура өткізу жағдайына ауыспалы түрде кіреді және сигналдың күшейту коэффициентін азайта отырып теріс кері байланыс сигналының амплитудасын ұлғайтады.

11.3 Автотербелісті мультивибратор

ОКБ R_1, R_2 (11.3 сурет) кернеу бөлгішімен қамтамасыз етілетін ОК-тегі автотербелісті мультивибратор жұмысын шығысынан терістемейтін кірісіне қарай қарастырайық. Мультивибраторды бір квазитұрақты теңгерімнен екіншісіне ауыстырып қосу $U^-_{кір}$ релаксационды өзгеру есебінен жүзеге асырылады.

Егер *t=0* (11.3 сурет) кезінде ОК қорек көзін қосатын болсақ, онда R_1, R_2 бөлгіші есебінен $U_{шыг}$ шығыс кернеуі өсе бастайды, терістемейтін кірісінде де кернеу жоғарылайды, ал бұл $U_{шыг}$ бұрынғысынан да жоғарырақ ұлғаюға алып келеді. Нәтижесінде, пәрменді ағынды үрдісте $U_{шыг}$ шығыс кернеуі секірмелі түрде E^+ -ке дейін, ал кіріс $U^+_{кір}$ γE^+-ге дейін жоғарылайды, бұл жерде $\gamma = R_2/(R_1 + R_2)$, *E* – интегралды операционды күшейткіш қорек көзінің кернеуі. $U^-_{кір}$ бұл жағдайда өзгеріп үлгермейді және нөлге тең болады. *C* конденсатор заряды *R* арқылы басталады. Бұл тұрақты уақытпен $\tau_{зар} = RC$ E^+ -ке ұмтылған, $U^-_{кір}$ ұлғаюына алып келеді.



11.4 сурет

t_1 кезінде, $U^-_{кір} = U^+_{кір} = \gamma E^+$ болған жағдайда $U_{шыг}$ режимі де секірмелі түрде E^- -ге дейін өзгереді, ал

$U^{+}_{кір} = \gamma E^{-}$. Бұл пәрменді ағынды түрде жүреді.

E^{-}-ге оң қаптама, ал корпуска теріс байланысқан С конденсаторы +С, R, ОК шығысы, – *С* тізбегі бойынша E^{-}-ге дейін қайта зарядталуға ұмтылады. t_2 кезінде $U^{-}_{кір} = -\gamma E^{-}$-болғанда қайтадан аудару болады.

Бұл үрдістер периодты түрде қайталанады.

Импульс ұзақтығы тең:

$$t_u^{+} = t_u^{-} = RC \ln \frac{1+\gamma}{1-\gamma}.$$

Импульстерді қайталау периоды:

$$T = t_u^{+} + t_u^{-} = 2RC \ln \frac{1+\gamma}{1-\gamma}.$$

Қуыстылығы $Q=T/t_u=2$.

11.2 Операциялық күшейткіштегі сызықты өзгеретін кернеу генераторы (СӨКГ)

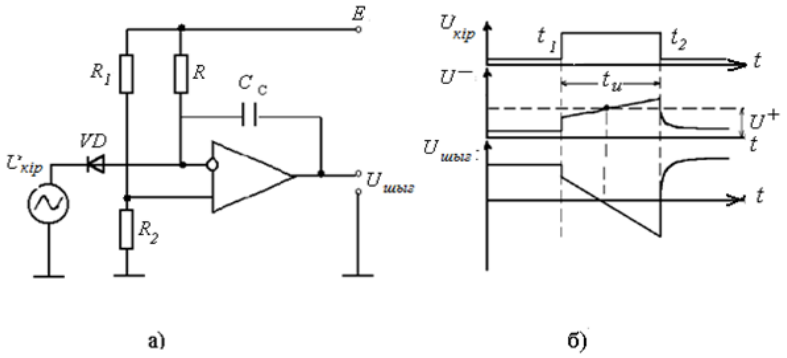
11.3 суретте СӨКГ сұлбасында терістейтін *RC* –тізбегі ОК теріс кері байланыс тізбегіне қосылған. СӨКГ ара тәрізді тура жолы уақытына тең t_u ұзақтығымен, $U_{кір}$ оң полярлы импульстермен басқарылады. Кіріс импульстер *VD* диодтар базасына беріледі, оның эмиттері ОК терістейтін кірісімен байланысқан.

Генератордың бастапқы калпы ($t<t_1$), $U_{кір} = 0$ болғанда *VD* диоды ашық, ток қорек көзінен *R*, *VD* диоды, $U_{кір}$ сигнал көзі, корпус арқылы беріледі:

$$U^{-}_{кір} = U_{д} = 0.$$

Терістейтін кірістегі кернеу

$$U^{+}_{кір} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E = \gamma \cdot E,$$



11.5 сурет

бұл жерде

$$\gamma = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

$U^{+}_{кір}$ кернеуі $U_{шығ} = E^{+}$ болған кезде ОК шектеу режиміне жеткізу үшін $U^{-}_{кір}$-тен асып түседі. *VD*, $U_{кір}$ сигнал көзі, корпус $\perp$.

Бұл кезде C конденсаторы U_C (0) = E кернеуіне дейін зарядталған. Конденсатор заряды E^+ $ОК$ шығысы, C, VD, $U_{кір}$ сигнал көзі, $\perp$ корпусы тізбегі бойынша жүреді.

$T_{пр}$, ара тәрізді жұмысының барысын қалыптастыру.

t_1 қосылу кезінде, ұзақтығы $t_и$ кіріс импульсін жібергенде VD диоды жабылады. E көзінен $U^-_{кір}$ оң кернеуінің секірмелілігі ОК-ны сызықтық күшейткіш режимге ауыстырады және ОК өзіне кіріс болып табылатын E кернеуін терістей бастайды. t_1 кезінде $U^-_{кір}$ кірісіндегі оң секіру шығысында теріс секіру береді.

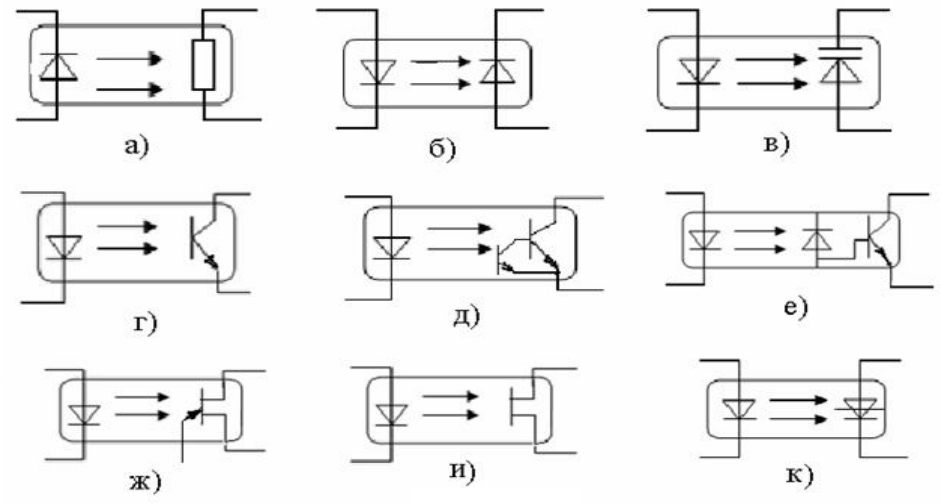
C зарядталған конденсаторы ақырын разрядтала бастайды, ол $U_{шыг}$ шығыс кернеуінің азаюына негізделген $U^-_{кір}$ кіріс кернеудің ұлғаюын тудырады.

Жұмыс барысының ұзақтығы $T_{пр}$ = $t_и$ және тұрақты уақытты RC тізбегі $t_и$ интервалы аяқталғанша нөлге дейін разрядтталып үлгеріп және $U_C = E^-$ – ге дейін қайта зарядталуы тиіс.

$T_{кб}$ ара тәрізді кері жолын қалыптастыру.

t_2 кезінде кіріс импульстің аяқталуы VD диодқа ашылады $U^-_{кір}$ секірмелі түрде $U_{кір} = 0$-ге дейін азаяды. Бұл кезде ОК күшейту режимінен шығады. $U_{шыг}$ E^+– ге дейін ұлғаяды. E^- – ге дейін зарядталған, жоғары жылдамдықты, VD ашық диодының кедергісімен анықталатын конденсатор, нөлге дейін разрядталады және бастапқы қалпына U_C (t) = E_n^+ дейін қайта зарядталады.

А қосымшасы



а) резисторлық оптожұп (а сурет), ондағы жарық көзі – сәулелі диод, фотокабылдағыш – кадмий селенидінен, кадмий немесе қорғасын сульфидтерінен жасалған фоторезистор;

б) диодтық оптрон (б сурет) сәулелі диод (GaAs) пен фотодиодтың (Si) біріктірілуін көрсетеді;

в) фотоварикаптық оптрон (в сурет);

г) транзисторлық оптрон – галлий арсенидінен жасалған сәулелі диод кремний фототранзистормен (г сурет);

д) құрама транзисторлы оптрон, оның сезімталдығы жоғары, бірақ шапшаңдығы төмен (д сурет);

е) диодты транзисторлық оптрон (е сурет), шапшаңдығы алдыңғы оптронға қарағанда жоғары;

ж) бір өткелді транзисторлы оптрон (з сурет).

Бір өткелді фототранзисторды мына мақсаттарда пайдалануға болады:

1) тек базалар қосылған кезде фоторезистор ретінде;

2) тек эмиттерлік өткел қосылған кезде фотодиод ретінде;

3) барлық үш электрод қосылған кезде бір өткелді транзистор ретінде;

и) өрістік транзисторлы оптрон жақсы сызықты шығыс сипаттамалары болғандықтан оларды аналогты құрылғыларда пайдалану қолайлы;

к) тиристорлық оптрон. Фоторезисторлық және фотодиодтық оптрондардан асқын жұмыстық кернеулер кезіндегі жоғары жүктемелік қабілеттігімен ерекшеленеді;

л) оптоэлектрондық интегралдық сұлбаларда (ОЭ ИС) жеке бөлшектер арасында оптикалық байланыс бар. Бұл микросұлбаларда диодтық, транзисторлық және тиристорлық оптожұптар негізінде жарық көздері мен фотоқабылдағыштардан басқа, фотоқабылдағыштан келген сигналды өңдеуге арналған құрылғылар бар. ОЭ ИС ерекшелігі – сигналды бір жақты тарату және кері байланыстың болмауы. Оптоэлектрондық аспаптардың техникасының келешегі бар және үздіксіз даму үстінде.

Б қосымшасы

Аспаптың атауы	Белгіленуі
Динистор	
Жұқа базадан басқарылатын тиристор	
Қалың базадан басқарылатын тиристор	
Жұқа базадан басқарылатын жабылатын тиристор	
Қалың базадан басқарылатын жабылатын тиристор	
Диак	
Триак	

Әдебиеттер тізімі

1. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника:Учеб.для вузов – М.: Высш. шк., 2006. –799 с.
2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб. пособие – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 704 с.
3. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. 5-е издание. – СПб.: Лань, 2006. – 479 с.
4. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций. – СПб.: КОРОНА принт, Бином Пресс, 2006. – 416 с.
5. Щука А.А. Электроника. Учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
6. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. Основы полупроводниковой электроники. Учебное пособие. – М.:Горячая линия - Телеком, 2005. – 392 с.
7. Жолшараева Т.М. Микроэлектроника. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2006. – 79 с.
8. Жолшараева Т.М. Микроэлектроника. Интегральные микросхемы: Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2007. – 81 с.
9. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 488 с.
10. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2005.
11. Баширов С.Р. Современные интегральные усилители.-М., 2008.
12. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Радио и связь, 2008. – 320 с.

Мазмұны

1 Дәріс №1. Жартылай өткізгіш диодтар.....3
2 Дәріс № 2. Биполярлық транзисторлар.....8
3 Дәріс № 3. Өрістік транзисторлар.....14
4 Дәріс №4. Оптоэлектрондық аспаптар.....18
5 Дәріс №5. Интегралдық микросұлбалар.....23
6 Дәріс №6. Аналогтық электрондық құрылғылардың
негізгі сипаттамалары.....28
7 Дәріс № 7. Күшейткіштің жұмыс режимін қамтамасыз ету.....35
8 Дәріс №8. Дифференциалдық күшейткіш.....39
9 Дәріс №9. Операциялық күшейткіштердің негізгі
көрсеткіштері.....45
10 Дәріс №10. Сигналдарды аналогтық өңдеу құрылғылары.....49
11 Дәріс №11. Сигналдар генераторлары.....53
Әдебиеттер тізімі.....60

2013 ж. жиынтық жоспары, реті 292

Тамара Маруповна Жолшараева
Самал Бексултановна Абдрешова

АНАЛОГТЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ СҰЛБАТЕХНИКАСЫ МЕН ЭЛЕМЕНТТЕРІ

5В071600 – Приборлар жасау мамандығының студенттеріне арналған дәрістер жинағы

Редактор Қасымжанова Б.С.
Стандарттау бойынша маман Н.Қ. Молдабекова

Басуға _____ қол қойылды
Таралымы 50 дана.
Көлемі 3,8 есептік-баспа табақ

Пішіні 60х84/16
Баспаханалық қағаз № 1
Тапсырыс___Бағасы 1906 тг.

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы
050013, Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126