

TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRRLIGI

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

P.Nazarow

SHEMOTEHNIKA

Aşgabat-2010

SHEMOTEHNIKA

P.Nazarow

Beýany

Şu kitap “shematehnika” dersinden okuw kitaby hökminde hödurlenýär. Kitapda ýarymgeçiriji enjamlaryň işleýiş duzgünleri hem-de shemalary getirilýär. Ýyllyk we diplom taslamalarda kitaby ulanmak üçin birnäçe elektron ýarymgeçiriji gurluşlaryň shemalary getirilen. Kitabyň taýýarlyk işlerinde “Mikroelektronika we ýarymgeçiriji enjamlar” hünäriniň talyby Akyýew Döwlet uly kömek berdi.

Giriş

Beýik Galkynyş döwürde ýurdumyzda ähli ugurlar boýunça düýpli özgertmeler bolup geçýär. Hormatly prezidentimiziň turkmen halkynyň eşretli geljegi üçin ýadawsyz we öňünden görüjilik bilen edýän Atalyk aladalaryny her bir türkmeni buýsandyryýar, begendirýär. Milli Liderimiziň ýolbaşçylygynda ýurdumyzyň halk hojalygynyň ähli pudaklary toplumlaýyn sazlaşykly ösdürilmegi netijesinde milli ykdysadyýetimiz barha berkeýär.

Bu gun Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistany dünýäniň ösen ýurtlarynyň derejesine ýetirmek üçin, ylmyň ösüşiniň iň soňky gazananlaryny halk hojalygynyň ähli pudaklarynda doly ornaşdyrmagyň zerurdygyny, haçan-da ylmyň diňe halkyň eşretli durmuşyny üpjün etmäge gönükdirilen halatynda öz maksadyna ýetýändigini, biziň maksadymyzyň hem hut şeýle bolmalydygyny hormatly Prezidentimiziň özüniň çykyşlarynda yzygiderli nygtaýar we her bir duşuşygynda uly üns berýär.

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň yzygiderli aladasy bilim we ylym täze turkmen jemgiýetini kamilleşdirmekde esasy daýanja öwrüldi. Garaşsyz baky Bitarap Türkmenistanda döwletiň we maşgalanyň baş wezipesi, mukaddes borjy, geljekde ýurdumyzy we halkymyzy iň bagtly, eşretli durmuşa ýetirip biljek ýaşlary terbiýeläp ýetişdirmekdir.

Beýik Galkynyş we Täze özgertmeler zamanamyzda “Türkmenistanda ylym ulgamyny kamilleşdirmek hakyndaky”, “Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň işi hakyndaky” we “Türkmenistanda ýokary derejeli hünärmenleri taýýarlamagy üpjün etmek hem-de ylmy taslamalara döwlet maýa goldawyny bermek hakyndaky” Kararlary ýokary okuw mekdepleriniň mugallymlarynda we ylmy edaralarynyň ýaş hünärmenlerinde ylma bolan höwesini artdyrdy. Häzirki wagtda ýaş hünärmenleriň öz okuwlaryny ýurdumyzyň ylmy edaralarynda, ýokary okuw mekdeplerinde we daşary ýurtlarda, aspiranturalarda,

doktoranturalarda, okamaga hem-de ýurdymyzyň ykdysady ösüşine öz goşantlaryny goşmaga ähli şertler döredildi we giň ýol açyldy. Türkmenistanyň bilim we ylym ulgamynyň binýadynyň ähli basgançaklarynda düýpli özgertmeleriň geçirilmegi eşretli gelejegimiz alyp barýan bagt ýoludyr. Beýik Galkynyş eýýamynda döwletimiziň ykdysadyýetiniň ähli ugurlarynda öndebaryjy tehnologiýalarynyň, ylmyň we tehnikanyň täze gazananlaryny önümçilige giňden toplumlaýyn ornaşdyrmak baradaky meseleleriň düýpleýin çözülmegi, eziz Watanamyzyň ykdysadyýetinde, türkmen halkynyň durmuş şertlerini gowulandyrmakda asyrlara barabar ösüşler gazanmaga ähli mümkinçilikleri döredýär.

Türkmenistan dünýä jemgiýetçiliginiň nazarynda beýik özgertmeleri amal edýän abraýly ýurda öwrüldi. Türkmenistanyň Bilim ministirliginde Ýewropa birleşiginiň “TEMPUS ” we “TASIS” maksatnamalarynyň çäklerinde ýökary okuw mekdepleriniň arasynda işjen gatnaşyklaryny ýola goýmak netijeleri boýunça netijeli hyzmatdaşlygyň mümkinçiliginden peýdalanmagyň ugurlary bilen tanyşdyryş maslahatlary geçirilýär. Bu çäre indi birnäçe ýyl bäri dowam edip gelýär we özüniň netijeleri berýän hyzmatdaşlygy aýdynlyk bilen subut etdi. Talyplar dünýä ylmynyň gazananlary bilen ýakyndan tanyşmaga giň mümkinçilikleri alýarlar. Bu taslama türkmen ylmynyň ösmegine, dürli pudaklarynyň işiniň ylmy esaslarda ýola goýulmagyna uly ýardam edýändigini äşgär görkezdi.

Ýewropa bilelişigi bilen işjen hyzmatdaşlyga giň ýollaryň açylmagyna ak pata beren hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň Belgiýa patyşalygyna bolan saparynda bu barada resminamalar kabul edilipdi. Bilim, ylym ulgamany kämilleşdirmek meselesini hormatly Prezidentimiz hemişe doly üns merkezinde saklaýar. Türkmenistanyň Prezidenty Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ýewropa-Atlantika hyzmatdaşlyk Geňeşiniň samitinde eden çykyşynda Türkmenistan “Parahatçylygyň hatarasyna hyzmatdaşlyk”

maksatnamasy boýunça NATO bilen gatnaşyklara uly üns berilýär. Bu hyzmatdaşlyk abatdan daşary ýagdaýlardan raýatlary goramak, hünärmenleri taýýarlamak we ylmy ösdürmek, ekologiýa ýaly möhüm ugurlary we beýlekileri öz içine alýär. Hususan-da, Türkmenistanda NATO-nyň ylym baradaky komitety bilen bilelikde “Wirtual ýüpek ýoly” taslamasy üstünlik amala aşyrylýär. Şonuň netijesinde Türkmenistanyň ýokary okuw mekdepleri we esasy ylym barlag edaralary üçin бүтін dünýä internet ulgamynyň informasion serişdeleri elýeterli boldy.

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedow dünýä ylmynyň soňky gazananlaryny ýurdumyzda ornaşdyrmak, ylmy-barlag işlerini netijeliligini ýokarlandyrmak hem-de ylmy edaralarynyň binýadyny pugtalandyrmak maksady bilen, Türkmenistanyň Prezidentiniň ýanyndaky Ylym we tehnika baradaky ýokary Geneşiniň garamagyndaky “Gün” ylmy-önümçilik birleşiginiň “Kremniý” gün foto-elektrik öwrüjileriniň önümçiliginiň barlag mümkinçilikleri atly taslamasyny maliýeleşdirmek üçin Yslam ösüş bankynyň grantyny almak hakyndaky Karara gol çekildi.

Ylym-bilim ulgamyndaky täze özgertmeler Watanamyzyň ykdysady binýadyynyň, mundan beýläk hem has berkemegine ýardam berjekdigini ynam bilen aýtmak bolar. Biz, ýokary okuw mekdepleriniň mugallymlaryny – ylma-bilime iň ýokary derejede goldaw berýän, howandarlyk edýän Hormatly Prezidentimize Taňryýalkasyn aýdýarys.

Beýik Galkynyş eýýamynda batly gadam bilen röwşen geljegine barýan täze türkmen jemgiýetiniň örän gysga wagtyň içinde asyrlara barabar deňsiz-taýsyz özgertmeleriň eýesi bolandygy, olara halka berýän eşreti barada pikirleneniňde hormatly Prezidentimiziň baş maksadynyň halkymyzy ylym-bilimi we eşretli durmuşda ýaşamagy baradaky aladasydygyny aýdynlygyny bilen görünýär.

Garassyz, hemişelik Bitarap Türkmenistanyň agzybir halky gazanan uly üstünlükleri we ýeten beýik sepgitleri üçin

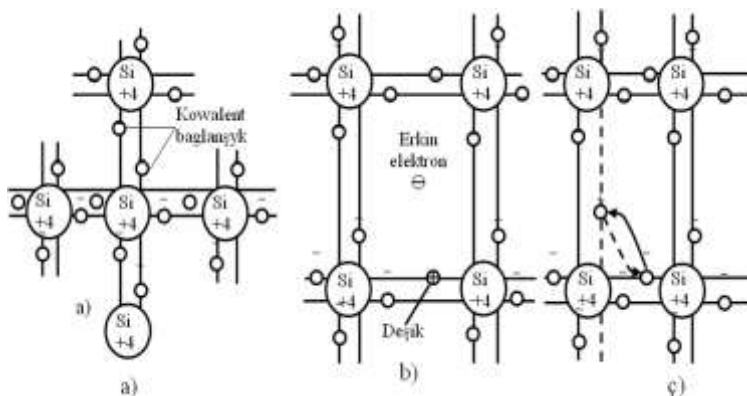
hormatly Prezidentimize alkys sözlerini aýdyp, uly şatlyk, buýsanç duýgulary bilen eşretli geljege täze umyt-arzuwlary bilen milli Liderimiziň daşyna öňküden-de jebisleşip, öňe batly gadam urýar.

Mowzuk. Ýarymgeçirijiler barada gysgaça maglumat.

2. Ýarymgeçirijilerde elektrik geçirijilikleri hakda esasy düşüňjeler.

Arassa diýilýän ýarymgeçirijileriň-de düzüminde azdäkäde **garyndylaryň** bolmagy elektrik geçirijiligiň ösmegine getirýär. Sähelçe **garyndy**-elektrik geçirijiligiň ummasyz ösmegine sebäp bolýar.

Ilki bilen, himiki taýdan arassa (garyndysyz) ýarymgeçirijilere seredeliň. Mysal hökmünde kremniý element üçin tekizligiň üstünde onuň kristallik gözeneginiň shema arkaly şekillendirilişi 1.3-nji "a" çyzgyda görkezildi.



2.1-nji çyzgy. Tekizligiň üstünde kremniý elementiniň modeliniň kristal gözenegi shema görnüşde ýerleşdirilişi **a** , iki sany elektron – deşigiň generasiýasy **b** , kristalyň düzüminde deşikleriň hereketi **ç** .

Kremniý, Mendeleyewiň elementleriniň periodiki ulgamynda IV-nji elementler toparyna girýär, şonuň üçin-de özüniň daşky gatlagynda dört sany walent elektronlary bolup, **kremniniň** gözenekleriniň düwünlerinde ýerleşen her bir

atomy dört sany goňşy atom bilen walentli baglansýkda bolýarlar. Şonuň üçin-de, walent elektronlaryň özara jübütleşmeklerine (ýa-da goşalanmaklaryna) **kowalentlik** diýilýär.

Kristalyň düwünleri bolup hyzmat edýän, çöküp galan atomlar içi boş töwerejikler bilen şekillendirildi (2.1-nji "**a**" çyzga seret). Bu atomlar walentsizdirler (ýagny, walent elektronlary ýokdur). Şol töwerejikleriň içindäki (+4) galyndy hasap edilýän atomyň zarýadynyň (+) – alamatlydygyny aňladýar.

Goňşy atomlary birleşdirýän goşa çyzyklar şol atomlaryň walent elektronlarynyň kowalent baglansýga geçendiklerini aňladýar.

Eger-de, kristalyň düzüminde özge element bolmasa, onda $T=0^0\text{K}$ temperaturada ýarymgeçiriji hasap edilýän elementleriň kristalyndaky atomlaryň walent elektronlary başga atomlar bilen diňe **kowalent** baglansýkda bolýarlar. Şonuň üçin-de $T = 0^0 \text{ K}$ temperaturada erkin elektronlar bolmaýar, kristal tok geçirmeýär we ideal dielektrik ýagdaýa öwrülýär.

Eger-de, temperatura $T = 0^0 \text{ K}$ -den ýokary ösüp başlasa, onda kristaly emele getirýän gözenekler yrgyldap başlaýarlar. Kowalent baglansýkly elektronlarda energiýa artykmaçlyk edip, ol energiýa "**Gadagan**" zolagyň ΔW – energiýasyndan-da ösüp, kowalent baglansýkdan sypyp (**üzülip**) gitmek bilen bolýarlar. Şular ýaly boşan elektronlar **erkin** hala eýe bolup, kristal gözenegiň içinde hereket edip başlaýarlar (1.3-nji "**b**" çyzga seret). Erkin elektronlaryň hereketleri (-) – alamatly zarýadlaryň (toguny) akymyny döredýärler.

Erkin elektronlaryň (zarýadlaryň) döremegi kowalent baglansýgyň çagşamagyna sebäp bolýar we olaryň ýerleri boşap galýarlar. Bu boşap galan ýerlere **deşikler** diýilýär. **Deşikler** – elektronlar bilen eýelenmedik kowalent baglansýkdaky boş ýerlerdir. Şol boş deşikleri **erkin** elektronlar eýeläp-de bilýärler we ondan elektronlar boşap

gidip-de bilýärler. Kowalent baglansýklarda elektronlaryň ýerleriniň boşamagy (+)e zarýadlaryň döremegine deňgüýçlidirler. Emele gelen (+) zarýadlar elektronlaryň (-) zarýadlaryna ululygy boýunça deňdirler.

Eger-de, birinji atomda dörän deşigi ikinji atomyň walentli elektrony doldursa, ikinji atomyň walentli zonasynnda emele gelen deşigi üçünji atomyň walentli elektrony doldurýar we ş.m., onda (+) zarýadly hasap edilyän deşiklerin hereketleri (-) zarýadly elektronlaryň üzülip çykyşlaryna baglydyrlar (1.3.-nji ç çyzga seret). Şeýlelikde, deşiklere (+) zarýadlary äkidijiler hökmünde-de seredip bileris.

Indi, elektronlar bilen deşiklerin hereketleriniň ugurlary hakda : - Eger-de, erkin elektronlar kristal gözenekleri emele getirýän düwünlerin arasyndaky giňişliklerde hereket edýän bolsalar, onda deşikler kowalent baglansygy emele getirýän çyzyklar boýunça süýşýärler, şonuň üçin-de (-) zarýadlary äkidijilerin tizligi (+) zarýadlaryňkydan ýokarydyr.

Erkin elektronlar bilen deşiklerin **jübütleşmek** prosesine zarýady äkidijilerin jübütleniş generasiýasy diýilýär.

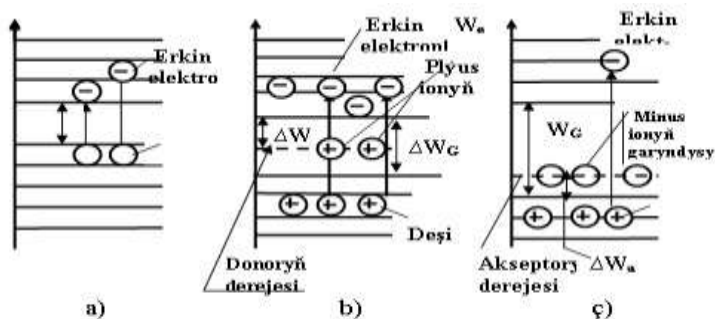
Ýarymgeçirijilerin elektrik geçirijiligi zarýady äkidijilerin çalasyňlygy (подвижности) bilen kesgitlenilýär. Elektrik meýdanynyň ýok wagty zarýady äkidijiler dürli tarapa (haos) – tertipsiz hereket edýärler. Eger-de elektrik meýdany bilen täsir etsek, onda elektronlar we deşikler meýdanyň boýyna görä süýşüp hereket edýärler : Elektronlar (+) – potensiala tarap, deşikler (-) – potensiala tarap süýşýärler.

Zarýadlary äkidijilerin iki görnüşi-de kristal gözeneklerde elektrik tolkunlaryň döremegine sebäpkärdirler. Umuman, tok iki sany tok goşulmalarynyň netijesidir (elektronlaryň we deşiklerin döredýän toklarynyň jemidir). Bu iki toklar hemişe bilelikde çykyş edýärler, ýöne biri beýlekisinden az ýa-da köp bolup bilerler.

Eger-de, elektronlaryň döredýän togy deşiklerin döredýän togundan köp bolsa, onda **kristallara** elektronly

geçiriji diýilýär we tersine ,eger-de deşikleriň döredýän togy köp bolsa, onda kristallara deşikli geçiriji diýilýär.

Arassa ýarymgeçirijilerde elektronlar bilen deşikleriň mukdarlary deňdirler, sebäbi arassa ýarymgeçirijilerde elektrik geçirijilik diňe kowalent baglanyşygyň çağsamagy netijesinde döreýär. Şonuň üçin-de kowalent baglanyşygyň dargamagy netijesinde döreýän geçirijiliklere **hususy** elektrik geçirijilik diýilip, garyndysyz ýarymgeçirijilere bolsa arassa ýarymgeçirijiler diýilýär. **2.2-nji "a"** çyzgyda arassa ýarymgeçirijileriň diagrammasy görkezildi.



2.2-nji çyzgy : a) – Garyntgysyz, arassa ýarymgeçirijiniň energetiki diagrammasy ; b) – **n-tipli** ýarymgeçiriji ; c) – **p-tipli** ýarymgeçiriji.

Garyntgysyz, arassa ýarymgeçirijilerde elektronlaryň n_i – konsentrasiýasy (mukdary) bilen deşikleriň p_i – konsentrasiýasy (**mukdary**) özara deňdirler.

Harplardaky (i) – „içindäki“ sözün birinji harpyny aňladýar (ýagny ýarymgeçirijiniň içindäki n_i – elektronlaryň, p_i – deşikleriň sany diýen manylary berýär).

Ýarymgeçirijilerde zarýady äkidijileriň mukdarynyň (konsentrasiýasynyň) çalasyňlygy näçe ýokary bolsa, şonça-da kristalyň temperaturasy ýokarydyr, **gadagan** zonasy bolsa daralýar (ΔW_G – kiçelýär).

Şol bir wagtyň özünde, zarýady äkidijileriň jübütleniş generasiýasy bilen birlikde şol generasiýa ters proses (geçiş)

hem bolup geçýär – ýagny ters alamatly zarýadlary äkidijileriň rekombinasiýasy bolup geçýär.

Rekombinasiýa – erkin elektronlar bilen deşikleriň täzeden birleşmekleridir (üzülen kowalent baglansyklaryň öňki ýagdaýyna gaýdyp gelmegi), şeýýelikde elektronlaryň we deşikleriň zarýadlaryny äkidijileriň geçirijilik ukyplary ýitip gidýär. Bu proseslerde (geçişlerde) artykmaç energiýalar ýylylyga ýa-da ýagtylyga öwrülýärler.

Generasiýa bilen rekombinasiýa aralykda togy dördedýän zarýady äkidijileriň ömrüne erkin elektronlaryň we deşikleriň ýaşap geçen wagty (ömrü) ýa-da dowamlylygy diýilýär. Şol wagtyň dowamynda geçilen ýola bolsa **diffuzion uzynlyk** diýilýär.

Eger-de, her bir zarýady äkidijilere aýratynlykda seretsek, onda olaryň diňe bir tizlikleri däl, eýsem ýaşap geçen döwürleri-de, diffuzion uzynlyklary-da deňdäldirler. Şonuň üçin-de, orta hasapdan ortaça diffuzion uzynlyk, elektronlaryň we deşikleriň ortaça tizlikleri, ortaça ömrü diýilýän düşünjeden ugur almaklyk maslahat berilýär.

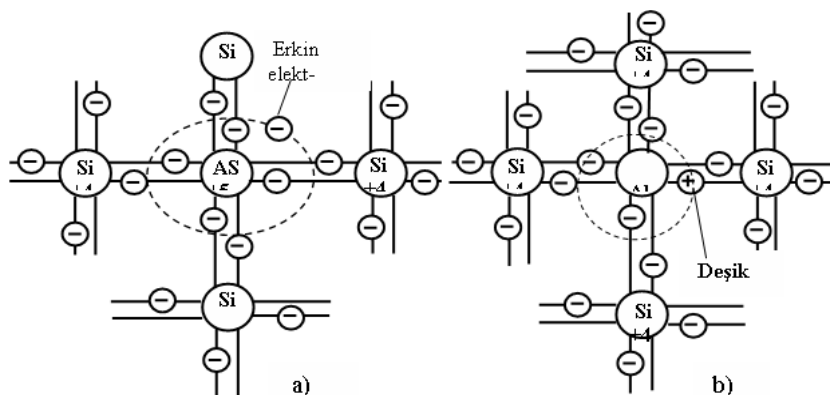
Tehniki tilsimler bilen garyntgylary arassa ýarymgeçirijileriň düzümine goşup ýarymgeçirijileriň elektrik geçirijiligini (öz islegimize görä **n** – tipli ýa-da **p** - tipli garyntgyny) geregiçe ulaldyp (üýtgedip) bolýar (2.3-nji çyzga seret).

Elektron berýän atoma **donorly** atomlar diýilýär. Olaryň energiýa derejesi erkin geçirijiligiň zonasyna has golaýdyr (2.2-nji **b** çyzga seret). Donor energiýasynyň derejesi $\Delta W_d = 0,01 - 0,07 \text{ eV}$ töweregidir.

Dört walentli topardaky elementler (meselem Si_{+4}) üçin donorly materiallar hökmünde 5 (baş) walentli himiki elementler ulanylýar (meselem : myşýak, fosfor, surma).

Kristalyň gözenekleriniň käbir düwünlerinde arassa ýarymgeçirijiniň atomlarynyň ýerini garyndynyň atomlary eýeleýärler. Şonuň üçin-de **5** (baş) walentli elementleriň dört elektrony kowalent baglansyga geçip, başinjisi kowalentlikden

artyk bolup, öz atomynyň orbitasyndan aňsatlyk bilen çykyp bilýär we geçirijiligiň köpelmegine ýardam edýär (2.3-nji a çyzga seret). Şonuň üçin-de elektronlaryň konsentrasiýasy deşikleriň konsentrasiýasyndan epesli ýokarydyr, ýagny $n_n \gg p_n$.



2.3-nji çyzgy. a) Donor garyndyly Kremniň kristal gözenekleriniň shemasynyň modeli ; b) Akseptor garyndyly Kremniň kristal gözenekleriniň shemasynyň modeli.

Düzüminde elektronlary artykmaçlyk edýän ýarymgeçirijilere n – tipli ýarymgeçirijiler diýilýär (n – negatiw sözünüň birinji harpydyr, minus " - " manyny berýär). Bular ýaly ýarymgeçirijilerde esasy zarýady döredijiler we äkidijiler elektronlardyr, dişikler esasydäldirler (2.3-nji a çyzga seret).

Eger-de, **kremniý** kristalynyň düzümine üçwalentli himiki elementlerden göşsak (Indiý, Alyuminiý, Bor ýa-da Galliý), onda bu elementler özleriniň üçwalentli elektronlary bilen goňşynyň dörtwalentli atomlaryna diňe üç kowalentli aragatnaşyk saklaýar (2.3-nji b çyzga seret).

Dördünji kowalent bolmak üçin bir elektron ýetmeýär, şonuň üçin-de kristalyň üçwalentli atomynda bir **boş** ýer döräp, oňa ýeri boş bolany üçin **deşik** diýilýär. Sol deşigi eýelemek (doldurmak) üçin üçwalentli atom dörtwalentli atomdan bir elektronyny özüne çekip alýar we dörtwalentli atomda deşigin

emele gelmegine sebäp bolýar. Netijede, üçwalentli atomyň dört elektronly bolmagy minus **ionly** atoma, dörtwalentli atom bolsa bir elektronyny gidireni üçin plýus **ionly** atoma öwrülýärler.

Goňşy atomyň walentli elektronynyndan alyp öz walentli zonasyn-da kabul edip bilýän atomlara (garyndylara) **akseptorlar** diýilýär.

Akseptorly garyndyny goşmaklygyň netijesinde deşikleriň konsentrasiýasy (mukdary) elektronlardan köp bolýar **p** > **n**.

Akseptorly ýarymgeçirijilerde döreýän elektrik togunyň düzüminde deşikleriň hereketleriniň sany elektronlaryň hereketlerinden köpdür.

Deşikleriň elektrik geçirijiligi (döredýän togy) agdyklyk edýän ýarymgeçirijilere **p** – tipli ýarymgeçirijiler diýilýär (**p** – harpy **pozitiw** sözünüň birinji harpyny aňladýar). Bular ýaly ýarymgeçirijilerde esasy zarýady döredijiler we äkidijiler deşiklerdir, elektronlar esasy dälidirler.

Akseptorly, ýagny **p** – tipli ýarymgeçirijileriň energetika diagrammasy 2.2-nji ç ýyzgyda görkezildi. Akseptor garyntgylý atomlarynyň energiýa derejesi **esasy** ýarymgeçirijiniň walentli zonasyna golaýdyr. Akseptoryň ΔW – energetiki derejesi örän kiçidir, takmynan **0,01 – 0,07 eV** töweregidir.

Şonuň üçin-de, öý temperaturasy hasap edilýän (**20° C**) ýylylykda eýýäm ähli akseptor derejesindäki energiýalar eýelengi ýagdaýa geçýärler we elektronlar bilen doldurylýarlar. Şol elektronlaryň hemmesi walentli zonadan goparylyp alynýar, netijede juda köp **boş** (wakans) ýerler walentli zonada döreýär.

Şeýlelikde, garyndyly ýarymgeçirijilerde zarýadlary äkidijileriň **esasy** bolup garyntgynyň atomlary çykyş edýärler, esasydäl äkidijiler bolup bolsa kowalent aragatnaşyklygyň ýumrulmagy esasynda hem-de zarýady äkidijileriň

goşalanmagy (jübütlenmegi) netijesinde generasyýa bolup geçýär.

Ýarymgeçirijilerde dreýf we diffuzion toklar.

Ýarymgeçirijilerde zarýady äkidijileriň hereketleriniň **ugurlary** ýa elektrik meýdanynyň täsirinden ýa-da kristalyň göwrümünde zarýady äkidijileriň dykzlygy boýunça deňölçeşsiz ýaýrandyklary netijesinden (meselem, kristalyň bir tarapynyň sowadylmagy ýa-da gyzdyrylmagy) ýarymgeçirijilerde elektrik togunyň döremegine sebäp bolýar.

Elektrik meýdanynyň ýok wagty **elektronlar** we **deşikler** dürli tarapa bitertip (haotiki) hereket edip, ýylylyk energiýany bölup çykarmak bilen çäklenýärler.

Ýarymgeçirijilere naprýaženiýe berilenden, onuň kristalynda elektrik meýdany döräp, zarýady äkidijileri tertipleşdirýär we belli (takyk) bir ugur bilen hereket etmäge mejbur edýär.

Elektrik meýdanynyň güýji esasynda hereket edýän zarýady äkidijilere **dreýf** (öňki ýolundan çykyp, täze ýola düşen) togy diýilýär. Eger-de bu dörän tok **elektronlar** tarapyndan dörese **elektron** häsiýetli, **deşikler** tarapyndan dörese **deşik** häsiýetli ýarymgeçirijiler diýilýär.

Dreýf togunyň dykzlygy şu aşakdaky formuladan peýdalanyp tapylýar.

$$\delta_{\text{dif}} = q (n \cdot V_{\text{dr}\cdot n} + p \cdot V_{\text{dr}\cdot p}) = q (n \cdot \mu_n \cdot E + p \cdot \mu_p \cdot E)$$

Bu ýerde : **E** – elektrik meýdanynyň dartgynlygy [W/m] ;

μ_n , **μ_p** – elektronlaryň we deşikleriň çakganlygy (ýerinden gozganyş

tizlenmesi) diýilýär. (Kremniň üçin $\mu_n \approx 1200 \text{ sm}^2/\text{W} \cdot \text{s}$,

$$\mu_p \approx 500 \text{ sm}^2/\text{W} \cdot \text{s})$$

$V_{dr.n}$, $V_{dr.p}$ – elektronlar bilen deşikleriň ortaça dreýf tizlikleri ;

n , p – elektronlar bilen deşikleriň mukdary (konsentrasiýasy) ;

q – elektronlaryň we deşikleriň zaryadlary $1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl

Eger-de, **elektronlar** kristal gözeneklerini emele getirýän düwünleriň arasyndaky giňişliklerde hereket edýän bolsa, onda **deşikler** kowalent baglanyşygyň ýodajyklary boýunça hereket edýärler. Şonuň üçin-de elektronlaryň $V_{dr.n}$, μ_n ululyklary (parametrleri) deşikleriň $V_{dr.p}$, μ_p – parametrlerinden epesli uludyr.

Kremniýde zaryady äkidijileriň çakganlygy Germaniýe garaňda kiçidir.

Arassa ýarymgeçirijilerde elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýalary (mukdarlary) deňdirler, ýöne olaryň çakganlygy ($\mu_n > \mu_p$) deňdäldikleri üçin togy döretmekde elektronlaryň gatanjy deşiklerinkiden köpdür.

Garyntgyly ýarymgeçirijilerde toguň häsiýeti (ýa-da alamaty) esasy-zaryady äkidijiler bilen kesgitlenilýär, meselem p – tipde deşikler bolsa, onda n – tipde elektronlardyr.

Zaryady – äkidijileriň konsentrasiýasy (mukdary) kristalyň göwrümi boýunça deňdäl (deňölçegsiz) ýerleşenlerinde, onda konsentrasiýanyň has köp ýerinde özara çakyşmalar-da has köp bolup geçýär.

Zaryady – äkidijiler çartarapa (haotiki) hereket edenlerinde diňe, bir ýylylyk bölüp çykarmak bilen çäklenmän, eýsem olaryň hereketleriniň ugurlary konsentrasiýanyň niredе az ýeri bar bolsa, şol tarapa-da süýşmek bilen bolýarlar (ýagny, hereket konsentrasiýanyň köp ýerinden az ýerine tarap bolýar).

Zaryady – äkidijileriň konsentrasiýalary deňdäldikleri sebäpli belli bir tarapa ugrukdyrylan (meselem, konsentrasiýasy köp gatlakdan az gatлага tarap) hereketlerine **diffuziýa** diýilýär. Şeýle hadysa bilen döreýän toklara bolsa diffuzion togy diýilýär.

Zarýady äkidijileriň konsentrasiýalarynyň deňölçeýsizligini **konsentrasiýanyň gradiýenti** diýilýän düşünje bilen häsiýetlendirilýär.

Bu fiziki ululyk (gradiýent) konsentrasiýanyň sähelçe üýtgemeginiň, geçilen ýolunyň sähelçe üýtgemegine bolan gatnaşygyna aýdylýar. Meselem,

$$\frac{\Delta n}{\Delta x} \text{ ýa-da } \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

Konsentrasiýanyň gradiýenti näçe uly bolsa, şonça-da **diffuzion** tok uludyr.

Diffuzion toguň dykzlygynyň hasaplanýş formulasy

$$\Delta_{\text{dif}} = q \cdot D_n \cdot \frac{\Delta n}{\Delta x} + q \cdot D_p \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

Bu ýerde : **D_n** ; **D_p** – elektron bilen deşikleriň diffuzion koeffisiýentleri;

$\frac{dn}{dx}$; $\frac{dp}{dx}$ - birlik, ölçegdäki uzynlykda zarýady - äkidijileriň **x** – boýunça özgerişi (üýtgeýşi).

q - elektronlaryň we deşikleriň zarýadlary, $1,6 \cdot 10^{-16}$ Kl.

Soraglar:

- 1 – Ýarymgeçirijiler barada düşüňjeler.
- 2 – Ýarymgeçirijilerdäki zarýadlar we düşüňjeler.
- 3 – Ýarymgeçirijilerdäki zarýad akymlyary.

Mowzuk. Ýarymgeçirijilerdäki p – n geçişiniň fizikasy

Elektronly we deşikli geçiş .

Tebigy p – n geçiş. Elektrik geçirijilikleri dürli häsiýetli iki sany ýarymgeçiriji materiallaryň gatlaklarynyň sepleşýän ýerinden geçýän elektronlara we deşiklere **p-n** geçiş diýilýär. Eger-de, daşky naprýaženiýe çeşmesi ýok bolsa, onda tebigy **p-n** geçiş diýilýär. Ol gatlaklaryň biri **n** – tipli bolsa, onda beýlekisi **p** – tiplidir.

Elektronly – deşikli geçiş tutuşlygyna birhäsiýetli ýarymgeçirijiniň kristalyndan taýýarlaýarlar, soňra onuň bir bölegine **donor** garyndy goşsalar, beýleki bölegine **akseptor** garyndyny goşýarlar. Şular ýaly usul bilen ýasalan **p – n** geçiş ideallaşdyrmak maksady bilen, iki bölekde-de zarýady äkidijileriň san mukdary (konsentrasiýalary) deň diýip kabul edýärler. Netijede , simmetrik (deňgüýçli) **p – n** geçiş alarys.

$$p_p = n_n$$

Bu ýerde : **p_p – p** – bölekdäki desikleriň mukdary ;

n_n – n – bölekdäki elektronlaryň mukdary.

Ýarymgeçirijileriň her bir böleginde-de esasy zarýady äkidijilerden başga esasydäl zarýady äkidijileriň-de bardygyny, ýöne olaryň juda azdygyny bellemelidiris, ýagny **p_n << n_n** we **n_p << p_p**

Bu ýerede : **p_n – n** – bölekdäki dişikleriň mukdary ;

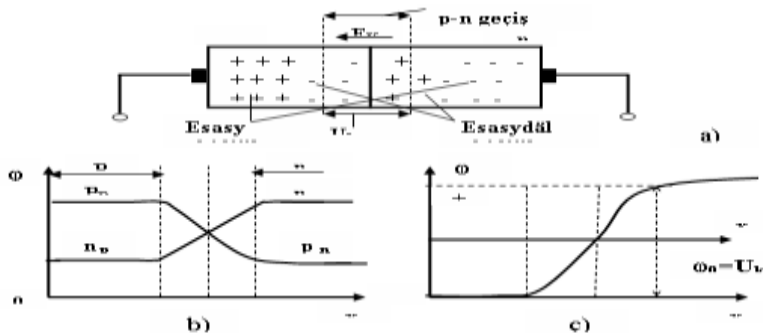
n_p – p – bölekdäki elektronlaryň mukdary.

Konsentrasiýalaryň tapawutlarynyň netijesinde, iki gatlagyň araçäginde esasy zarýadlaryň geçişleriniň diffuziýasy bolup geçýär. Şeýlelikde, esasy zarýadlary äkidijileriň **p – n** araçäğine diffuzion geçişleriniň netijelerinden **diffuzion tok** döreýär.

$$I_{dif} = I_p dif + I_n dif$$

Diffuzion toguň ugry diffuzionlanýan deşikleriň ugurlary bilen gabat gelýär.

Iki gatlakdan gurnalan ýarymgeçirijilerde **esasy** we **esasydäl** zaryadlary äkidijileriň konsentrasiýalarynyň özara paýlanyşlary (geçişleri) 1.6-nji **b** çyzgyda görkezildi.



3.1-njy çyzgy. Daşky naprýaženiýe ýok $U=0$ wagty **p – n** geçiş.

a) Ikgatly ýarymgeçirijiniň gurluşy ;

b) Zaryadlary äkidijileriň konsentrasiýasynyň paýlanyşy ;

Ýarymgeçirijiniň **n** – bölegine deşikler düşenden elektronlar bilen rekombirlenýärler we **n** – bölegiň çuňlugyna aralaşdygyça deşikleriň konsentrasiýasy azalmak bilen bolýar.

Edil şular ýaly-da, ýarymgeçirijiniň **p** – bölegine elektronlar düşenden deşikler bilen rekombirlenýärler we **p** – bölegiň çuňlugyna aralaşdygyça elektronlaryň konsentrasiýasy azalmak bilen bolýar.

Ýarymgeçirijiniň bir böleginden beýleki bölegine esasy zaryadlary äkidijiler geçende **p-n** araçäkde rekombinasiýa sebäpli çöküp galýan **äpet göwrümlü** zaryadlar toplanýarlar. Olara ionizirlenen zaryadlar diýilýär. Ýarymgeçirijiniň **n** – böleginde (+) – plýus (donorly) ionlar, **p** – böleginde (-) – minus (akseptorly) ionlar orun tutýarlar (3.2-nji **a** çyzga seret).

Araçağıň (seplesýän ýeriň) iki tarapynda-da dürli alamatly hereketsiz (çöküp galan) zaryadlaryň toplanmagy

netijesinde **p-n** geçiş aralykda ugry boýunça **n** – bölekden **p** – bölege tarap kontaktyň (**degmegiň**) **E_k** – elektrik meýdany döreýär. Bu **E_k** – meýdan soňky geçjek bolup dyzaşýan zarýady äkidijileriň diffuziýalanmagyna garşylyk görkezýär. Şonuň üçin-de, oňa päsgelçiligi döredýän potensialyň elektrik meýdany diýilýär.

Bu **E_k** – elektrik meýdanynyň edýän täsirine esaslanyp (eW) – elektron – woltda ölçenilýän potensialynyň berýän päsgelçiliginiň ϕ_0 – beýikligi anyklanylýar (3.1-njy ç ýyzga seret).

Päsgelçiligi döredýän potensialyň meýdany **diffuzion toguň** azalmagyna sebäp bolýar. Araçägiň iki tarapynda-da çöküp galan **göwrüm zarýadlaryň** emele getiren ýukajyk gatlaklaryna **p-n** geçiş diýilýär.

Emele gelen iki gatlagyň üstlerinden zarýadly äkidijileriň diňe ýyndamlary (çalasynlary) böwsüp geçýändikleri üçin olara birleşen (sepleşen) gatlaklar diýilýär. Bu birleşen gatlak örän ullağan **ideal** garşylygy bilen tapawutlanýar.

Esasy däl hasap edilýän zarýady äkidijiler, özleriniň ýylylyk döredýän haotik hereketleri bilen kontaktyň döredýän **E_k** – elektrik meýdanynyň zarbyna (güýjüne) duçar bolýarlar we **p-n** geçelgeden akyp geçmegi netijesinden **dreýf** toguny döredýärler. Bu tok esasydäl elektronlaryň we deşikleriň düzüjilerinden emele gelýär.

$$I_{dr} = I_p dr + I_n dr$$

Dreýf togunyň ugry **diffuzion** togyň ugry bilen tersdir.

Esasydäl äkidijiler diýilýän dreif togy kiçijikdir, sebäbi ýylylyk energiýanyň täsirinden kowalent baglansýyk dargamak bilen bolýar, şonuň üçin-de dreif toguna **ýylylygyň** döredýän togy-da diýilýär.

Elektrik çeşmesinden birilýän naprýaženiýe öçürilen wagty dinamiki deňagramlyk emele gelýär we netijede diffuzion tok azalyp, dreýf togy bilen deňleşýär.

$$I_{dif} = I_{dreý}$$

Diýmek, p-n geçelgeden geçýän togyň akymy nula deň bolar. Bu bolsa, päsgelçiligiň φ_0 – potensial energiýasynyň kesgitli beýikligine gabat gelýär we **wolt** bilen ölçelýär hem-de kontaktdaky potensiallaryň tapawudy diýilýän U_k – naprýaženiýe bilen san bahasy boýunça deňleşýär.

φ_0 – potensialyň ululygy. Bu potensial – temperaturadan, ýarymgeçirijiniň düzümine hem-de oňa goşulan garyndynyň konsentrasiýasyna (mukdaryndan) baglydyr.

Ýaşayş otagyň temperaturasy diýlip kabul edilen $T=20-23^{\circ}\text{C}$ ýylylykda germaniý üçin $\varphi_0= 0,3 - 0,5 \text{ W}$, kremniý üçin bolsa $\varphi_0= 0,6 - 0,8 \text{ W}$ töweregidir.

Ýokarda seredilen simmetrik **p-n** geçişli ýarymgeçirijiniň araçäginiň iki tarapynda-da “**Gadagan**” gatlagyň giňligi deňdirler. Hakykatda welin, praktikada ulanylýan ýarymgeçirijileriň aglabasy gurluşy boýunça düzümindäki donor we akseptor garyndylar özara deňdäldirler. Sular ýaly ýagdaýda **p-n** geçişe simmetriki däl geçiş diýilýär.

Simmetrik däl **p-n** geçişlerde konsentrasiýasy biri beýlekisinden iki-üç dereje ($10^2 \div 10^3$ esse) köp bolýar. Garyndynyň az konsentrasiýaly bölegine zaryadlary saklaýan **gadagan** gatlagyň giňligi köp konsentrasiýaly bölegindäki zaryadlary saklaýan **gadagan** gatlagyň giňliginden deňşililikde iki-üç dereje köpdür.

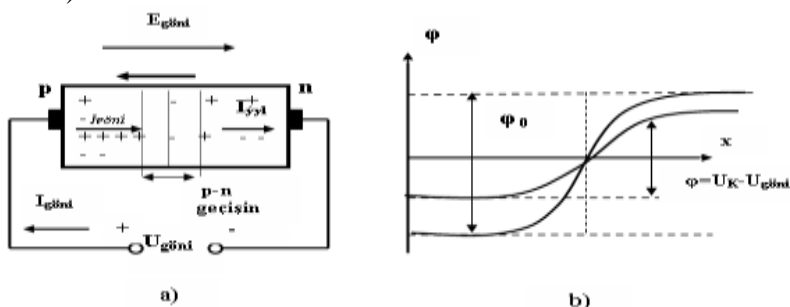
Göni polýarly naprýaženiýede p-n geçiş.

Ýarymgeçirijilerdäki **p-n** geçişlik daşyndan berilen naprýaženiýeniň polýaryna (alamatynyň birleşdirilişine) baglydyr. Ýarymgeçirijiniň **p** – tarapyna **plýus**, **n** – tarapyna **minus** berilse göni polýarly $U_{göni}$ – naprýaženiýe diýilýär (1.7-nji a çyzga seret).

Ýarymgeçirijiniň **p** we **n** böleklerindäki garşylyklaryň jemi juda kiçiligi sebäpli berilen $U_{göni}$ –

naprýażeniýe tutuşlygyna **p-n** geçişin gatlagynyň egnine düşýär diýsek-de ýalňyşmays.

Görkezilen "a" - shema üçin $U_{göni}$ – naprýażeniýe kontaktdaky (ýanaşyk ýerindäki) döreyän U_k – naprýażeniýe bilen ugurlary tersdirler. Şonuň üçin-de $E_{göni}$ – elektrik meýdany ýarymgeçirijileriň içindäki ýanaşyklaryň netijesinden döredýän E_k – elektrik meýdany bilen özara gapma – garşydyrlar. Şeýle gapma – garşylygyň netijesinde päsgelçiligiň ϕ – potensialy azalýar we san taýdan ululygy boýunça **p-n** geçişde täsir edýän naprýażeniýeleriň tapawutlaryna deň bolýar (3.2-nji b çyzga seret).



3.1.1-nji çyzgy. Naprýażeniýeniň polýary "Göni" bolanda elektronlar bilen deşikleriň geçişi.

a) Göni birleşmegiň shemasy ;

b) **p-n** geçişde päsgelçiligiň potensialy.

$$\phi = U_k - U_{göni}$$

Päsgelçiligiň ϕ – potensialynyň **p-n** geçişde azalyp başlamagy diffuzion i_{diff} – toguň döremegine sebäp bolýar.

Naprýażeniýeler özara deňleşenlerinde ($U_k - U_{göni}$) päsgelçiligiň potensialy nula deň bolýar. Bu bolsa, esasy zaryadlary äkidijileriň ýerleşän tarapynda elektronlaryň we deşikleriň erkin diffuziýalanmagyna sebäp bolup, olaryň şol ýarymgeçirijilerdäki özlerine ters alamatly bölegine tarap hereketlenmegine getirýär. Şeýlelikde, $U_{göni}$ – naprýażeniýeniň ösmegi bilen ösýän $I_{göni}$ – tok **p-n** geçişde örän uly bahalara eýe bolup bilýär.

Ýarymgeçirijileriň düzüminde zaryadlary äkidijileriň mukdaryny köpeltmek bilen, geçelgeden elektronlar we deşikler geçende (esasy böleginden esasydäl bölegine we tersine) päsgelçilik döredýän potensialyň pese gaçmagy bolup geçýär.

Zaryadlary äkidijileriň emeli usul bilen köpeldilmegi netijesinde

p-n geçelgede päsgelçilik döredýän potensialyň peselmegine **inžeksiýa** diýilýär

Inžeksiýa – (Latyn – Fransuz sözi) belli ugura çüwdürilip geçmek diýmekdir.

Simmetrik **p-n** geçelgede deşikleriň **inžeksiýasynyň p** – bölekden

n - bölege geçişi bilen elektronlaryň **inžeksiýasynyň n** – bölekden **p** – bölege geçiş tizlikleri (intensiwlilikleri) özara deňdirler.

Inžeksiýa sebäpli esasydäl zaryadlary äkidijiler özleriniň alamatlaryna göre ters tarapa geçenlerinden soň (meselem, inžektirlenen dişikler **p** – tarapdan **n** – tarapa geçenden soň) şol geçen tarapynyň göwrümüne siňmek bilen, öz hereketlerini dowam edýärler.

Bu hereketler diffuziýanyň hem-de dreýflenmegiň netijesinde bolup geçýär, sebäbi daşyndan berilýän naprýaženiýaniň täsirinden ýarymgeçirijiniň göwrümünde elektrik meýdany bilen konsentrasiýanyň **gradiýentiniň** döremegi bolup geçýär.

Ýylylyk sebäpli **p-n** geçelgeden içki giňişlige (göwrüme) geçip gidýän esasydäl zaryadlar ýylylygyň **I_{yy}**. – toguny döredýär. Ýylylygyň döreden

I_{yy} – togy esasy zaryadlary äkidijileriň döreden diffuzion **I_{diff}** – togundan (Göni tokdan) birnäçe derejeli tertipde kiçidir.

Daşky zynjyrdan akýan **I_{göni}** – tok ýarymgeçiriji kristalyň üsti bilen

U_{göni} – diýip ýazylygy çeşmäniň plýusyndan minusyna tarap akýar.

Praktikada ulanylýan simmetrikdäl geçişler ýarymgeçirijilerde (ýagny, elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýalarynyň özara deňdäl ýagdaýynda) elektronlaryň we deşikleriň inžeksiýalary birtaraplaýyn häsiýete eýedirler. Meselem, **p** – bölekdäki deşikleriň konsentrasiýasy **n** – bölekdäki elektronlaryň konsentrasiýasyndan birnäçe derejeli tertipde köp bolsa, onda deşikleriň

n – bölekdäki diffuziýasy, elektronlaryň **p** – bölekdäki diffuziýasyndan birnäçe esse köp ($p_n \gg n_n$). Şular ýaly ýagdaýda **p** – deşiklerden **n** – bölekdäki inžeksiýasyna (**n** – elektronlaryň inžeksiýasyny hasaba almasak) diňe birtaraplaýyn diýip bileris.

Simmetrikdäl **p-n** geçişli ýarymgeçirijileriň udel garşylygy kiçi bölegine (garyndynyň konsentrasiýasynyň köp tarapynda) ýagny inžeksiýanyň köp bolup geçýän ýerine **emitter** diýilýär, inžeksiýa üçin esasydäl zarýadlary iberýän beýleki bölegine bolsa **baza** diýilýär.

Ters polýarly naprýaženiýede p-n geçiş. Wolt – Amper häsiýetnamalar.

Ters naprýaženiýe diýlip elektrik çeşmesinden berilýän **U**-naprýaženiýeniň polýary **U_k** – naprýaženiýeniň polýary bilen gabat gelende aýdylýar : - çeşmäniň (+) tarapy ýarymgeçirijiniň **n** – tarapy bilen, (-) tarapy bolsa **p** – tarapy bilen birikdirilende aýdylýar (3.2.1-nji **a** çyzga seret). Şeýle birleşdirilende ϕ – potensialyň san bahasy artýar, sebäbi bu potensial **U_k** bilen

U_{ters} – naprýaženiýeleriň jemine deňdir (3.2.1-nji **b** çyzga seret)

$$\phi = U_k + U_{ters}$$

Potensial böwediniň (ϕ – niň) artmagy p-n geçelgeden geçjek bolup dyzaşýan esasy zarýadlary äkidijileriň diffuziýasyna güýçli garşylyk görkezýär we **U_{ters} -**

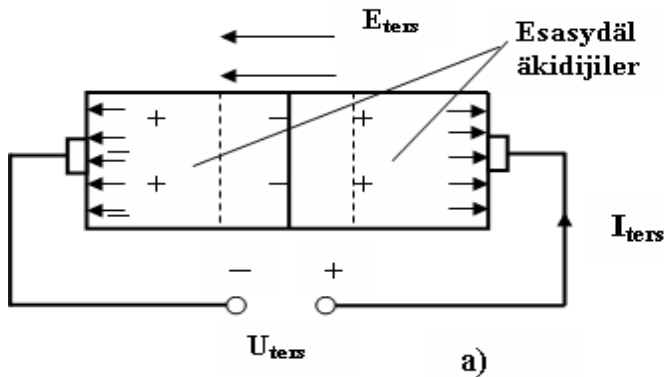
naprýaženiýeniň birnäçe bahalarynda diffuzion hadysa düýbünden kesilýär.

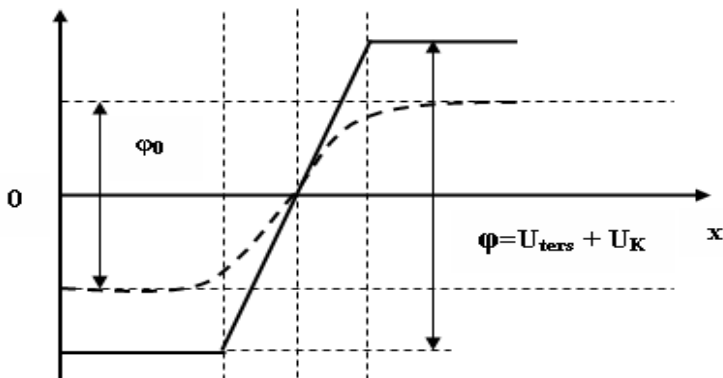
Şol bir wagtyň özünde polýary boýunça ters birleşdirilen daşky çeşmäniň döreden elektrik meýdanynyň täsirinden esasy zaryadlary äkidijiler **p-n** geçelgeden daşlaşýarlar we **p-n** geçelgäniň giňelmegine sebäp bolýarlar. Içki elektrik meýdany **p-n** geçelgede esasydäl zaryadlary äkidijileriň geçelgeden böwsüp geçmegine ýardam edýär.

Esasydäl zaryadlary äkidijileriň **p-n** geçelgeden geçende mukdarynyň ujypsyzdyklary sebäpli, olaryň hereketlerinden döreýän tok hem örän ujypsyzdyr. Şonuň üçin-de, ters naprýaženiýede döreýän toga, ugry boýunça göni toguň tersine taraplygy üçin, tersine akýan **I_{ters}** – tok diýilýär.

Ters tok häsiýeti boýunça **dreýf** toguň netijesidir, sebäbi dreýf tok ýylylyk sebäpli döreýändigini belläpdik. Şonuň üçin-de (ýylylygyň döredýän togy bolany üçin) daşyndan berilen naprýaženiýeniň meýdanýndan bagly däldir diýilýär. Diýmek **I_{ters} = I_{ýylylyk}** diýip bileris.

Ters **U_{ters}** – naprýaženiýe berilende **p-n** geçelgede elektrik meýdanynyň esasydäl zaryadlary tutup, elektrik geçirijiligi boýunça ters ugura tarap alyp gitmek prosesine **ekstrasiýa** (Latynça – çekip, goparyp almak) diýilýär.



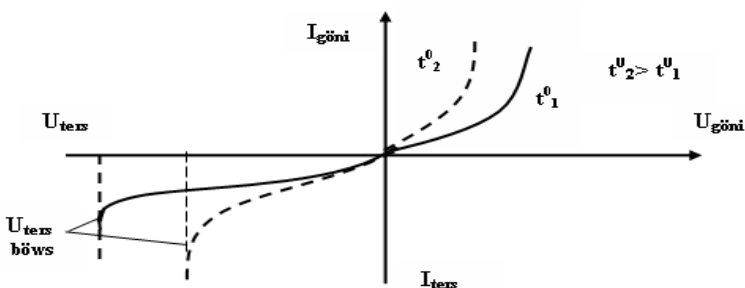


b)

3.2.1-nji çyzgy. Ters naprýażeniýe berilende elektronly-deşikli geçiş .

a) ters birleşdirlen shemasy ; b) Potensial böwet (barýer)

Göni we ters polýarly naprýażeniýeli **p-n** geçişiň wolt –amper häsiýetnamasyna seredeliň. **p-n** – geçişligiň wolt-amper häsiýetnamasy diýlip $I_{göni} = f (U_{göni})$ we $I_{ters} = f (U_{ters})$ baglanşyklara düşünilýär (3.2.2-nji çyzga seret).



3.2.2.-nji çyzgy. **p-n** geçişiň Wolt – Amper häsiýetnamasy.

Bu häsiýetnama iki bölekden ybaratdyr :

birinjisi $I_{göni} = f(U_{göni})$ baglanşykdyr – birinji çäryekde ýerleşýär ;

ikinjisi $I_{ters} = f(U_{ters})$ baglanşykdyr – üçünji çäryekde ýerleşýär.

Çyzgyda göni we ters toklara bolan temperaturanyň täsiri (- - -) keltejik çyzyklar bilen görkezildi.

Temperaturanyň ösmegi göni we ters toklaryň ikisiniň-de ösmegine hem-de **böwsüş** naprýaženiýesiniň peselmegine sebäp bolýar.

Temperatura ýokary galdygyça **p-n** geçişe edýän täsiriniň sebäplerini göni we ters garşylyklaryň azalýandyklary, jübt zaryadlary äkidijileriň termogenerasiýalygy hem-de potensialyň ϕ – böwediniň azalýandygy bilen düşündirilýär.

Aslyýetinde **p-n** geçişligiň wezipesi togy diňe bir tarapyna geçirip, beýleki (ters) tarapyna örän az (ujypsyz) geçirmelidir. Şonuň üçin-de bular ýaly ýarymgeçirijilere geçirişi boýunça birtaraplaýyn diýilýär.

Soraglar:

1. p – n geçiş
2. Göni polýarly güýjenmede p – n geçişiniň fizikasy
3. Ters polýarly güýjenmede p – n geçişiniň fizikasy

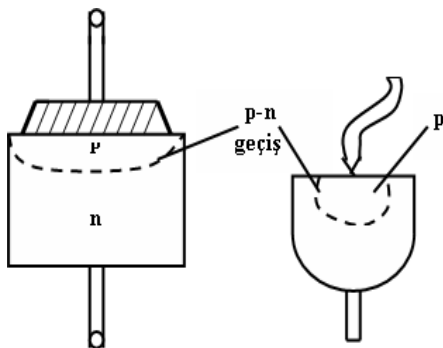
Mowzuk. Ýarymgeçiriji diodlar.

Ýarymgeçiriji diodlar hakda umumy düşüňjeler.

Kesgitlemesi. Ýarymgeçiriji diod diýlip, düzümi iki gatladan bolup, bir

p-n geçişli, iki sany sim çykalgaly ýarymgeçiriji abzallara aýdylýar.

Diodyň gurluşy (konstruksiýasy) – ýarymgeçiriji diodlar ýasalyşy boýunça iki görnüşde taýýarlanylýarlar : 1) Üsti tekizli ; 2) Üsti nokatly.

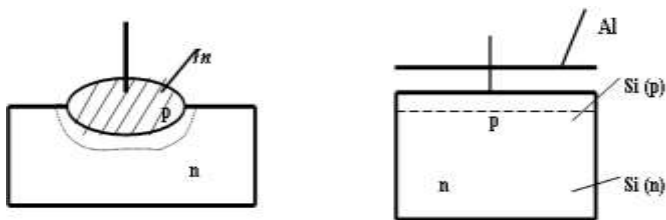


4.1-nji çyzgy
Diodlaryň gyrлуşlarynyň
shema bilen aňladylyşy

- a) Üsti tekizli.
b) Üsti nokatly.

Tekiz üstli diodlaryň **p-n** geçelgesi-de özleriniň ýalpaklygy bilen tapawutlanýarlar, olardaky tekizligiň islendik tarapyna bolan uzynlygy **p-n** geçelgäniň galyňlygyndan epesli uludyr (4.1-nji a çyzga seret).

Düzümi iki gatladan sepleşdirlip ýasalan tekiz üstli **p-n** geçişli diodlary ýa eredip sepleýärler ýa-da diffuzirlmek tehnologiýasy bilen taýýarlaýarlar. Soňra termiki gyzdyrlyp taba getirilende **Indiýniň** ýa-da **Alýuminiň** atomlary **n** – tipli ýarymgeçirijileriň göwrümüne siňip **p**- tipli gatlak döredýärler (4.2-nji a, b çyzgylara seret).



4.2-nji çyzgy. a) eredilen ; b) diffuzirlenen diodlaryň
çyzgyda düşündirişi .

Diodyň **p** – bölegindäki akseptorly erginiň konsentrasiýasy **n**- bölegindäki donorly erginiň konsentrasiýasyndan epesli köpdür, diýmek simmetrikdäl **p-n** geçiş emele gelýär. Bular ýaly diodlarda göni tok esasan-da **p** – bölekden **n** – bölege tarap deşikleriň

inžeksiýalary (çüwdürimleri) esasynda döreýär. Öz gezeginde **p** – bölek emitter, **n** – bölek bolsa baza bolup hyzmat edýär. Diodyň içinde göni tok **p** – bölekden **n** – bölege tarap akýar.

Ýarymgeçiriji diodlardan daşky zynjyrlara birikdirmek üçin çykarylýan simjagazlary diňe om garşylygyny döredýän (ýagny, göneldişi döretmeýän) metallardan ýasaýarlar.

Toguň daşky zynjyra tarap akýan çykalgasyna katod **K**, beýleki çykalgasyna bolsa anod **A** diýilýär.

Diffuzion usul bilen tekiz üstli **p-n** geçelgäni döredenlerinde akseptorly (ýa-da donorly) diffuzirlenmek gazly giňişlikden **p** ýa-da **n** tipli bölekleriň göwrüminiň içine tarap aralaşýarlar.

Diffuzion geçişlikde tekizligiň üstüne çäýylýän garyndy göwrümiň çyňlugyna aralaşdygyça onuň konsentrasiýasy azalýar, şonuň üçin-de emitterli gatlagy birjynssyz bolup, **p-n** geçelgede toguň endigan akymyny döredýär.

Üsti nokatly diodlary taýýarlanlarynda **n** – tipli ýarymgeçirijiniň tekizliginiň üstünden uýy ýiti metaldan ýasalan temen (iňňe) bilen sanjylyp gysdyrylýar. Iňňe bilen sanjylandan soň, şol ýarymgeçirijiniň üstüne sepleşýän ýerinde göneldişe ukyplylyk hadysasy döreýär. Şonuň üçin-de bu zyýanly göneldiş hadysany azaltmak (mümkingadar ýok etmek) maksady bilen kontaktlary **elektrik formowka** bilen gowulandyryýarlar. **Elektrik-formowka** üsti nokatly kontaktyň üstünden örän kuwwatly toguň impulsyny bermekdir.

Şeýlelikde, üsti nokatly kontaktjagaz güýçli toguň zarbyna çydaman gyzarýar we iňňäniň uýy ýarymgeçirijiniň içinde ereýär we berkeýär.

Garyndylaryň diffuziýalanmaklary netijesinde üsti nokatly kontaktjagazyň töwereginde beýle bir uly bolmadyk deşikli geçirijilik emele gelýär.

Üsti nokatly diodlarda nokatlanşyň tutýan meýdany örän kiçiligi sebäpli **p-n** geçelgesinde emele gelýän sygym hem örän kiçidir. Şonuň üçin-de bu diodlar ýokary we aşa ýokary ýyglylyklarda (AÝÝ) işlemäge ukyplydyrlar.

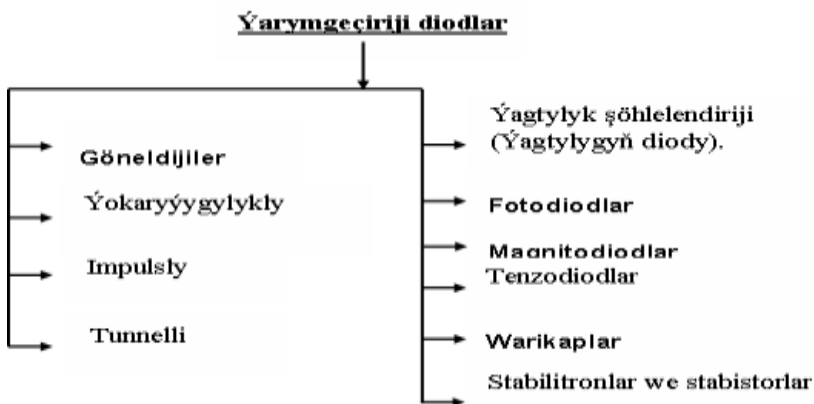
§ 4.1. Diodlaryň toparlara (klasslara) bölünişleri.

Ýarymgeçiriji diodlar özleriniň tehnika ulanyljak ýerlerine niýetlenilip şu aşakdaky toparlara bölünýärler :

Göneldiji diodlar – diýlip, ýygylgy (50,...1000 Gs) aralykda üýtgeýän togy hemişelik toguna öwürmek üçin ulanylýan diodlara aýdylýar.

Ýokary ýygylkly diodlar – diýlip, ýokary ýygylkly toklary detektirmek (göneltmek), modulirlmek we aňa ýokary ýygylkly signallary özgertmek üçin ulanylýan diodlara aýdylýar.

Impulsly diodlar – diýlip, geçiş prosesiniň dowamlylygy kiçiräk bolup, tehnikanyň impulsly düzgüninde işleýän abzallar üçin niýetlenilen diodlara aýdylýar.



Tunnelli diodlar – diýlip, tunnelli effekti sebäpli Wolt-Amper baglansygynyň göni ösýän ugrunda minus alamatly differensial geçirijiligi (ýa-da garşylygyň) emele gelýänligi üçin aýdylýar.

Ýagtylyk şöhlelendirýän diodlar – diýlip, elektronlar bilen deşikleriň rekombinasiýalaşmalary netijesinde berilýän elektrik energiýasynyň ýagtylyk energiýasyna öwürülmegi bolup geçýänligi üçin aýdylýarlar. Bu diodlar tehnika we

durmuşda informasiýalary (habar beriş serişdeleri) wizual görnüşde peýdalanmak üçin niýetlenilendir (**wizual** – latyn sözi –görünýän diýmekdir).

Fotodiodlar – diýlip, fotogalwaniki efektleri peýdalanyp, ýagtylygyň akymlarynyň özgerişini (üýtgeýşini) anyklamak üçin ulanylýan diodlara aýdylýar. Bu diodlar awtomatlaşdyrylýan tehnikalarda giňden ulanylýar.

Magnitodiodlar – diýlip, berilen magnit meýdanynda diodyň garşylygy üýtgäp, magnit ululyklaryny elektrik ululyklaryna özgertmek üçin niýetlenilen diodlara aýdylýar.


Tenzodiodlar – diýlip, mehaniki deformasiýalary elektrik ululygyna öwüriji diodlara aýdylýar.

Warikaplar - diýlip, **p-n** geçelgede sygymy ters naprýaženiýe bilen baglanşykda üýtgeýän diodlara aýdylýar. Bu diodlar sygym bilen dolandyrylýan shemalarda bir sygym element hökmünde giňden ulanylýar.


Stabilitronlar – ters naprýaženiýede döreyän elektrik böwsüşinden soň, naprýaženiýe toga juda az bagly bolup, belli bir bahada saklanýar. Şonuň üçin-de, stabilitronlar naprýaženiýeni durnukly (stabill) saklamak üçin tehnikada giňden ulanylýar.


Stabistorlar – bu diodlar 1 woltdan kiçi naprýaženiýeni hemişelik ululykda saklamak üçin ulanylýar. Toguň göni naprýaženiýeden baglylygy örän gowşak.


Elektrik shemalarynda ulanylýan ýarymgeçirijileriň şertli grafiki belgilenişleri.

 - Göneldiji diodlaryň umumy görnüşde şertli belgilenişi


 - Stabilitron


 - Warikap diody

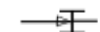
 - Tunnell diody


 - Şotkiniň diody

 - Fotodiod

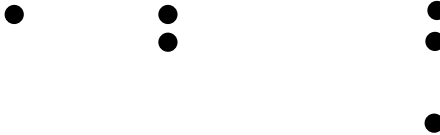
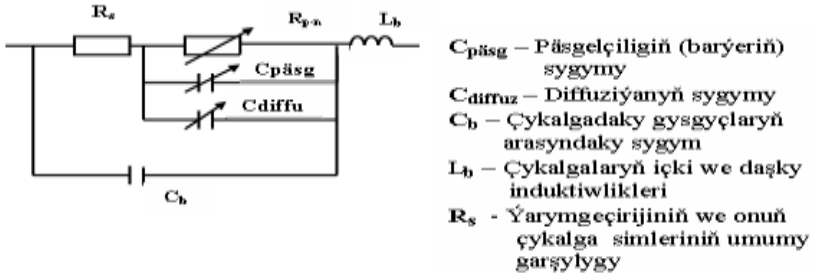
 - Ýagtylygy şöhlelendirýän diod (optodid)

 - Magnitodiod

 - Öwrülişikli diod

 - Ilkitaraplaýyn diod

Ýarymgeçiriji diodyň ekwiwalent shemasy.

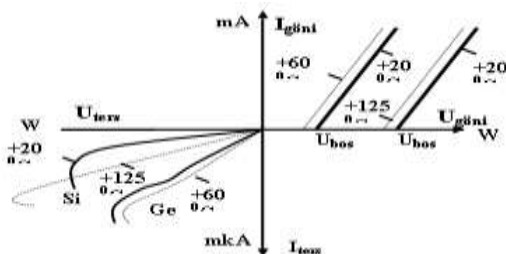


§ 4.2. Diodlaryň Wolt-Amper häsiýetnamalary, shemabirlleşmeleri we parametrleri.

a) **Göneldiji diodlar** – Göneldiji diodyň Wolt-Amper häsiýetnamasy diýlip, dioddan akyp geçýän toguň we oňa berilen naprýaženiýeniň polýarlaryna görä baglanşygyna aýdylýar.

Tejribe arkaly derňelen diodlaryň Wolt-Amper häsiýetnamalaryny gurup, diodyň nähili dioddygyny, onuň **p-n** geçelgesiniň giňligi bosogadaky

U_{bosoga} - naprýaženiýe bilen kesgitlenilýär.



4.2.1-nji çyzgy. Germaniý (Ge) bilen Kremniýden (Si) ýasalan diodlaryň dürli temperaturada ölçelip gurulan Wolt-Amper häsiýetnamalary.

Ge – üçin ; $U_{bos} = 0,3 + 0,5 W$; Si – üçin ; $U_{bos} = 0,6 + 0,8 W$

Real diodyň baglansygy hiç wagt koordinatanyň merkezinden başlanmaýar. Meselem, real diodyň togy naprýaženiýeniň birnäçe bahasyndan soň akyp başlaýar (4.2.1-nji çyzga seret).

Diodyň açylmagy üçin gerek bolan naprýaženiýä diodyň **bosagasyndaky** naprýaženiýesi diýilýär. Bosaga naprýaženiýesi 1 woltuň ondan bir bölegi we ondan-da köp bolup biler. Kremniýden ýasalan diodlaryň bosaga naprýaženiýesi Germaniýden ýasalan diodlaryň bosaga naprýaženiýesinden uludyr. Temperaturanyň ösmegi bilen U_{bos} kiçelýär.

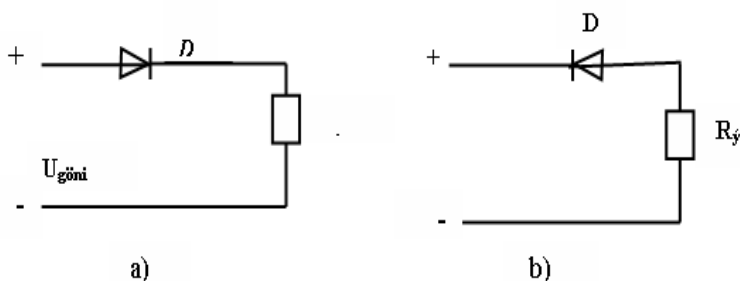
Kremniýniň häsiýetnamasynyň temperatura baglylykda çeppe ýa-da saga süýşmegi Germaniý bilen deňeşdirlende epesli kiçidir. Diýmek Kremniýden ýasalan diodlar temperatura has çydamlydyr.

Germaniýden ýasalan diodlarda döreyän I_{ters} – tok , esasan-da temperaturanyň täsirinden döreyän tok bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin-de temperatura ýokary galdygyça I_{ters} – tok örän çalt ösýär, U_{ters} – naprýaženiýeden bolsa az bagly bolýar.

Kremniýden ýasalan diodlarda bolsa tersine, temperaturanyň täsirinden döreyän toguň ujypsyzlygy sebäpli kremniý diodlarda I_{ters} – tok diňe **isrip** (ýitgi) tok bilen kesgitlenilýär.

Kremniý diodlarda isrip tok U_{ters} – naprýaženiýeden bagly bolup, temperaturadan bagly däl diýse-de ýalňyş bolmaz.

4.2.2-nji çyzgyda diodlaryň shemalarda bolup biläýjek iki ýagdaýy görkezildi.



4.2.2-nji çyzgy. Göneldiji ýarymgeçiriji diodlaryň göni - a), ters - b) birleşdirliş shemalary.

Göneldiji diodlaryň esasy parametrleri diýlip, şu aşakdaky parametrlere düşünilýär.

$I_{göni,ort} [I_F(AV)]$ – Göni toguň ortaça bahasy (ýaýyçinde halkara belgileniş);

$U_{göni} [U_F]$ – Diodyň gönelden hemişelik naprýaženiýesiniň täsir bahasy ;

$U_{ters} [U_R]$ – Diodyň ters naprýaženiýesiniň täsir bahasy ;

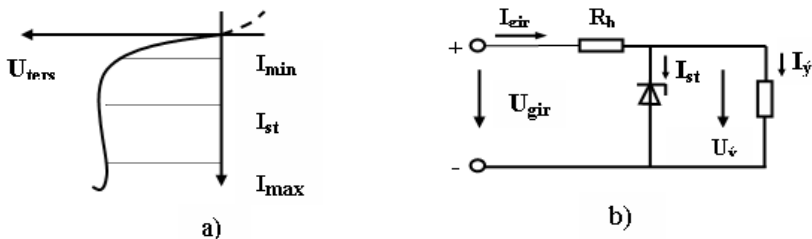
$U_{göni,ort} [U_F(AV)]$ – Göni naprýaženiýeniň ortaça bahasy ;

$I_{ters} [I_R]$ – Ters toguň täsir bahasy ;

$P_{ort} [P]$ – Ýitirilýän kuwwatyň ortaça bahasy.

Stabilitronlar. Ýüke gelýän naprýaženiýeni stabill (sarsdyrman) saklamak üçin niýetlenilen dioddyr.

2.5-nji çyzgyda stabilitronyň Wolt-Amper häsiýetnamasy a) shemalara birleşdirlişi görkezildi.



4.2.3-nji çyzgy. a) Stabilitronyň Wolt-Amper häsiýetnamasy ;

Stabilitronyň iş düzgüni **p-n** geçelgäniň häsiýetinden peýdanylmagyna esaslanýar.

Elektronlaryň böwsüşinde (çüwdüriminde) **I_{ters}** – tok giň aralykda üýtgände-de onuň egnine düşýän naprýaženiýe üýtgemän **stabil** ýagdaýda saklanýar.

Shemalarda stabilitronyň diňe ters Wolt –Amper häsiýetnamasy ulanylýar (4.2.2-nji a çyzga seret).

Stabilitronyň shemalarda birleşdirlişi 4.2.2-nji b çyzgyda görkezildi.

Shemada: **U_{gir}**; **U_{çyk}** - girelgedäki we çykalgadaky naprýaženiýeler;

I_ç; **R_ç** - elektrik ýüküniň togy we garşylygy;

U_{st}; **I_{st}** - stabilitrondaky tok we naprýaženiýe;

I_{gir} - girelgedäki tok;

R_b - ballast(söndüriji) garşylyk.

Schema üçin Kirhgofyň kanunlary : **I_{gir} = I_{st} + I_ç** **U_{gir} =**

R_b I_{gir} + U_{st}

Elektrik ýüküň **R_ç** - garşylygy üýtgedilmän saklananda girelgedäki

U_{gir} - naprýaženiýeniň san bahasyny ösdürsek zynjyrdaky **R_b** - garşylykdan

we stabilitrondan akýan toklar köpelyärler.

Napryáženiýe $U_Y = U_{st}$ - hemişelik ululyklarynda saklanýarlar, emma girelgede emele gelen artykmaç U_{gir} – napryáženiýe R_b – garşylyga sinýär.

Eger-de, girelgedäki ΔU_{gir} – napryáženiýe hemişeligine saklanyp, elektrik ýüküniň R_Y – garşylygy üýtgesse, onda R_b – garşylykdan akýan tok üýtgemän galýar. Şeýlelikde, stabilitron bilen elektrik ýüküniň özaralarynda I_{gir} – toguň bölünişmegi bolyp geçýär. Ýükdäki we stabilitrondaky $U_Y = U_{st}$ napryáženýeler özara deň bolup, üýtgemän hemişeliginde saklanýarlar.

Göni napryáženiýeniň tokdan azajyk baglanşykly yerlerinde wolt-ampere baglanşygyň işewür bölegini durnukly peýdalanmak üçin şol bölege degişli napryáženiýeni stabil saklamak maksady bilen ýörite diodlar ulanylýar.

Bu diodlara **stabistor** diýilýär. **Stabilitronyň** esasy parametrleri:

$U_{st}[U_z]$ – stabilirlenen napryáženiýe (Ýaýyçinde halkara belgilenişi görkezildi);

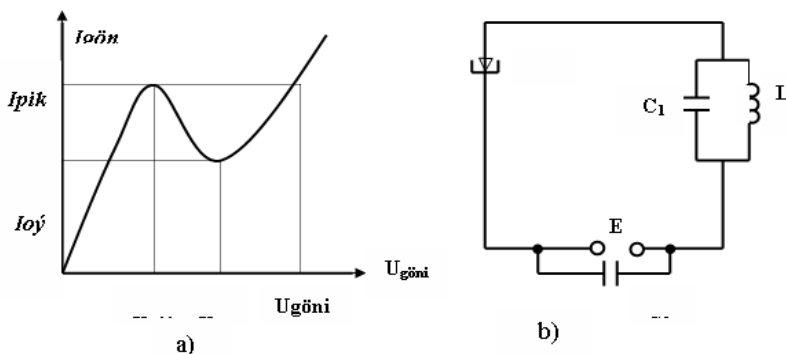
$I_{st}[I_{max}]$ - stabilirlenen tok;

$I_{st.max}[I_{z.max}]$ – stabilirlenen toguň in uly bahasy ;

$I_{st.min}[I_{z.min}]$ – stabilirlenen toguň in kiçi bahasy ;

$R_{st}[R_z]$ – stabilitronyň differensial garşylygy.

ç) **Tunnelli diod**. 2.6-njy çyzgyda tunnelli diodyň Wolt-Ampere baglanşygy we shemalara birleşdirlişi görkezildi.



4.2.4-njy çyzgy. a) Tunnelli diodyň Wolt-Amper häsiýetnamasy ;
b) Shemaly generatorda tunnelli diodyň birleşdirlişi

Tunnelli diodyň Wolt-Amper baglansygynda aşak düşýän bölegi

(1-2 aralyk) ýörite öwrenilmäge mynasypdyr, sebäbi bu aralykda minus alamatly differensial garşylyk döreýär. Şonuň üçin-de tunnelli diodlaryndan islendik yrgyldyly generatorlary we güýçlendirijileri gurnap bolýär.

Häsiýetnamada görkezilen 1-nji nokatda tok özüniň maksimum bahasyna ýetýär, şonuň üçin-de bu nokatdaky toga **pik** – tok diýilýär we I_{pik} – görnüşde belgilenýär. 2-nji nokatda bolsa tok özüniň minimum bahasyna düşýär. Şonuň üçin-de bu nokatdaky toga **oýdaky** tok diýilýär we $I_{oý}$ – görnüşde belgilenýär. Aşaklygyna ýykylýan 1-2 aralyk baglansygyň minus alamatly differensial garşylygyny kesgitleýär.

$$R_{dif} = \frac{\Delta U_{g\ddot{o}ni}}{\Delta I_{g\ddot{o}ni}} < 0$$

Sebäbi, göni naprýaženiýeniň ösmegi bilen 1-2 aralykda toguň bahasy peselýär, 2-nji nokatda tunnell effekt ýitýär, sebäbi **p** we **n** böleklerdäki gadagan zonalaryň derejeleri deňleşýärler we bir bitewi akyma öwrülýärler. Ikinji nokatdan soň göni naprýaženiýeni ulaldanyň bilen tok hem özüniň göni ösmegini dowan edýär. Bu ösüş esasy zaryadlary äkidijileriň

diffuzirlenmegi bilen düşündirilýär, sebäbi 2-3 aralykda päsgeçiligiň potensialy azalýandygy üçin özüni adaty diod ýaly alyp barýar.

Tunnell diodlarynyň esasy parametrleri diýlip, şu aşakdaky ululyklara düşünilýär :

I_{pik} – pik togy ; U_{pik} – naprýaženiýesi-pik toguna gabat gelmeli ;

$I_{\text{oý}}$ – oýdaky tok ; $U_{\text{oý}}$ – oýdaky naprýaženiýesi-oýdaky toga gabat gelmeli; $U_{\text{göni}}$ – göni naprýaženiýe (hakyky bolmaly naprýaženiýeden uly ; $I_{\text{göni}}$ – şahadaky göni we hemişelik tok (girelgede) ; $U_{\text{göni.mah}}$ – girelgedäki şahada göni we hemişelik naprýaženiýe ; $I_{\text{ters.mah}}$ – ters toguň maksimal çägi.

Tunnelli diodlary Germaniýden we Arsenid Galliýden taýýarlaýarlar. Germaniýden ýasalan tunnelli diod üçin

$$\begin{array}{l} \text{mW} \\ \text{mW} \end{array} \quad \frac{I_{\text{pik}}}{I_{\text{oý}}} = 4 \div 6 \quad \begin{array}{l} U_{\text{pik}} = 40 \div 100 \\ U_{\text{oý}} = 300 \div 450 \end{array}$$

Arsenid Galliý üçin

$$\begin{array}{l} 150 \text{ mW} \\ 450 \text{ mW} \end{array} \quad \frac{I_{\text{pik}}}{I_{\text{oý}}} = 10 \text{ we ondan-da} \quad \begin{array}{l} U_{\text{pik}} = 100 \div \\ U_{\text{oý}} = 400 \div \end{array}$$

ýokary

Tunnelli diodlarda inžeksiýa hadysasynyň örän kiçiligi sebäpli, bu diodlaryň inersionlyklary-da ujypsyzdyr (ýagny, ýok diýen ýalydyr). Şonuň üçin-de tunnelli diodlar shemalary açyp-ýapmak üçin, shemalarda güýçlendiriji hökmünde-de, yrgyldylaryň generatorlary, has hem aşa ýokary yrgyldyly generatorlary döretmek üçin-de praktikada örän giňden ulanylýar.

Shemalarda tunnelli diodlaryň örän şowly ulanylýandygynyň esasy bir sebäbi-minus alamatly differensial garşylygyň kömegi bilen yrgyldyly konturdaky ýitginiň öwezi doldurylýar we sönmeyän yrgyldylary alyp bolýar.

Tunnelli diodlardaky effektlere esaslanyp gurnalan yrgyldyly generatoryň in ýönekeý shemasy 2.6-njy **b** çyzgyda görkezildi.

Ortaça kuwwatly diodlaryň harplar bilen şertli belgilenşi (markirowkasy).

Kuwwaty kiçi diodlaryň şertli belgilenişleri ýyllaryň geçmegi bilen birnäçe gezek üýtgeýişe sezewar boldy.

Häzirkizaman diodlarynyň şertli belgileri **OST-11.336.919-81** laýyklykda baş element bilen şertli belgilenip şu günler hem güýjini ýitirmän gelýär. In soňky **OST-11336.919-81** – e görä şertli belgileriň düşündürlişini özleşdirelin :

Birinji element – harp ýa-da san bilen belgilenip ýarymgeçiriji abzalyň haýsy materialdan ýasalandygyny aňladýar.

1 ýa-da G – Germaniý ýa-da germaniý garyndyly ;

2 ýa-da K – Kremniý ýa-da kremniý garyndyly ;

3 ýa-da A – Galliý garyndyly ;

4 ýa-da I – Indiýa garyndyly.

Ikinji element – harp, abzalyň haýsy topara (klasa) degişlidigini aňladýar. Д – göneldiji diod, impulsly diod, özgerdiji diodlar (magnitodiodlar, termo, fotodiodlar we ş.m.), - göneldiji – sütünli we bloklar ; В – warikaplar; И – tunnelli diodlar ; А – ýokary ýyglykda işleýän diodlar ; Ж – toguň stabilitronlary, С – naprýaženiýe stabilitronlary (stabilitronlar, stabistorlar, naprýaženiýany çäklendiriji diodlar) ; А – şöhlenenýän optoelektronly abzallar.

Üçünji element – san, abzalyň iş prinsipini ýa-da näme üçin niýetlenilendigini aňladýar.

Dördünji element – iki sany san, 01-den 99-a çenli tertip nomeri, işlenip taýýarlanşyny aňladýar, üç sany san 101-den 999-a çenli. Şular ýaly belgiler abzallaryň tertip nomerleri 99-dan ýokary bolanda ulanylýar.

Bäşinji element – harp (A,B,B we başgalar) abzalyň klassifikasiýasyny aňladýar.

Gosmaça elementler – C – harpy (üçünji elementden soň) biratly abzallaryň korpusyny aňladýar.

Eger-de bäşinji elementden soň **defis** (çyzyk) bilen ýazylsa korpussyz abzaldygyny aňladýar. **P ; T ; Γ ; K ; H** – harplar bäşinji elementden soň ýazylýar – abzallary seçip almagyň hilini aňladýar.

Şertli belgilenşe bir mysal : **ГД-107Б** – Germaniýden ýasalan göneldiji diod, kiçi kuwwatly, işlenip ýasalan nomeri 07, topary Б.

Soraglar:

1. Elektron geçirijilik we diodyň gurluşy
2. Diodyň toparlara bölünişleri
3. Diodyň häsiýetnamalary

Mowzuk Tranzistorlar

TRANZISTORLAR

Umumy maglumatlar

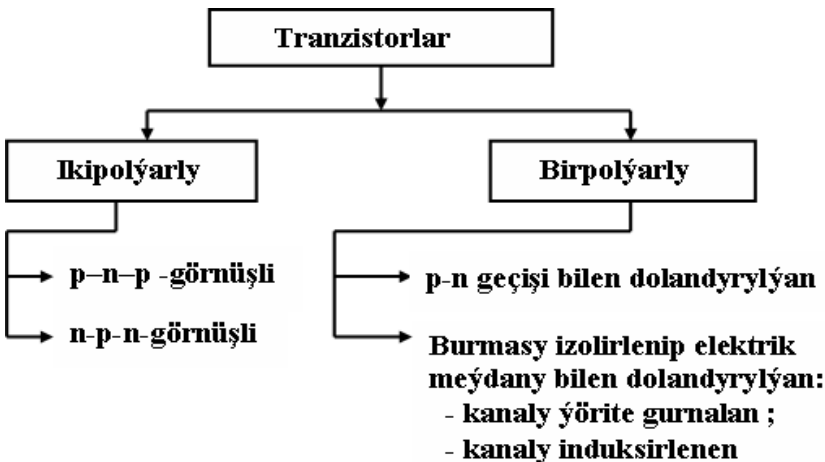
Kesgitlemesi : Tranzistorlar ýarymgeçirijilerden gurnalan abzal bolup, elektrik zynjrlarynda elektrik yrgyldylaryny güýçlendirmek we generirmek üçin ulanylýar.

Tranzistor [İňlis sözi – **tran** (sfor) – üstünden geçirýän + (re) **zistor** – garşylyk] sözlerden döräpdir.

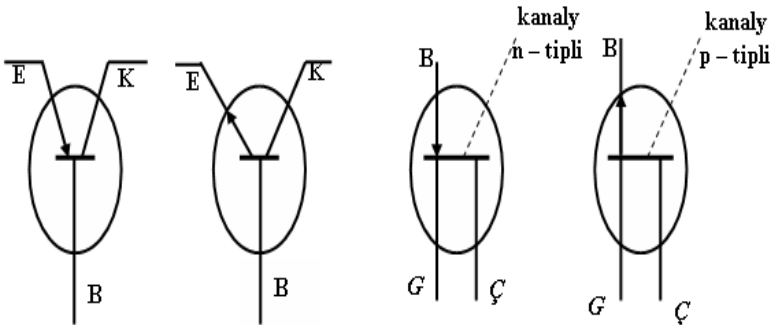
Tranzistorlaryň görnüşleri. Islendik tranzistor ýarymgeçirijilerden ýygnalýar we olary görnüşleri boýunça iki topara bölýärler :

- 1) Ikipolýarly (**bi**-polýarly) tranzistorlar ;
- 2) Birpolýarly (**uni**-polýarly) tranzistorlar.

Ikipolýarly tranzistorlarda elektron (**n**) we deşik (**p**) görnüşli togy äkidijileriň ikisi-de deňgüýçli ulanylýarlar. Emma, birpolýarly tranzistorlarda welin haýsy-da bolsa **bir** görnüşli geçirijiler (**n**-elektron ýa-da **p**-deşik) ulanylýar.



Shemalarda belgilenişi

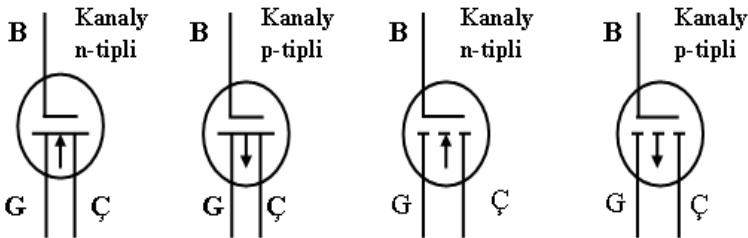


p-n-p

n-p-n

Elektrik

meýdany bilen Ikipolýarly tranzistorlar dolandyrylýan **p-n** geçişli tranzistorlar E – emitter G – girelgesi ;K – kollektor Ç – çykalgasy ; B – baza B – burmasy.



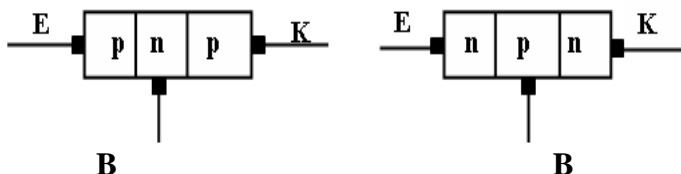
Burmasy izolirlenen Burmasy izolirlenen tranzistoryň içinde gurnalan tranzistoryň içinde gurnalan ýörite kanally (Elektrik meý-ýörite kanally induksirlenen dany bilen dolandyrylýan) (Elektrik meýdany bilen dolandyrylýan).

Ikipolýarly (bi-polýarly) tranzistorlar.

Kesgitlemesi : Ikipolýarly tranzistorlaryň üç sany çykalgasy (elektrody) bolup, iki sany **p-n** geçişli ýarymgeçirijilerden gurnalan abzaldyr. Ikipolýarly tranzistorlaryň güýçlendiriş ukyby inžeksiýa (çüwdüriliş) hadysasyna hem-de toguň bazadan akdyrlyşyna ýagny

ekstrasiýasyna baglydyr (Ekstrasiýa-Latyn sözi-daşyndan täsir edilişine bagly diýmekdir).

Tranzistoryň gurluşy – Ikipolýarly tranzistorlar üç gatladan gurnalyp elektrik geçirijilikleri **p-n-p** ýa-da **n-p-n** görnüşli yzygiderlikde seplenýärler (3.1-nji çyzga seret).



1-nji çygy. Ikipolýarly tranzistoryň gyrluşynyň şertli düşündirlişi.

Tranzistorlaryň **p** we **n** görnüşleriniň giňişliklerinde **p-n** geçiş döreýär.

Togy döredijileriň köp bölegi tranzistoryň bir tarapyna (çyzgyda çep tarapyna), az bölegi tranzistoryň ortasynda galýar.

Togy döredijileriň has köp toplanyp ugradylýan ýerine (daşky bölegine) emitter diýilýär we **E** – harpy bilen belgilenýär, daşky bölegiň beýleki ýarysyna bolsa kollektor diýilýär we **K** – harpy bilen belgilenýär. Tranzistoryň içki bölegine baza diýilýär we **B** – harpy bilen belgilenýär.

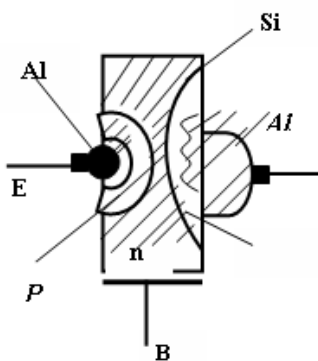
Emitter bilen baza aralygyndaky elektron-deşik (**p-n**) geçişe emitterli geçiş, kollektor bilen baza aralykdaky (**p-n**) geçişe bolsa kollektorly geçiş diýilýär.

Togy döredijileriň şular ýaly toplanmagy (konsentrasiýasy) bazanyň garşylygynyň ýokary omly , kollektoryň garşylygynyň pes omly, emitteriň bolsa has kiçi omly bolmagyna getirýär.

Bazanyň galyňlygy juda ýukadyr ýagny birnäçe mikrona deňdir.

Kollektorly geçişin tutýan meýdany emitteriň geçiş meýdanyndan birnäçe esse uludyr.

Tranzistoryň esasy massasy hökmünde Kremniý (**Si**) elementiniň ýa-da Germaniý (**Ge**) elementiniň kristalyndan ýasalyp iki sany **p-n** geçişli tekiz üst bilen üpjün edilýär. Şular ýaly tekiz üstli **p-n-p** görnüşli eredilip guýulan kristalyň gurluşy 3.2-nji çyzgyda görkezildi.



5.1.2-nji çyzgy. Eredilip keb-
şirlenen tranzistoryň
gurluşy.

Tranzistoryň taýýarlanylş tehnologiýasy şu aşakdaký ýaly tertipedir. Mysal üçin, **n**-tipli ýarymgeçirijiniň bazasy donor garyndysy az bolan plastinkany taýýarlaýarlar. Soňra, bazanyň iki tarapyndan akseptor garyndyly ergin damdyrylýar.

Germaniý üçin-Indiý elementi ;

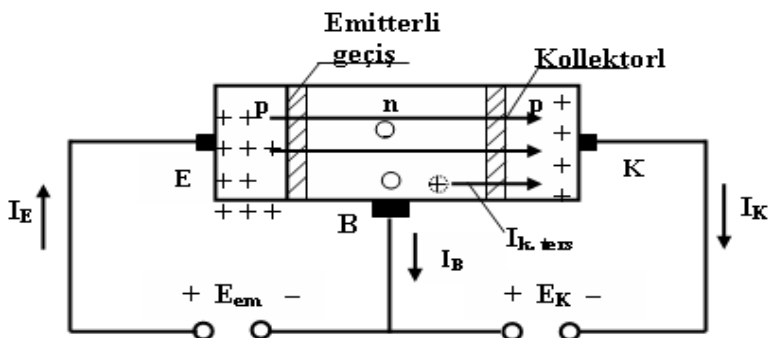
Kremniý üçin –Alýuminiý elementi

Gyzgyn peçlerde termiki çydamlylygy barlananda kristalyň (**B-bazanyň**) içine ergin siňýär, netijede **p**-gatlak döreýär.

Şular ýaly tehnologiýa proseslerden soň **p**-niň meýdançasyny bilen **n**-niň meýdançasynyň aralarynda **p-n** geçişler emele gelýär.

Tranzistoryň işledilşi . Ikipolýarly tranzistorlar işlände togy döredijileriň ikisinden-de (elektronlardan we deşiklerden) bagly bolýarlar. Şonuň üçin-de iki polýarly tranzistor diýilýär. 3.3-nji çyzgyda tranzistoryň birleşdirilişi görkezildi. Çyzgyda görkezilişi ýaly, emitterli **p-n** geçişe $U_{göni}$ – naprýaženiýe, kollektorly **p-n** geçişe bolsa U_{ters} - naprýaženiýe berilýär. $U_{göni}$

- naprýaženiýeniň ýok wagty kollektorly geçişden örän az I_{ters}
- tok geçýär. Bu tok örän ujypsyzdyr.



5.1.3-nji çyzgy. Tranzistoryň işledilişi.

Eger-de elektrik çeşmesinden emitterli geçişe $U_{göni}$ – naprýaženiýe berilse onda E_{emit} – çeşmäniň täsiri netijesinde tranzistoryň emitterinden bazasyna tarap inžeksiýa (togy döredijileriň çüwdürimi) bolup geçýär. Muňa garamazdan, inžeksiýa togy esasy tok hasap edilmeyär.

Tranzistoryň **p-n-p** görnüşlerinde esasy togy döredijiler hökmünde deşikler çykyş edýärler. Inžeksiýanyň netijesinde emitterli **p-n** geçişden

I_E – emitter togy döreýär. Baza tarap geçýän deşikler emitterli geçişiň golaýynda ummasyz konsentrasiýany (üýşmegi) emele getirýänligi üçin bazada diffuziýa (deşikleriň siňip gitmegi) döreýär. Bazanyň galyňlygynyň örän ýukalygy sebäpli, deşikli geçirijileriň (diffuziýa wagty) kollektorly **p-n** geçişiniň golaýynda zaryadlaryň üýşmekligi bolup geçýär. Olaryň birnäçesi bazadaky elektronlar bilen kompensirlenmäge ýetişmän elektrik meýdanyň täsirinden tizlenip kollektora tarap çekilýärler. Şeýlelikde, U_{ters} – naprýaženiýeniň täsirinden deşikli geçirijileriň tutulmalary (ekstrasiýasy) bolup geçýär. Ekstrasiýa wagty deşikleriň bazadan kollektora tarap hereketinden I_K – kollektor toguny döredýär. Emitterden baza tarap çüwdürilen (inžektirlenen) deşikleriň az-bölegi

bazadaky elektronlar bilen kompensirlense-de olaryň öwezini (ýerini) daşky E_{em} - çeşmäniň üsti bilen doldurylyp durulýar. Şonuň netijesinde bazadan hem I_B – tok akyp başlaýar.

Bazanyň örän ýukalygy hem-de esasy togy döredijileriň toplanmagynyň (üýşmeginiň) azlygy sebäpli bazadaky I_B – tok örän ujypsyzdyr.

Şular ýaly şertlerde bazadaky I_B – togy kesgitleýjiler (kompensirlenen deşikleriň mukdary beýle bir uly däldir).

Kollektoryň toguny emitteriň togy bilen dolandyrylýar. Eger-de emitteriň toguny ulaltsak, onda kollektordaky tok göni baglanşykda ösýär.

Emitter tarapdaky p-n geçişde $U_{göni}$ – naprýaženiýeniň sähelçe üýtgemegi emitter togunyň san bahasy giň aralykda üýtgäp bilmegi praktiki tarapdan gyzyklydyr.

Ýokarda aýdylanlardan şeýle netijä gelýäris :

Tranzistor – dolandyryp bolýan abzal hasap edilýär, onda emitterden – kollektora tarap bazanyň üsti bilen ugrukdyrylan zarýadlary äkidijileriň hereketlerini emitterdäki togy üýtgetmek bilen amala aşyrylýar. Diýmek, ikipolýarly (**bi** – polýarly) tranzistorlar tok bilen dolandyrylýar.

Emitterli **p-n** geçişniň $U_{göni}$ - naprýaženiýesini sähelçe üýtgedeniňde, emitterdäki $I_{göni}$ - tok (**p-n** geçişde) ummasyz üýtgeýär, netijede bu $I_{göni}$ – toguň üýtgemegi kollektordaky toguň has güýçlenmegine getirýär.

Şeýlelikde, ikipolýarly tranzistoryň güýçlendiriji abzal hökmünde işledilmegi ýokardaky düşündirilişlere esaslanýar.

Tranzistordaky toklar Kirhgofyň birinji düzgünine (kanunyna) boýun egýär.

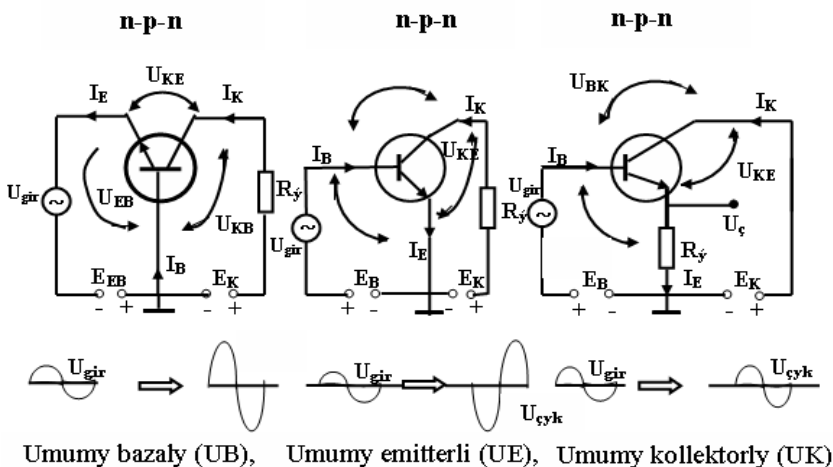
$$I_E = I_K + I_B$$

Kollektordaky I_K toguň emitterdäki I_E toga bolan gatnaşyga $I_K / I_E = \alpha$ tranzistoryň tok boýunça emitteriň üstünden geçiriş statiki koeffisiýenti diýilýär.

5.1.3. İkipolyarly tranzistorlaryň shemalara birleşdirlişi.

Elektrik zynjrlarynyň girelgesine we çykalgasyna görä tranzistoryň üç elektrodynyň **biri** – girelgesi, **ikinjisi** – çykalgasy, **üçünjisi** bolsa zynjyra görä umumy ýagdaýy eýeleýär.

Tranzistoryň haýsy elektrodynyň umumylygyna baglylykda shemalarda üç görnüşli birleşmelere düş gelinýär: 1) Umumy bazaly **U B** ; 2) Umumy emitterli **U E** ; 3) Umumy kollektorly **U K** . Bu görnüşleriň shemalary 5.1.4-nji çyzgyda görkezildi.



5.1.4-nji çyzgy. **n-p-n** görnüşli tranzistorlaryň shema birleşmeleri.

Umumy bazaly (UB) shemanyň häsiýetleri :

1. Örän uly R_{gir} we örän uly $R_{çyk}$ – garşylyklary bilen tapawutlanýar.
2. Fazalary üýtgemezden signalyň güýçlenmegi bolup geçýär.
3. Umumy bazaly (UB) shemada güýçlenmek naprýaženiýe we kuwwat boýunça bolup geçýär. Tok boýunça güýçlenmeýär, sebäbi R_{gir} – we $R_{çyk}$ - garşylyklaryň san bahalary juda uludyr. Şonuň üçin-de :

$$\alpha = \frac{I_{çyk}}{I_{gir}} = \frac{I_k}{I_B} = 0,95 \div 0,99 \text{ (güýçleniş ýok)}$$

Umumy emitterli (UE) shemanyň häsiýetleri :

1. Örän kiçi R_{gir} - we örän uly $R_{çyk}$ – garşylyklary bilen tapawutlanýar.
2. Signallaryň güýçlenmegi fazalarynyň 180° – üýtgemekleri esasynda bolup geçýär.
3. Umumy emitterli (UE) shemada güýçlenmek tok, kuwwat, naprýaženiýe boýunça bolup geçýär.
4. Umumy emitterli (UE) shema iň köp ýaýran shemadyr sebäbi .

$$\beta = \frac{I_{çyk}}{I_{gir}} = \frac{I_k}{I_B} = 20 \div 200 \text{ (güýçleniş bar)}$$

Umumy kollektorly (UK) shemanyň häsiýetleri :

1. Örän uly R_{gir} we örän kiçi $R_{çyk}$ – garşylyklary bilen tapawutlanýar.
2. Fazalary üýtgemezden signalyň güýçlenmegi bolup geçýär.
3. Shemada tok bilen kuwwatyň güýçlenmegi bolup, naprýaženiýe boýunça güýçleniş bolmaýar ($K_u < 1$).
4. Bu shema emitteriň gaýtalaýjysy hem diýilýär (iki sany elektron gurnamany sazlaşdyryjy).

5. Elektronly shemalarda UK – shemaly tranzistorlar shemalaryň garşylyklaryny özara sazlaşdyryjy hökmünde giňden ulanylýar.

$$\gamma = \frac{I_{\text{çyk}}}{I_{\text{gir}}} = \frac{I_E}{I_B} = 20 \div 200 \text{ (güýçleniş bar)}$$

§ 5.2. Tranzistorlaryň statiki häsiýetnamalary.

Tranzistorlaryň statiki häsiýetnamalary diýlip, haýsy-da bolsa bir ululygyň hemişelik saklanylmagynda (tranzistoryň elektrik ýüküne birleşdirilmedik wagty) gurulan baglanşyklaryna düşünilýär. Hemişelik sanyň dürli bahalarynda gurulan baglanşyklaryň toplumyna statiki häsiýetnamalaryň toporlaýyn baglanşyklary diýilýär.

Tranzistorlaryň hilini häsiýetlendirýän birnäçe baglanşyklaryň içinde iň esasy baglanşyk hökmünde tranzistorlaryň girelgesini hem-de çykalgasyny suratlandyrýan baglanşyklardyr. Olardan girelgesini häsiýetlendirýän baglanşyk diýlip, tranzistoryň çykalgasyndaky $U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýeni hemişelik saklap, girelgesindäki I_{gir} – tok bilen U_{gir} – naprýaženiýeniň baglanşyklaryna aýdylýar.

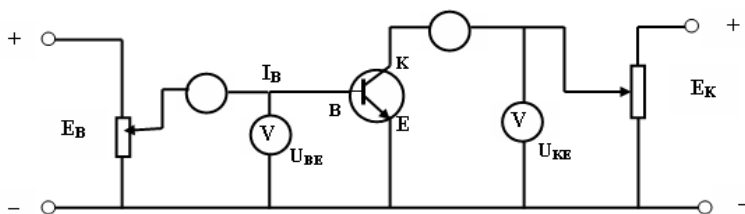
$$U_{\text{çyk}} = \text{hemişelik bolanda } I_{\text{gir}} = f(U_{\text{gir}})$$

Tranzistoryň çykalgasyny häsiýetlendirýän baglanşyk diýlip, tranzistoryň girelgesinde I_{gir} – togy hemişelik saklap, çykalgasyndaky $I_{\text{çyk}}$ – tok bilen

$U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýeniň baglanşyklaryna aýdylýar.

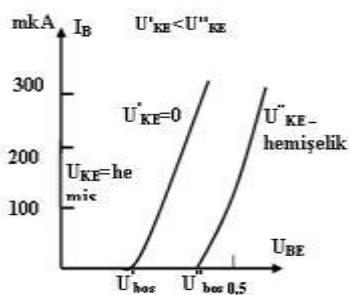
$$I_{\text{gir}} = \text{hemişelik bolanda } I_{\text{çyk}} = f(U_{\text{çyk}})$$

Tranzistorlaryň statiki häsiýetnamalaryny tejribe arkaly derňelişiniň shemasy 3.5-nji çyzgyda görkezildi.

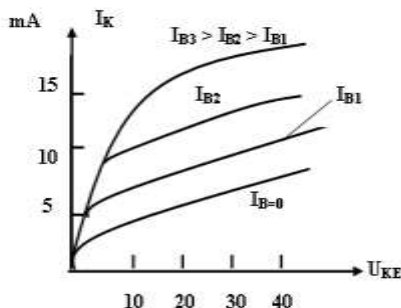


5.2.1-nji çyzgy. Emitteri umumylaşdyrlan tranzistoryň statiki häsiýetnamasyny derňemek üçin hödürileniň şema.

Tranzistoryň häsiýetnamalarynyň görnüşleri tranzistoryň shemalarda birleşdirilişine baglydyr. Tranzistorlaryň shemalara birleşdirilmeginiň in köp ýaýrany emitteri umumylaşdyrlan görnüşidir. Şonuň üçin-de diňe umumy emitterli shema üçin girelgesini we çykalgasyny häsiýetlendirýän baglanşyklary görkezmek bilen çäklenýäris (3.6-njy çyzgyda görkezilen grafiklere seret).



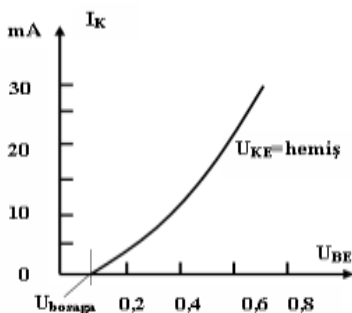
Girelgesiniň häsiýetnamasy



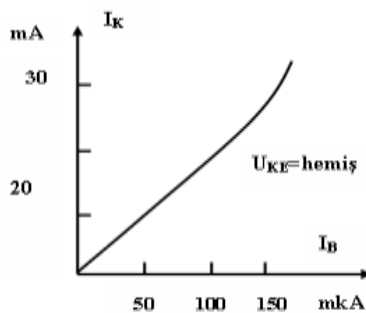
Çykalgasynyň

5.2.2-njy çyzgy. Emitteri umumylaşdyrlan tranzistoryň häsiýetnamalary.

Ýokarda görkezilen statiki häsiýetnamalar toplumynyň toparyndan başga-da, tranzistorlary doly häsiýetlendirmek üçin ýene-de iki sany baglanşyklardan peýdalanýarlar. Olaryň **birine** hemişe tranzistordan geçip durýan $I_K = f(U_{BE})$ baglanşyga aýdylýar, muňa $U_{KE} = U_{çyk} = \text{hemişelik}$ wagty geçip durýan baglanşyk hem diýilýär, **beýlekisine** bolsa göni geçip bilýän (ýa-da päsgelsiz geçip bilýän) baglanşyk diýilýär.



Geçip durýan häsiýetnama



Päsgelsiz geçip bilýän häsiýetnama.

5.2.3-nji çyzgy. Emitteri umumylaşdyrılan tranzistoryň häsiýetnamalary.

Geçip durýan häsiýetnama koordinatyň merkezinden başlanman U_{BE} – naprýaženiýeniň **bosagasy** diýilýän ýerinden başlanýar. Tranzistoryň açylmagynyň ön ýanyndaky naprýaženiýä U_{bosaga} – naprýaženiýe diýilýär. Eger-de $U_{BE} < U_{bos}$ bolsa, onda tranzistor ýapyk, $I_K = 0$ bolýar. Eger-de $U_{BE} > U_{bos}$ bolsa, onda tranzistor açylyp işläp başlaýar.

Päsgelsiz geçip bilýän häsiýetnama diýlip, girelge we çykalga toklarynyň özära baglanşyklaryna düşünilýär. Emitteri umumylaşdyrılan shema üçin

U_{KE} – hemişelik saklanandaky baglanşyk 3.7-nji çyzgyda görkezildi.

($I_K = f(U_{BE})$ we $I_K = f(I_B)$ baglanşyklara seret).

Görşümüz ýaly $I_K = f(I_B)$ baglanşyk koordinatanyň merkezinden başlan-ýar. Bazadaky toguň köpelmegi bilen kollektordaky tok ösýär. Ilki haýal ösýär, soňra çalt ösüp göni çyzyk boýunça dowam edýär.

Tranzistorlaryň baglanyşyklaryna temperatura (gyzgyňlyk) güýçli täsir edýär. Bazadaky toguň belli bir bahasynda ýokary temperaturalarda alnyp gurulan baglanyşyklar öňki diagrammalardan ýokarda ýerleşýärler.

Baglanyşyklaryň ýokary süýşmekleriniň esasy sebäpleriniň biri kollektordan tersine (yzyna tarap) akýan toguň köpelmegidir, has-hem emitteri umumylaşdyrılan shemalarda onlarça, hat-da yüzlerçe esse köpelmegi bilen düşündirilýär. Bularan başga-da, emitteri umumylaşdyrılan shemalarda toguň güýçlenmegi temperaturanyň ýokary galmagy bilen utgaşyp gidýär.

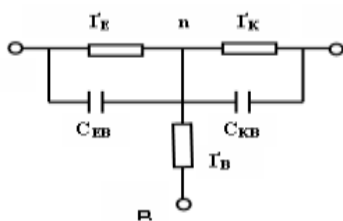
5.3. Tranzistorlaryň ekwiwalent parametrleri.

Islendik tranzistoryň häsiýetlerine degişli baha bermek üçin ýokarda görkezilen häsiýetlendiriji baglanyşyklardan başga-da tranzistorlaryň parametrlerinden giňden peýdalanýarlar. Umuman, parametrlere iki hili çemeleşip bolýar. Olaryň birine **birinji** çemeleşigiň parametrleri diýilse, beýlekisine **ikilenji** çemeleşigiň parametrleri diýilýär.

Birinji çemeleşigiň parametrleri diýlip emitter, baza we kollektor aralyklardaky r – garşylyklara we C – sygymlara düşünilýär. Bu iki (r , C) parametrleriň kömegi bilen tranzistorlaryň ekwiwalent elektrik shemasyny şertli çyzyp, soňra degişli deňlemeler toparyny düzüp hem-de fiziki häsiýetini düşündirip bolýar (3.8-nji çyzga seret).

Sesiň ýygylýklarynda (20 Gs-den 20 kGs aralykda) C_{EB} bilen C_{KB} sygymlaryň täsirlerini hasaba almasaň-da bolýar.

Tranzistoryň parametrleri hasap edilýän I_E , I_B , I_K garşylyklary ölçeýji abzallar bilen ölçäp bolmaýanlygy käbir ynjalyksyzlyklary döredýär, sebäbi ölçemek üçin gerek bolýan nokatlar içki düzüminde ýerleşýänligindendir.



5.3. - nji çyzgy.

Çyzgyda : I_E – Emitterli **p-n** geçişin göni tarapa differensial garşylygy, 1-omdan 10-larça Oma çenli bolup bilýär ;

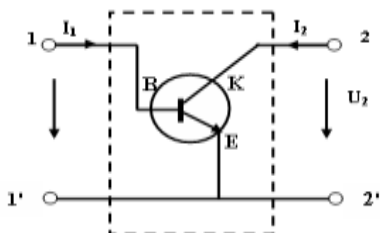
I_B – Bazanyň tutuş görwürminiň garşylygy 100-lerçe Om bolup biler ;

I_K – Kollektorly (**p-n**) geçişin ters tarapa görä differensial garşylygy. Bu garşylyk 100-lerçe kilo-Om bolup biler.

C_{EB} - Emitterli geçişin sygymy ;

100-lerçe pF bolup biler.

C_{KB} – Kollektorly geçişin sygymy; 10-larça pF bolup biler.



5.3.2-njy çyzgy. Tranzistora dörtpolýusly görnüşde seredilişi.

Girelgesindäki ululyklary U_1, I_1 harplar bilen belgilenilse, onda çykalgasyndaky ululyklary U_2, I_2 harplar bilen belgilenilýär.

Bu dört ululyklar özara baglansykdadylar. Şonuň üçin-de, dürli görnüşde deňlemeler toparyny hödürlep bolýar.

Ikilenji parametrleriň nähili ululyklardygyny şu aşakdaky ýaly düşündirip bolýar: Tranzistory aktiw dörtpolýusnik hökmünde kabul edilip, iki sany girelge 1-1' we iki sany çykalga 2-2' gysgyçlary bilen aňladylýarlar (5.3.2 -njy çyzga seret).

Hasap işi ýerine ýetirilende bu dört ululygyň iki sanysyny **garaşsyz** üýtgeýän ululyk diýip kabul etseler, beýleki ikisini **garaşly** üýtgeýän ululyk diýip hasap edýärler. Şeýlelikde garaşsyz we garaşly ululyklar üçin deňlemeler toparyny düzýärler. Bu deňlemeler topary näbelli koeffisiýentler bilen üsti ýetirilýär. Şol näbelli koeffisiýentlere bolsa tranzistorlaryň **ikilenji** parametrleri diýilýär. Olary birnäçe tejribeler geçirip anyklaýarlar.

5.4. Dört polýuslygyň h – parametrli deňlemeler toparynyň ulanylyşy.

Pesýygylykda işleýän shemalarda tranzistorlary hasaplamak üçin iň köp ulanylýan deňlemeler topary h (**haş**) parametrli deňlemeler toparydyr.

$$\Delta U_1 = h_{11} \cdot \Delta I_1 + h_{12} \cdot \Delta U_2$$

$$\Delta I_2 = h_{21} \cdot \Delta I_1 + h_{22} \cdot \Delta U_2$$

Bu deňlemeler toparynyň amatly tarapy ol hem h – koeffisiýentleri tejribeler arkaly ölçelen toklaryň we naprýaženiýeleriň san bahalaryndan kesgitlemek bolýar (tranzistorlaryň öz **birinji** parametrlerini tapmakdan aňsatdyr). Iň bir göwnejaý tarapy, ol hem üýtgeýän tokda islendik iş düzgünini alyp bolýanlygydyr. Meselem, tranzistoryň çykalgasynda **gysga utgaşma** döretmek

$\Delta U_2=0$ ýa-da $U_2 =$ **hemişelik** saklamak, ýa bolmasa tranzistoryň girelgesini boş işletmek $\Delta I_1 = 0$, ýa-da $I_1 =$ **hemişelik** saklamak ýaly tejribeleri geçirmek hiç hili kynçylyk döretmeýär.

Deňlemelerdäki h – parametrleri hasaplamak üçin deňlemeler toparyndaky I_1 , I_2 – toklary we U_1 , U_2 – naprýaženiýeleri

Δ – orunüýtgetmeler bilen aňladýarlar. Meselem ΔI_1 , ΔU_1 , ΔI_2 , ΔU_2 . Bu deňlemeler toparyndaky ΔI_1 bilen ΔU_2 ululyklara garaşsyz üýtgeýän ululyklar diýilýär. Deňlemelerdäki h – koeffisiýentleri h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} görnüşde belgilemek adata öwrülendir. Meselem, h_{11} – **zynjyryň** (tranzistoryň) girelgesi üçin, h_{22} – çykalgasy üçin bolsa, onda h_{21} – çykalganyň girelgeden baglydygyny (garaşlydygyny), h_{12} – bolsa tersine, girelgäniň çykalgadan baglydygyny (garaşlydygyny) aňladýar, h_{11} – tranzistoryň girelgesiniň garşylygy ($\Delta U_2=0$ ýa-da $U_2=\text{hemişelik}$)

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}, [\text{Om}]$$

h_{22} – tranzistoryň çykalgasynyň geçirijiligi ($\Delta I_1=0$ ýa-da $I_1=$ hemişelik)

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2}, [\text{Sm}]$$

h_{21} – tok boýunça göni geçiriş koeffisiýenti ($\Delta U_2=0$ ýa-da $U_2=$ hemişelik)

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}, (\text{ölçeg birligi ýok})$$

h_{12} – naprýaženiýe boýunça tersine geçiriş koeffisiýenti ($\Delta I_1=0$ ýa-da $I_1=$ hemişelik).

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}, (\text{ölçeg birligi ýok})$$

Görüşimiz ýaly h – parametrli deňlemeler toparynyň düzüminde garşylyk, geçirijilik we ölçegbirliksiz (jemi dört) koeffisiýentler barlygy üçin bu parametrlere **gibrid** parametrlar diýilýär (Gibrid – **garyşyk**).

Bu parametrleriň hemmesi tranzistorlaryň shemalara birleşdirilişlerine bagly bolup, dürli shemalarda bahalary dürli-dürlidir. Şonuň üçin-de parametrleri ýazanlarynda **E**, **B**, **K** harplar bilen üsti ýetirilýär, meselem h_{11E} , h_{22B} , h_{21K} . Parametrleriň hemmesi statiki häsiýetnamalaryndan anyklanylýar. Mysal üçin, emitteri umumylaşdyrılan shema seredeliň .

Tranzistorlaryň häsiýetnamalarynyň egriçyzyklydyklary (gönidäldigi). sebäpli h – parametrleri-de tranzistoryň iş düzgünlerinden baglydyrlar. Bu parametrlar haýsy-da bolsa bir işçi nokat üçin tok bilen naprýaženiýeniň azajyk orunüýtgedilmeklerinden tapýarlar.

$$h_{11E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}; U_{KE} = \text{hemiş} , h_{22E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_E}; I_B = \text{hemiş}$$

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}; U_{KE} = \text{hemiş} , h_{12E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E}; I_B = \text{hemiş}$$

Meselem , h_{11E} bilen h_{22E} parametrlar tranzistoryň häsiýetnamasynyň birinden tapylsa, h_{21E} bilen h_{12E} parametrlar iki häsiýetnamadan gözlenýär (5.4.1-njy çyzgyda görkezilen baglanşyklara serediň).

Ýokarda belläp geçilişi ýaly tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent (tranzistoryň çykalgasynda naprýaženiye hemişelik saklananda) ΔI_2 – toguň ΔI_2 – toga bolan gatnaşygy bilen anyklanylýar.

Bazasy umumylaşdyrılan shemalarda tranzistoryň tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýenti α – harpy bilen belgilenýär. Tapylşy

$$\alpha = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E}; U_{KE} = \text{hemişelik bolanda } \alpha = 0,95-0,99$$

Emitteri umumylaşdyrılan shemalarda tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent β – harpy bilen belgilenýär. Tapylşy

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}; U_{KE} = \text{hemişelik bolanda } \beta = 20-200$$

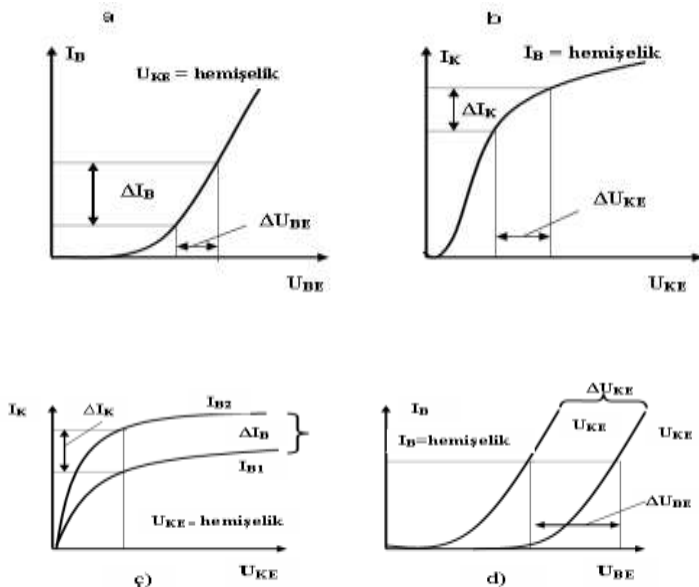
Kollektory umumylaşdyrılan shemalarda tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent γ – harpy bilen belgilenýär. Tapylşy

$$\gamma = \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B}; U_{KE} = \text{hemişelik bolanda } \gamma = 20-200$$

Bu koeffisiýentler şu aşakdaky gatnaşyklar bilen özara baglydyrlar

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}; \quad \alpha = \gamma \frac{1}{\gamma+1}; \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}; \quad \gamma = \beta + 1$$

$$\gamma = \frac{1}{1-\alpha}$$



5.4.1-njy çyzgy.

Tranzistorlaryň h – parametrlerini emitteri umumylaşdyrýlan shema esasynda gurulan statiki häsiýetnamalaryndan tapylyşy . a) h_{11E} ; b) h_{22E} ; c) h_{21E} ; d) h_{12E}

Tranzistoryň häsiýetleri diňe bir ýokarda seredilen parametrlr bilen çäklenmän, başga-da **nominal** we **predel** iş düzgünleri diýilýän düşünjeler bilen-de häsiýetlendirilýärler.

Nominal - iş düzgüni diýlip, tranzistorlardaky toklaryň we naprýaženiýeleriň **eşretli** iş wagtyndaky bahalaryna aýdylýar, ýagny naprýaženiýeler we toklar hiç wagt üýtgemän öz hakyky bolmaly bahalarynda saklananlarynda aýdylýar.

Predel – iş düzgüni diýlip, ygtyýar (rugsat) edilen maksimal toklaryň, naprýaženiýeleriň we ýitirilýän kuwwatyň bahalaryndan hiç haçan geçmeli dälidigini aňladýar. Olara kollektordaky $I_{K_{max}}$, emitterdäki $I_{E_{max}}$, bazadaky $I_{B_{max}}$ – toklardan başga-da emitter – baza aralykdaky $U_{EB_{max}}$, kollektor – baza aralykdaky $U_{KB_{max}}$, kollektor – emitter aralykdaky $U_{KE_{max}}$ – naprýaženiýeler hem-de kollektordaky **p-n** geçişde maksimal $P_{K_{max}}$ – kuwwat degişlidirler.

Tranzistoryň ýygylýk häsiýetleri emitterdäki C_E bilen kollektordaky

C_K – sygymlaryň täsirinden baglydyrlar.

Tranzistoryň ýygylýk häsiýetini häsiýetlendirýän ýygylýklaryň içinde esasy ululyk hökmünde **araçäk** ýygylýga düşünilýär.

Araçäk ýygylýgynda tok boýunça güýçlendiriji koeffisiýent $\sqrt{2} = 1,41$ esse peselýär.

Soraglar:

1. Tranzistorlar barada umumy maglumat
2. Tranzistorlaryň gurluşy
3. Tranzistoryň işleşşi
4. Tranzistorlaryň çatylşy we häsiýetnamasy

Mowzuk. Meýdan (bipolýar) tranzistorlar we tiristorlar

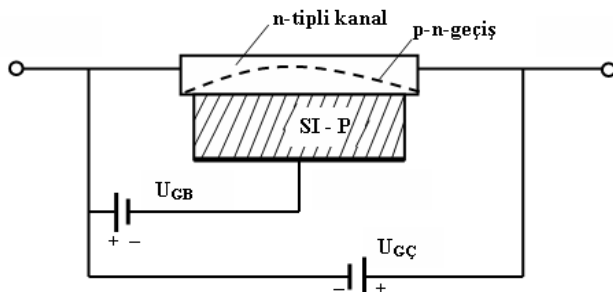
6. Birpolýarly (unipolýar) tranzistorlar.

Kesgitlemesi. Birpolýarly (unipolýar) tranzistorlar diýlip, esasy togy döredijileriň akymyny elektrik meýdany bilen dolandyryp bolýan, ýarymgeçirijilerden ýasalan abzallara aýdylýar. (Eger-de, **ikipolýarly** tranzistorlarda esasy zaryady döredijiler **elektronlar** bilen **deşikler** bolsa, onda **birpolýarly** tranzistorlarda esasy zaryadykidijiler ýa **deşiklerdir** ýa-da **elektronlardyr**).

Gurluşy boýunça birpolýarly tranzistorlar iki görnüşde taýýarlanylýarlar :

- a) Bir **p-n** geçişli tranzistorlar özüniň **p-n** geçişne elektrik meýdany bilen täsir edip dolandyrylýar (6.1.1-nji çyzga seret) ;
- b) Burmasy izolirlenen we ýörite kanally tranzistorlar (6.1.2 we 6.1.3-nji çyzgylara seret) :

p-n geçişi dolandyrýlýan birpolýarly tranzistorlar.



6.1-nji çyzgy. Ýarymgeçiriji kristalyň üstünde gurnalan ýörite kanally tranzistoryň shema görnüşde şekillendirilişi.

Çyzgyda U_{GB} – girelge (gözbaşy) bilen burma aralykdaky naprýaženiýe ; $U_{GÇ}$ – girelge (gözbaşy) bilen çykalga aralykdaky naprýaženiýe.

Girelge bilen çykalgany baglaşdyrýan $U_{GÇ}$ – hemişelik naprýaženiýe çeşmesiniň (–) – **minusy** tranzistoryň girelgesine, (+) – plýusy bolsa çykalgasyna berilende, kanaldan akýan esasy zaryadlary äkidijiler elektronlardyr. Bu elektronlar gözbaşydan çykalga tarap hereket edýärler.

Tranzistordaky toguň güýji $U_{GÇ}$ – çeşmäniň naprýaženiýesinden, ýörite gurnalan kanalyň elektrik garşylygyndan we tranzistoryň çykalgasyna birleşdirilýän daşky shemasyny düzýän elementleriň garşylyklaryndan baglydyr.

Eger-de tranzistoryň $U_{GÇ}$ – naprýaženiýesiniň polýusy üýtgedilse (plýus deregine minus, minus deregine plýus berilse) onda ters naprýaženiýe sebäpli

p-n – geçişiň giňligini (ýagny elektrik geçirijiligini) geregiçe üýtgedip bolýar. Tranzistoryň **p-n** geçelgesini giňeldip ýa-da daraldyp bolýanlygy üçin, kanaldaky zaryadlaryň akysyny-da üýtgedip bolýar. Diýmek, **p-n** geçişiň we **kanalyň** elektrik garşylyklaryny (ýa-da geçirijiliklerini) dolandyrp bolýar.

Umuman, **p-n** geçişli tranzistoryň dolandyrylyşy wakuumly elektron çyralarynyň işledilişine örän meňzeşdir. Ýagny, tranzistoryň girelgesi – wakuumly çyranýň katodyny, çykalgasy – anodyny, burmasy – toruny ýadyňa salýar.

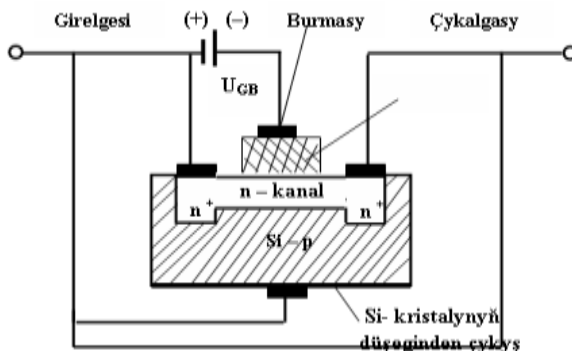
Tranzistoryň U_{GB} – naprýaženiýesiniň shemada görkezilen alamatlarynyň çalşyrylmagyna ýol berilmeli dälär. Diýmek, U_{GB} – naprýaženiýe hemişe ters polýarly bolmalydyr.

Eger-de, U_{GB} – naprýaženiýe ters alamatly birikdirilse, onda tranzistoryň üstünden aşa köp tok akyp, onuň tizden-tiz hatardan çykmagyna sebäp bolýar.

Ýokarda seredilen **n** – kanally tranzistordan başga-da **p** – kanally tranzistorlar-da tehnikada giňden ulanylýarlar.

a) Burmasy izolirlenen we ýörite kanally gurnalán birpolýarly tranzistorlar.

Burmasy izolirlenen birpolýarly (unipolýar) tranzistoryň shema görnüşde şekillendirlişi 6.1.2-nji çyzgyda görkezildi.



6.2-nji çyzgy. Ýarymgeçiriji kristalyň üstünde gurnalán, burmasy izolirlenen, ýörite kanally tranzistoryň shema görnüşde şekillendirlişi.

Metaldan ýasalan burma bilen **n** – **kanalyň** arasynda dielektrikden ýasalan ýukajyk gatlak ýerleşdirilýär, köplenç ýagdaýda iki okisli Kremniý (**SiO₂**) elementden ýasalýär.

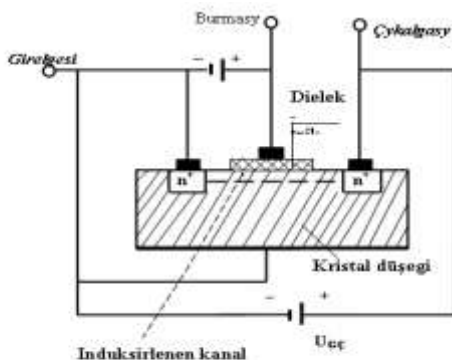
Kanalyň çep we sag tarapynda görkezilen **n⁺** - hapry, şol ýerde garyndynyň mukdary has köp diýen manyny aňladýär.

Seredilen tranzistorda **burmanyň** potensialy **girelgä** görä (+) – plýus polýarly bolanda işleýär (6.1.3-nji çyzga seret).Eger-de, tranzistoryň burmasyna (–) potensial berilse, onda kanaldaky elektronlaryň azalmagy bolup geçýär, diýmek kanalyň elektrik geçirijiligi-de peselýär (kanalda esasy zaryadlary äkidijileriň ýetmezçiligi duýulýar). Bu ýetmezçiligiň sebäbini kanaldaky zaryadlary äkidijileriň aglabasynyň kremniýden ýasalan kristall-düşege siňýänligi bilen düşündirilýär.

Eger-de, tranzistoryň burmasyna (+) potensial berilse, onda kanaldaky elektronlaryň köpelmegi bolup geçýär, diýmek kanalyň elektrik geçirijiligi-de artýar (kanalda esasy zaryadlary äkidijileriň artykmaçlygy duýulýar). Bu artykmaçlygyň sebäbini kanaldaky zaryadlary äkidijileriň juda köplügi bilen düşündirilýär ;

ç) Burmasy izolirlenen we kanaly induksirlenýän birpolýarly tranzistorlar.

Kanaly induksirlenýän birpolýarly tranzistoryň shema bilen şertli şekillendirilişi 6.1.3-nji çyzgyda görkezildi.



6.3-nji çyzgy. Ýarymgeçiriji kristalýň üstünde gumalanan, kanaly induksirlenýän birpolýarly tranzistoryň shema görnüşde sekillendirilişi.

Eger-de, girelge bilen burma aralykdaky U_{GB} – naprýaženiýe nula deň ($U_{GB}=0$) bolsa, onda burma kanalsyz bolýar.

Eger-de, burma (+) – plýus naprýaženiýe berilse, onda elektrik meýdanynyň täsiri netijesinde (+) – alamatly hasap edilýän deşikler dielektrik bilen **Si-p** ýarymgeçirijiniň araçäğinden daşlaşýarlar we (+) – zaryadlaryň ýetmezçilik edýändigleri sebäpli plýus zaryaddan garyp düşen gatlak döräp kanalda akseptor häsiýetli (-) – minus alamatly ionlar güýçlenýärler.

Eger-de, burmadaky naprýaženiýeniň (+) – plýus potensialyny öňküden-de ösdürsek, onda dielektrik bilen ýarymgeçirijiniň araçäğinde esasy däl geçirijileri (**Si-p** – kristal düşekde) döräp girelge bilen çykalganyň aralygynda ýukajyk geçiriji kanal emele gelýär. Netijede araçägiň bölünýän ýerinde zaryad gatlaklarynyň inwersiýasy bolup geçýär. (**Inwersiýa** – Latyn sözi-ýerini ýa-da alamatyny üýtgedýär diýmekdir).

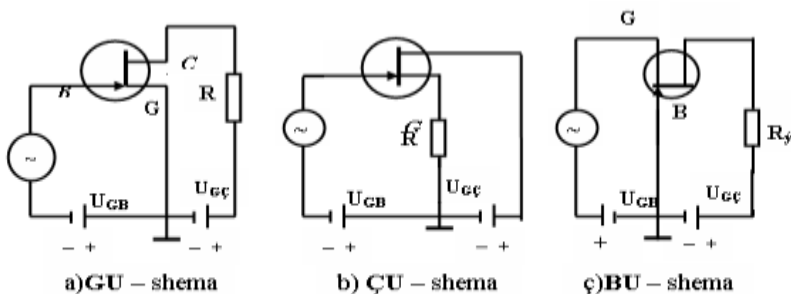
Kanaly döretmek üçin zerur bolan naprýaženiýeniň edil öň ýanyndaky naprýaženiýä - bosoga naprýaženiýesi diýilýär. (U_{bos}) – görnüşde belgileýäris.

Şular ýaly induksirlenýän tranzistorlar diňe kanaldaky zarýadlary äkidijileriň mukdaryny artdyrmak üçin ulanylýarlar.

§ 6.1. Birpolýarly tranzistorlaryň shemalarda çatylyşy we olaryň häsiýetnamalary.

Elektrik meýdany bilen dolandyryp bolýan tranzistorlary shemalara çatanlarynda zynjyryň girelgesine we çykalgasyna görä tranzistoryň haýsy-da bolsa bir elektrody **umumy** hasaplanylýar, şonuň üçin-de birpolýarly tranzistorlaryň shemalara çatylyşynyň üç görnüşi bolup biler.

1) Girelgesi umumylaşdyrılan **GU** ; 2) Çykalgasy umumylaşdyrılan **ÇU**; 3) Burmasy umumylaşdyrılan **BU**.



6.1.1-nji çyzgy. Birpolýarly tranzistorlaryň shemalara çatylyşy.

Birpolýarly tranzistorlaryň shemalara çatylyşy ikipolaýrly (**UE**, **UK** we **UB**) tranzistorlaryň shemalaryna meňzeşdir (**UE**-emitteri umumylaşdyrılan, **UK**-kollektory umumylaşdyrılan we **UB**-bazasy umumylaşdyrılan diýmekdir).

a) Shemalarda girelgesi umumylaşdyrılan **GU** tranzistorlarda **I** – toguň, **U** – naprýaženiýeniň we **P** – kuwwatyň güýçlenmekleri bolup biler. Bir kaskadyň naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň anyklanşy.

$$K_u = R_y \cdot S$$

Bu ýerde R_y – elektrik ýüküniň garşylygy ;

S – häsiýetnamanyň ýapgytlygy (krutiznasy)

b) Shemalarda çykalgasy umumylaşdyrılan ÇU – tranzistorlarda naprýaženiýe boýunça $K_u \approx 1$ deň bolup, çykalgasyndaky $R_{\text{çyk}}$ – garşylyk kân bir uly bolmaýar, emma girelgesindäki R_{gir} – garşylyk has uludyr. Bu parametrlerinden başga-da girelgesinde C_{gir} – sygymy-da bolýar. ÇU – shemanyň I – tok we P – kuwwat boýunça güýçlenmesi bolup, signalyň fazasy üýtgemeyär. Şular ýaly häsiýetli shemalara girelgesini gaýtalaýjy (повторитель) diýýärler.

ç) Shemalarda burmasy umumylaşdyrılan BU – tranzistorlarda I – tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent $K_i \approx 1$ bolmaýar. Bular ýaly shemanyň girelgesinde R_{gir} – garşylygy örän kiçi bolup, çykalgasyndaky $R_{\text{çyk}}$ – garşylygy örän uly bolýar.

Birpolýarly tranzistorlaryň häsiýetnamalaryny özleşdireliň

Birpolýarly tranzistoryň häsiýetnamalaryny iki topara bölýärler :

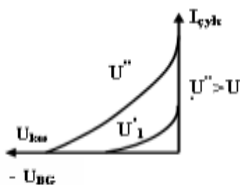
$$1) I_{\text{çyk}} = f(U_{\text{BÇ}})$$

U = hemişelik saklananda ;

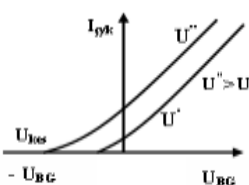
$$I_{\text{çyk}} = f(U_{\text{ÇГ}})$$

$U_{\text{BÇ}}$ – hemişelik

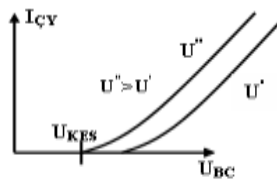
saklananda.



p-n geçişi
dolandyrylýan



Ýörüte kanal

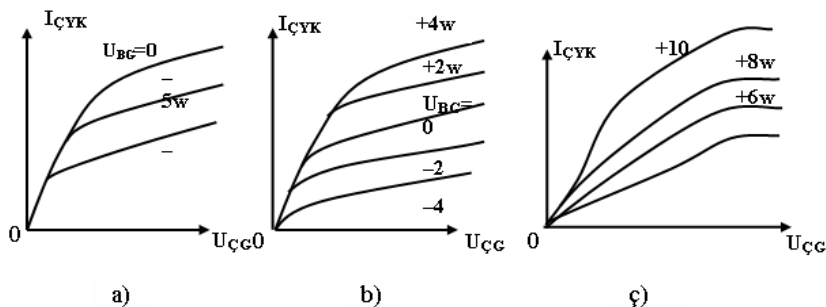


Kanally induksirlenýän

6.1.2-nji çyzgy. Naprýaženiýeniň iki bahasynda alnan Wolt-Amper häsiýetnamalar.

Diagrammada görkezilen kesiji U_{kes} – naprýaženiýe tranzistoryň işläp başlamagynyň ön ýanyndaky gerek bolan zerur naprýaženiýedir

U_{kes} – naprýaženiýeden soň tranzistor işläp başlaýar.



6.1.3-njy çyzyg. **n – kanally tranzistoryň häsiýetnamalary :**

a) p-n geçişli ; b) ýörite kanally ; c) kanaly induksirlenýän.

Elektrik meýdany bilen dolandyryp bolýan birpolýarly tranzistorlaryň parametrleri.

$$\begin{aligned}
 1) S &= \left. \frac{dI_{cyk}}{dU_{BG}} \right|_{U_{CG} = \text{hemiş}} \quad \left(\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right) && \text{– çykalga bilen burmany suratlandyran häsiýetnamanyň (krutiznasy) ýapgytlygy.} \\
 2) R_i &= \left. \frac{dU_{CG}}{dI_{cyk}} \right|_{U_{CB} = \text{hemiş}} \quad [\text{Om}] && \text{– içki garşylyk (üýtgeýän toga görä differensial garşylyk).} \\
 3) \mu &= \left. \frac{dU_{CG}}{dU_{GB}} \right|_{I_C = \text{hemiş}} && \text{– tranzistoryň güýçlendiriş koeffisiýentiniň tapylyşy.}
 \end{aligned}$$

ýa-da $\mu = R_i \frac{dI_c}{dI_c} \cdot S = R_i S$

Diýmek, parametrler özara baglanşyklydyrlar.

Ýokarda agzalan parametrlerden başga-da, ýene-de birnäçe parametrlerden peýdalanýarlar, olar :

U_{kes} – Tranzistoryň işläp başlamagy üçin zerur bolan kesiji naprýaženiýe. Şu naprýaženiýa çenli girelgedäki $I_G=0$ tok nula deňdir.

C_{BG} – Burma bilen girelge aralykda döreyän sygym ;

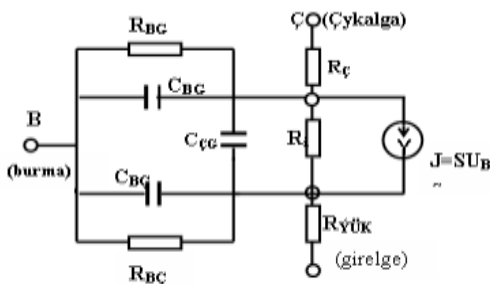
$C_{BÇ}$ – Burma bilen çykalga aralykda döreyän sygym ;

$C_{düşeg}$ – Kristal düşek bilen girelge aralykda döreyän sygym.

$$f_{çäk} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

- araçağyň ýygylgy. Bu ýerde τ – burmanyň wagt hemişeligidir.

Birpolýarly tranzistorlaryň ekwiwalent shemasy.



$R_ç$ – çykalgasynyň garşylygy (kanal bilen çykalga aralyk göz önünde tutulýar).

R_{gir} – girelgäniň garşylygy (kanal bilen girelge aralyk göz önünde tutulýar).

$J = SU_{BÇ}$ – tok çeşmesi ýa-da toguň generatory.

6.1.4-nji çyzgy.

R_{BG} , C_{BG} , $R_{BÇ}$, $C_{BÇ}$ – burma-girelge we burma-çykalga aralyklardaky garşylyklar we sygymlar. Bu sygymlara germew (päsgelçilik döredýän) sygymlar hem diýilýar.

$$2) R_i = \frac{dU_{çyk}}{dI_{çyk}} - \text{kanalyň differensial garşylygy.}$$

Tranzistoryň harplar bilen şertli belgilenişi (markirowkalanysy).

Tranzistoryň ösüş döwründe onuň şertli belgileri dürli sebäplere görä birnäçe gezek üýtgedilipdir :

- 1964-nji ýyla çenli ikipolýarly tranzistorlar iki ýa-da üç elementden düzülipdir.
- Emma, 1964-nji ýyldan başlap, täze belgiler kabul edilýär (GOST 10862-64). Bu şertli belgiler tä 1977-nji ýyla çenli dowam edýär.
- 1977-nji ýylda kabul edilen (OST 11.336.038-77).

Şertli belgiler harplardan we arifmetiki sanlardan jemlenip, ýedi sany elementden ybaratdyr.

Birinji element – harp ýa-da san (harp – giňişleýin ulanylýan tranzistordygyny aňlatsa, onda san – umumy tehnikalarda ulanylýan tranzistory aňladýar) tranzistorlaryň haýsy materialdan (ýarymgeçiriji elementden) ýasalandygyny aňladýar.

Г – ýa-da 1-Germaniýden ýa-da onuň birleşmelerinden ;

К – ýa-da 2-Kremniýden ýa-da onuň birleşmelerinden ;

А – ýa-da 3-Galliýiň birleşmelerinden.

Ikini element – harp – Tranzistoryň haýsy klasa degişledigini aňladýar :

Т – Ikipolýarly tranzistor ;

II – Birpolýarly tranzistor.

Üçünji element – san – Tranzistorlaryň funksional mümkinçiliklerini kesgitleýär (Harç edilýän kuwwatyň aňry çäginini ýa-da işlemeli ýygylgynyň maksimal bahasyny aňladýar).

Dördünji element – üç sany arifmetiki san (101-den tä 999-a çenli) tranzistoryň tertip nomerini we tehnologiýasyny aňladýar.

Bäşinji element – harp, belli bir tehnologiýa boýunça taýýarlanylýan tranzistorlaryň topara degişlidigini kesgitleýär.

Goşmaça elementler – Ikinji elementiň yzyndaky **C** – harpy birtipli tranzistorlaryň umumy korpusda ýygналandygyny aňladýar.

- Keltejik çyzykdan (**defisden**) soň ýazylan sanyň soňky ýedinji elementden soň ýazylyp, tranzistorlaryň korpusyzydygyny aňladýar.
Şertli belgileriň görnüşlerinden mysallara ýüzleneliň .

2П7235Г – Umumy tehnikalar üçin Kremniýden ýasalan tranzistor, birpolýarly, korpusyň içinde, kuwwaty (**$P_{max} > 1 \text{ Wt}$**), pesýygylykda işleýän (**$f_{max} < 30 \text{ MGs}$**), işlenip taýýarlanylýan nomeri **235**, klassifikasion topary **Г**.

KT2115A – 2 , juda köp ulanylýan tranzistor, Kremniýden ýasalan, ikipolýarly, kuwwaty kiçi (**$P_{max} < 1 \text{ wt}$**), ýokary ýygylyklarda işleýän (**$30\text{MGs} < f_{araçägi} \leq 300\text{MGs}$**), işlenip taýýarlanylýan nomeri **115**, klassifikasion topary **A**, korpusyzy, tok üçin niýetlenilen simjagazlary örän çäýe, ýörite ýasalan kristallara berkidilýän esaslarda ornaşdyrylýar.

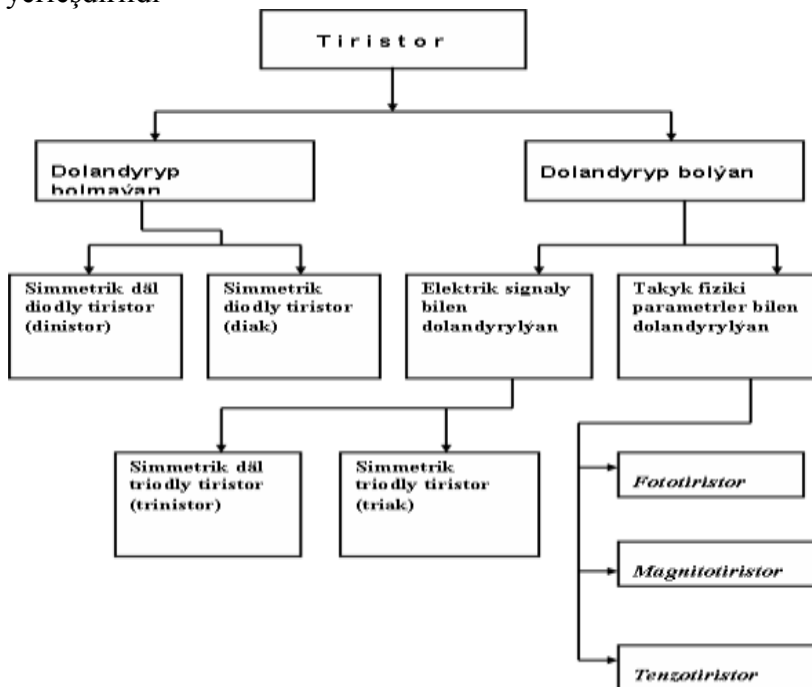
6.2. Tiristorlar.

Kesgitlemesi. Tiristorlar iki sany durnukly ýagdaýly, üç ýa-da üçden-de köp **p-n** – geçişi bolan ýarymgeçiriji abzaldyr. Iki sany ýagdaýy diýlip, tiristoryň ýapyk ýagdaýyndan açylyp ýa-da açyk ýagdaýyndan ýapylyp bilýänligine düşünmeli.

Tiristor – grek we iňlis sözleriniň, grekçe *thyra* – gapy, girelge + iňlis **(res)istor** – garşylyk sözleriniň goşulmaklarynyň netijesidir.

Tiristorlary hem beýleki ýarymgeçiriji abzallar ýaly birnäçe toparlara bölýärler, olar : simmetrik we simmetrik däl,

diodly we triodly, dolandyryp bolýan we dolandyryp bolmaýan, ýapylýan we ýapylmaýan ýaly toparlara bölünýärler. Aşakda tiristorlaryň toparlara bölünişiniň shemasy ýerleşdirildi



Çet ýurt sözleriniň ulanylmagy we olaryň manylary.

Triak – İňlis.Triode Alternating Current switch –Üýtgeýän togy açyp - ýapyjy.

Diak – İňlis. Diode Alternating Current Switch – Üýtgeýän togy diodly açyp-ýapyjy.

Dinistor – Grek sözi, di(s) - iki gezek + inlis(rez)istor – garşylyk .

Trinistor – Grek sözi, tri-üç + inlis (rez)istor – garşylyk.

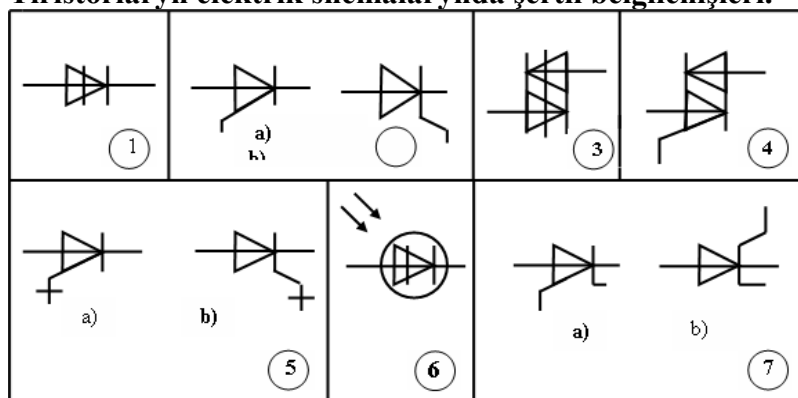
Simmetrik tiristorlara **simistorlar** hem diýilýär. **Simistorlar** diýlip, polýarlaryň göni we ters ýagdaýlarynda (tapawudy ýok) shemany ýapyk ýagdaýdan açyk ýagdaýa geçirýän tiristorlara aýdylýar.

Tiristorlaryň aglabasy ýapylmaýan häsiýetlidirler (ýagny, işläp bolandan soň açyk ýagdaýynda saklanýarlar).

Tiristorlar işläp bolandan soň, ýörite usul bilen täsir edip ýapmaklygy talap edýär.

Tiristorlaryň käbir toparyny elektrik signallaryň täsiri bilen açyk ýagdaýdan ýapyk ýagdaýa we tersine, ýapyk ýagdaýdan açyk ýagdaýa-da geçip bolýar. Şular ýaly tiristorlara **ýapyp** bolýan ýa-da iki operasiýaly tiristorlar diýilýär.

Tiristorlaryň elektrik shemalarynda şertli belgilenişleri.



6.2.1-nji çyzgy.

Çyzgyda görkezilen şertli belgileriň manylary

1 – Diodly tiristor, polýary ters birikdirilende ýapyk (üstünden tok geçirmeýär).

2 – Triodly tiristor, polýary ters birikdirilende ýapyk :

a) anody bilen dolandyrylýar ;

b) katody bilen dolandyrylýar ;

3 – Simmetrik diodly tiristor .

4 – Simmetrik triodly tiristor .

5 – Triodly tiristor , ýapylýan :

- a) anody bilen dolandyrylýar ;
- b) katody bilen dolandyrylýar.
- 6) Fototiristor.
- 7) Triodly tiristor, ters ugruna üstünden tok geçirýär :
 - a) anody bilen dolandyrylýar ;
 - b) katody bilen dolandyrylýar.

Soraglar:

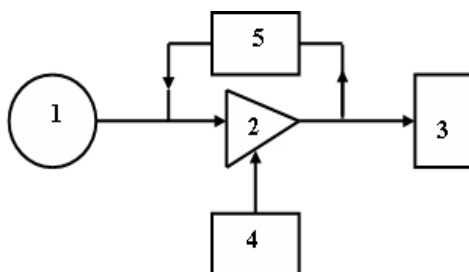
1. Meýdan tranzistrolaryň gurluşy we işleýşi
2. Meýdan tranzistorlaryň elektrik zynjyrlarda çatylşy
3. Tiristorlaryň görnüşleri

Mowzuk. Elektron güýçlendirijiler

7. Elektronly güýçlendirijiler hakda umumy maglumatlar.

Kesgitlemesi. Elektronly güýçlendirijiler diýlip, elektrik ýüküne gelýän örän kiçi – kuwwatly signallary elektroenergiýa çeşmesiniň hasabyna has uly – kuwwatly signallaryň akymyna geregiçe güýçlendirip we olary dolandyryp bilýän gurnamalara aýdylýar.

Güýçlendirijileriň düzümi – 9.1-nji çyzgyda görkezildi



7.1-nji çyzgy. Elektron güýçlendirijiniň düzümi : 1 – girelgä gelýän signal çeşmesi, 2 – güýçlendiriji element, 3 – elektrik ýüki, 4 – energiýa çeşmesi, 5 – yzyna çatylan zynjyr (yzyna baglanşyk).

Islendik elektronly güýçlendirijiler aktiw we passiw elementlerden durýarlar. Aktiw elementlere elektronly çyralar we tranzistorlar degişlidirler. Passiw elementlere bolsa rezistorlar, sygymlar, induktiw tegekler we transformatorlar degişlidirler.

Güýçlendirijileriň bitirýän işine baglylykda aktiw hem-de passiw elementler özära kesgitli shemalar boýunça birleşdirilýärler.

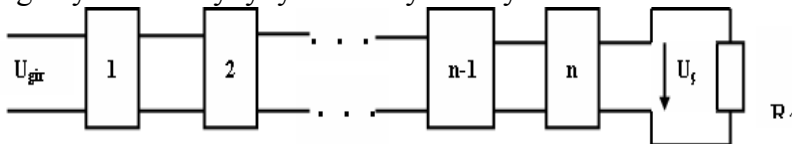
Shemasy çylşyrymly hasap edilýän güýçlendirijiler yzygiderli birikdirilen birnäçe basgançakly, signaly güýçlendirijilerden ýygnaýarlar. Bular ýaly güýçlendirijilere **köpkaskadly** diýilýär. Güýçlendirijiniň bir basgançagyny emele getirýän bölegine **kaskad** diýilýär.

Kaskadly güýçlendirijileriň bitirýän işlerine laýyklykda kaskadlaryň birnäçesiniň ýörite takyk atlary bolýar.

Köpkaskadly güýçlendirijileriň düzümi 9.2-nji çyzgyda görkezildi. Çyzgyda **1,2,..., n** sanlar-kaskadlaryn nomerleri.

Birinji kaskada girelge kaskady, **n – 1-nji** kaskada çykalganyň önündäki **n-nji** – kaskada bolsa ahyrky kaskad diýilýär.

Islendik güýçlendirijiniň esasy wezipesi (meselesi) signalyň kuwwatyny ýokarlandyrmakdyr.



7.2-nji çyzgy. Köpkaskadly güýçlendirijileriň düzülişi.

Eger-de, kaskadyň çykalgasyndaky signal girelgesindäki signaldan köp bolmasa, onda ol kaskada (abzala) güýçlendiriji diýilmeýär. Meselem, naprýaženiýeni ýokarlandyryjy transformatorlara güýçlendiriji diýip bolmaýar, sebäbi, eger-de güýçlendirmek naprýaženiýe boýunça bolsa, onda toguň peselmegi bolup geçýär, hem-de transformatorlarda

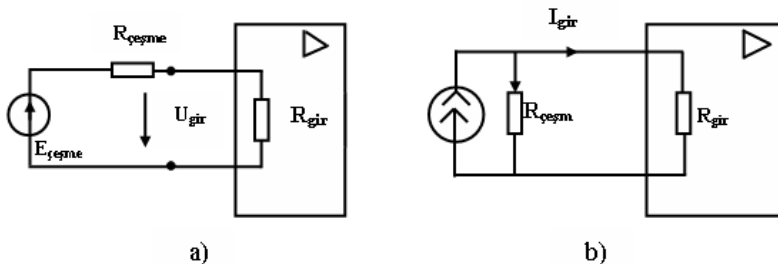
çykalga kuwwaty girelgesindäki kuwwatyndan ($S_2 < S_1$) hemişe kiçi bolýar, bu bolsa

« **Güýçlendiriji** » diýilýän düşüňjä tersdir.

Güýçlendirijileriň hemişe iýmitlendiriji çesmesi bolýar. Şol iýmitlendiriji çeşme-de güýçlendirijiniň çykalgasyndaky kuwwatyň, girelgesindäki kuwwatyndan köp bolmagyny üpjün edýär. Transformatorlaryň we beýleki passiw elementleriň iýmitlendiriji çeşmeleri ýoklugy üçin olaryň güýçlendirmek ukypalary ýokdur.

§ 7.1. Çüýçlendirijileriň girelgesi we çykalgasy üçin hodürlenilýän ekwiwalent shemalar.

1. Güýçlendirijileriň girelgesi üçin hödürlenilýän ekwiwalent elektrik shema 7.1.1-nji çyzgyda görkezildi.



7.1.1-nji çyzgy. Güýçlendirijileriň girelgesi üçin ekwiwalent shemalar :

a – naprýaženiýe ($E_ç$) – çeşmeli we **b** – tok ($J_ç$) – çeşmeli

Güýçlendirijileriň girelgesi üçin ekwiwalent shemalar gönüburçlyk görnüşde aňladylyp, \triangleright içinde alamat goýulýar.

Eger-de, girelge garşylyk çeşmäniň garşylygyndan uly ($R_{gir} \gg U_{çeşme}$) bolsa, onda **a** – shema hödürlenilýär we güýçlenme naprýaženiýe boýunça bolup geçýär.

$$\frac{R_{gr}}{U_{gr} = E_{\text{çem}} \approx E_{gr}}$$

$$R_{\text{çem}} + R_{gr}$$

Eğer-de, $R_{gr} \ll R_{\text{çem}}$ bolsalar, onda güçlendirilən ululyk tok bolar. Değişli formulary :

$$I_{gr} = I_{\text{ç}} \frac{R_{\text{çem}}}{R_{gr} + R_{\text{çem}}} \approx J$$

Garşylyklaryň şular ýaly gatnaşyklarynda tok boýunça güýçleniş bolup geçýär. Eger-de, $R_{gr} \approx R_{\text{çem}}$ bolsa, onda güçlendirilən ululyk P_{gr} – kuwwat bolar. Değişli formulalary :

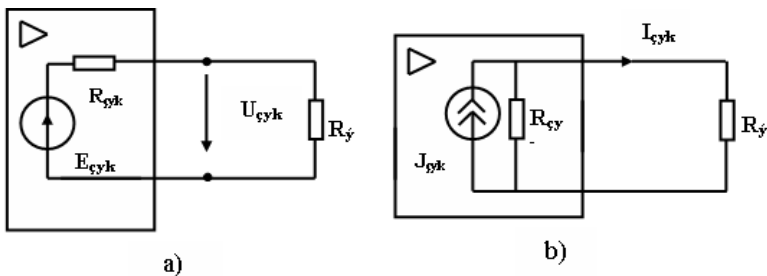
$$I_{gr} = \frac{J}{2} = \frac{E_{\text{çem}}}{2R_{\text{çem}}} = \frac{E_{\text{çem}}}{2R_{gr}}, \text{ onda kuwwat}$$

$$U_{gr} \approx \frac{E_{gr}}{2} \quad P_{gr} \approx \frac{E_{\text{çem}}^2}{2R_{gr}} = \frac{J^2 \cdot R_{\text{çem}}}{2} = \frac{E_{\text{çem}}^2}{2}$$

Garşylyklaryň şular ýaly gatnaşygynda işleýän abzallara kuwwat boýunça güçlendiriji diýilýär. Bu ýerde “**kuwwaty**” güçlendiriji diýilýän termin sözün gysga manysynda – güçlendirijiniň girelgesinde **ylalaşykly düzgüniň** berjaý edilýändigini häsiýetlendirýän ululyk hökmünde ulanylýar.

Eğer-de, sözün giň manysynda aýtsak, onda hemme güçlendirijiler kuwwaty güçlendirijilerdir. Ýöne , birinde **U** – napryaženiýe has aýdyň ulalýan bolsa , başga birinde **I** – tok has aýdyň ulalýar. Şonuň üçin-de olara degişlilikde **U** – nyň ýa-da **I** – niň güçlendirijisi diýilýär.

Güýçlendirijileriň çykalgasy üçin hödürlenýän ekwiwalent elektrik shema 7.1-nji çyzgyda görkezildi.



7.1.3-nji çyzgy. Güýçlendirijileriň çykalgasy üçin ekwiwalent shemalar

a – naprýaženiýe çeşmeli we **b** – tok çeşmeli.

Güýçlendirijileriň çykalgasy üçin hem ekwiwalent shemalar gönüburçlyk görnüşde aňladylyp, gönüburçlygyň ýokarsynyň çep tarapynda alamat goýulýar.

Çyzgyda : $R_ý$ – güýçlendirijä birikdirilen elektrik ýüküniň garşylygy ;

$E_{çyk}$ – çykalgadaky signalyň EHG-si ;

$R_{çyk}$ – güýçlendirijiniň çykalgasyndaky garşylyk ;

$I_{çyk}$ – çykalgasyndaky tok ;

J – çykalgadaky tok çeşmesiniň togy.

Güýçlendirijä degişli $R_ý$ – garşylyklaryň özara gatnaşyklaryna laýyklykda güýçlendirilmeli ululyk hökmünde ýa $U_{çyk}$ – naprýaženiýeni, ýa $I_{çyk}$ – togy ýa-da $P_{çyk}$ – kuwwaty aňladyp bileris.

Eger-de $R_ý \gg R_{çyk}$ bolsa, onda güýçlenýän ululyk hökmünde $U_{çyk} \approx E_{çyk}$ bolar. Bular ýaly güýçlendirijilere çykalgasy potensial güýçlendirijiler diýilýär.

Eger-de $R_ý \ll R_{çyk}$ bolsa, onda çykalgasynda toguň güýçlenmegi bolup geçýär.

Eger-de, $R_ý \approx R_{çyk}$ bolsa, onda çykalgada kuwwat boýunça güýçlenmek bolup geçýär.

Soraglar:

1. Elektron güýçlendirijiler barada umumy maglumatlar
2. Güýçlendirijileriň çatgylary

Mowzuk. Elektrik güýçlendirijileriň nazary hasaplary

8. Güýçlendirijilerde güýçlendiriş koeffisiýentler we olaryň tapylyşlary.

Güýçlendirijileri mukdar tarapdan häsiýetlendirmek üçin güýçlendiriş koeffisiýent diýilýän düşünje girizilýär. Bu koeffisiýenti tapmak üçin güýçlendirijiniň girelgesinde we çykalgasynda ýa naprýaženiýeleri, ýa toklary ýa-da kuwwatlary ölçemek ýeterlikdir.

$$K_u = \frac{U_c}{U_g} \approx \frac{E_c}{E_g} \quad - \text{Napryaženiýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýent.}$$

$$K_i = \frac{I_c}{I_g} \approx \frac{J_c}{J_g} \quad - \text{Tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent.}$$

$$K_p = \frac{P_c}{P_g} = \frac{E_c^2 \cdot R_g}{E_g^2 \cdot R_c} = \left(\frac{E_c}{E_g} \right)^2 \quad \begin{matrix} R_{\text{yük}} \approx R_{\text{çyk}} \text{ bolanda, kuwwat boýunça} \\ \text{güýçlendiriş koeffisiýent.} \end{matrix}$$

Eger-de köpkaskadly güýçlendirijiniň koeffisiýentini anyklamak gerek bolsa, onda güýçlendiriji kaskadlaryň koeffisiýentlerini özära köpeltmek hasyllary hökmünde seredilýär. Meselem köpkaskadly güýçlendirijiniň naprýaženiýe boýunça koeffisiýenti

$$k_u = k_{u1} \cdot k_{u2} \cdot k_{u3} \cdots k_{un}$$

Bu ýerde, k_{u1} , k_{u2} , ..., Kaskadlaryň naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýentleri.

Käbir meseleler çözülide güýçlendiriş koeffisiýentleri **logorifmiki** birlikleriň üsti bilen aňladylsa has amatly bolýar.

Logorifmiki birlikler diýilip **Bell** we **desiBell** birliklerine düşünilýär.

Bir bell (1Bell) – iki sany fiziki ululygyň (meselem kuwwatlaryň) gatnaşyklaryny **onluk** logorifm bilen aňladyp, olaryň bir-birinden **on (10)** esse tapawutlykdaky hasabyny aňladýar.

1 desibel = 10⁻¹ Bell. 1 desibell 1 bellden 10 esse kiçidir

$$N(B) = \lg \frac{P_2}{P_1} \quad - \text{ Kuwwat gatnaşyklarynyň **Bell**-de aňladylşy.}$$

$$N(dB) = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \quad - \text{ Kuwwat gatnaşyklarynyň **desiBell**-de aňladylşy.}$$

Meselem, kuwwatlaryň gatnaşygy logarifm birliginde bir desibelde deň bolanda hasaplanylşy.

$$\lg \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{10} \quad \text{onda} \quad \frac{P_2}{P_1} = 10^{\frac{1}{10}} = 1,259 \approx 1,26 \text{ bolar}$$

ýagny, ilkişadaky kuwwatyň **26%** artandygyny aňladýar.

Signalýň gowşamagy desibelliň (-) – minus alamatly bahasyny berýär, meselem :

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{1}{10}} = 0,794$$

ýagny, signalýň **1-desibell** göwşamagy, kuwwatyň **26%-niň** ýitirlendigini aňladýar.

Kuwwatlary ölçemegiň dürli – dürli usullary bar. Käbir ýagdaýlarda kuwwaty göni ölçäýmek başartmaýar. Şonuň üçin-de, takyk (belli bir) garşylygyň toguny we naprýaženiýesini ölçemek bilen çäklenilýär.

Kuwwatyň analitiki (deňlemeler arkaly) tapylyşy :

$$P = U \cdot I; \quad P = \frac{U^2}{R} \quad ; \quad P = R I^2$$

Güýçlendiriş koeffisiýentini napryáženiyeleriň we garşylyklaryň kömegi bilen tapylyşy.

$$K_u = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg \left(\frac{U_2^2}{R_2} : \frac{U_1^2}{R_1} \right) = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} - 10 \lg \frac{R_2}{R_1}$$

Güýçlendiriş koeffisiýenti toklaryň we garşylyklaryň kömegi bilen tapylyşy.

$$K_i = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg \left(\frac{I_2^2}{R_2} : \frac{I_1^2}{R_1} \right) = 20 \lg \frac{I_2}{I_1} - 10 \lg \frac{R_2}{R_1}$$

Güýçlendiriş koeffisiýenti toklaryň we garşylyklaryň kömegi bilen tapylyşy.

$$K_i = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \lg \left(\frac{I_2^2}{R_1} : \frac{I_1^2}{R_1} \right) = 20 \lg \frac{I_2}{I_1} - 10 \lg \frac{R_2}{R_1}$$

Eger-de, ölçeg diňe bir garşylykda ýerine ýetirilýän bolsa, diýmek

$R_2 = R_1$ şert ýerine ýetýän bolmaly. Bular ýaly ýagdaýda hasap birneme ýaňillesýär, sebäbi

$$10 \lg \frac{R_2}{R_1} = 20 \lg 1 = 0$$

$$K_u = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ ýa-da } K_i = 20 \lg \frac{I_2}{I_1} \text{ gömüşe eye bolar.}$$

Şeýlelikde, desibelde aňladylyan güýçlendiriş koeffisiýenti şu aşakdaký görnüşlerde-de aňladyp bileris.

$$k_u = 20 \lg \frac{U_{\text{cyk}}}{U_{\text{g}}} \quad - \text{ napryáženiyeleriň gatnaşyklary boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň tapylyşy.}$$

$$k_i = 20 \lg \frac{I_{\text{cyk}}}{I_{\text{gr}}} \quad - \text{ toklaryň gatnaşyklary boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň tapylyşy.}$$

$$k_p = 10 \lg \frac{P_{\text{cyk}}}{P_{\text{gr}}} \quad - \text{ kuwwatlaryň gatnaşyklary boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň tapylyşy.}$$

Eger-de köpkaskadly güýçlendirijiler üçin \mathbf{k} – koeffisiýenti tapmak gerek bolsa, meselem \mathbf{n} – sany kaskad üçin, onda umumy güýçlendiriş koeffisiýentleri şu aşakdaky ýaly tapmak bolar :

$\mathbf{k}_u = \mathbf{k}_{u1} \cdot \mathbf{k}_{u2} \cdot \dots \cdot \mathbf{k}_{un}$ – naprýaženiýeleriň gatnaşyklaryndan ;

$\mathbf{k}_i = \mathbf{k}_{i1} \cdot \mathbf{k}_{i2} \cdot \dots \cdot \mathbf{k}_{in}$ – toklaryň gatnaşyklaryndan ;

$\mathbf{k}_p = \mathbf{k}_{p1} \cdot \mathbf{k}_{p2} \cdot \dots \cdot \mathbf{k}_{pn}$ – kuwwatlaryň gatnaşyklaryndan.

Logorifmiki « **Bell** » birlik 1847 – 1922 ýyllar arasynda ýaşap geçen we telefony oýlap tapan alym Aleksandra Greýama Bell-iň adyna bagyşlanyp kabul edilipdir. Şular ýaly, alymlaryň hormatyna ölçeg birlikleriň kabul edişligi ylym äleminde adatdyr. Meselem, Amper, Wolt, Watt, Genri, Om, Farada, Gers, Nýuton ýaly ölçeg birlikleri ýatlatmak ýeterlikdir.

8.1. Güýçlendirijileriň häsiýetnamalary.

Güýçlendirijileriň hiline, mümkinçiliklerine doly baha bermek üçin, olaryň iş düzgünlerini gtafikler gurup düşündirseň has aýdyň hem-de düşnükli bolýar. Grafikleri gurmak üçin bolsa, güýçlendirijileriň esasy parametrlerini bilmelidiris. Olar : \mathbf{f} – ýyglyk , \mathbf{k} – güýçlendiriş koeffisiýent, φ – faza, \mathbf{U}_{gir} ;

$\mathbf{U}_{çyk}$ – naprýaženiýeleriň we \mathbf{I}_{gir} , $\mathbf{I}_{çyk}$ – toklaryň modullary (ýa-da amplitudalary) ölçenen ýa-da hasaplanan bolmalydyrlar. Ýokarda agzalan parametrleriň özara baglanşyklary-da güýçlendirijileriň häsiýetnamalarydyr. Meselem, güýçlendiriş \mathbf{k}_u – koeffisiýent bilen \mathbf{f} – ýyglygyň özara $\mathbf{k}_u(\mathbf{f})$ baglanşygy, φ –faza bilen \mathbf{f} – ýyglygyň özara $\varphi(\mathbf{f})$ baglanşygy, ýa bolmasa Amplitudalaryň $\mathbf{U}_{çyk}(\mathbf{U})$ – baglanşygy we ş.m.

Islendik güýçlendiriji haýsy-da bolsa bir kesgitli ýyglyklaryň aralarynda işleýärler. Şonuň üçin-de olar haýsy

aralykdaky ýygylklarda işlejekdigine laýyklykda, olaryň häsiýetnamasy-da şol ýygylk aralygyna görä gurulýar.

Meselem :

- Hemişelik toguň güýçlendirijilerde (HTG) – araçäk ýygylklary $f_1=0$ -dan $f_2 = 10^3 - 10^8$ Gs aralykdaky signallary güýçlendirýär.

- Ses ýygylgynda işleýän güýçlendirijilerde (SÝG) – araçäk ýygylklary f_1 – onlarça gersden $f_2 = 15 - 20$ kGs aralykdaky signallary güýçlendirýär.

-Ýokary ýygylkda işleýän güýçlendiriji (ÝÝG) – araçäk ýygylklary f_1 – onlarça kilogersden $f_2 = \infty$ -ze çenli aralykdaky signallary güýçlendirýär.

Araçäk ýygylklary diýlip açyk (dury) zologyň iki çetindäki ýygylklara aýdylýar. Açyk zolagyň başlangyç ýygylgyny f_1 bilen, ahyrky ýygylgyny bolsa f_2 bilen belgileýärler. Şu iki ýygylgyň dury zolagyna degişlidäl ýygylklarda berilen signallar bolmaly bahalaryndan daşlaşýarlar we ýoýulýarlar.

Köplenç ýagdaýlarda araçäk ýygylklary anyklanylanda f_1 bilen f_2 ýygylklaryň bahalary signalyň maksimal bahasyndan

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$$

(ýa-da 70,7% toweregi) almaklyk kabul edilendir.

Maksimal bahasy bilen deňeşdirlende naprýaženiýe bilen toguň peselmegi **0,707**-ä çenli , kuwwatyň peselmegi bolsa 0,5-e çenli bolýar, ýa-da iki ýagdaýda-da **3 dB**-e deňdir. Güýçlendiriji koeffisiýentiň maksimal bahasynyň haýsy tarapynda ýerleşendigine görä, araçäk ýygylklary ýokarky $f_{\text{ýok}}$ – ýygylk ýa-da aşaky $f_{\text{aşaky}}$ - ýygylk bolup biler. Bu ýerde $f_{\text{ýok}} = f_2$, $f_{\text{aşaky}} = f_1$ diýlip hem ulanylýar.

Araçäk ýygýlyklaryň aralaryndaky ýygýlyk giňişligine **diapazon ýygýlyklary** ($\Delta f = f_1 - f_2$) diýilýär ýa-da güýçlendirijiniň signallary hiç hili päsgeçiliksiz goýberýän zolagy hem diýilýär.

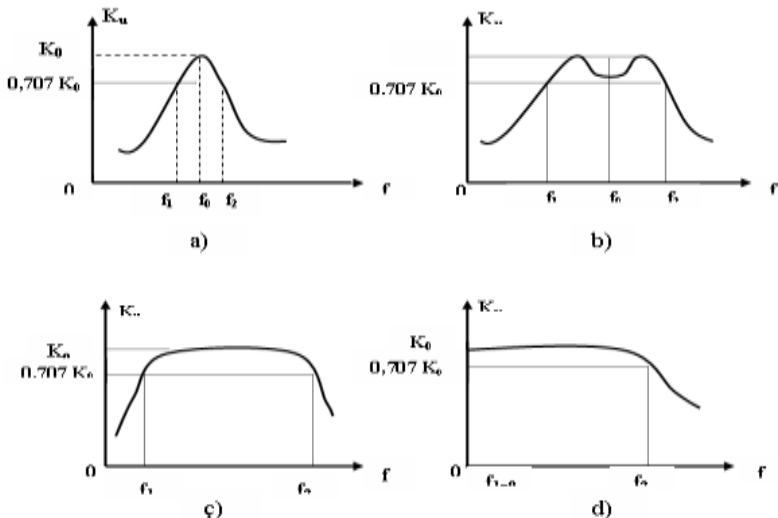
Signallaryň geçiş giňişliklerine laýyklykda güýçlendirijileri dar ýa-da giň gerimde işläp biler ýaly saýlaýarlar. Güýçlendirijilerde f_1 we f_2 yrgyldylar özära ýakyndyrlar.

Olaryň saýlamak ukybyny yrgyldyly konturlaryň kömegi bilen amala aşyrýarlar (**rezonansly** we **zolakly güýçlendirijiler**) ýa-da ýygýlyga bagly **RC** – zynjyrlaryň kömegi bilen amala aşyrýarlar.

Eger-de, yrgyldyly (rezonansly) konturlar ýokary yrgyldylarda işleýän güýçlendirijilerde ulanylýan bolsalar, onda ýygýlyga bagly **RC** – zynjyrlar pes ýygýlyklarda işleýän güýçlendirijilerde ulanylýarlar.

§ 8.2. Giňgerimli güýçlendirijiler we olaryň häsiýetnamalary.

Giňgerimli güýçlendirijiler belli bir $\Delta f = f_1 - f_2$ aralykda signallary geçirmelidirler. Emma, ýygýlygy f_1 -den kiçi we f_2 -den uly signallary üstünden geçirmeli dälidirler. Bular ýaly güýçlendirijiler tehnikada biçak köp ulanylýarlar. 9.5-nji çyzgyda dürli görnüşli güýçlendirijileriň amplituda ýygýlyk häsiýetnamalary görkezildi.



8.2.1-nji çyzgy. Dürli görnüşli: a – rezonansly, b – zolaklarda işleýän, ç – giňgerimli, d – ýygylgy nuldан başlaýan güýçlendirijileriň amplituda – ýygylgyk häsiýetnamalary.

Giň zolakly güýçlendirijilerde (8.2.1-nji ç çyzga seret) köplenç ýokarky f_2 we aşaky f_1 ýygylklaryny anyklamak bilen çäklenilýär. Şol ýygylklardan çetde (çyzgyda f_1 -den çepde we f_2 -den sag tarapda) amplituda-ýygylgy $k(f)$ we faza – ýygylgy $\varphi(f)$ häsiýetnamalara düýpli ýoýulyp başlaýan ýerlerindäki (çyzgyda $0,707 K_0$ bahalara gabat gelýän ýygylklaryň töweregi) amplitudanyň bahalaryna gabat gelýän ýygylklara ortalanan (ortarak) ýygylgyklar diýilýär.

Soraglar:

1. Güýçlendirijileriň güýçlendiriş koeffisiýenti
2. Güýçlendirijileriň häsiýetnamalary
3. Giň gerimli güýçlendirijiler we olaryň häsiýetnamalary

Mowzuk. Güýçlendirijileriň çykyş signallarynyň üýtgemek mümkinçiligi we iş düzgünleri

9. Güýçlendirijilerde signallaryň ýoýulmaglary.

Eger-de güýçlendirijä, haýsy-da bolsa bir formada (şekilde), signal berilse (meselem, göniburçlyk ýa-da üçburçlyk şekilde), onda güýçlendirijiniň çykalgasyndan alynýan signalyň formasy (meňzeşligi) azda-kände berilen signaldan üýtgeşik bolýar, sebäbi güýçlendirijiniň düzüminde barbolan reaktiw hem-de gönidäl elementleriň özlerine mahsus häsiýetleri bilen düşündirilýär.

Güýçlendirijileriň çykalgasyndaky signallaryň girelgedäki signallardan tapawutlananda signallaryň ýoýulmagy diýilýär. Ýoýulmagy iki görnüşe bölýärler: birinjisi – göni ýoýulmak, ikinjisi – gönidäl ýoýulmak.

Öz gezeginde **göni ýoýulmak ýyglyk** hem-de **faza** boýunça bolup bilerler. Faza we ýyglyk ýoýulmalaryň emele gelmekleri güýçlendiriji shemalarda reaktiw elementleriň (sygym bilen induktiwligiň) barlygy bilen düşündirilýär.

Göni baglanşyk bolanda signallaryň ýoýulýandyklaryny wagtyň geçmegi bilen olaryň wagta görä üýtgeýändiklerini görmek bolýar.

Göni baglanşykly ýoýulmagyň bardygyny amplituda – ýyglyk **$k(f)$** we faza – ýyglyk **$\varphi(f)$** baglanşyklarda gurulan häsiýetnamalardan aňsa bolýar. Meselem, giňgerimli ideal güýçlendirijiler üçin güýçlendiriş **k** – koeffisiýent ýyglyga bagly bolmaly däldir (9.1-njy **b** çyzgydaky **2**-nji çyzyk) ýa-da ýyglygyň üýtgemigi bilen göni baglanşyklar bolmalydyrlar (9.1-njy **b** çyzgydaky **1** we **3**-nji ýagdaýlar).

Giňgerimli ideal güýçlendirijiler üçin amplituda- we faza ýyglyk häsiýetnamalary 9.1-njy çyzgyda görkezildi.

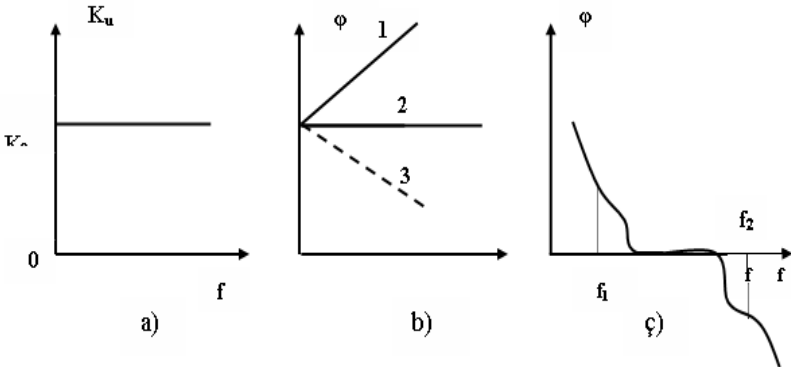
Ýyglygyň ýoýulmagyny mukdar taýdan häsiýetlendirmek üçin ýyglygyň **ýoýulyş** koeffisiýenti diýilýän düşünje girizilýär. Meselem, araçäk ýyglyklaryna

görä ýygylgyň ýoýulyş koeffisiýenti şu aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$M_{f1} = \frac{K_0}{K_1}; \quad M_{f2} = \frac{K_0}{K_2};$$

Bu ýerde : K_0 – orta ýygylgykdaky güýçlendiriş koeffisiýent,

K_1 – bilen K_2 – aşaky we ýokarky ýygylgyklardaky güýçlendiriş koeffisiýentler.



9.1-njy çyzgy. Giňgerimli güýçlendirijiniň ýygylgyk häsiýetnamalary :

a – amplituda – ýygylgyk , **b** – faza – ýygylgyk ideal ,
ç – faza – ýygylgyk real häsiýetnamalary.

Ýygylgyň ýoýulmagyny mukdar taýdan häsiýetlendirmek üçin ýygylgyň **ýoýulyş** koeffisiýenti diýilýän düşünje girizilýär. Meselem, araçäk ýygylgyklaryna görä ýygylgyň ýoýulyş koeffisiýenti şu aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$M_{f1} = \frac{K_0}{K_1}; \quad M_{f2} = \frac{K_0}{K_2};$$

Bu ýerde : K_0 – orta ýygylgykdaky güýçlendiriş koeffisiýent,

K_1 – bilen K_2 – aşaky we ýokarky ýygylgyklardaky güýçlendiriş koeffisiýentler.

Gönidäl ýoýulmalar – güýçlendirijileriň düzüminde bar bolan gönidäl elementleriň gönidäl häsiýetnamalary bilen düşündirilýär. Gönidäl elementlere güýçlendiriji elementleriň (tranzistorlaryň) özleri-de degişlidirler. Gönidäl ýoýulmalar signallaryň ululyklaryna-da baglydyrlar.

Gönidäl baglansykly ýoýulmagyň bardygyny güýçlendirijiniň girelgesindäki we çykalgasyndaky naprýaženiýeleriň baglansygyny aňladýan amplituda häsiýetnamasyndan aňsa bolýar.

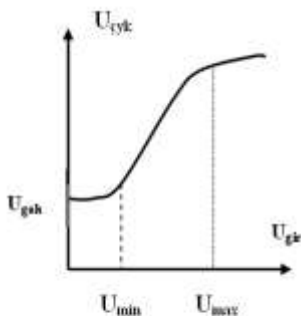
Girelgä berilýän signal göni baglansykda işleýän wagty amplituda häsiýetnamasynda ýoýulmak duýulmaýar.

Gönidäl ýoýulmak başlanýança güýçlendirijiniň girelgesindäki signalynyň üýtgeýändigini häsiýetlendirýän ululyga dinamiki diapazon diýilýär (Diapazon – Grek sözi giňligi, çägi – diýmek).

Dinamiki diapazonyň kesgitlenişi

$$D = \frac{U_{\text{gir.max}}}{U_{\text{gir.min}}} \quad \text{ýa-da } D \text{ (dB)} = 20 \lg D$$

9.1.2-nji çyzgyda güýçlendirijiniň girelgesi bilen çykalgasyndaky naprýaženiýeleriniň özara baglansyklary görkezildi.



9.2-nji çyzgy. Güýçlendirijide girelge we çykalga naprýaženiýeleriniň baglansygy.

Eger-de, gönidäl ýoýulmak bar bolsa, onda ony gönidäl ýoýulmagyň koeffisiýenti diýilýän ululyk bilen bahalandyrylýar.

$$K_{\text{garm}} = \frac{\sqrt{I_{2f}^2 + I_{3f}^2 + I_{4f}^2 + \dots}}{I_{1f}}$$

Bu ýerde :

I_{1f} – esasy garmonikanyň togy ;

I_{2f}, I_{3f}, \dots - ýokary garmonikalý toklaryň düzüjileri.

Güýçlendirijiniň çykalgasyndaky $U_{\text{çyk}}$ – nuldan başlaman, naprýaženiýeniň hut özüniň **gohy** we **päsgelçiligi** bilen döredýän U_{goh} – bahasyndan başlanýar (9.1.2-nji çyzga seret).

Eger-de, güýçlendirijiniň girelgesinde signal ýok wagtynda-da onuň çykalgasynda naprýaženiýe dörese, onda ony içki päsgelçilikleriň we gohlaryň netijeleri diýip düşündirilýär.

Gerekdäl U_{goh} – naprýaženiýeni döredýänlere ýylylygyň döredýän gohy, elektron dreýfleriniň we başga-da ençeme fiziki hadysalarynyň netijeleri degişlidirler.

Güýçlendirijileriň hut özlerinde tebigy döreýän hususy U_{goh} – naprýaženiýe olaryň duýgurlygyny pese gaçyrýar. Şonuň üçin-de, gohlar, päsgelçilikler sebäpli juda kiçik emma wajyp signallary güýçlendirmek mümkinçiligini-de peseldýär. Tehnikada şular ýaly gohlara **fon** diýilýär. **Fon** – (Fransuz sözi – Türkmençe – esasy öwşgün, esasy ses ýaly manylary berip biler). Umuman **fon** güýçlendirijiniň çykalgasynda döreýän gerekmejek (özge) naprýaženiýeniň netijesidir. Aslynda **fony** emele getirýän ýokary garmonikaly gohlaryň (düzüjileriň) ýygylklary, iýmitlendiriji tok çeşmesiniň ýygylgyna galyndysyz bölünýärler.

Fonuň döremegine köp zatlar sebäp bolup biler, meselem çeşmäniň güýçlendirijä has golaý ýerleşdirilmegi, sowadyjynyň ýa-da ekranyň hilleriniň hapa, tozan zerarly ýaramazlaşmaklary we ş.m.

Ýylylygyň gohy – Ýylylyk zerarly elektronlaryň bitertip (haotiki) hereketleri we zaryadlaryň dykzlyklarynyň tolkunlar netijesinde döreýän päsgelçiliklerdir.

Dreýf zerarly döreýän goh. (**Dreýf** – Golland sözi – Türkmençe – haýsy-da bolsa bir güýç zerarly öňki ýagdaýyndan süýsmegi). Güýçlendirijiniň çykalgasyndaky naprýaženiýeniň bitertip (düşnüksiz) üýtgemegi.

Dreýf döremegine sebäpler: - temperaturanyň üýtgäp durmagy, iýmitlendiriji çeşmäniň naprýaženiýesiniň

üýtgemegi, güýçlendirijiniň hut özüniň köpelip başlamagy we ş.m.

Güýçlendirijiniň hususy gohy – gohuň koeffisiýenti bilen bahalanýar.

$$F_{\text{goh}} = \frac{P_{\text{goh.çyk}}}{P_{\text{goh.gir}}} k_p$$

Bu ýerde : k_p – kuwwat boýunça güýçlendiriş koeffisiýent.

$P_{\text{goh.çyk}}$, $P_{\text{goh.gir}}$ – Güýçlendirijiniň çykalgasyndaky we girelgesindäki gohlaryň kuwwatlary.

§ 9.1. Güýçlendirijilerdäki elementleriň iş düzgünleri.

Iş düzgünleri diýlende iki sany iş düzgün göz önünde tutulýar. Olaryň birine **statiki**, beýlekisine **dinamiki** iş düzgünleri diýilýär.

Tranzistorlaryň häsiýetleri özleşdirilende (§ 3.2., §3.3) onuň iki sany (görnüşli) häsiýetnamasyna seredilip geçilipdi . Birinjisi – girelgesindäki

$U_{\text{gir}}(I_{\text{gir}})$ Wolt – Amper häsiýetnamasy bolsa, ikinjisi – çykalgasyndaky $U_{\text{çyk}}(I_{\text{çyk}})$ Wolt – Amper häsiýetnamady.

Bu häsiýetnamalaryň ikisi-de tranzistoryň çykalgasyndaky zynjyra birleşdirilýän ýüküň garşylygy ýok wagty derňelipdi. Şular ýaly şertde alnan häsiýetnamalara **statiki** häsiýetnamalar (baglanşyklar) diýilýär.

Eger-de, tranzistoryň çykalgasyna elektrik ýüki hökmünde R_{γ} – garşylygy birleşdirilip, güýçlendiriji tranzistoryň shemasynda işledilse, onda şol

R_{γ} – garşylygyň egninden güýçlendirilen signal alynýar. Tranzistoryň şular ýaly işledilmegine dinamiki iş düzgünü diýilýär. Mysal hökmünde güýçlendiriji kaskadyň shemasy 9.1.1-nji **a** – çyzgyda ikipolýarly tranzistor üçin görkezildi.

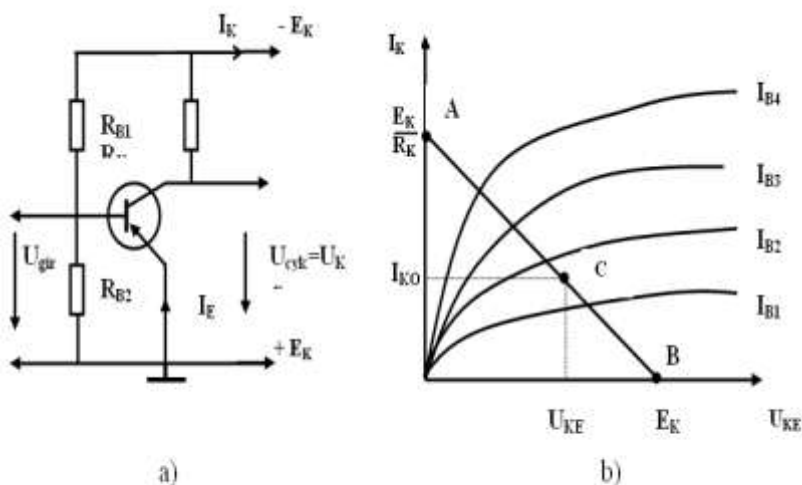
Bu shemanyň çykalgasyna (tranzistoryň kollektor şahasyna) R_k – garşylyk birleşdirilýär. Şol kollektordaky tok

bilen naprýażeniýeniň özara baglanşyklary aşakdaky formula bilen anyklanylýar.

$$U_{KE} = E_K - R_K \cdot I_K$$

Tranzistoryň çykalgasynda elektrik ýüküniň bar wagty tok bilen naprýażeniýeniň özara baglanşyklaryny kesgitleýän häsiýetnamalara dinamiki häsiýetnamalar diýilýär.

Dinamiki häsiýetnamalary diýilende haýsy-da bolsa bir takyk naprýażeniýe çüşmesiniň E_K bahasynda hem-de kollektordaky R_K – ýüküň garşylygynda bazadaky togy üýtgedip, birnäçe statiki häsiýetnamalar köplüğine (toplumyna) düşünilýär (9.1.1-nji **b** – çyzgy).



9.1.1-nji çyzgy. **a** – birkaskadly tranzistoryň shemasy, **b** – dinamiki häsiýetnamasy.

Dinamiki häsiýetnamany gurmak üçin iki sany (**A** we **B**) nokatlary tapyp, soňra bu iki nokadyň üstünden göni çyzyk geçirmeklik ýeterlikdir. Bu nokatlaryň biri **E_K=U_{KE}** (kollektorda toguň ýok wagty **I_K=0**) bolsa, onda beýlekisi

$$I_k = \frac{E_k}{R_k}$$

(kollektorda naprýaženiýeniň ýok wagty **U_{KE}=0**) bolar.

Geçirilen bu göni çyzyga güýçlendirijiniň (tranzistoryň) çykalgasyndaky dinamiki häsiýetnama diýilýär (ýükli göni çyzyk-da diýilýär).

Tranzistoryň takyk bir iş düzgünini döretjek bolsaň, onda onuň bazasyna berilýän **U_{süýş}** – naprýaženiýe bir ýagdaýyndan beýleki ýagdaýa süýşürilýär (meselem **R_{B1}, R_{B2}, R_{B3}...** bölüji garşylyklaryň kömegi bilen).

Berilen **U_{süýş}** – naprýaženiýede tranzistordan **I_{ka}** – tok akyp başlaýar. Bu toga dynçlyk tok diýilýär.

Dinamiki häsiýetnamadaky köşeşen togy aňladýan nokada **işçi nokady** diýilýär (**I_{ko}, U_{Keo}** parametrli **c** – nokat).

Soragtlar:

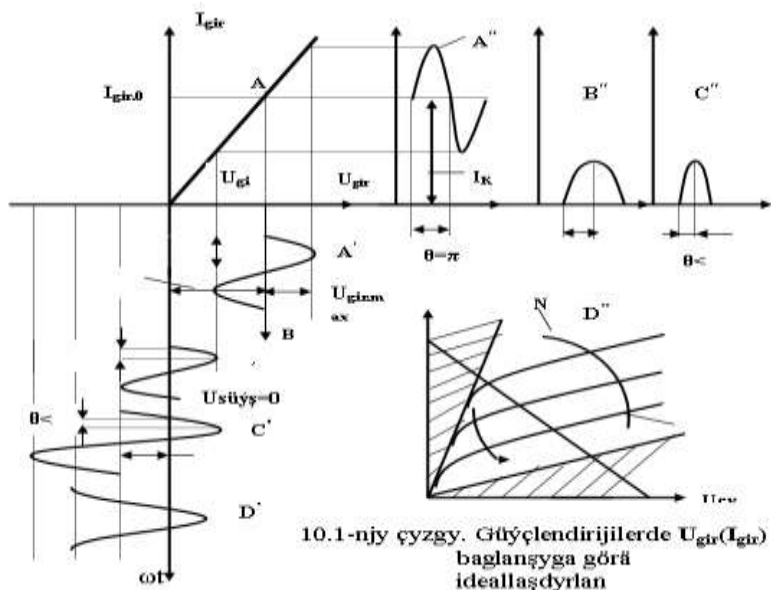
1. Güýçlendirijileriň çykyş signallarynyň ýoýulmaklary
2. Bir kaskadly tranzistor güýçlendiriji

Mowzuk. Tranzistorly güýçlendirijileriň görnüşleri we elektrik çatgylary

10. Güýçlenmegiň klasslary (görnüşleri).

Girelgä berilýän signalyň maksimal **U_{gir.max}** – naprýaženiýesi bilen bazadaky süýşirilýän **U_{süýş}** – naprýaženiýeniň özara gatnaşyklaryna laýyklykda güýçlendiriji element haýsy-da bolsa (meselem **A, B, C, D** ýaly klasslaryň) bir iş düzgünde işläp bilýänligi üçin, güýçlenmegiň görnüşlerini **A, B, C, D** ýaly klasslara bölýärler.

Güýçlenmegiň I_{gir} (U_{gir}) baglanşygyna görä ideallaşdyrılan häsiýetnamasy 10.1-njy çyzgyda görkezildi. Çyzgyda girelgedäki we çykalgadaky signallaryň wagta bagly grafikleriniň özboluşly aýratynlyklary ýerleşdirildi.



Çykalgalardaky signallar hem edil girelgedäki signallar ýaly öz süýşmeli derejesine laýyklykda süýşýärler. Netijede, zynjyryň çykalgasynda signalyň belli bir böleginiň kesilmegi mümkindir. Signalyň kesilmeginiň çuňlugy θ – burçuň giňligi bilen bahalanýar.

Zynjyryň çykalgasyndaky tok impulsynyň dowamlylygynyň ýarysy burç ölçeginde aňladylýar. Şonuň üçin-de θ – burç hasaby diýilýän düşünje girizilýär (9.9-njy çyzga seret).

Güýçlendirijileriň klasslara bölünen iş düzgünleri 9.9-njy çyzgyda şertli görkezilen **A**, **B**, **C**, **D** harplar bilen belgilenip, haýsy-da bolsa bir nokatda kesgitlenilýär.

Her bir harp özboluşly iş düzgüniň haýsy ýagdaýdan (nokatdan) başlaýandygyny aňladýar. Diýmek **A**, **B**, **C**, **D** nokatlar saýlanlyp, alnan iş düzgünleridir. Şol düzgünlere deňişli girelge **A'**, **B'**, **C'**, **D'** signallaryň, güýçlendirijiniň çykalgasynda berýän netijeleri (signallary) **A''**, **B''**, **C''**, **D''** harplar bilen belgilendi.

A – klass boýunça güýçlenmegiň iş düzgüni ($\theta = \pi$, **A' we **A''** grafikler).**

Bu güýçlendirijiler kiçikuwwatly kaskadlara deňişlidirler.

A – klassda signallar ýoýulmaýarlar, ýöne signallar juda az güýçlenýärler.

Ýoýulma koeffisiýentiň (**k** – nyň) juda kiçiligine garamazdan, **A – klassy** kaskadlar boş işleýän wagty-da (ýagny, girelgede signalyň ýok wagty) çeşmeden örän köp kuwwaty talap edýär, munuň sebäbini kaskadyň shemasynyň dynçlyk wagtynda-da üstünden köp toguň akýandygy bilen düşündirilýär. Şonuň üçin-de **A – klassly** kaskadlaryň peýdaly täsir koeffisiýenti (**PTK**-sy) 25% - den geçmeýär. Güýçlendiriji kaskadlar **A – klass** düzgüninde işlänlerinde **A – iş** nokady **I_{gir}** (**U_{gir}**) baglanşygyň takmynan göni böleginiň ortaragynda ýerleşýär.

B – klass boýunça güýçlenmegiň iş düzgüni ($\theta = \pi/2$, **B' we **B''** grafikler).**

Bu klass ikikaskadly güýçlendirijilerde (ýagny kuwwaty we rezonansy güýçlendiriji kaskadlarda) ulanylýar.

B – klass iş düzgüninde **B – iş** nokady **I_{gir}** (**U_{gir}**) häsiýetnamanyň başlanýan ýerinde (koordinatanyň merkezinde) bolar ýaly süýşürilýän **U_{süýş}** – napryaženiýeniň san bahasy, onuň alamaty bilen kesgitlenilýär. Şeýle iş düzgün **B – klassly** güýçlendiriji kaskadyň çykalgasynda ýarymperiodly impulsyň (pulsirleýji toguň) döremegine sebäp bolýar (**B''** – grafige seret).

Girelgede signalyň ýok wagty **B** – klassly kaskadyň çykalgasynda ýarymperiodly signalyň (impulsyň) hemişelik düzüjisi-de (dynçlyk togy) nula deňdir. Eger-de signal bar bolsa, onda hemişelik düzüji ýarymperiodyň ortaça bahasyna deňdir.

Ikikaskadly (ýa-da ikitaktly) güýçlendirijiniň peýdaly täsir koeffisiýenti

(**PTK** – sy) 70% - töweregidir , munuň sebäbi, girelgede signalyň ýok wagty, güýçlendiriji kaskad elektrik çeşmesinden energiýa talap etmeýär diýen ýalydyr.

C – klass boýunça güýçlenmegiň iş düzgüni ($\theta=\pi/2$, **C'** we **C''** grafikler).

Bu iş düzgün, aşa uly ýoýulyş hem-de gönidäl koeffisiýenti bilen tapawutlanýar. Peýdaly täsir koeffisiýenti (**PTK** – sy) bolsa **100%**-e deňdir.

Şular ýaly berilen **C** – iş düzgünine kuwwatly we rezonansly güýçlendirijiler degişlidirler. Olarda hökmany gerek bolan – güýçli gönidäl ýoýulmagyň netijesinde döreýän ýokary garmoniki signallar süzülip (filtrlenip) seçilýärler.

D – klass boýunça güýçlenmegiň iş düzgüni ($\theta<10^\circ$, **D'** we **D''** grafikler).

Bu klass açar düzgüninde işleýär, ýagny bir ýagdaýdan beýleki bir ýagdaýa geçmek üçin (açmak ýa-da ýapmak) ulanylýar.

Bu düzgünde güýçlendiriji elementler gezekli – gezegine ýa açyk (**D''** – grafikde iş nokady **N** – tarapda) ýa-da ýapyk (iş nokady kesilen – geçirmeyän **M** – tarapda) bolýar.

D – klassly düzgünde tranzistorlar örän az kuwwat talap edýärler.

Tranzistorlar doýgun **N** – ýagdaýynda bolanlarynda bolsa kollektordaky tok uly bolsa-da olardaky naprýaženiýeler örän kiçidirler (ýagny **1** – Woltdan-da kiçidirler).

10.1. Güýçlendirijilerde yzy bilen arabaglanşygyň zerurlygy.

Yzy bilen arabaglanşyk (YBA) – diýlip çykalgadaky signalyň energiýasynyň belli bir bölegini gaýtadan kaskadyň ýa-da güýçlendirijiniň girelgesindäki signalyň üstüne goşup berilende aýdylýar.

Yzy bilen arabaglanşykçy bolup aýry – aýry kaskadlar ýa topar – topar kaskadlar ýa-da tutuşlygyna güýçlendiriji elementiň özi bolup biler. Şeýle kaskadlara yzy bilen arabaglanşykly zynjyrlar diýilýär.

Güýçlendirijileriň çykalgasynda täze parametrleri, täze häsiýetnamalary we hil taýdan güýçlendirijileriň häsiýetini gowulandyrmak üçin ýörite yzy bilen arabaglanşykçy zynjyrlary ulanylýar (ýagny, girelge bilen çykalgany özara baglanşykda saklaýjy).

Yzy bilen arabaglanşygyň zynjyry elektron abzallarynyň kämil ýygnaľmandygyndan hem bolup biler. Şeýle nogsanlyklar zawodlarda ýygnaľýan wagtynda hem tötänlikden goýberilmegi mümkindir.

Nogsanlyklar (ýalňyşlyklar) zerarly döreýän yzy bilen arabaglanşyklara zyýan berýän (parazit) signallary diýilýär.

Yzy bilen arabaglanşyklaryň signallary girelgedäki signal bilen goşulşyp-da biler goşulyşman aýrylyşyp-da biler. Geljekde sözlemleri tygşytlamak maksady bilen : 1) Yzy bilen aragatnaşykly signallar goşulsalar – **YBASG** ;

2) Yzy bilen arabaglanşykly signallar goşulman – aýrylyşsalar (fazalary ters bolsa), onda gysgaldylyp **YBASA** – görnüşde gysgaldylyp ýazyljakdyr.

Umuman yzy bilen baglanşykly signallary **goşulyşýan** ýa-da **aýrylyşýan** signallar diýip ikä bölýärler. Diýmek, signallar goşulyşanda signallaryň jemi ulalýar, şeýle bolanda signallar fazalary boýunça gabat gelýärler ($\varphi=0$).

Eger-de, signallar aýrylyşsalar onda olar fazalary boýunça gabat gelmeýärler, şeýle bolanda signallar tersfazaly diýýärler ($\varphi=180^\circ$).

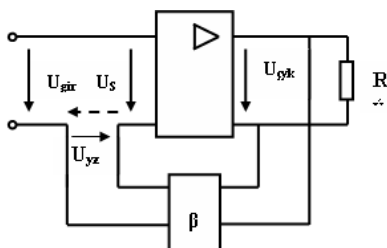
Signallaryň yzy bilen arabaglanşygynyň dört görnüşi bolup biler. (9.10-njy çyzga seret) :

a – naprýaženiýe boýunça yzygiderli (9.1.1-njy **a** – çyzgy) ;

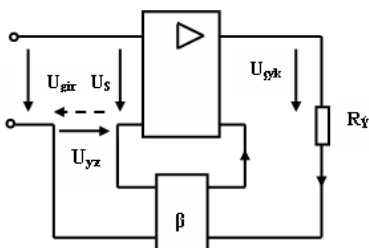
b – tok boýunça yzygiderli (9.1.1- njy **b** – çyzgy) ;

ç – naprýaženiýe boýunça parallel (9.1.1-njy **ç** – çyzgy) ;

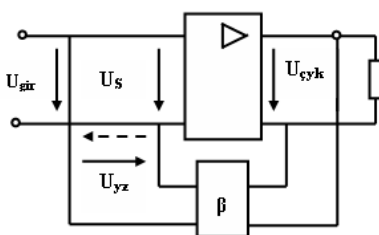
d – tok boýunça parallel (9.1.1-njy **d** – çyzgy).



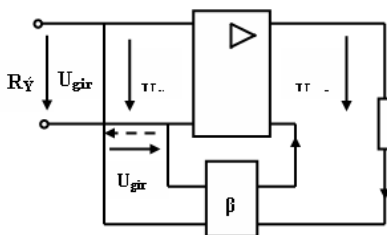
a) naprýaženiýe boýunça yzygiderli.



b) Tok boýunça yzygiderli.



ç) Naprýaženiýe boýunça parallel



d) Tok boýunça parallel

Çyzgylarda görkezilen güýçlendirijileriň girelgesinde U_s – berilen signalyň naprýaženiýesidir, U_{gir} – girelge naprýaženiýe, U_{yz} – güýçlendirijiniň çykalgasyndan girelgesine berilýän yzy bilen baglansykly signalyň naprýaženiýesidir.

Yzy bilen baglansykdyaky signalyň U_{yz} – naprýaženiýesi girelgedäki U_{gir} – naprýaženiýe bilen fazalary boýunça gabat gelse çyzgyda « », fazasy gabat gelmese « », nyşanlar bilen belgilemek kabul edilendir.

Güýçlendirijiniň çykalgasyndaky $U_{çyk}$ – naprýaženiýede berilen U_s – naprýaženiýe bilen fazalary boýunça gabat gelibem bilerler, gabat gelmänem bilerler.

Yzy bilen arabaglansykda bolmaly signalyň U_{yz} – naprýaženiýesiniň san bahasy $U_{yz} = \pm \beta \cdot U_{çyk}$ formuladan anyklanylýar.

Bu formuladaky « - » arabaglansygyň ylalaşyklydygyny, « + » arabaglansygyň garşylyklydygyny aňladýar, β - yzy bilen arabaglansygyň koeffisiýenti.

Yzy bilen arabaglansykly güýçlendirijilerde güýçlendiriş koeffisiýentiň tapylyşy.

$$k_{yba} = \frac{U_{ç}}{U_g} = \frac{U_{ç}}{U_s \pm U_{yz}} = \frac{+ \frac{U_{ç}}{U_s}}{1 \pm \beta} = \frac{+ k_u}{1 \pm \beta k_u}$$

Muňa garamazdan YBA – garşylyklaýyn signal giňden ulanylýar, sebäbi güýçlendirijiniň iş düzgünini stabilleşdirýär hem-de parametrleriň gönidäl ýoýulmagy bilen bir hatarda ýygylýk boýunça-da ýoýulmalary oňatlaşýar, girelgesiniň garşylygy bolsa ulalýar we ş.m.

Güýçlendirijilerde yzy bilen arabaglansykdyaky signal ylalaşykly bolanda

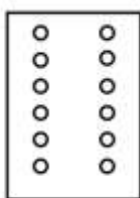
$(1 - \beta k_u) < 1$ deňsizlikden peýdalanýarlar. Şeýle ýagdaýda hemişe $k_{yba} > k_u$, ýagny ylalaşykly signalyň bar wagty güýçlendiriş koeffisiýent ulalýar.

Eger-de $\beta_{ku} \rightarrow 1$ deň bolsa, onda formulanyň maýdalawjysynda nul emele gelýär, bu bolsa $k_{yz} \rightarrow \infty$ - ze ymtylýar. Diýmek, güýçlendiriji öz-özünden oýanyp elektrik signallaryny öndürüp başlaýar we generator häsiýetine geçýär. Şonuň üçin-de, yzy bilen arabaglanşyk ylalaşykly bolanda, onda olary generatorly shemalarda giňden ulanýarlar.

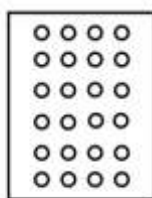
Mowzuk. Tranzistorly güýçlendirijileriň çatgylarybyň mysallary



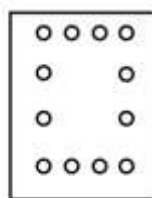
Tipi 1
Kiçi tipi 11



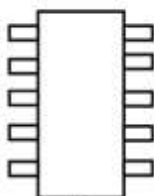
Tipi 1
Kiçi tipi 12



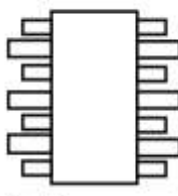
Tipi 1
Kiçi tipi 13



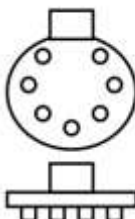
Tipi 1
Kiçi tipi 14



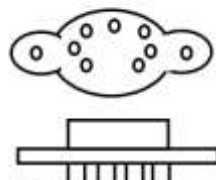
Tipi 3
Kiçi tipi 33



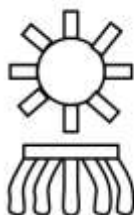
Tipi 4
Kiçi tipi 41



Tipi 4
Kiçi tipi 42



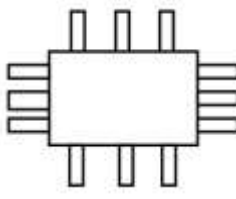
Tipi 5
Kiçi tipi 52 we 51



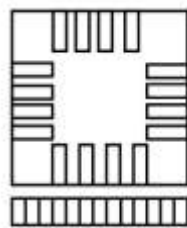
Tipi 2
Kiçi tipi 21



Tipi 2
Kiçi tipi 22



Tipi 3
Kiçi tipi 31

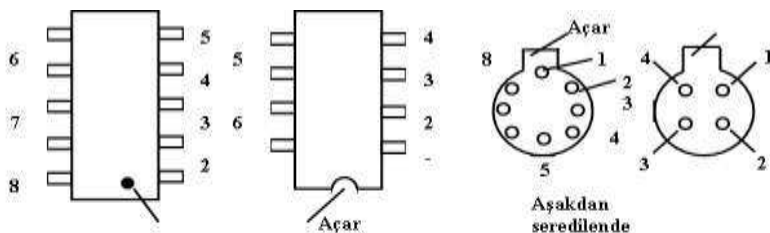


Tipi 3
Kiçi tipi 32

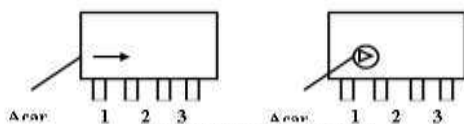
52

51

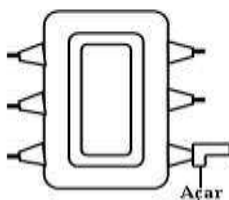
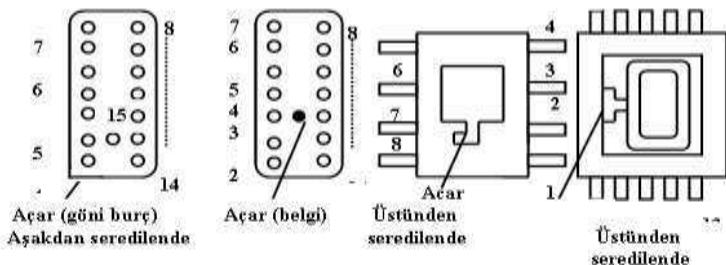
Integral mikroshemalaryň (IMS-leriň) simçykalgalarynyň tertip nomerlerini kesgitlemek üçin dürli görkezijiler (açarlar) ulanylýar. Şol açarlardan hem sanawyň nireden başlanýandygyny bilse bolýar.



Üstünden seredilende



Gap dalyndan seredilende



Üstünden seredilende

Üstünden seredilende korpuslaryň üç görnüşiniň simçykalgalarynyň sanawy IMS-iň açaryndan sagat okunyň aýlanyşynyň tersine .

Aşagyndan seredilende korpuslaryň üç görnüşiniň simçykalgalarynyň sanawy IMS-iň açaryndan sagat okunyň aýlanyşynyň ugruna.

§ 11.1. Sifrlı hasaplanylýan integrally shemalar we olar hakda umumy maglumatlar.

Elektron elementleri, düwün çatymlary we gurnamalary : İkisifrlı abzallaryň (enjamalaryň) esasynda baryýogy iki sany san (meselem 0 we 1) durýanlygy üçin şol sifrlı elementlere, çatymlara we gurnamalara sifrlı integral shemalar diýilýär. Şonuň üçin-de sifrlı sözi ulanylýar.

İki sanly sistemada ähli hasap-hesip diňe iki sany sifr bilen amala aşyrylýar, olaryň birinjisi 1, ikinjisi bolsa 0. Bu iki sifrler bilen hem arifmetiki hem-de logiki amallary ýerine ýetirip bolýar.

Düzüminiň şeýle ýönekeýligine garamazdan sifrlı tehnikanyň örän çylşyrymly düwünlerini (çatymlaryny) we gurluşlaryny emele getirip, logiki elementiniň **I** (we), **İi** (ýa-da), **Ne** (ýok) ýaly logiki funksiýalaryny hem giňden ulanýarlar. Örän çylşyrymly funksional düwünler (çatymlar) we gurnamalar **I – NE** we **İİI – NE** şifrlı elementleriň esasynda ýygnaýarlar.

Senagat möçberinde öndürilýän logiki elementler özleriniň **0** we **1** ýagdaýlary bilen naprýaženiýeniň belli bir bahasynda işlemäge niýetlenilendirler. Meselem 155 tapgyrda öndürilen mikroshemalarda logiki

0 – baha naprýaženiýeniň **0**-dan **0,4 W** çenli, logiki **1** – bahada bolsa naprýaženiýeniň **2,4 W** – yndan **5 W** töweregi bolup biler. Şeýle ýagdaýda logiki **1** – ýagdaýda naprýaženiýeniň ýokary **U¹** derejesine logiki **0** – ýagdaýda bolsa naprýaženiýeniň pes **U⁰** derejesine laýyk gelýär. Beýle gatnaşyklar logikanyň položiteldigini aňladýar. Eger-de, logiki **1-iň** naprýaženiýesi pes bolup, logiki **0-yň** naprýaženiýesi ýokary bolsa, onda bular ýaly gatnaşyklar logikanyň otrisateldigini ýagny minusdygyny aňladýar.

Logiki elementlerden gurnalan sifrlı shemalar esasan hem iki topara bölünýärler – kombinasion we yzygiderlikli shemalardyr.

Kombinasion sifrlı shemalar diýlip mikroshemanyň **Ý** – çykalgasyndaky signallar belli bir wagtda **X** – girelgä gelýän signallaryň toplanýşyna (kombinasiýasyna) bagly bolup we şol bir wagtyň özünde **X** – girelgä gelýän öň ýanyndaky signallardan bagly däldir.

Sifrlı – **Yzygiderlikli** sifrlı shemalar diýlip mikroshemanyň

Ý – çykalgasyndaky signallar belli bir wagtda diňe bir ; **X** – girelgä gelýän signallaryň toplanýşyndan (kombinasiýasyndan) basga-da şol bir wagtyň özünde **X** – girelgä gelýän öň ýanyndaky signallardan hem baglydyr.

Sifrlı – yzygiderlikli shema diýilýäniniň sebäbi onuň düzümindäki elementlerde ýadynda saklamak ukybyň bardygy bilen olaryň içindäki ýagdaýy kesgitlemek we girelgä gelýän signallaryň yzygiderlikli ykbalyny öňünden aýdyp bolýandygy üçindir.

Ýadynda saklaýjy sifrlı elementleriň iň ýönekeý gurnamasyna **trigger** diýilýär.

Trigger – (bököp üýtgemek, atylmak) – iki sany durnukly ýagdaýy eýeläp bilýän sifrlı tehnikanıň elementidir.

Eger-de, kombinasion shemalary gurnamagyň esasy **I** – **NE**, **ILI** – **NE** logiki elementler düzýän bolsa, onda izygiderlikli shemalarda logiki elementleri triggerler düzýärler.

Çylşyrymlygyň derejesi boýunça (babatynda) operasiýalary ýerine ýetirmekde sifrlı elementleri şu aşakdaky klassifikasiýalara bölýärler :

- a) Logiki element – sifrlı element bolup, iň ýönekeý logiki funksiýalary ýerine ýetirýän funksional integrasiýanyň iň pes derejesine (gatlagyna) degişlidir;
- b) Sifrlı düwün (çatym) – funksional integrasiýanyň orta derejesini (gatlagyny) kesgitleýän funksional tarapdan doly tamamlanyp jemlenen görnüşdäki logiki elementlerdir ;

- c) Sifrli gurnama – birnäçe sifrli çatymlaryň (düwünleriň) kompleks görnüşi bolup – logiki, hasaplaýyş we başga-da dürli görnüşli operasiýalary ýerine ýetirýän funksional integrasiýanyň ýokary gatlagyna degişlidir.
- d) Sifrli hasaplaýjy maşynlar – birnäçe sifrli gurnamalaryň kompleks toplumy bolup, funksional integrasiýanyň in ýokary gatlagyna degişlidir.

Tranzistorlar ähli sifrli gurnamalaryň esasy abzallary bolup hyzmat edýändikleri üçin, sifrli mikroshemalar tranzistorlar bilen gurnalysyna laýyklykda iki topara bölünýär :

- Ikipolýarly IMS (integrally mikroshema) we
- Metal-dielektrik-ýarymgeçirijili IMS (ýa-da MDÝIMS).

Birinjisi ikipolýarly tranzistorlaryň tehnologiýasy boýunça taýýarlanylýar. Ikinjisi MDÝ – tranzistorlaryň tehnologiýasy boýunça taýýarlanylýar.

Sifrli IMS-leriň ikipolýarly tehnologiki taýýarlanyş usuly shematehnologiýa nyşanlary (alamatlary) boýunça klassifisirlenýärler, ýagny klassifikasiýa bölünüşleriniň bazasy logiki elementleriň paýlanyşy ýalydyr :

1. **Gönüden – göni** baglanşykly tranzistorlar – Tranzistorly logiki elementler özara baglanşyklary gönüden – gönidir (TLGB – tranzistorly logikasy göni baglanşykly) ;
2. Tranzistorly – rezistorlaryň üsti bilen baglanşykly (RTL – rezistiw – tranzistorly logika) ;
3. Tranzistorly – rezistor – sygymyň üsti bilen baglanşykly (**RSTL** – rezistiw – sygymly – tranzistorly logika) ;
4. Diodly – tranzistorly logika (**DTL**) ;
5. Tranzistor – tranzistorly logika (**TTL**) ;
6. Tranzistorly – emitterli baglanşykly (**EBL** – emitterli baglanşykly logika) ;
7. Diodly matrisalar (DM) ;

8. Inžeksiya – inžeksiya integrally logika (I^2L) ;
9. Tranzistor – tranzistorly Şotkiniñ diodlarynyñ üstleri arkaly baglanşykly (TTLŞ) – diýmek, Tranzistor – tranzistorly logiki baglanşyk – Şotkiniñ diodlarynyñ üsti bilen ýola goýulýar.

Tehnologiki usullaryñ şeýle atlandyrylmaklarynyñ sebäbi, sanalyp geçilen shematehnikanyñ prinsipinde mikroshemalaryñ gurlyş – sudurynyñ esaslary ýatyr.

Metal-dielektrik-ýarymgeçirijili **MDÝ** – tehnologiýasynyñ ugurlaryndan giň tehnologiki ösüş gazanyldy : **p** – nakally (**p-MDÝ**), **n** – nakally (**n-MDÝ**), kompletarly **MDÝ** tranzistorda (**KMDÝ**).

Has giň möçberde ýaýran tehnologiýalardan **TTL** , **TTLS**, **EBL**, **I^2L** görnüşli **MDÝ** tehnologiýalar mikroshemalaryñ ösmeginde tutýan orunlary uludyr.

Aşakda, ýarymgeçirijili tehnologiýanyñ dürli görnüşlerini özara deňeşdirmek üçin tablisa ýerleşdirildi (Tablodaky sanlar otnositel bahada görkezildi).

Tehnolo- gi?asy	Operasi- ?any? gidi?ini? orta bahasy	Kabul edil??n kuwwat	Integrasi- ?any? derejesi (gatlagy)	Durnukly- gy? pozulma-gy	Gymmaty (bahasy)	Tehnolo- giki ?a?y
P – MD?	1	0,7	0,3	0,5	0,2	1
n – MD?	0,5	0,6	0,5	0,7	0,3	0,8
KMD?	0,4	0,2	1	1	0,5	0,5
I^2L	0,3	0,9	0,2	0,3	0,9	0,5
EBL	0,2	1	0,1	0,2	1	0,3
I^2L	0,8	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4

MDÝ – **IMS**-iñ tehnologiki taýýarlanylşy ikipolýarly **IMS**-lerden has ýönekeýdir.

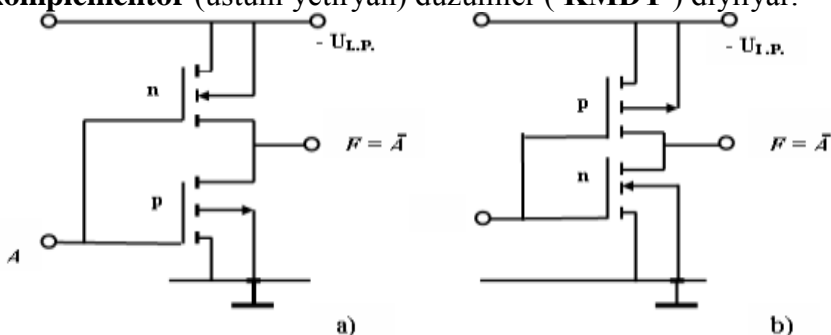
MDÝ – **IMS**-iñ tehnologiki operasiýasynyñ sany 22 bolsa, onda ikipolýarly **IMS**-leriñ taýýarlanylş tehnologiýasynyñ operasiýasynyñ sany 32. Taýýarlanylş kynçylyklary boýunça-da **MDÝ** – **IMS**-iñki ikipolýarly **IMS**-lerden 30% azdyr.

MDÝ – IMS-iň kem tarapy özüniň **p** – tipli geçiriji kanaly bilen haýal işe girişýänligidir. Şonuň üçin-de, bu ýetmezçilikden dynmak üçin geçirilen ençeme ylmy işleriň netijesinde MDÝ – abzallaryň kanalynyň **n** – tiplisiniň döremegine getirýär. Elektronlaryň çakganlygynyň **p** – deşiklerden has ýokarydygy sebäpli

n – tipli MDÝ – abzallarda geçirilýän operasiýalar (açmak, öçürmek) **p** – tiplä seredeniňde 2,4 esse çalt (tiz) bolup geçýär.

Açyp – ýapmak ýaly operasiýalary – örän ýeňil gopýanlygy sebäpli iýmitlendiriji çeşme hökmünde 5 wolta çenli naprýaženiýeli batareýjagazlar (akkumulýatorlar) bilen üpjün edilýär.

IMS –leriň çalasyňlygyny ýokarlandyrmak üçin goşmaça düzümler ulanlyp simmetriýany gazanýarlar. Başgaça aýdylanda bir **düşegiň** (esasyň) üstünde **n** – we **p** – kanally MDÝ abzallar ýygnaýyp, abzallaryň ikisiniň-de burmasyna (zatworyna) girelge signallary berilýär. Şular ýaly birleşmelere **komplementor** (üstüni ýetirýän) düzümler (**KMDÝ**) diýilýär.



11.1-nji çyzgy. Üstüni ýetirýän tranzistorly inwertorlar (**KMDÝ**).

Soraglar:

1. Tranzistorly güýçlendirijileriň görnüşleri
2. Güýçlendirijileriň ters baglanşyklary

Mowzuk. Operasion güýçlendirijiler

12. Operasion güýçlendirijiler (OG).

XX asyryň 40-njy ýyllarynyň ahylarynda matematiki operasiýalary (amalary) modirlirleýji gurnamalar peýda bolýarlar.

Hemişelik togy üçin niýetlenilen elektronly çyralardan ýygynalan güýçlendirijiler yzy bilen aragatnaşygy ylalaşykly gurnalyp :

- Köpeltmegi, bölmegi, aýyrmagy, goşmagy, differensirlemegi, integrirlemegi, logoriflemegi, derejä götermegi, kökden çykarmagy trigonometriki funksiýalary hasaplamagy we başga-da ençeme matematiki amalary (operasiýalary) işlemäge ukyply gurnama bolupdyr.

Emma, 60-njy ýyllaryň başlarynda operasion güýçlendirijiler integral mikroshemalaryndan ýygynalyp durky bilen düýpgöter tüzelenýär.

Integral mikroshemalardan (IMS-lerden) ýygynalan operasion güýçlendirijiler şu günler hem durmuşda giňden ulanylýar. Operasion güýçlendirijileriň adynyň köneleşendigine garamazdan olaryň funksional mümkinçilikleri ýyl geldigiçe artýar.

Kesgitlemesi : Operasion güýçlendiriş (OG) tranzistorlardan ýygynalan güýçlendiriji bolup, örän uly güýçlendiriş koeffisiýenti ($k_u = 10^4 \dots 10^5$) bolup, örän ullağan girelge ($R_{gir} = 10^5 \dots 10^6 \text{ Om}$) garşylykly, çykalgasynda örän kiçi

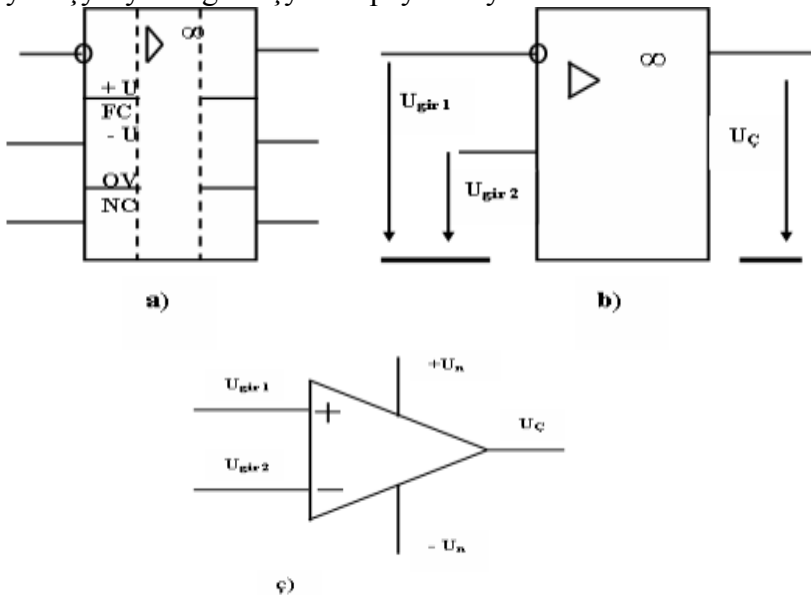
($R_{ç} = 10 \dots 100 \text{ Om}$) garşylygy, girelgesinde örän kiçi ($10^{-6} \dots 10^{-7} \text{ A}$) togy, ýygnylyk diapazony O-dan $10^5 \dots 10^6 \text{ Gs}$ aralykda bolup, gohy örän kiçi hem-de kiçi dreýfli gurnamadyr.

OG-niň iş düzgüni : Operasion güýçlendirijileri iki iş düzgüninde peýdalanmak bolýar :

1. Göni baglanşykly iş düzgüninde, we
2. Açylyp, ýapylyp bilýän açar iş düzgüninde.

Göni baglanşykly iş düzgüninde OG-niň çykalgasyndaky we girelgesindäki naprýaženiýeler özara takyk we üznüksiz baglanşykdadylar. OG-ni göni baglanşykly iş düzgüninde işletmek üçin adaty shemalardaky yzy bilen ylalaşykly güýçlendirijiler ulanylýar.

Emma, açylyp – ýapylyp bilýän açar iş düzgüninde işleýän OG-lerde welin, girelgä berilen naprýaženiýeniň bahasynda çykalgadaky naprýaženiýe böküp üýtgeýär. Meselem, plýus maksimal bahasyndan minus maksimal bahasyna ýa-da tersine tapawudy ýok. Bu düzgünde işlediljek OG-lerde ýa-da yzy bilen baglanşyksyz ýa-da yzy bilen ylalaşyksyz aragatnaşykdan peýdalanýarlar.



12.1-nji çyzygy. OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri : a bilen b – täze standart, c – köne standart.



OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri.

Operasion güýçlendirijileriň grafiki-şertli belgilenişleri dörtburçlyk görnüşde ýerine ýetirilýär. Bu şertli dörtburçlyk belgi OG-niň esasy bolup, onuň her gapdalynda bir ýa-da iki sany goşmaça dörtburçly meýdany-da bolup biler (9.13-nji a çyzga seret).

OG-niň esasy meýdany hasap edilýän dörtburçlygyň içinde

- a) üçburçlyk görnüşli belgi goýulýar. Bu belgi «**Güýçlendiriji**» diýen manyny berýär.

Esasy dörtburçlygyň sag tarapyň ýokarsynda koeffisiýentleriniň takyk bahalary görkezilýär. OG-ler üçin güýçlendiriş koeffisiýenti juda uly bolýanlygy üçin olaryň şertli grafiki belgileriniň içinde tükeniksizligiň (∞) nyşany goýulýar.

Operasion güýçlendirijileri shemalara çatmak üçin, olarda ýerleşdirilen esas hasap edilýän **girelge** we **çykalga** gysgyçlaryndan başga-da funksional ýüklere dahyly ýok çykalgalary bilen üpjün edilýär.

Köplenç ýagdaýda **girelge** gysgyçlary OG-niň çep tarapynda, **çykalga** gysgyçlary bolsa sag tarapynda ýerleşdirilýärler. OG-leriň girelgeleri iki dürli gysgyçlary bilen tapawutlanýarlar : birinjisi – göni (adaty birleşdiriliş), ikinji inwerslidir. Inwersli **girelge** we **çykalga** gysgyçlarda töwerek nyşany bilen belgilense, onda göni (inwerssiz) gysgyçlar shemalarda hiç hili nyşansyz belgilenýärler \vdash .

OG-niň göni gysgyçlaryna inwersli däl diýilýär, sebäbi girelgä berilýän signal bilen çykalgadaky signal fazalary boýunça özara gabat gelýärler.

OG-niň inwersli gysgyçlaryna inwertirleýji diýilýändiginiň sebäbi, girelgä berilýän signal bilen çykalgadaky signalyň aralarynda 180^0 süýşme burçuň döreýänligi üçindir.

Operasion güýçlendirijileriň **girelge** we **çykalga** gysgyçlaryndan başgalaryny **FC**, **NC**, **OY**, ýaly harplar ýa-da

belgiler bilen tapawutlandyrlar. Meselem, **FC** – operasion güýçlendirijiniň amplituda – ýygylyk häsiýetnamasynyň korrektirleýji zynjyryna birikdirmek üçindir ; **NC** – balansirleýji elementleri hemişelik togy boýunça birleşdirmek üçindir ; **OV** – ýa-da - nul wolt) OG-ni iýmitlendiriji çeşmäniň umumy çykalgasy we OG-niň umumy simleri ;

$\pm U$ – ikipolyarly iýmitlendiriji çeşmäniň gysgyçlary.

OG-leriň prinsipial shemalarynyň aýdyň okalmagyny hem-de işleýiş düzgünleriniň düşündirişlerini sadalaşdyrmak maksady bilen OG-leriň şertli – grafiki belgilenişlerini ýönekeýleşdirmäge ygtyýar berilýär. Meselem, 12.1.1-nji **b** – çyzgyda, diňe OG-niň tutýan esasy meýdany we signallar üçin degişli çykalgalar görkezildi.

12.1-nji **ç** – çyzgyda bolsa köne standart boýunça belgilenişi görkezildi. Bu çyzga degişli «+» alamat göni, «-» alamat bolsa inwersli birleşmegi aňladýarlar.

12.1. Operasion güýçlendirijileriň parametrleri.

OG-leriň parametrleri diýlip :

- Differensirlenen (tapawutlandyrlan) signallaryň naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş k_u – koeffisiýentine [dB] ;
- Sinfazaly signallary gowşadyş $k_{u(s.f)}$ – koeffisiýentine [dB] ;
- Girelgä berilýän naprýaženiýeniň maksimal amplitudasyna $\pm U_m$ [W] ;
- Girelgesindäki R_{gir} – garşylygyna [kOm ; MOm] ;
- Çykalgasyndaky R_χ – garşylygyna [Om] ;
- Yüke ygtyýar berilýän maksimal R_γ – garşylygyna [kOm] ;
- Signallary süýşüriji U_s – naprýaženiýesine [mW] ;
- Girelgedäki I_{gir} – toguna [nA] ;
- Girelgä berilýän ΔI_{gir} toklaryň tapawudyna [nA] ;

- Çykalgadaky U_{ζ} – naprýażeniýeniň $v_{u(\zeta)}$ – ösüş tizligine [W/mks]
- Çeşmeden kabul edýän $I_{\text{çeşm}}$ – toguna [mA] düşünilýär.

Differensirlenen (tapawutlandyrlan) signallaryň naprýażeniýe boýunça güýçlendiriş $k_{u(g)}$ – koeffisiýentiň tapylyşy.

$$k_{u(g)} = \frac{U_{\text{cyk}}}{U_{\text{gir.1}} - U_{\text{gir.2}}}$$

Bu ýerde : $U_{\text{gir.1}}$ bilen $U_{\text{gir.2}}$ – operasion güýçlendirijiniň girelgesine berilýän naprýażeniýeler.

Sinfazaly signalyň naprýażeniýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň tapylyşy :

$$k_{u(s.f)} = \frac{U_{\text{cyk}}}{\frac{U_{\text{gir.1}} + U_{\text{gir.2}}}{2}}$$

OG-leriň girelgesindäki naprýażeniýeleri deň polýarlydyrlar we deň ululyklardaky bahalara eýedirler.

Operasion güýçlendirijileriň hili (gowulygy) sinfazly signallaryň gowşadyjy (ýumşadyjy) $k_{u(s.f)}$ – koeffisiýenti bilen differensirlenen (tapawutlandyrlan) signalyň $k_{u(g)}$ – koeffisiýentiniň gatnaşyklaryndan emele gelýän ýörite $k_{0(s.f)}$ – koeffisiýent bilen kesgitlenilýär.

$$k_{0(s.f)} = \frac{k_{u(g)}}{k_{u(s.f)}}$$

Hil tarapdan gowy hasap edilýän OG-lerde

$$k_{0(s.f)} = 10^4 \dots 10^6, \text{ ýa-da } k_{u(g)} \gg k_{u(s.f)}$$

OG-leriň çykalgasyndaky $U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýeniň ösüş $v_{u(\text{ç})}$ – tizligi OG-leriň girelgesine böküp durýan naprýaženiýe berilende özüniň maksimal bahasyna ýetýär.

12.2. Ideal operasion güýçlendirijiler, ulanylýan ýerleri we düzümi.

Ideal OG bolmak üçin şu aşakdaky şertleriň (häsiýetleriň) haýsy-da bolsa biri berjaý edilse ideal OG diýmek bolar :

- Güýçlendiriş koeffisiýenti tükeniksiz ($k_{u,g} \rightarrow \infty$) bolanda ;
- Girelgesindäki garşylyk tükeniksiz ($R_{\text{gir}} \rightarrow \infty$) bolanda ;
- Çykalgasyndaky garşylyk nul ($R_{\text{ç}} \rightarrow 0$) bolanda ;
- Girelgesindäki tok nula ($I_{\text{gir}} \rightarrow 0$) golaýlaşanda ;
- Girelgesindäki gysgyçlarynyň potensiallarynyň tapawudy nula ($\Delta U_{\text{gir}} \approx 0$) ýakynlaşanda ;
- Signallary geçiriş ýygylk zologynyň giňligi tükeniksize ymtylsa ($\Delta f \rightarrow \infty$).

OG-ler, has çuň yzy bilen baglanşyklar gerek bolanda ulanylýanlygy üçin, OG-lerden ýygynalan gurnamalaryň parametrleri, esasan hem yzy bilen baglanşygyň parametrleri bilen kesgitlenilýär. Şonuň üçin-de OG-leriň funksionallygy kän bir bildirmeýär we özüniň häsiýetleri boýunça ideal güýçlendirijilere golaýlaşýarlar.

Ulanylýan ýerlerine laýyklykda OG-leri 5(bäş) topara bölýärler :

1. Ähli shemalarda ulanylýan OG-ler (K153YД1, K153YД2, K153YД6 markalar) özleriniň örän ýokary güýçlendiriş koeffisiýentleri, biçak uly girelge garşylyklary, örän tiz we ýokary täsir edijiligi bilen tapawutlanýarlar.

2. Takyklygy örän ýokary (153YД5 markaly) OG-ler özleriniň kiçijik süýşiriji naprýaženiýesi, differensial signallar üçin ýokary güýçlendiriş koeffisiýenti, sinfazly signallar üçin-de biçak ýokary koeffisiýenti hem-de goh derejesiniň örän kiçiligi bilen tapawutlanýarlar .
3. Elektrometrli OG-ler (140YД6, 140YД14, 544YД1 markalar) özleriniň girelgesinde biçak uly garşylygy, girelgesindäki togunyň ujypsyzlygy hem-de gohunyň kiçiligi bilen tapawutlanýarlar.
4. Tiztäsirediji (140YД11 markaly) OG-ler impulsly signallary we ýokary ýyglykly signallar üçin niýetlenilip, üstünden signallary geçiriş ýyglyk zolagynyň giňligi we çykalgasyndaky $U_{çык}$ – naprýaženiýesiniň ösüş tizliginiň aşa ýokarylygy bilen tapawutlanýarlar.
5. Mikrokuwwatly OG-ler (140YД12, 153YД4 markaly) örän kiçi (dynçlyk düzgüninde 10^{-6} Wt) kuwwaty kabul edýänligi bilen tapawutlanýarlar.

OG-leriň düzümini üç bölege bölyärler, olaryň :

Birinjisi differensial kaskadlardan düzülip , **girelge** kaskad üçin ulanylsa ;

Ikinjisi – emitteri gaýtalanýan kaskadlardan düzülip, **çykalga** kaskad üçin ulanylýar ;

Üçünjisi **girelge** bilen **çykalga** kaskadlaryň aralygynda olary sazlaşdyryjy (ylalaşdyryjy) hökmünde ulanýarlar.

9.14-nji çyzgyda OG-niň düzümi görkezildi



12.2.1-nji çyzgy. Operasion güýçlendirijiniň düzümi.

Soraglar:

1. Operasion güýçlendirijiler
2. OG – görkezijileri
3. OG – düzümi

Mowzuk. Operasion güýçlendirijileriň häsiýetnamalary

13. OG-leriň iýmitlendirlişi we olaryň häsiýetnamalary.

OG-leriň işleýiş şertleriniň mümkinçiliklerini doly üpjün etmek üçin, olaryň girelgesine hem plýus hem-de **minus** alamatly signallary bermeli bolanda ikipolýarly iýmitlendiriji çeşmäni talap edýär. Şonuň üçin-de, iki sany hemişelik naprýaženiýe çeşmesini özleriniň ýörite çykalgalary bilen üpjün edilýär.

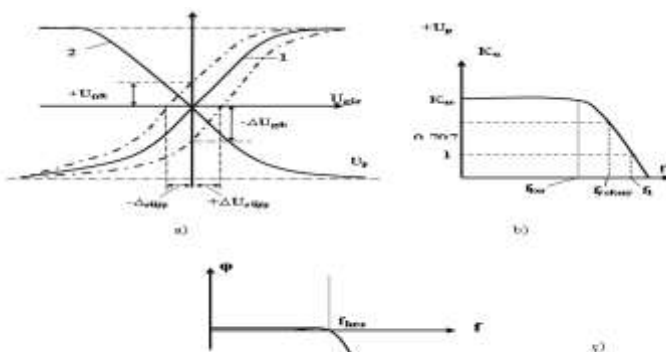
Operasion güýçlendirijileriň esasy häsiýetnamalary. Häsiýetnamalaryň üç görnüşini öňe sürýärler :

- Amplituda (üstünden geçiriş) $U_{çyk}$ (U_{gir}) häsiýetnamasy ;
- Amplituda – ýygylýk $k_u(f)$ häsiýetnamasy ;
- Faza – ýygylýk $\varphi(f)$ häsiýetnamasy.

Bu baglanyşyklaryň her birine aýratynlykda seredeliň.

1. Üstünden geçiriş (amplituda) häsiýetnamasy.

OG-niň bu häsiýetnamasy girelgedäki we çykalgadaky naprýaženiýeleriň özara $U_{çyk}(U_{gir})$ baglanyşklaryny aňladýar (9.15-nji a çyzgy). Çyzgydaky 1-nji egri çyzyk inwertirlemeyän, 2-nji egri inwertirleýän OG-ler üçindir.



13.1-nji çyzgy. Operasion güýçlendirijileriň häsiýetnamalary :
a – Amplituda, b – Amplituda-ýygylýk, ç – faza – ýygylýk häsiýetnamalary.

Eger-de, OG-niň girelgesindäki naprýaženiýe ($U_{\text{gir}}=0$) nula deň bolanda, çykalgasyndaky naprýaženiýe-de ($U_{\text{çyk}}=0$) nula deň bolsa, onda OG-niň balansly ýagdaýdadygyny aňladýar.

Eger-de, $U_{\text{gir}}=0$ bolanda çykalgadaky naprýaženiýe $U_{\text{çyk}} = \pm \Delta U_{\text{çyk}}$ bolsa, onda OG-niň balansda dälidigini aňladýar.

Girelgede $U_{\text{gir}}=0$ bolan wagty çykalgadaky $U_{\text{çyk}} -$ naprýaženiýeniň nula deň bolmagyny gazanmak üçin, operasion güýçlendirijä berilmeli $U_{\text{süýş}} -$ naprýaženiýä-OG-niň girelgesindäki naprýaženiýesini nul ýagdaýyndan süýşürjü diýilýär.

Balansyň bozulmagyna girelgedäki differensial kaskadyň parametrleriniň dargaýanlygy we olaryň temperaturadan hem baglydygy sebäp bolýandygy bilen düşündirilýär. 4.15-nji a çyzgyda keltejik çyzyklar bilen OG-niň balansynyň bozulan ýagdaýyny aňladýan-üstünden geçiriş koeffisiýentiniň häsiýetnamasy görkezildi.

OG-niň girelgesi üçin diňe bir süýşme $\Delta U_{\text{süýş}} -$ naprýaženiýesinden başga-da girelgesindäki $\Delta I_{\text{gir}} -$ süýşme togy diýilýän ululykdan hem peýdalanýarlar. Kaskadyň girelgesindäki $\Delta I_{\text{gir}} -$ tok differensial kaskadyň girelgesindäki $R_{\text{gir}} -$ garşylygynyň bahasy bilen çäklenýär we tranzistoryň parametrleriniň dargaýyş şertleri bilen düşündirilýär.

OG-leriň iş düzgünini ilki başdan balansirlemek hemişe gerek bolup durýanlygy üçin, olaryň girelgesindäki $U_{\text{süýş}} -$ süýşürjü naprýaženiýesine we girelge $\Delta I_{\text{gir}} -$ toguna täsir edip durar ýaly olaryň shemalarynda goşmaça elementler ulanylýar. Şeýle balansirlemek üçin OG-leriň haýsy-da bolsa bir girelgesine goşmaça naprýaženiýe bermek we goşmaça rezistorlary girizmek bilen amala aşyrylýar.

OG-leriň amplituda ýygylýk $k_u(f)$ häsiýetnamasy 13.1-nji b çyzgyda görkezildi. Bu baglanyşykda OG-niň güýçlendiriş koeffisiýentiniň ýygylýkdan baglanyşygy görkezilip, onda şu aşakdaky parametrler hem görkezildi :

f_{yokary} – OG-niň geçirýän (dury) zolagyndaky iň ýokarky araçägidir, bu ýgylykda güýçlendiriş **$k_u=0,707$** **$k_{u.o}$** bahasyna deňdir.

$K_{u.o}$ – OG-niň orta ýgylykda işleýärkä güýçlendiriş koeffisiýenti.

F_{kes} – OG-niň **$k_{u.o}$** – koeffisiýentiniň göni gidýän kese çyzygyndan asaklygyna gaýdyp başlan ýerini görkezýän ýgylyk, hem-de tranzistoryň-da ýgylyga baglydygyny, OG-niň düzümini emele getirýän özaralarynda gerekmejek (parazit) sygymalarynyň-da bardygyny aňladýar.

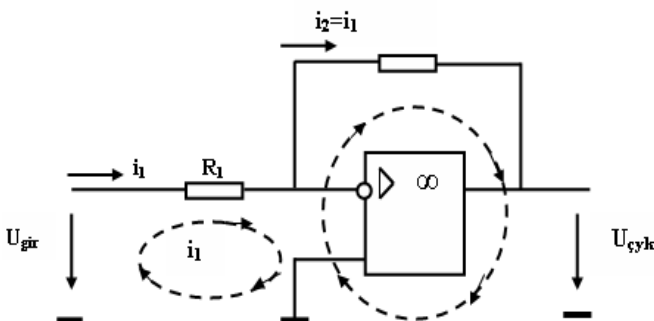
f_1 – Güýçlendiriş koeffisiýentiň ululygy 1 (bir) bolanda OG-niň ýgylygy

OG-leriň faza-ýgylyk $\phi(f)$ häsiýetnamasy 13.1-nji çyzygyda görkezildi. Bu baglansyk OG-lerde güýçlendirilen signallaryň **ϕ** – faza burçy boýunça süýşmegiň **f** – ýgylykdan baglydygyny aňladýar.

13.1. Operasion güýçlendirijileriň esasy shemalary.

OG-leri birnäçe topara bölýärler : Inwertli, inwertlidäl, summirleýän, tapawutlandyryan (differensial), differensirleýän, integrirleýän ýaly toparlara bölünýär. Bu OG-lere aýratynlykda seredeliň.

1. **Inwertirleýän** (Latyn sözi – çalşyryan, çöwürýän diýmek) **OG-ler**.
2. Inwertirleýji OG-niň shemasy 9.16-njy çyzygyda görkezildi.



13.1.1-njy çyzgy. Inwertirleýji OG-niň shemalara birleşdirlişi.

Bu shemada yzy bilen aragatnaşygyň signaly R_2 – garşylygyň üsti bilen OG-niň inwersli girelgesine berilýär. Şol inwersli girelgä-de elektrik çeşmesiniň U_{gir} – naprýaženiýesi berilýär.

OG-leriň iş düzgünini ýeňil özleşdirmek üçin OG-ni ideal görnüşde diýip kabul etmek maslahat berilýär. Şeýle edilende, « **Ideal** » OG-ler üçin düzülmeli deňlemeler-de sadalaşýar, sebäbi OG-niň girelgesiniň garşylygy $R_{gir} = \infty$ diýip kabul edilýär şonuň üçin-de girelgesindäki gysgyçlarynyň aralaryndaky ($\Delta U_{gir} = 0$) naprýaženiýe nula deň bolýar we R_1 bilen R_2 rezistorlaryň üstlerinden bir i_1 – tok akýar. OG-niň girelgesinde görkezilen kontur üçin (çyzgyda keltejikden üzülen çyzyklar) degişli deňleme düzeliň.

$$-U_{gir} + R_1 i_1 = 0 \quad \text{ýa-da} \quad i_1 = \frac{U_{gir}}{R_1}$$

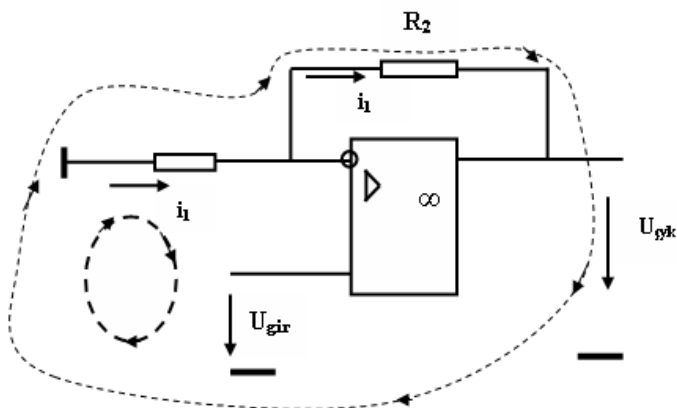
OG-niň çykalgasyndaky uly kontur üçin-de deňleme düzeliň

$$U_{çyk} + R_2 i_2 = 0 \quad \text{ýa-da} \\ U_{çyk} = -R_2 i_1$$

Eger-de, birinji deňlemeden i_1 – toguň bahasyny ikinji deňlemede ulansak, onda

$$U_{\text{çyk}} = - \frac{R_2}{R_1} U_{\text{gir}} \quad \text{deňligi alarys.}$$

Deňlemäniň sag tarapynda emele gelen (–) minus alamatynyň manysy signalyň fazasynyň çöwrülýändigini (inwertligini) aňladýar.



13.1.2-nji çyzgy. Inwertirlemeýän OG-niň shemalara birleşdirlişi.

3. **Inwertirlemeýän güýçlendiriji.** Inwertsiz güýçlendirijileriň shemasy 9.17-nji çyzgyda görkezildi.

Ýene-de, OG-leri ideal diýlip kabul edilýändiginden peýdalanyňp, çyzgyda görkezilen kiçi we uly konturlar üçin degişli deňlemeler düzeliň.

$$R_1 i_1 + U_{\text{gir}} = 0 \quad \text{ýa-da} \quad i_1 = - \frac{U_{\text{gir}}}{R_1}$$

Uly kontur üçin ($\mathbf{R_1+R_2}$) $\mathbf{i_1} + \mathbf{U_{çyk}} = 0$ ýa-da

$$\mathbf{U_{çyk}} = - (\mathbf{R_1+R_2}) \mathbf{i_1}$$

Birinji deňlemeden $\mathbf{i_1}$ – toguň bahasyny ikinji deňlemä goýsak, onda

$$\mathbf{U_{çyk}} = \frac{\mathbf{R_1 + R_2}}{\mathbf{R_1}} \mathbf{U_{gir}} \quad \text{ýa-da} \quad \mathbf{U_{çyk}} = \left(\mathbf{1 + \frac{R_2}{R_1}} \right) \mathbf{U_{gir}}$$

Deňlemede (–) – alamatyň ýoklugy (+) – plýus alamatlylygyň manysy OG-de signalyň fazasy inwertersiz güýçlenýändigini aňladýar.

13.2. Summirleýän güýçlendiriji (Summator).

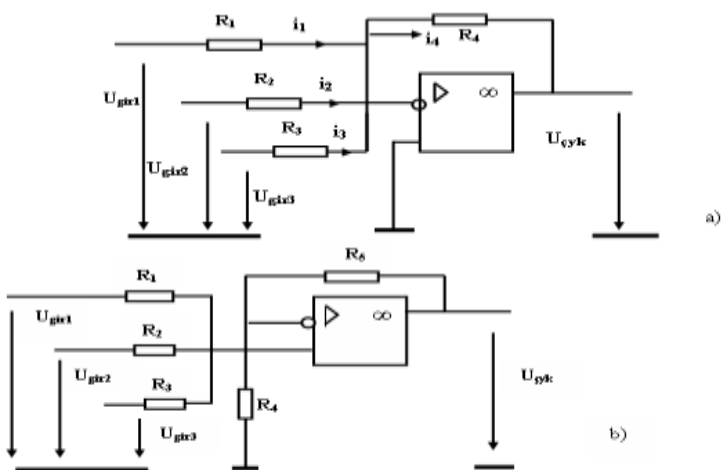
Summatorlaryň girelgesinde signallar goşulanlaryndan soň, olaryň çykalgasyndan alynýan signallary inwertirleýän ýa-da inwertirlemeýän görnüşde alyp bolýar. Olara degişli shemalar 9.18-nji **a, b** çyzgyda görkezildi.

9.18-nji **a** – çyzgyda görkezilen shema üçin şu aşakdaky deňlemeleri düzüp bileris.

$$\mathbf{i_4 = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{U_{gir1}}{R_1} + \frac{U_{gir2}}{R_2} + \frac{U_{gir3}}{R_3};} \quad \mathbf{U_{çyk} = - R_4 i_4}$$

ýa-da

$$\mathbf{U_{çyk} = - \left(\frac{R_4}{R_1} U_{gir1} + \frac{R_4}{R_2} U_{gir2} + \frac{R_4}{R_3} U_{gir3} \right)}$$



13.2.1-nji çyzgy. Summatorlaryň a – inwertirleýän , b – inwertirlemeyän shemalary.

umumy görnüşde, şu aşakdaky ýaly ýazyp bileris.

$$U_{\text{çyk}} = - \sum_{k=1}^n U_{\text{gir } k} \frac{R_4}{R_k}$$

Bu ýerde - $\frac{R_4}{R_k}$ berilen $U_{\text{gir } k}$ - naprýaženiýeniň tutýan omuny aňladýan koeffisiýent.

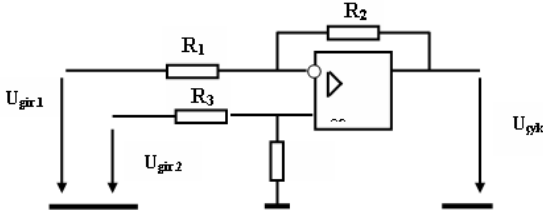
Eger-de garşylyklaryň ($R_4=R_k$) deňlikleri gazanylsa, onda güýçlendirijiniň çykalgasyndaky $U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýe

$$U_{\text{çyk}} = - (U_{\text{gir.1}} + U_{\text{gir.2}} + U_{\text{gir.3}}) \quad \text{bolar}$$

Deňlemäniň oňundäki (-) – minus alamatynyň manysy çykalgadaky $U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýe, girelgedäki $U_{\text{gir.k}}$ – naprýaženiýeleriň goşulmalarynyň inwertlenýändigini aňladýar.

4. Differensial (tapawudyny berýän) güýçlendiriji.

Girelgedäki naprýaženiýeleri güýçlendirip, çykalgasynda tapawudyny berip bilýän OG-lere differensial güýçlendirijiler diýilýär. Şeýle differensial güýçlendirijiniň shemasy 9.19-njy çyzgyda görkezildi.



13.2.2-njy çyzgy. Differensial (tapawudyny berýän) güýçlendiriji.

Eger-de, OG-niň birinji girelgesine signal berilip, ikinji girelgesine signal berilmese (ýagny $U_{gir.1} \neq 0$, $U_{gir.2} = 0$), onda shema inwertirleýji bolup işleýär.

$$U_{çyk} = U_{çyk1} = - U_{gir1} \frac{R_4}{R_1}$$

Eger-de, OG-niň birinji girelgesindäki signalyň naprýaženiýesi

($U_{gir.1}=0$) bolup, ikinji girelgesindäki signalyň naprýaženiýesi nula deň bolmasa ($U_{gir.2} \neq 0$), onda shema inwertirlemeýän güýçlendiriji bolup işleýär.

$$U_{çyk} = U_{çyk2} = U_{gir2} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Bu ýerde $U_{gir2} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$

inwertirlemeýän güýçlendirijiniň çykalgasyndaky naprýaženiýedir.

İn soňky netijeleri ýönekeýleşdirmek üçin inwertirleýän we inwertirlemeýän düzgünde işleýän OG-leriň güýçlendiriş koeffisiýentleri özara deň diýip kabul edýäris.

$$k_{u1} = \frac{U_{cyk1}}{U_{gir1}} ; k_{u2} = \frac{U_{cyk2}}{U_{gir2}} = \frac{R_2}{R_3 + R_4} = \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

onda

$$\frac{R_2}{R_3 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} ; \frac{U_{cyk2}}{U_{gir2}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right)$$

netijäni alarys.

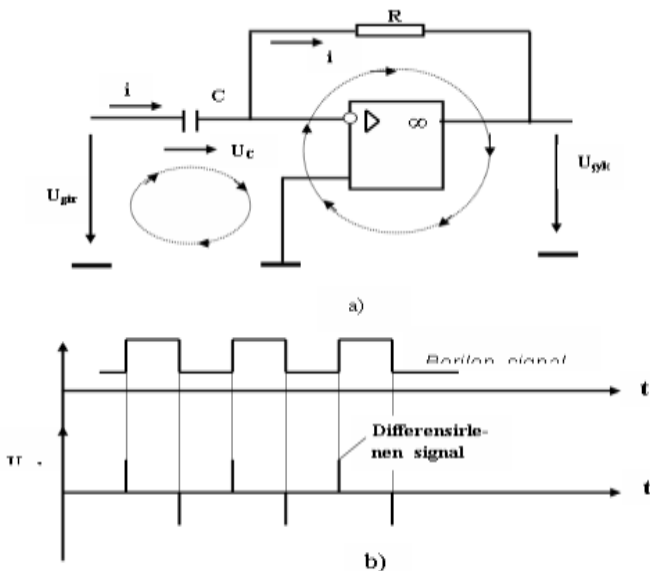
Eger-de, OG-niň girelgeleriniň ikisinde-de signal bolsa, onda çykalgasyndaky U_{cyk} – signalyň tapylyşy şeýle bolar

$$U_{cyk} = - U_{gir1} \frac{R_2}{R_1} + U_{gir2} \frac{R_2}{R_1} = (U_{gir1} - U_{gir2}) \frac{R_2}{R_1}$$

Diýmek, OG-niň çykalgasyndaky U_{cyk} – signal, girelgesindäki signallaryň tapawutlaryna göni baglydyr.

13.3. Differensirleýän güýçlendiriji (Differensiator).

Differensirleýji güýçlendirijiniň shemasy 13.3.1-nji **a** – çyzgyda görkezildi.



13.3.1-nji çyzgydy. Differensirleýän güýçlendiriji : **a** – shemasy, **b** – girelgedäki we çykalgadaky signallaryň görnüşleri.

Girelgedäki U_{gir} – signal sähelçe täsir etsek, onda C – kondensatordan zarýad togy geçip başlaýar.

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}$$

9.20-nji a çyzgyda görkezilen shemadaky kiçi we uly konturlar üçin deňlemeler düzeliň

$$dU_{gir}U_c - U_{gir} = 0 ; \quad U_c = U_{gir} ; \quad U_{çyk} = R i = R C$$

Formuladan görnüşi ýaly, OG-niň çykalgasyndaky $U_{çyk}$ – signal girelgä berilýän U_{gir} – signalyň differensialyna göni baglydyr.

13.3.1-nji b çyzgyda U_{gir} – girelge we $U_{çyk}$ – çykalga signallaryň t – wagta görä diagrammalary görkezildi. Bu diagrammalar OG-niň girelgesine gönüburçly signallar

berilende onuň çykalgasynda differensirlenýän signallaryň netijesi bolan $U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýeniň diagrammasy bilelikde görkezildi.

Soraglar:

1. OG esasy häsiýetnamasy
2. OG – nyň elektrik çatgylary
3. Differensial güýçlendiriji

Mowzuk. Tranzistor we ýönekeý süzgüçler

14. Signallaryň örküçlerini düzleýji elektrik süzgüçleri (filtrleri).

Diodlaryň kömegi bilen göneldilen tok elektrik ýüküne (+) – plýus görnüşli ýarymperiody gelýär we R_{γ} – garşylykda impuls görnüşli naprýaženiýeni döredýär. Bu naprýaženiýeniň formula bilen aňladylyşy:

$$u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cdot \sin(k\omega t + \psi_k)$$

Ýokary matematikadan belli boluşy ýaly, bu formula-Furýeniň hataryndan gelip çykýar. Görüşimiz ýaly, bu formulanyň düzüminde hemişelik

U_0 – goşulmadan başga-da U_{km} – amplitudaly naprýaženiýeniň k – garmonikaly düzüjileri- de bardyr. (Bu ýerde $k=0,1,2,3,\dots$).

Eger-de k – garmonikaly naprýaženiýeniň düzüminden hemişelik

U_0 – naprýaženiýeni saýlap – seçip almak gerek bolsa, onda garmoniki düzüjilerini süzüp aýyrmak gerek bolýar.

Şular ýaly amallary, göneldiji bilen elektrik yüküniň aralygynda birleşdirilýän elektrik süzgüçleri (filtrleri) ýerine ýetirýär. Bular ýaly süzgüçlere elektrik signallaryny

(impulslaryň örküçlerini) ýumşadyjy (düzleýji) süzgüçleri diýilýär. Şeýle süzgüçleriň ýumşadyjy (düzleýji) q – koeffisiýenti süzgüjiň girelgesine berilýän impulsy naprýaženiýeniň birinji garmonikasynyň k_{p1gir} – puls koeffisiýentiniň, süzgüjiniň çykalgasyndan elektrik ýüküne berilýän şol garmonikadaky (k_{p1cyk}) – puls koeffisiýentine bolan gatnaşygy bilen häsiýetlendirilýär.

k_{p1gir}

k_{p1cyk}

$$q = \frac{U_{m1}}{U_0}$$

Öz gezeginde puls koeffisiýentleriniň tapylyşlary:

$$k_{p1gir} = \frac{E_{m1}}{E_0}$$

$$k_{p1cyk} = \frac{U_{m1}}{U_0}$$

Bu ýerde : E_{m1} – süzgüjiň girelgesine berilýän naprýaženiýeniň birinji garmonikasynyň amplitudasy;

E_0 – süzgüjiň girelgesine berilýän göneldilen naprýaženiýeniň ortaça bahasy;

U_{m1} – süzgüjiň çykalgasyndaky naprýaženiýeniň birinji garmonikasynyň amplitudasy ;

U_0 – süzgüjiň çykalgasynda (elektrik ýükünde) göneldilen naprýaženiýeniň ortaça bahasy.

$$q = \frac{k_{p1gir}}{k_{p1cyk}} = \left(\frac{E_{m1}}{E_0} \right) : \left(\frac{U_{m1}}{U_0} \right) = \left(\frac{U_0}{U_{m1}} \right) \left(\frac{E_{m1}}{E_0} \right) = k_f \cdot \lambda$$

Bu ýerde: $k_f = \frac{E_{m1}}{U_{m1}}$ - süzülmegi häsiýetlendirýän koeffisiýent ;

$\lambda = \frac{U_0}{E_0}$ - süzgüjiň girelgesinden çykalgasyňa iberilýän hemişelik naprýaženiýe boýunça geçirij koeffisiýenti.

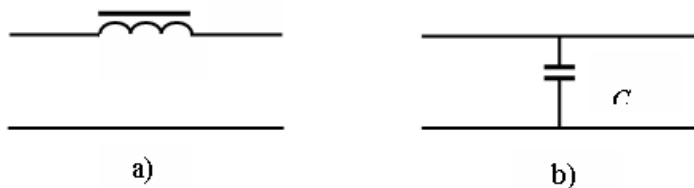
Eger-de, $U_0 = E_0$ bolsa, onda $\lambda=1$ we $q=k_f$ bolar, bu bolsa düzleýji koeffisiýentiň süzülmegiň koeffisiýentine deňleşýändigini aňladýar. Köplenç ýagdaýlarda elektrik yükünde puls koeffisiýentiniň bolýjak bahasyny nirede we nähili şertde ulanyljakdygyny zawodlarda öndürilende göz önünde tutýarlar. Emma, süzgüjiň girelgesindäki puls koeffisiýenti bolsa, göneldiji gurnamanyň shemasy bilen kesgitlenilýär.

Signallaryň örküçlerini düzleýji süzgüçleri iki topara bölýärler:

a)Reaktiw elementlerden gurnalan süzgüçler (passiw süzgüçler);

b)Elektron elementlerden gurnalan süzgüçler (aktiw süzgüçler).

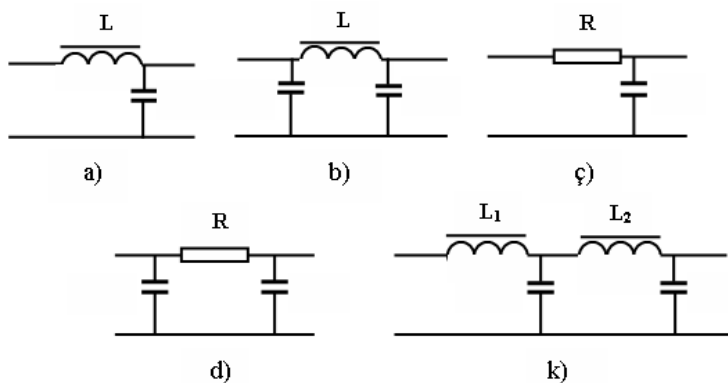
Öz gezeginde, passiw süzgüçleri ýönekeý we çylşyrymly toparlara bölýärler. Ýönekeý süzgüçler bir sany sygymdan ýa-da bir sany induktiw tegekdən durýar (10.10-njy a, b çyzgylara seret). Induktiv tegeklere halkara möçberinde **drossel** hem diýilýär (**Drossel** – nemes sözi – içi ferromaterially induktiw tegek – diýmekdir). 10.10 – njy çyzgyda ýönekeý süzgüçleriň shemalara birleşdirilişleri görkezildi.



14.1-njy çyzgy. Ýönekeý süzgüçleriň shemalara birleşdirilişi.

Çylşyrmly süzgüçler birhalkaly we köphalkaly bolup bilerler. Süzgüçleriň her bir halkasy Γ – ýa-da Π – görnüşde ýygnalýar. Ýygnalan süzgüçler drossel – kondensator (**LC** – tipli süzgüçler) ýa-da Rezistor – kondensator (**RC** – tipli süzgüçler) görnüşli bolup bilerler. 10.11 – nji çyzgyda passiw süzgüçleriň dürli görnüşlerinden birnäçe mysallar getirildi:

- a) Γ – görnüşli **LC** – süzgüç;
- b) Π – görnüşli **LC** – süzgüç;
- c) Γ – görnüşli **RC** – süzgüç;
- d) Π – görnüşli **RC** – süzgüç;
- k) Iki halkaly Γ – görnüşli **LC** – süzgüç;



14.2-nji çyzgy. Passiw süzgüçleriň dürli görnüşlerinden birnäçe mysallar.

Reaktiw elementlerden ýygnalan süzgüçleriň iş düzgünleri, olaryň reaktiw garşylyklarynyň f – ýygylykdan baglanşygy bilen kesgitlenilýär.

$$X_L = 2\pi f L; \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Bu formulalardan görnüşli ýaly, f – ýygylyk näçe köp bolsa, şonça-da X_L – uludyr, X_C – bolsa şonça-da kiçidir. Diýmek, göneldilen naprýaženiýeniň impulsynda bar bolan ýygylyklara görä L bilen C – niň ululyklary saýlanyp seçilýär.

Hemişelik düzüji üçin drossel garşylyk görkezmeýär diýen ýalydyr, emma tersine kondensator tükeniksiz garşylyk görkezýär.

RC – süzgüçleriň iş düzgüni bolsa geçiş prosesiniň wagty hemişeligi $\tau=RC$ görnüşde anyklanylýar, hem-de göneldilen naprýaženiýeniň düzümindäki garmonikalaryň periodlaryna-da baglydyr.

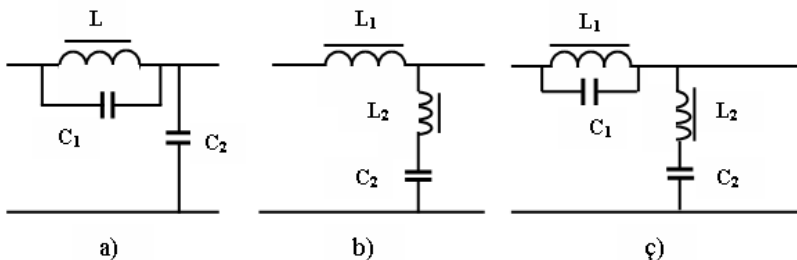
Impulslaryň ýumşamak şerti $\tau \gg T_k$ bolanda amala aşýar (Bu ýerde T_k – garmonikanyň periody).

Kiçijik toklara (birnäçe milliampere)niýetlenilen ýüklerde **RC** – süzgüçleri ulanmak hemmetaraplaýyn amatlydyr, sebäbi **RC** – süzgüçleriň göwrümi hem-de massasy **LC** – süzgüçlerden epesli kiçidir.

Gurluşlary boýunça has çylşyrymly passiw süzgüçlere-de düş gelinýär, meselem: – naprýaženiýeniň rezonansyndan peýdalanmak (režektorly süzgüçler)ýa-da toguň rezonansyndan peýdalanmak (toga böwet döredýän süzgüçler), ýa bolmasa iki rezonansy-da bilelikde peýdalanmak.

Çylşyrymly süzgüçleriň birnäçe shemalary 10.12- nji çyzgyda görkezildi:

- Γ – görnüşli rezonansly süzgüç (garmonikalary böwet döredýär),
- Režektorly süzgüç,
- Iki rezonansly süzgüç (naprýaženiýeleriň we toklaryň rezonanslary bilelikde)



14.3-nji çyzgy. Reaktiv elementlerden gurnalan çylşyrymly süzgüçleriň shemalary.

Çylşyrymly süzgüçlerde ýumşadyjy (düzleýji) koeffisiýent süzgüji-emele getirýän halkalaryň her beriniň düzleýji koeffisiýentleriniň köpeltmek hasyllaryna deňdir.

$$q = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n$$

14.1. Tranzistorly süzgüçler.

Elektronly elementlerden guralan süzgüçlerde düzleýji element hökmünde ikipolýarly tranzistorlar ulanylýar.

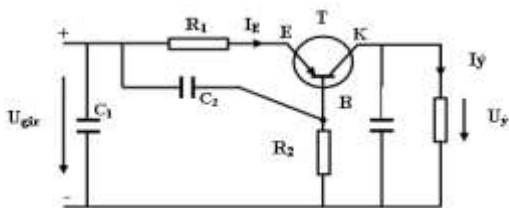
Ikipolýarly tranzistorlarda signallaryň örküçlerini tekizlemek häsiýeti tranzistorlaryň hemişelik we üýtgeýän toklara görä garşylyklarynyň bahalary özara örän uly tapawutlanýandyklary bilen düşündirilýär.

Eger-de, tranzistorlaryň elektrik ýüklerine üç hili (görnüşli) birleşdirip bolýandyklaryny göz önünde tutsak, onda :

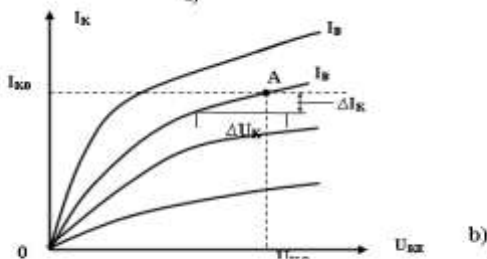
- a) Kollektory bilen elektrik yüküniň yzygider birleşdirilişi ;
- b) Emitteri bilen elektrik yüküniň yzygider birleşdirilişi ;
- c) Tranzistor bilen elektrik yüküniň parallel birleşdirilen shemalary giňden ulanylýar.

Mysal hökmünde 14.1.1-nji **a** çyzgyda görkezilen shema seredeliň :

Bu shemada tranzistoryň kollektory bilen elektrik **R_ý** – ýüki yzygider birleşdirildi. 14.1.1-nji **b** çyzgyda bolsa tranzistoryň çykalgasyny häsiýetlendirýän **I_k(U_{KE})** baglansykda tranzistoryň işläp duran bir nokady görkezildi (diagrammada **A** nokat).



a)



b)

14.1.1-nji çyzgy. Tranzistorly süzgüç: a – tranzistorly süzgüjiň shemasy ; b – tranzistorly süzgüjiň çykalgasyny häsiýetlendirýän diagramma.

Diagrammada görkezilen A nokada $R_{st} = \frac{U_{K0}}{I_{K0}}$

Garşylyk deňişlidir.

Bu garşylyk üýtgeýän togyň garşylygyndan epesli kiçidir. Üýtgeýän togyň garşylygy

$$R_{din} = \frac{\Delta U_k}{\Delta I_k}$$

formula bilen anyklanylýar.

Şular ýaly shemaly tranzistorlar özlerine mahsus häsiýetleri boýunça süzgüjiň shemasynda induktiw garşylyk ýaly özünü alyp barýar (ýagny, üýtgeýän toga tranzistor köp garşylyk görkezýär).

10.13-nji a – çyzgyda görkezilen shemadaky elementleriň näme üçin gerekdiklerini özleşdireliň : C_1 we C_3 – kondensatorlar ýokary garmonikaly signallary R_y – garşylyga

goýbermän öz üstlerinden geçirmek üçin ; R_1 we C_2 – elementler emittere baryan I_E – togy hemişelik saklamak üçin ; R_2 – garşylyk

T – tranzistory belli bir düzgüninde işletmek üçin (meselem A – nokatda). Eger-de, başga nokatda işletmek gerek bolsa, onda R_2 – garşylygy başga bir garşylyk bilen çalyşýarlar.

Soraglar:

1. Ýönekeý süzgüçleriň görnüşleri
2. Tranzistorly süzgüçler

Mowzuk. Elektron generatorlar

15. Elektron generatorlary hakda umumy maglumat.

Kesgitlemesi. Elektron generatorlary diýlip, elektronly çyralary ýa-da ýarymgeçirijilerden ýasalan abzallaryň kömegi bilen, hemişelik togunyň elektrik energiýasyny yrgyldyly elektrik energiýasyna öwüriji (kesgitli ýygylýkda we formada) gurnamalara aýdylýar.

Generatorlaryň klasslara (toparlara) bölünşi.

Elektron generatorlary özleriniň birnäçe nyşanalary (aýratynlyklary) boýunça klasslara bölünýärler :

1. Generirlenen yrgyldylaryň ýygylýk diapazony (giňligi) boýunça bölünşi : **a)** ýygylýkly generatorlar (1-Gers böleginden tä **100 KGS**-e çenli) ; **b)** ýokary ýygylýkly generatorlar (**100 KGS**-den **100 MGS**-e çenli) ; **ç)** aşýokary ýygylýkly generatorlar (**AÝÝ**) (**100 MGS**-den ýokary).
2. Generirlenen ýygylýklary formalary boýunça sinus we sinus däl yrgyldylara-da bölünýärler.

Sinus görnüşli yrgyldylary öndürýän generatorlary almak üçin olarda ulanylan güýçlendirijileriň shemalarynda görkezilen yzy bilen baglanşyklaryň hemmesi plýus alamatly bolmalydyr (**YBPB**-zyzy bilen plýus baglanşyk).

Yrgyldysy sinus görnüşli ýokary ýygyllykly generatorlar adaty rezonansly **LC** – konturlar bilen döredilýär, şonuň üçin-de bular ýaly konturlara **LC** – generatorlar diýilýär. Pes ýygyllykly generatorlar bolsa – ýygyllykdan bagly hem-de yzy bilen baglanşykly **RC** – zynjyrlar ulanylýar. Yrgyldysy sinus görnüşli generatorlarda ulanylýan yzy bilen baglanşyk yrgyldyly generatoryň ýitgileriniň öwezini dolandurýar diýäýmeseň, tutýan orny beýle bir uly däl.

Yrgyldyly generatorlardaky ýitgileri diňe bir yzy bilen plýus baglanşykly elementler bilen däl-de, garşylyklaýyn **minus** baglanşykly elementler bilen-de kompensirlemek bolýar.

Islendik, hatda hil tarapdan aşa ýokary ýygyllykly yrgyldyly konturlarda-da ýitgi bardyr, sonuň üçin-de döreýän islendik ýygyllykdaky yrgyldylar (hiç hili şübhesiz) ýuwaş-ýuwaşdan sönäýmelidirler. Eger-de, yrgyldylar sönmeýän bolsalar, onda şol generatordaky ýitgileri haýsy-da bolsa bir energiýa çeşmesi bilen dynuwsyz kompensirlenip durulýar diýilidigidir.

Islendik yrgyldyly sistemada döreýän ýitgileri birnäçe ekwiwalent garşylyklaryň üsti bilen düşündirip bolýar, meselem **R_{ýitgi}** – garşylygy haýsy-da bolsa bir minus alamatly **R⁻** – garşylyk bilen kompensirleseň, onda **R_{ýitgi} – R⁻ = 0** ýagdaýy-da alyp bileris. Şular ýaly ýagdaýa her hili tehniki tilsimler bilen çykyp bilsek, onda döredilen yrgyldylar tükeniksiz wagtyň dowamynda-da sönmezler.

Yrgyldyly generatorlaryň shemasyna minus alamatly **R⁻** – garşylyklaryň girizilmegi generatorda döreýän ýitgileri kompensirleýji (öwezini doldyryp durýan) energiýa çeşmesiniň sistemada ulanylýandygyny aňladýar.

Napryázeniýesi ulalanda togy kiçelýän (we tersine) elementlere minus alamatly garşylyklar diýilýär. Şular ýaly garşylyklara **termistorlar, tunnelli diodlar, tiristorlar, birpolýarly** (ýa-da bir sany **p – n** geçişli) **tranzistorlar** degişlidirler.

Bu elementleriň Wolt-Amper häsiýetnamalarynda (WAH-larynda),

aşak düşýän böleginiň bar ýerinde
$$\frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = - R$$

minus alamatly garşylygy berýär (mysal üçin 2.6 -njy a – çyzgyda **0 – 1** we **2 – 3** aralyklarda garşylyklar plýus alamatly bolsalar, onda **1 – 2** aralykda, WAH-yň ýykylyan ýerinde, garşylyk minus alamata eýe bolýar).

Eger-de, sinusdäl yrgyldylar (impulslar) bar bolsa, onda **100%** yzy bilen plýus aragatnaşykly generatorlardan peýdalanmak maslahat berilýär. Şeýle edilende generatorlarda döreýän yrgyldyly hadysa garmonikasyz (bigarmoniki) bolýar. Şular ýaly bigarmoniki görnüşdäki signallar üçin harçlanýan energiýalaryň mukdaryndan - çesmeden berilýän energiýanyň mukdary köpdür. Sonuň üçin-de yrgyldyly generatoryň elementlerinde energiýalaryň toplanmagy bolup, bu toplanan energiýalar sönmeýän yrgyldylaryň döremegine sebäp bolýarlar we yrgyldylaryň formalarynyň düýbünden üýtgeşik häsiýetli görnüşlerine getirýär.

Sinus däl yrgyldyly generatorlara köplenç **relaksasion** (ýuwaş-ýuwaşdan sönýän) generatorlar diýilýär.

Relaksasion generatorlaryň bölünüşleri :

- Impulslaryň generatorlary (bloking – generatorlar) ;
- Goniburçly yrgyldylaryň generatorlary (multiwibratorlar) ;
- Napryázeniýesi göni üýtgeýän generatorlar (NGÜG) ;

Relaksasion generatorlar üç iş düzgüninde işläp bilýär :

- Awtoyrgyldyly düzgünde ;
- Haýallanýan (tormozlanýan) iş düzgüninde ;

c) Sinhronly iş düzgünde.

Relaksasion generatorlar durnukly we deňagramly belli bir ýagdaýda işlände bir **wibratorly** generator diýilýär. Eger-de, generatorlar iki sany durnukly ýagdaýda işlese, onda olara **triggerler** diýilýär.

Umuman, birwibratorly generatorlar hem-de triggerler işlänlerinde takyk iş ýagdaýynda işleýärler we açmak (generirlemek) ýa-da ýapmak (söndürmek) funksiýalary ýerine ýetirýärler. Şonuň üçin-de bu generatorlara shemalary kiltli diýseň-de ýalňys bolmaz.

Awtorygldyly iş düzgüninde işleýän relaksasion generatorlarda durnukly we deňagramly ýagdaý bolmaýar, olarda iki sany **kwazi** deňagramlyk (deňagramla meňzeş) ýagdaý bolýar.

Haýallanýan iş düzgüninde relaksasion generatoryň bir sany durnukly we deňagramly ýagdaýy bolup : sinhron iş düzgüninde impulsalaryň ýygylyklary gaýtalanylýan relaksasion generator daşyndaky dolandyrylýan (sinhronizirlenýän) naprýaženiýeniň ýygylgynyň ýagdaýy bilen kesgitlenilýär.

Relaksasion generatorlar özleriniň açylyş (oýanyş) düzgünleri boýunça-da iki görnüşe eýedirler :

1. Garaşsyz açylyş hem-de,
2. Öz-özünden açylyş (awtogeneratedlar).

Garaşsyz açylýan (oýanýan) generatorlaryň girelgesine berilýän naprýaženiýe, garaşsyz naprýaženiýe çeşmesinden takyk ýygylgy bilen üpjün edilýär (üpjün ediji generatordan).

Öz-özünden açylýan (oýanýan) generatorlarda sönmeýän yrgyldylary almak üçin, generatoryň çykalgasyndaky signallary girelgesi bilen birleşdirýän, zvy bilen plýus baglansykly zynjyryň üsti (kömegi) bilen amala aşyrylýar.

Awtogeneratedlarda öz-özünden oýanmagyň ýörite şertleri bardyr. Olaryň girelge signallary bolmaýar. Şonuň üçin-de, döreýän durnukly yrgyldylar takyk şertler bilen

baglanşykdadylar. Meselem, güýçlendirijilerdäki yzy bilen plýus alamatly baglanşyklaryň netijelerinden generatorlarda öz-özünden oýanmak hadysasy bolup geçýär.

Generatorlarda öz-özünden oýanmak hadysany güýçlendirmegi amala aşyrmak üçin şu aşakdaky şertleriň ýerine ýetirilmegi hökmanydyr.

$$\kappa \cdot \beta \geq 1 \quad \text{we} \quad \varphi + \psi = 2\pi \cdot n$$

Bu ýerde : κ – güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti ;

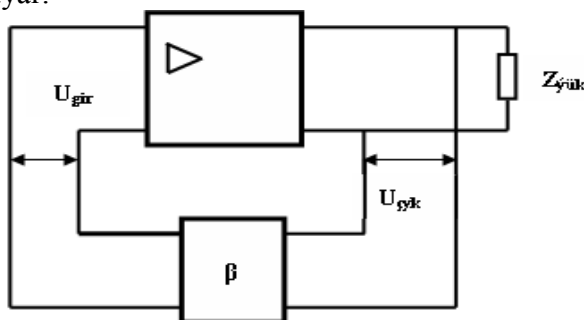
β – yzy bilen arabaglanyş koeffisiýenti ;

φ – güýçlendirijiniň naprýaženiýesiniň süýşme burçy;

ψ – yzy bilen arabaglanyş naprýaženiýesiniň süýşme burçy ;

$n = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$ islendik san.

Birinji ($\kappa\beta \geq 1$) aňlatmanyň manysy, amplitudalar balansynyň şertini aňladýar. Bu aňlatma, generatorda öz-özünden oýandyrylma hadysasy bolup geçende yzy bilen arabaglanyşygy emele getirýän zynjyryň çykalgasyndaky signalyň güýçlendirijidäki girelge signalyndan kiçi bolmaly daldigini aňladýar.



15.1-nji çyzgy. Awtoşeneratoryň gurluşynyň shemasy.

15.1-nji çyzgyda awtogeneratoryň gurluşynyň ýönekeý shemasy görkezildi.

Ikinji aňlatma ($\varphi + \psi = 2\pi \cdot n$) aňlatma fazalaryň balans şertini aňladýar. Bu aňlatma, güýçlendirijiniň girelgesindäki U_{gir} – naprýaženiýeniň fazasy, yzy bilen arabaglanşygy emele getirýän zynjyryň çykalgasyndaky naprýaženiýeniň fazasy bilen gabat gelmelidirini aňladýar.

Güýçlendirijidäki yzy bilen baglanşygy emele getirýän β – elementi hem-de β – güýçlendirijiniň girelge we çykalga naprýaženiýeleri öz güýçlendiriji koeffisiýentleri bilen aňladylýarlar. (Ähli ululyklar kompleks görnüşde ýazyldy).

$$\underline{U}_{gir} = \underline{\beta} \cdot \underline{U}_{çyk}; \quad \underline{U}_{çyk} = \underline{k} \cdot \underline{U}_{gir}; \\ \underline{U}_{çyk} = \underline{k} \cdot \underline{\beta} \cdot \underline{U}_{çyk};$$

ýerde $\underline{k} \cdot \underline{\beta} = 1$ bolanda dogrudyr. Bu \underline{k} bilen $\underline{\beta}$ – güýçlendiriji bilen yzyna baglanşygyň deňşlilikde güýçlendirij koeffisiýentleriniň modullary φ bilen, ψ – bolsa, \underline{k} bilen $\underline{\beta}$ kompleks sanlaryň argumentleridir.

Bu argumentler güýçlendiriji bilen yzyna baglanşygy emele getirýän zynjyryň girelgeleri bilen çykalgalaryndaky naprýaženiýeleriň fazalarynyň özara süýşme burçlaryny kesgitleýär.

Eger-de $\underline{k} \cdot \underline{\beta} = 1$ şert ýerine ýetse, onda awtogeneratorda sönmeýän yrgyldylar döreýär. Köplenç ýagdaýlarda \underline{k} bilen $\underline{\beta}$ – koeffisiýentleriň köpeltmek hasyly $\underline{k} \cdot \underline{\beta} \geq 1$ kanagatlanar ýaly edip gurnaýarlar.

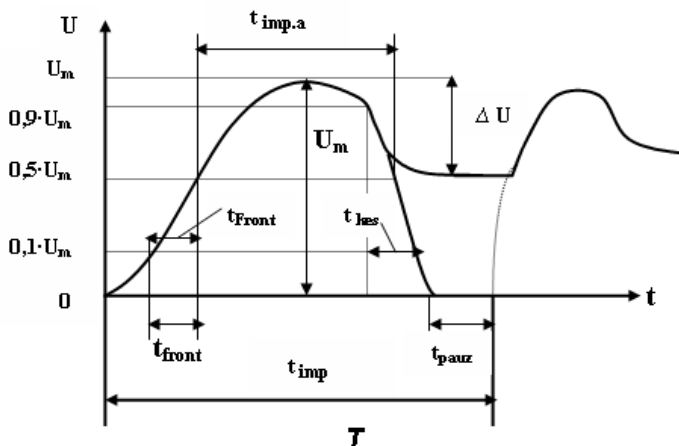
Umuman \underline{k} bilen $\underline{\beta}$ koeffisiýentler ýygylga baglydyrlar, şonuň üçin-de kompleks görnüşde aňladylýarlar.

Eger-de, öz-özünden oýandyrylýan prosesleriň şerti hiç bolmanda bir ýygylga üçin kanagatlandyrylan bolsa, onda garmoniki ýygylklar döreýär. Eger-de, öz-özünden oýandyrylmagyň şerti birnäçe ýygylklary kanagatlandyrylan bolsa, onda çylşyrymly

formalaryň yrgyldylary döreýär. Bu çylşyrymly formalar birnäçe garmoniki yrgyldylaryň goşulmalaryndan (düzüminden) emele gelýär.

15.1. Impulslaryň parametrleri.

Mysal hökmünde, gönüburçly real impulsyň esasy parametrleri hakda düşüňjeleri özleşdireliň



15.1.1-nji çyzgy. Impulsyň esasy parametrlerini özleşdirmek üçin diagramma.

Amplituda – Berilen napryaženiýeniň ýa-da toguň iň uly bahasyna impulsyň formasynyň amplitudasy diýilýär hem-de degişlilikde U_m ýa-da I_m görnüşde belgilenýärler.

Uzynlygy – Eger-de, impulsyň dowamlylygy plança sekund diýlip aýdylmadyk bolsa, onda impulsyň dowamlylygyny onuň esasyň t_{impuls} – dowamlylygy bilen kesgitlenilýär.

Impulsyň aktiw $t_{imp.a}$ – uzynlygy diýlip, impulsyň amplitudasynyň ýarym ($0,5U_m$) bahasyndaky derejesini görkezýän wagt aralygyna aýdylýar.

Käwagtlar impulsyň dowamlylygy amplitudanyň $0,1 \cdot U_m$ – derejesinde-de kesgitlenilýär.

Pauzanyň uzynlygy t_p – iki sany goňşy impulsyň gutarýan we başlanýan ýerlerini aňladýan wagt aralygyna pauza diýilýär.

Gaýtalanýan period – Impulsyň gaýtalanýan periody diýlip, iki sany birpolýarly impulslaryň başlanýan nokatlarynyň aralygyny görkezýän wagta aýdylýar. Period T – harpy bilen belgilenýär. Islendik T – period bir impulsyň t_{imp} – wagty bilen bir pauzanyň t_{pauz} – wagtyň jemlerine deňdir.

$$T = t_{imp} + t_{pauz}$$

Doldurylýan koeffisiýent bilen skwažnost (çuňlugy).

Doldurylan koeffisiýent diýlip, impulsyň t_{imp} – uzynlygynyň gaýtalanýan T – periodyna bolan gatnaşygyna aýdylýar $\gamma = t_{imp} / T$

Dolandurylan koeffisiýentiň ters ululygyna impulsyň skwažnosti diýilýär.

$$q = \frac{1}{\gamma} = \frac{T}{t_{imp}}$$

Impulsyň uzynlygy we onuň frontynyň ýapgytllygy (krutiznasy) .

Impulsyň frontunyň alny (öňi) we kesilýän ýeri (yzy) diýilýän böleklere bölýärler.

Impulsyň önündäki frontunyň uzynlygy impulsyň ösýän wagty bilen kesgitlenýän bolsa, onda frontuň kesilmegi impulsyň peselip başlanýan ýerinden hasaplanylýar.

Impulsyň iň köp ulanylýan parametrleriniň biri-de onuň frontunyň aktiw ($t_{imp.a}$) – uzynlygydyr. Bu $t_{imp.a}$ – wagta impulsyň $0,1 U_m$ – bahasyndan tä $0,9 U_m$ – bahasyňa çenli anyklanylýar. Frontuň kesilýän t_{kes} – wagtyň uzynlygy bolsa impulsyň $0,9 U_m$ bahasyndan tä $0,1 U_m$ – bahasyňa çenli peselýän aralygy göz önünde tutulýar.

Käwagtlar t_{front} – bilen t_{kes} – wagtlaryň deregine frontyň ösüş (ýa-da peseliş) tizligini häsiýetlendirýän ululyklardan peýdalanýarlar. Bu ululyga impulsyň frontunyň **ýapgytlygy** (krutiznasy) diýilýär.

$$\frac{W}{s} \text{ ölçenilýär.}$$

s – harp bilen belgilenýär we
Wolt/sekundda

Impulsyň frontlarynyň aralygyna impulsyň tekiz üsti (depesi) diýilýär. 11.2-nji çyzgyda impulsyň tekiz üstüniň pese gaçyşy görkezildi.

Impulsyň kuwwaty. Impulsyň W_{imp} – energiýasynyň şol impulsyň uzynlygynyň t_i – wagtyna bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$P_{\text{imp}} = \frac{W_{\text{imp}}}{t_{\text{imp}}}$$

Impulsyň ortaça kuwwaty. Impulsyň W – energiýasynyň şol impulsyň T – perioda bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$P_{\text{orta}} = \frac{W}{T}$$

P_{imp} bilen P_{ort} deňlemeleri özara deňläp ýazsak şu aşakdaky netijä geleris.

$$P_{\text{imp}} \cdot t_{\text{imp}} = P_{\text{ort}} \cdot T \quad \text{onda} \quad P_{\text{imp}} = P_{\text{ort}} \cdot \frac{T}{t_{\text{imp}}} = P_{\text{ort}} \cdot q$$

Görüşimiz ýaly impulsdaky kuwwat generatoryň ortaça kuwwatyndan q esse artykdyr.

Soraglar:

1. Elektron generatorlar barada umumy maglumat
2. Elektrik signalyň esasy görkezijileri

16. Multiwibratorlar.

Multi – Latyn sözi – birnäçe, juda köp diýmegi aňlatsa, **wibrator** – hem Latyn sözi – **yrgyldy** diýen manyny berýär.

Dürli – dürli impulsar bilen işleýän gurnamalaryň girelgesine ýa-da başga görnüşli zynjyrlara formasy göniburçly napryaženiýeniň impulsary talap edilýär. Şular ýaly göniburçly impulsary öndürýän generatorlara bolsa multiwibrator diýilýär.

Multiwibratorlar iki sany güýçlendiriji kaskaddan we zyy bilen çuňňur we plýus arabaglanşygy emele getirýän zynjyrdan gurnalýar.

Göniburçly impulsaryň formalaryny kämilleşdirmek üçin iki sany prosesden ýagny **regeneratiw*** we **relaksasion**** proseslerden peýdalanýarlar.

Regeneratiw prosesi göniburçly impulsyň parametrleri hasap edilýän frontuň we kesilişiň formasyny kämilleşdirmek üçin peýdalanýarlar. Regeneratiw proses diýlip, zyy bilen plýus arabaglanşygyň täsirinden bolup geçýän çabga (doly) görnüşli geçişe aýdylýar.

Relaksasion proses wagty impulsyň işewür bölegi formalanýar (ýagny impulsyň üst bölegi kämillenýär) hem-de generirlenen impulsaryň özara interwalynyň wagty (pauzasy emele gelýär).

Relaksasiýa prosesi diýlip, zynjyrlaryň signal berýän wagtyndaky döreýän geçiş prosesine aýdylýar (köplenç ýagdaýda bu RC – zynjyrdan gurnalýar).

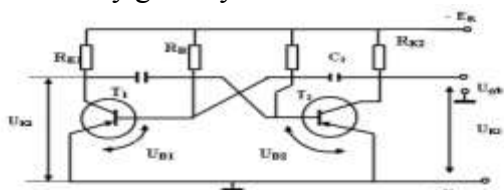
* **Regenerasiýa** – Latyn sözi – Tázeden döremek, tázeden dikeltmek,

* * Relaksasiýa – **Latyň sözi – Gowşamak, pese gaçmak, prosesni gutarmagy ýaly manylary berýär.**

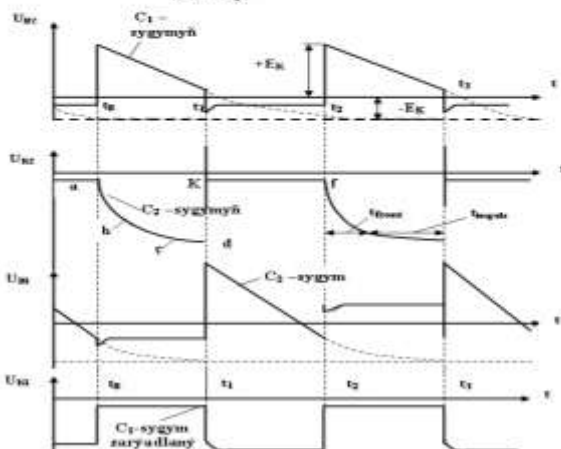
§16.1. Tranzistorlardan gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.

Tranzistorlardan gurnalan multiwibratoryň awtoyrgyldyly düzgüninde işleýşini özleşdireliň. Multiwibrator awtoyrgyldyly düzgünde işlände ýygylgy boýunça giň spektrli, göniburçly impulsalary öndürýär (**Spektr** – Latyn sözi – garmoniki yrgyldylaryň toplумы). Multiwibrator diýilmeginiň sebäbi-de sözün dogry manysynda birnäçe (juda köp) yrgyldylar öndüriji diýmekdir.

Eger-de 16.1.1-nji çyzgyda tranzistordan gurnalan multiwibratoryň shemasy görkezilen bolsa, onda 16.1.2-nji çyzgyda multiwibratorda bolup geçýän prosesleriň t – wagta görä diagrammalary guruldy.



16.1.1-nji çyzgy. Tranzistordan gurnalan multiwibratoryň shemasy.



16.1.2-nji çyzgy. Multiwibratordaky signallaryň diagrammalary.

Tranzistoryň kollektoryndan alynýan göniburçly impulsar birnäçe bölejik impulsalaryň goşulmaklaryndan kemala gelyändiglerini 11.4-nji çyzgydan görmek bolýar, meselem a b ç –frontyndan ç d – üst tekizliginden, d k – kesilişden we k f –pauzadan ýaly böleklere bölmek ýeterlikdir.

Multiwibratoryň iş düzgünini özleşdireliň :

Goý, ilki başda (ýagny t_0 – wagtda) T_2 – tranzistor açyk diýeliň, onda şol T_2 – tranzistor ýüklenen ýagdaýdalygy sebäpli ondaky U_K – naprýaženiýe takmynan $U_K \approx 0$ bahasyna ymtylýar.

Ikinji C_2 – sygymda bolsa razrýad bolup geçýär, şonuň üçin-de ondaky naprýaženiýe-de 0 – bahasyna golaýlaşýar, diýmek T_1 – tranzistoryň bazasyndaky naprýaženiýe-de 0 – baha golaýlaşýar.

Eger-de, bazadaky naprýaženiýe ($U_{B1} = 0$) nula deň bolsa, onda T_1 – tranzistor açylýar. T_1 – tranzistoryň açylmagy bolsa, onuň kollektoryndaky (–) – minus potensialyň tä 0 – bahasyna çenli böküp peselmegine sebäp bolýar. Şol wagt hem zarýadly duran C_1 – kondensator T_1 – tranzistoryň üsti bilen T_2 – tranzistoryň bazasy bilen emitter aralygyny birleşdirer, şonuň üçin-de T_2 – tranzistor ýapylyp, onuň kollektoryndaky potensialynyň (–) – minus bahasyna eýe bolmagyna, bazasyndaky U_{B2} – potensialyň bolsa $+E_K$ – baha deňleşmegine getirer.

Ikinji T_2 – tranzistor ýapylandan soň C_2 – kondensator zarýadlanyp başlanýar : C_2 – kondensatoryň zarýadlanýş ýolunyň zynjyry $+E_K$ – Ýer – T_1 – C_2 – R_{K2} – $(-E_K)$. Emele gelen şeýle ýapyk zynjyryň üsti bilen T_2 – tranzistoryň kollektoryndaky naprýaženiýe özüniň ýetmeli bahasyna golaýlaşýar (b ç – aralyk).

Zynjyrdaky C_2 – kondensator doly zarýadlanandan soň T_2 – tranzistoryň kollektoryndaky U_{K2} – naprýaženiýe $(-E_K)$

ululyga deňleşer. Şonuň bilen frontyň kemala gelmegi (forma gelmegi) tamamlanýar.

Edil şular ýaly-da T_1 – tranzistoryň ýüklenmegi we C_1 – kondensatoryň razrýadlanmagy $+E_K - \text{Ýer} - T_1 - C_1 - R_{B2} - (-E_K)$ ýapyk zynjyryň üsti bilen amala aşýar. Zarýadsyzlanmak prosesi doly gutarýança dowam edýär.

Şeýlelikde, C_1 – kondensator zarýadsyzlanyp gutaran badyna T_2 – tranzistoryň bazasyndaky naprýaženiýe-de (0) – nula deň bolar, netijede T_2 – tranzistor açylar we U_{K2} – naprýaženiýeniň tä (0) – nula çenli – minus potensialyň ösmegine sebäp bolýar. Şol wagt hem, impulsyň kesilip kemala gelmegi bolup geçýär (Çyzgyda U_{K2} – naprýaženiýe üçin gurulan diagrammada d k – aralyga seret).

Ýüklenen T_2 – tranzistoryň üsti bilen C_2 – kondensator T_1 – tranzistoryň emitteri bilen birleşýär we T_1 – tranzistoryň has berk ýapylmagyna getirýär. Şondan soňra C_2 – kondensatoryň zarýadsyzlanmagy $+E_K - \text{Ýer} - T_2 - C_2 - R_{B1} - (-E_K)$ ýapyk zynjyryň üsti bilen 0 – bahasyna deňleşýänçe dowam edýär. Shemada görkezilen C_2 – kondensatoryň zarýadsyzlanmagy bilen bir wagtyň özünde $+E_2 - \text{Ýer} - T_2 - C_1 - R_{K1} - (-E_K)$ zynjyr boýunça C_1 – kondensatoryň zarýadlanmagy bolup geçýär. Diagrammadam görnüşi ýaly T_1 – tranzistoryň kollektorynda impulsyň formasy E_K – ululyga çenli ýetýänçe T_2 – tranzistoryň kollektorynda pauza döreýär (d f – aralyk). Haçanda U_{C2} – naprýaženiýe nula deň bolanda, ýokarda özleşdirilen prosess, multiwibratorda täzeden gaýtalanýar.

Açylan tranzistorlaryň bazasyndan böküşiniň bolup geçýändigini synlamak bolýar. (Meselem, T_2 – açylanda).

Eger-de, T_2 – niň açylmagyna ýapylýan T_1 – tranzistoryň kollektoryndan C_1 – sygymyn üsti bilen (–) – minus alamatly inýän akymyň kesilişi sebäp bolýan bolsa, onda T_1 – in açylmagyna ýapylýan T_2 – tranzistoryň kollektoryndan

C_2 – sygymyň üsti bilen (–) alamatly inýän signalyň akymynyň kesilişi sebäp bolýar.

Eger-de C_1 bilen C_2 – kondensatorlaryň zarýadsyzlanmaklaryna gezekli – gezegine ýapylýan tranzistorlaryň kollektoryndan sygymlaryň üsti bilen inýän güýçli akymlar togtatmaýan bolsady, onda kondensatorlar ($+E_K$) bahasyndan ($-E_K$) bahasyna ýetýänçä zarýadlanardylar we olaryň egnine düşýän naprýaženiýeler öz polýarlaryny üýtgederdiler (11.4-nji çyzgyda - - - çyzyklar). Kondensatorlaryň zarýadlanmagy we zarýadsyzlanmaklary eksponentiň kanuny esasynda bolup geçýär. Bu proses ($-E_K$) – baha ýetýänçe dowan edýär.

Soraglar:

1. Multiwibratorlar barada umumy maglumatlar
2. Tranzistordan gurnalan multiwibrator
3. Multiwibratoryň signallary

Mowzuk. Logiki elementlerden gurnalan elementler

17. Logiki elementlerden gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.

Awtoyrgyldyly multiwibratorlary II – HE hem-de ИИИ – HE logiki elementlerden-de gurnap bolýar, sebäbi sifrlí kaskadlaryň çykalgasyndaky güýçlendirijiniň shemasy inwertordyr.

Mysal hökmünde 17.1-nji çyzgyda logiki elementlerden gurnalan multiwibratoryň shemasy, 17.2-njy çyzgyda bolsa multiwibratorda bolup geçýän prosesleriň t – wagta görä diagrammalary görkezildi.

Shemadaky elementleriň aýratynlyklary :

1. Shemada DD1 bilen DD2 – elementleriň girelgeleri özara gysga utgaşdyrylan. Bu elementler güýçlendiriji – inwertor deregine ulanylýar.

2. Bir elementiň çykalgasy beýleki elementiň çykalgasy bilen RC – zynjyrjagaz bilen baglanşykdadyrlar (C_1R_2 we $C_2 R_1$) şonuň üçin-de yzy bilen (+) – plýus arabaglanşyk döreýär.

3.Shemadaky D_1 we D_2 – diodlar goraýjy bolup hyzmat edýärler, sebäbi olardaky naprýaženiýe ($-0,7W$) – dan aşak düşmeýärler. Eger-de diodlar ýok bolsa (meselem köýse), onda kondensatorlardan gelýän ummasyz minus naprýaženiýe mikroshemanyň hatardan çykmagyna sebäp bolýar.

4. Shemadaky DD3 bilen DD4 elementler II – logiki elementi emele getirýärler. Bu logiki II – element, haçanda DD1 bilen DD2 elementlerin

146

Eger-de, DD1 ýa-da DD2 – elementleriň haýsy-da bolsa biri ýapyk beýlekisi açyk bolsa, onda logiki И – elementiň çykalgasynda 0 – logiki sifr bolar. Şeýle bolanda $R_{\text{ЧYK}}$ – garşylygyň juda kiçiligi sebäpli, shemanyň sag tarapyndaky R_1 – garşylygyň hem-de açylgy duran DD4 elementiň üsti bilen Ýere – birikdirilgi zynjyry emele getirýär.

Shemanyň işleýşi. Goý, DD1 elementiň çykalgasyndaky naprýaženiýe ΔU_1 – ululykda böküp ulaldy, DD2 elementiň çykalgasynda bolsa şonça naprýaženiýe böküp aşak düşdi diýeliň. Şeýle bolanda C_1 – kondensator $R_{\text{ЧYK}}$ – garşylygyň, DD1 – elementiň we R_2 – garşylygyň üsti bilen zarýadlanyp başlanýar. Zarýadlanmagyň dowamy

$\tau = C_1 (R_2 + R_{\text{ЧYK}})$ formula bilen anyklanylýar.

Shemada görkezilen R_2 – garşylyga C_1 – kondensatordan düşýän

U – naprýaženiýe DD2 – elementiň girelgesinde (+) – plýus polýarlygy üpjün edip, bu DD2 – elementiň açyk ýagdaýynda ($U_{\text{ЧYK2}}=U^0$) saklanmagyna ýardam edýär. Şol bir wagtyň özünde C_2 – kondensator ujypsyz $R_{\text{ЧYK}}$ – garşylygyň, açyk duran DD2 – elementiň we D1 – diodyň üsti bilen zarýadsyzlanyp başlaýar. Şu geçiş dowründe DD1 – elementiň girelgesinde naprýaženiýeniň örän kiçiligi sebäpli DD1 – element ýapyk ýagdaýy (pozisiýany) eýeleýär ($U_{\text{ЧYK1}}=U'$) şeýlelikde, C_1 – kondensatoryň zarýadlanyp başlamagy bilen ondaky tok kiçelip başlaýar. Şonuň üçin-de $R_{\text{ЧYK1}}$ – garşylyga düşýän naprýaženiýeniň DD1 – elementde peselmegine, $U_{\text{ЧYK1}}$ – naprýaženiýeniň ulalmagyna, DD2 – elementiň girelgesindäki U_{gir2} – naprýaženiýeniň kiçelmegine getirýär.

Kä wagtlar U_{gir2} – peselip DD2 – elementiň işleýän nokady öňki ýagdaýynda geçiş häsiýetnamanyň aktiw bölegine geçýär, şonuň üçin-de U_{gir2} – naprýaženiýeniň kesilmegi $U_{\text{ЧYK2}}$ – naprýaženiýeniň ösmegine getirýär. Bu bolsa C_2 –

kondensatoryň üsti bilen DD1 – elementiň girelgesine täsir edýär.

Haçanda U_{gir1} – naprýaženiýe ösüp öz ýetmeli derejesine ýetenden soň, DD1 – elementinde işläp duran nokady öňki iş nokadyndan geçiş häsiýetnamasynyň aktiw bölegine geçýär. Şeýlelikde iki elementiň-de işçi nokatlary aktiw (güýçlendiriji) düzgünde işläp başlaýarlar we yzy bilen (+) – plýus arabaglanşygy güýje girýär, şol sebäpli-de $U_{ÇYK2}$ – naprýaženiýe duýdansyz ulalýar, $U_{ÇYK1}$ – naprýaženiýe bolsa tersine duýdansyz kiçelýär. Netijede DD1 – element açylýar ($U_{ÇYK1}=U^0$), DD2 – element bolsa ýapylýar ($U_{ÇYK2}\approx U^1$).

Şeýle pursatda U_{gir2} – naprýaženiýe U_{bosaga} – naprýaženiýesine deňleşýär. Soňra, C_2 – kondensator zaryadlanyp başlaýar, C_1 – kondensator bolsa D2 – diodyň, $R_{ÇYK}$ – garşylygyň hem-de DD1 – elementiň üstleri bilen çalt zaryadsyzlanýar we ikinji ýarymperiod başlanýar. Ikinji ýarymperiodyň-da iş düzgüni ýokardaky düşündirilişlere meňzeşdir.

Soraglar:

1. Logiki elementli multiwibratorlaryň gurluş elektrik şekili
2. Logiki elementli multiwibratorlaryň signallarynyň görnüşi

18. Triggerler hakda umumy maglumatlar.

Kesgitlemesi : Triggerler iki sany **durnukly ýagdaýy** bilen häsiýetlenýän sifrlı gurnamalaryň elementidir.

Signallaryň esasy we kömekçi maglumat signallaryna bölünüşleri ýaly, trigger elementleriniň-de girelgesi maglumatlar (informasiýalar) üçin esasy we kömekçi girelgelere bölünýärler.

Maglumat üçin niýetlenilen **esasy** girelgä berilýän signallar triggeriň ýagdaýyny dolandyryr.

Kömekçi girelgä berilýän signallar bolsa, triggeriň işläp başlamagynyň öň ýanynda- onuň ýagdaýyny **sinhron** saklamak üçin hyzmat edýär.

Triggerler –özlerine mahsus bolan birnäçe alamatlary boýunça dürli-dürli toparlara (klassifikasiýalara) bölünýärler:

1.Triggerleriň funksional mümkinçiliklerine görä bölünüşleri:

Aýratyn **0** we **1** görnüşde oturdylan sifirleri bilen (**RS**-trigger); **Rezet**- zyňylmak (iňlis), **Set**- oturtma (iňlis);

Girelgä gelyän maglumatlary bir-birden kabul edýänligi bilen

(**D**-trigger); **Delay** (iňlis)- saklanmak. Başgaça görnüşi **DV**-triggerdir, onuň kömekçi **V**-girelgesi bolup, girelgesine gelyän maglumatlar boýunça ýazgylar geçirmek üçin ýörite ygtyýarly signallar berilýär **Valve**- klapan (iňlis).

ç) Girelgesini 0 we 1 görnüşde towlap sanaýan trigger (**T**-trigger) **Toggel**- (iňlis sözi – towlandy diýmek). Başga görnüşli hasap edilýän **TV**- triggerler hem ulanylýar. Bu triggeriň-de kömekçi **V**- girelgesi bolup, girelgesine gelyän maglumatlar boýunça

ýazgylar geçirmek üçin ýörite ygtyýarly signallar berilýär.

d) Uniwersal trigger (**JK**- trigger). Bu **JK** – triggerde gadagan edilen

ýagdaý ýokdur. Diýmek, ýokarda agzalan islendik triggeriň deregine

ulanmak bolýar. (**JK**)- **Jump+ Keep**. (iňlis) – üstünden zyňmak – saklamak.

e) Maglumatlary (informasiýalary) kabul etmek usuly boýunça triggerler **asinhron** we **sinhron** diýilýän iki topara bölünýärler.

Asinhron triggerler – girelgesinde maglumatlaryň signallary dörän wagty işläp başlaýar.

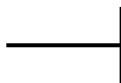
Sinhron triggerler - bolsa diňe ýöriteleşdirilen girelgelerinde sinhronlanan C maglumatlaryň signallary berilende duýýar we işläp başlaýar.

Clock- wagt, sagat (iňlis).

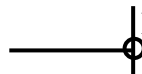
Sinhron triggerleri dolandyrmak usuly boýunça **statiki** we **dinamiki** dolandyryşlara bölýärler.

Statiki dolandyrylýan triggerler, haçanda olaryň C- girelgesine berilýän maglumatlaryň signallary **1**-derejeli signal bolanda duýýar.

Shemalarda triggerleriň C- girelgeleri şu aşakdaky ýaly şertli belgilenýärler **1** (C- girelgesi göni) ýa-da **0** (C- girelgesi inwersli).



- Göni statiki
statiki
girelge **1**

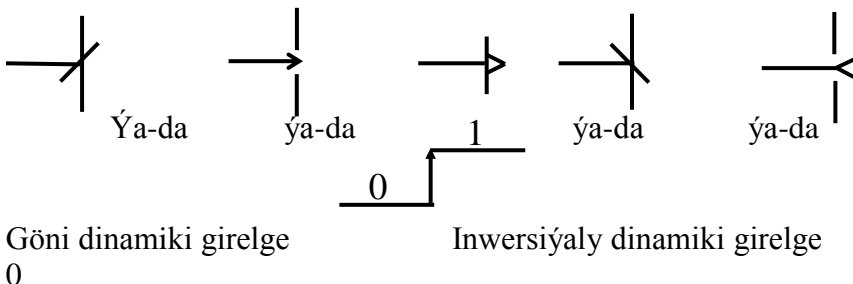


Inwersli
girelge, **0**

Dinamiki dolandyrylýan triggerler, haçanda olaryň C- girelgesine berilýän maglumatlaryň signallary **0**-dan **1**- e tarap (Göni dinamiki C-girelgesi) ýa-da **1**-den **0**-la tarap (Inwersiýaly

dinamiki C-girelgesi) üýtgeýän wagty maglumatlaryň signallaryny duýýar.

Shemalarda dinamiki dolandyrylýan triggerleriň girelgeleriniň şertli belgilenişleri.

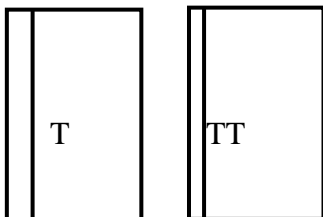


3. Triggerler özleriniň gurluş çylşyrymlyklaryna görä birbasgançakla we ikibasgançakla bölünýärler.

Birbasgançakly triggerlerde onuň ýeke-täk basgançagy bir gezek maglumat bilen doldurylýar.

Bular ýaly triggerlerde maglumatlaryň ýazylyşy-wagt boýunça üznüksiz üýtgeýän prosesiniň ýagdaýyny durnukly saklamak üçin maglumatlaryň signallarynyň üsti bilen amala aşyrylýar.

Ikibasgançakly triggerlerde maglumatlaryň signallary bilen iki basgançagy-da doldurylýar. Olar **Sinhron** (taktly) impulslar bilen dolandyrylanda ilki bilen birinji basgançagyň maglumatlary ýazylýar, soňra ikinji basgançagyň maglumatlary ýazylýar, olaryň netijeleri bolsa triggeriň çykalgasyndan alnýar.



Shemalarda birbasgançakly triggerler bir sany **T**-harpy bilen, ikibasgançakly triggerler iki sany **T**-harpy bilen şertli belgilenýärler.

Yzygider birikdirilen iki sany sinhron **RS**- triggere ikibasgançakly triggerler diýilýär ýa-da **MS**- triggerler (Master- slave flip-flop, İnlişçe) diýilýär.

Bu iki triggerleriň birinjisine **alyp baryjy** ýa-da **S**- trigger diýilýär (**Slade** – işçi, hyzmatkär- inlis).

Flip- flop trigger [durydäl trigger – (ptiklenip – şappatlanmak) inl.]

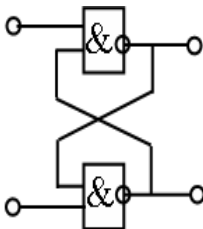
Bu trigger öz ýagdaýyny diňe **C** – girelgesinde signalyň kesmeginde üýtgedip bilýär.

MS- triggeriň kiltli triggerlerden tapawudy dury-däldigidir ýagny **C=0** we **C=1** bolanda-da **R** we **C** girelgeleriniň dury (açyk) däldigidir.

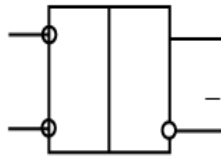
§ 18.1. Asinhron RS triggerler.

Iki görnüşine seredeliň :

1) I-NE elementli asinhron **RS**- triggerler.



Logiki I-NE
elementli RS –
triggeriň düzülişi.

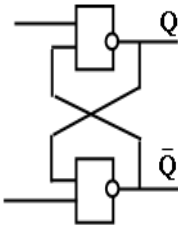


RS – triggeriň
shemalarda
belgilenişi

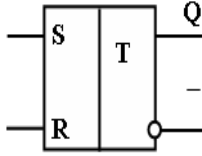
\bar{S}	\bar{R}	Q	\bar{Q}	Düzgüni
0	0	-	-	Gadagan
0	1	1	0	Ýagdaýy-1
1	0	0	1	Ýagdaýy-0
1	1	Q^*	Q^*	Ýatda saklaýar

RS – triggeriň iki ýanlaýyn
geçiriş tablisasy. (Ýagdaýy –
ustanowka manysynda).

2) **ILI-NE** elementli asinhron **RS**-triggerler



Logiki I-NE
elementli RS –
triggerin düzülişi.



Shemalarda
belgilenişi

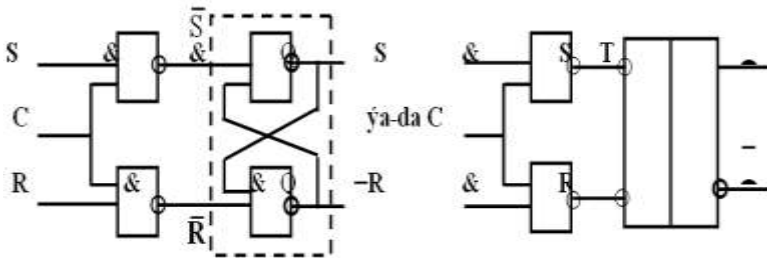
S	R	Q	\bar{Q}	Düzgünü
0	0	Q^*	Q^*	Yatda saklanýar
0	1	0	1	Ýagdaýy-0
1	0	1	0	Ýagdaýy-1
1	1	-	-	Gadagan

RS – triggerin iki ýanlaýyn geçirij
tablisasy

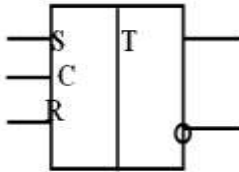
18.2. Sinhron RS-triggerler hakda gysgaça maglumatlar.

Sinhron RS-triggerlerden hem iki sany mysala seretmek bilen çäklenýäris.

1) **I-NE** elementlerden gurnalan sinhron **RS**-triggerler



I-NE logiki elementlerden ýygynalan birbasgançakly sinhron RS-triggerin düzülişi



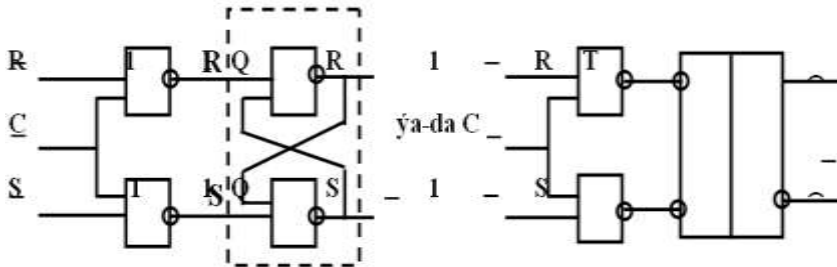
Sinhron
RS- triggerin
Shemalarda
belgilensi

C	S	R	Q	\bar{Q}	Düzgünü
1	0	0	Q^*	Q^*	Yatda saklayar
1	0	1	0	1	Yagdayy-0
1	1	0	1	0	Yagdayy-1
1	1	1	-	-	Gadagan

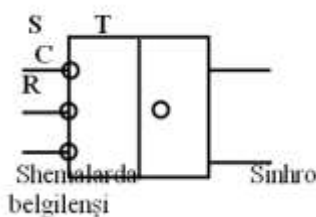
RS-triggerin iki yanlayyn
geçirish tablisasy.

Shemalarda we tablolarda görkezilen Q^* -belgi yatda saklamak düzgününi añladýar.

2) ILI-NE elementlerden gurnalan sinhron RS-triggerler



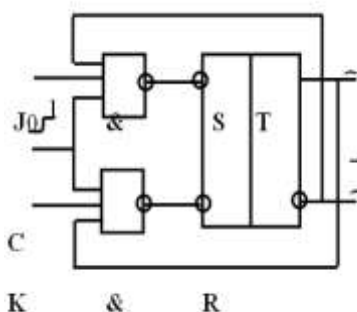
ILI-NE logiki elementlerden ygynalan birbasgançakly sinhron
RS-triggerin düzülişi



C	S	R	Q	Q'	Düzgünü
0	0	0	-	-	Gadagan
0	0	1	1	0	Yagdayy-1
0	1	0	0	1	Yagdayy-0
0	1	1	Q'	Q	Yatda saklayar

geçiş tablası

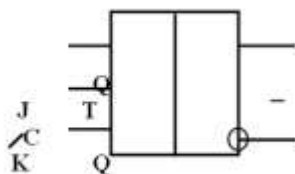
18.3. Birbasgançakly sinhron JK-triggerler (gysgaça maglumatlar).



C	J	K	Q	Q'	Düzgünü
0	0	0	Q'	Q	Yatda saklayar
0	0	1	0	1	Yagdayy-0
0	1	0	1	0	Yagdayy-1
0	1	1	Q	Q	0-dan 1-e ya-da 1-den 0-a geçilis

I-NE logiki elementlerden ygynalan bir basgançakly sinhron JK-triggerin düzülişi

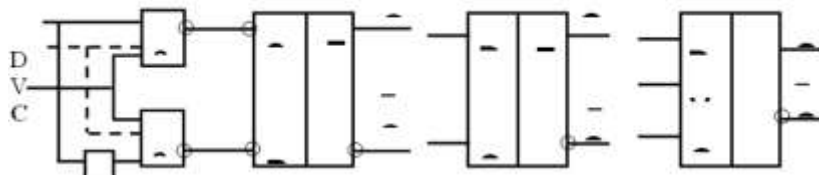
Birbasgançakly sinhron JK-triggerin tablası



Göni dinamiki geçelgeli

JK-triggerin shemalarda belgilensi

D-triggerler



I-NE logiki elementlerden
ýygnaýan bir basgançakly
sinhron **JK**-triggeriň düzülişi

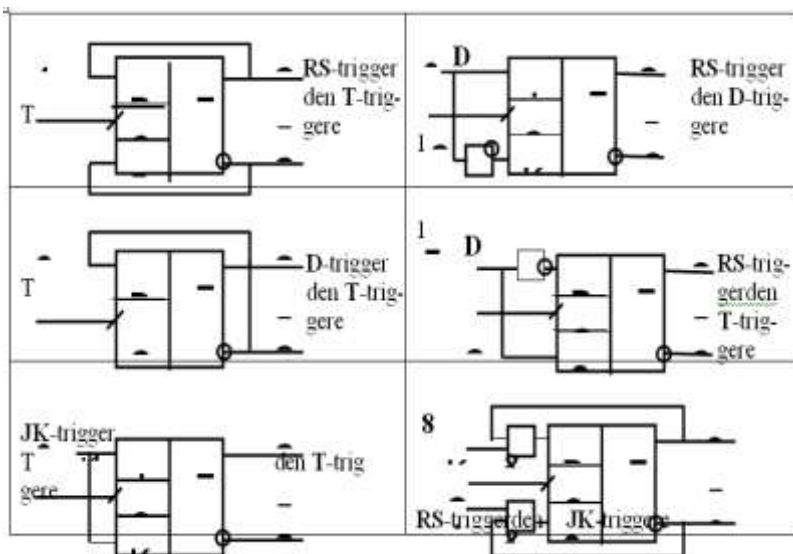
Birbasgançakly sinhron
JK-triggeriň tablisasy



C	1	1	0	0	V	1	1	1	1	0	0	0	0
D	0	1	0	1	C	1	1	0	0	1	1	0	0
Q	0	1	Q*	Q*	D	0	1	0	1	0	1	0	1
					Q	0	1	Q*	Q*	Q*	Q*	Q*	Q*

Göni statiki girelgesi D triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş tablisasy	Göni statiki girelgesi DV-triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş tablisasy.
---	---

Triggerleriň özara özgerdiş shemalary.



Mowzuk. Ýarymgeçiriji enjamlary taslamak

19. Elektron ölçeg serişdeleriniň sistemik ýalňyşlyklaryny hasaplamak.

Elektron ölçeg serişdeleri taslananda ony işläp (EÖS) taýýarlaýjy umumy aşakdaky ýalňyşlyklary hasaplaýar:

1. Normal şertlerde we giriş ululygynyň nominal ululykdan hemişelik bahasy wagty alynan we EÖS – in hasiýetnamalarynyň tapawutlary bilen kesgitleýän esasy statik ýalňyşlyklary;
2. Normal şertlerdäki, olaryň ululygyna daşky täsirleriň täsiri bilen ýüze çykan goşmaça ýalňyşlyklary;
3. EÖS – in darlag signalynyň üýtgemeginiň tizligine edýän reaksiýasy esasynda döreýän dinamiki ýalňyşlyklary;

Haçanda iş şertiniň çägendäki goşmaça ýalňyşlyk möçberlerinden az bolsa, onda işläp taýýarlaýjy GOST 8009 –

72 * laýyklykda EÖS - iň ýalňyşyny ekspluatirlenýän (işledilýän) şertdäki ýalňyşlygy hasaplanaly bolýar.

EÖS – iň ähmiýeti, görnüşi we statiki hasiýetnamany şzgertermegiň şekilini berşine gşrä ýalňyşlyk dürli bolmagy mümkin. Häzirki we dowam edip gelýän formatiw tehnik dokumentleri işlenip taýýarlanan EÖS – iň normirlenen takyklyklaryny absalýut, otnositel we getirilen ýalňyşlyklar boýunça görkezmäge rugsat edýär. Şeýlelikde GOST P3600 – 68 esasynda EÖS – i üçin rugsat berilen çäkdäki ýalňyşlyk, giriş ululygynyň absalýut bahasynda berilýär.

$$\Delta X_{mah} = \pm a; \quad (1)$$

$$\Delta X_{max} = \pm(a+bx); \quad (2)$$

a – ölçeýän ululygyň bahasyna laýyk gelýän atlandyrylan san;

x – EÖS – iň giriödäki ululygy;

GOST I3600 – 68 we GOST 9763 -67 şekillerindenbaşga – da EÖS – iň metrologik häsiýetnamalaryny normirlemeklik göz önünde tutulýar.

Γ_{mah} we δ_{mah} aňlatmak üçin :

$$T_{mah} = \pm \frac{\Delta X_{mah}}{X_B} \quad (3)$$

nirede, X_B – normirlenen bahasy;

$$\delta_{mah} = \pm C, \quad (4)$$

$$\delta_{mah} = \pm \left[c + d \left(\frac{X_k}{X} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

$$\delta_{mah} = \pm \left[c^1 + d^1 \frac{X_k}{X} \right] \quad (6)$$

nirde, c we d , c^1 we d^1 – hemişelik sanlar;

X_k – EÖS - iň ahyrky ölçeg çägi;

a , b , c , d , c^1 , we d^1 san bahalary EÖS- iň takyklyk talaplaryna görä kesgitlenilýär.

Ýalňyşlyklaryň ýokarda getirilen formulalary EÖS – iň kabul ediş – tabşyryş, barlag döwürlerinde ulanylýär.

Işläp taýarlaýjy eksperimental barlag haty elmydam multiplikativ we addatiw ýalňyş düzüjilerine hem seretmelidir. Multiplikativ düzüjisi hasaplananda düzüji aýlow, emma addatiw düzüjisinde bolsa EÖS – iň real funksiýasynyň parallel süýşmesi bilen tapawutlanýar. Köp EÖS – i statiki funksiýaly özgerdijili bolup, örän ujypsyz göniçyzyklydalligi bilen tapawutlanýar.

$$Y = SX + \Delta Y_0 = S_H X + \Delta Y_M + \Delta Y_0 \quad (7)$$

nirede, X - EÖS - iň girişindäki ululyk;

S - özgermegiň real ýapaşaklygy;

S_H - özgermegiň nominal ýapaşaklygy

ΔY_M - multiplikativ ýalňyşlygyň absalýut bagasy;

ΔY_0 - addatiw ýalňyşlygyň absalýut bahasy;

Elmydam otnasitel multiplikativ ýalňyşlygyň X bagly bolmaýanlygy sebäpli ondan ulanylýar we ony aşakdaky ýaly ýazmak bolar;

$$Y = S_H X + S_H \delta_S X + \Delta Y_0 \quad (8)$$

$$\delta_S = \frac{S - S_H}{S_H} \quad (9)$$

Çykyşda getirilen absalýut ýalňyşlygyň jemleýjisi

$$\Delta Y = S_H \delta_S X + \Delta Y_0 \quad (10)$$

$\delta_s \ll 1$ S_H bölüp, giriş getirlen absalýut we otnositel ýalňyşlygy taparys;

$$\Delta X = \delta_s X + \Delta X_0 \quad (11)$$

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X} = \delta_x + \frac{\Delta X_0}{X} \quad (12)$$

Işläp taýýarlaýjy (11) we (12) aňlatmalarynda ugur alyp multiplikatiw δ_s we addatiw ΔX_0 ýalňyşlyklarynyň düzümindäki san çäklenmesini alyp biler. Meselem, diýeli EÖS – iň ýalňyşy (16) aňlatmasy ýa –da oňa deň (18) deňlemesi bilen aňladylsyn, onda islendik X üçin aşakdaky deňleme adalatlydyr.

$$\delta_s X + \Delta X_0 < \alpha; \quad (13)$$

Eger –de EÖS – iň ýalňyşy (2) görnüşde berilse, onda deňsizlik

$\Delta X_0 + \delta_s X < \alpha + bX$; islendik X üçin, şol sanda $X=0$ hem kanagatlandyrylmaly $\Delta X_0 < \alpha$, emma multiplikatiw – $\delta_s < b$ bilen çäklendirilýär.

Eger – de EÖS iň taslanylandaky ýalňyşy (4) şekilde berilse, onda addatiw we multiplikatiw düzüjileri

$$\delta_s + \frac{\Delta X_0}{X} < C \quad (14)$$

deňsizligine görä döretmeli.

Eger –de ýalňyşlyk (5) şekilde berilse, onda hemme X üçin kanagatlandyrylmaly.

$$\delta_s + \frac{\Delta X_0}{X} < c - d + \frac{dX_k}{X} \quad (15)$$

Şu ýerden iki düzüji üçin bu hem çäklenme döreyär:

$$\Delta X_0 < dX_k \quad (16)$$

$$\delta_s < (c-d) \quad (17)$$

(6) şekilli ýazgy üçin bu düşünje aşakdaky deňsizlige getirýär;
 $\Delta X_0 < d^1 X_k$; $\delta_s < c^1$;
 Soňky iki ýazgynyň şekiline (ýalňyşyna) üçin taslanylan EÖS –
 de in ujypsyz addatiw düzüjisini ($\Delta X_0 \ll dX_k$ ýa - da
 $\Delta X_0 \ll d^1 X_k$), onda rygsat berilen δ_s bahasy aşakdaky deňsizlige
 laýyklykda köpeldilip biliner:

$$\delta_s \leq (c-d) + \frac{dX_k - \Delta X_0}{X_{\min}} \approx c-d + d \frac{X_k}{X_{\min}}; \quad (18)$$

$$\delta_s \leq c^1 + \frac{d^1 X_k - \Delta X_0}{X_{\min}} \approx c^1 + d^1 \frac{X_k}{X_{\min}}; \quad (19)$$

Ýokada çykarylan deňsizliginiň ählisiniň güýjini normatiw –
 tehniki dokumentleri GOST 9763-67 arkaly kesgitlenilýär.
 Multiplikatiw we addatiw ýalňyşlyklaryny alýar.

Sistemstiki we tötänleý ýalňyşlyklaryny hasaplamak we olary
 azaltmak özara tapawutlanylýarlar. Sistematik ýalňyşlyk haýsy
 hem bolsa bir taktyň, hakykatyň deteminirlenen funksiýa
 bolup, EÖS – in özgerdijileriniň real funksiýasybyň
 gyşarmagyny döredýär.

Tötänleýin bolsa hemişelikdäki, owal belli ýalňyşlyk boluö,
 onuň bahasy ähtimallyk teoriýasy (kazary) arkaly
 resgitlenilýär.

Sistematik ýalňyşlyk hasaby dynçlyk we signalyň prinsipial
 çatgysy režimleri esasynda hasaplanylýp, onuň netijesine
 daýanyär.

Taslanýan EÖS – ibde sazlama göz önünde tutulanmy ýa –da ýokmy, oňa garamazdan sistematiiki ýalňyşlyk hasaplanmagy dürli maksatly bolup biler.

Eger – de EÖS – i sazlanan wagty sistematiik ýalňyşlyk bejerilen, sazlanan döwründe öwezidoldurylýar. EÖS – iň sistimatik ýalňyşynyň hasaplanmagy öwezidolduryjy zynjyrylaryň parametrleriniň san ululygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

EÖS – iň prinsipiial çatgysynyň hasaby netijesinde işläp taýýarlaýjy S özgerdiji funksiýasy üçin analitik aňlatmasyndan ugur alýar:

$$S = \varphi(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n) \quad (20)$$

nirede , $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ – elementleriň parametri S_H özgerdiş koeffitentiiniň nominal bahasyna laýyk gelýär:

$$S_H = \varphi(Z_{1H}, Z_{2H}, Z_{3H}, \dots, Z_{nH}) \quad (21)$$

$S = \varphi(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n)$ Teýloryň hataryna dagydalyň
(nokatlar $Z_{1H}, Z_{2H}, Z_{3H}, \dots, Z_{nH}$ ýanynynda)

$$S = \varphi(Z_{1H}, Z_{2H}, Z_{3H}, \dots, Z_{nH}) +$$

$$+ \frac{\partial \varphi}{\partial Z_1} \cdot \Delta Z_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial Z_1} \Delta Z_2 + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial Z_n} \Delta Z_n + \dots$$

Z_{1H}	Z_{1H}	Z_{1H}
Z_{2H}	Z_{2H}	Z_{2H}
·	·	·
·	·	·
Z_{nH}	Z_{nH}	Z_{nH}

Inžener hasaplamalarynda sütüniň birinji proizvodnysy bilen çäklenmeklik rugsat berilýär (S berilende). Onda multiplikativ ýalňyşyň otnositel bahasy üçin aşakdary aňlatmany almak bolar:

$$\delta_s = \frac{\Delta S}{S_H} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{\Delta Z_i}{Z_{iH}} \quad (22)$$

nirde,
$$A_i = \frac{\partial \varphi(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n)}{\partial Z_i} \cdot \frac{Z_{iH}}{\varphi(Z_{1H}, Z_{2H}, Z_{3H}, \dots, Z_{nH})}$$
 ;(23)

n – ýalňyşlygyň parametirleriniň sany

A_i – i – elementiniň ýalňyşlyga edýän täsiri;

Ýokardaky usuly addatiw ýalňyşsynyň düzüjisi üçin hem ýerliklidir. Hasaplama arkaly alynan EÖS – iň prinsipial çatgysynyň özgerdiji funksiýasyny

$Y=f(X, Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n)$ şu görnüşde, ýagny $X=\varphi(Y, Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n)$ ýazmak bolar.

Şeýlelikde $\Delta X_0 = \varphi(0, Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n)$ özgerdiji funksiýasy üçin Teýlor statiki dargatmak arkaly:

$$\Delta X_0 = \psi(0, Z_{1H}, Z_{2H}, Z_{3H}, \dots, Z_{nH}) +$$

$$+ \frac{\partial \psi}{\partial Z_1} \begin{vmatrix} \Delta Z_1 + \frac{\partial \psi}{\partial Z_1} \\ Z_{1H} \\ Z_{2H} \\ \vdots \\ Z_{nH} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta Z_2 + \dots + \frac{\partial \psi}{\partial Z_n} \\ Z_{1H} \\ Z_{2H} \\ \vdots \\ Z_{nH} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta Z_n \\ Z_{1H} \\ Z_{2H} \\ \vdots \\ Z_{nH} \end{vmatrix}$$

birinji çilenleri dargatmak bilen çäklenip we $\psi(0, Z_{1H}, Z_{2H}, Z_{3H}, \dots, Z_{nH}) = 0$ hasaba alyp, taparys

$$\Delta X_0 = \sum_{i=0}^n B_i \cdot \Delta Z \quad (24)$$

nirede, $B_i = \frac{\partial \psi}{\partial Z_i}$ - addatiw düzüjisi üçin elementň

ýalňyşlygynyň täsir koeffitenti;

Indi bolsa ýokardaky usuly mysal arkaly düşündireliň. Mysal 1. Üýtgeýän togyň güýçlendirijisiniň multiplikatiw ýalňyşynyň çäkli bahasyny hasaplamaly. Diýeli, iş şertinide diňe teperaturanyň täsiri bar diý aýdalyň. Güýçlendirijiniň teperaturasynyň işçi çägi $0 \div +50^\circ\text{C}$ çenli.

Güýçlendirijiniň prinsipial çatgysy hasaplananda onuň nominal bahasy üçin analitik aňlatmasy alyndy:

$$K_H = \beta \frac{R_K}{r_b + r_s(\beta + 1)} \approx \frac{R_K}{r_s} \quad (25)$$

sebäbi

$$r_s = \frac{\varphi_T}{I_s} = \frac{\Re T}{q I_s} \quad (26)$$

(niredes K – Bolsman hemişeligi; q – elektron zarýady; T – temperatura, K ; I_s – emmitter togy (tranzistoryň)

$$K_H = \frac{R_K}{\Re T} q I_s \quad (27)$$

Berilen mysal üçin

$$\frac{\Delta K}{K_H} \sum_{i=1}^3 A_i \frac{\Delta Z_i}{Z_i} \quad (28)$$

$$Z_1=R_K; Z_2=I_{\Theta}; Z_3=T; (29)$$

A_i üçin analitik aňlatmany tapalyň:

$$A_1 = \frac{\partial K}{\partial R_K} \cdot \frac{R_K}{K_H} = 1$$

$$A_2 = \frac{\partial K}{\partial I_{\Theta}} \cdot \frac{I_{\Theta}}{K_H} = 1 \quad (30)$$

$$A_3 = \frac{\partial K}{\partial T} \cdot \frac{T}{K_H} = 1, \quad \frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta R_K}{R_{KH}} + \frac{\Delta I_{\Theta}}{I_{\Theta H}} - \frac{\Delta T}{T_H};$$

Prinsipial çatgysy hasaplananda tranzistoryň elektrik režimi kesgitlendi $I_{\Theta B} = 0,3 \text{ mA}$; Güýçlendirijiniň БЛП görnüşli A teperaturaly topardan saýlanyp alyndy. $TKC = - (0,01 \div 0,012)\% ^\circ\text{C}$;

Surat 4 üçin ΔI_{Θ} üýtgemegi I_{K0} üýtgemesi arkaly kesgitlenilýar. Belli bolşy ýaly

$$\frac{\Delta I_{\Theta}}{\Delta I_{K0}} = S \quad (31)$$

S – durnuksyzlyk koeffisienti ;

Diýeli, $S=3$, onda

$$\frac{\Delta K}{K_H} = \frac{\Delta R_K}{R_H} + \frac{S \Delta I_{K0}}{I_{\Theta H}} - \frac{\Delta T}{T} \quad (32)$$

Germaniý trnzistory üçin $I_{K0}(T)=I_{K0}(T_H)\ell^{0,07\otimes\Delta T}$;

$I_{K0}(T_H) = 5 \text{ mA}$ deň diýeli, onda

$I_{K0}(323\text{K}) = 5 \cdot \ell^{0,07\otimes 30} \approx 40 \text{ mA}$

$\Delta K_0=35 \text{ mA}$;

$$\frac{\Delta K}{K} = -0,012 \cdot 10^{-2} \cdot 30 \frac{3 \cdot 35 \cdot 10^{-6}}{0,3 \cdot 10^{-3}} - \frac{30}{323} \approx 0,26$$

Hörkezilen iş şertinde multiplikatiw ýalňyşlygy 26% köp bolmaýar.

Mysal 2. Çözüji güýçlendirijiniň güýçlendiriji koeffitentiniň nominal ululygyndan gysarmasyny häsiýetlendirýän rugsat berilen ýalňyşyny hasaplamaly (surat 5)

Güýçlendirme koeffitentiniň nominal ululygy $\Delta OY - K_H K_{\min} \div K_{\max}$ aralykdadyr.

Şu mysal üçin $S = \frac{U_{\text{çyk}}}{U_{\text{gir}}} = \frac{K}{1 + K\gamma}$ γ - ters aragatnaşykly zwenonyň geçiriş koeffitenti. Güýçlendiriji koeffitentiniň nominal ululygy

$$S_H = \frac{K_H}{1 + K_H \gamma_H} \quad (33)$$

S_H rasbrosyny kesgitleýji ululyklar K we γ ot nusitel ýalňyşlyk.

$$\frac{\Delta S}{S_H} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{\Delta Z_i}{Z_{iH}} = A_1 \frac{\Delta K}{K_H} + A_2 \frac{\Delta \gamma}{\gamma_H} \quad (34)$$

Täsir koeffitenti üçin analitek aňlatmasyny tapalyň

$$A_i = \frac{\partial S}{\partial K} \left| \begin{array}{l} 1 \\ (1 + K_H \gamma_H)^2 \\ K_H \\ \gamma_H \end{array} \right. \quad (35)$$

$$A_2 = \frac{\partial S}{\partial \gamma} \left| \begin{array}{c} = - \frac{K_H^2}{(1 + K_H \gamma_H)^2} \\ K_H \\ \gamma_H \end{array} \right. \quad (36)$$

$$\frac{\Delta S}{S_H} = \frac{1}{1 + K_H \gamma_H} \frac{\Delta K}{K_H} - \frac{K_H \gamma_H}{1 + K_H \gamma_H} \frac{\Delta \gamma_H}{\gamma_H} \quad (37)$$

$K_H \gamma_H \gg 1$ bolsa

$$\frac{\Delta S_H}{S_H} \approx \frac{1}{1 + K_H \gamma_H} \cdot \frac{\Delta K}{K_H} - \frac{\Delta K_H}{\gamma_H} \quad (38)$$

Şu mysal üçin $K_H=10^3$; $K_{\min} = 900$; $K_{\max} = 1100$; $K \rightarrow K_H$ çenli gyşyrmasy 10% köp dälär , $\gamma_H=1$ we $\frac{\Delta \gamma}{\gamma_H}=0$ onda ýalňyşyň

çägi $\frac{\Delta S}{S_H} = \frac{1}{1 + 10^3} \cdot 0,1 \approx 10^{-4}$ ýada 0,01%. Getirilen mysaly

ulanyp, EÖS –iň ýalňyşyny has takyk kesgitläp bolar. Ýalňyşlyk kesgitlenende ΔZ – iň köpelmegi has beýik bolmagy mümkin. ДОУ hökmünde ЛИС1УТ40/А ulanylýar, onuň pasportynda $K_H = 10^3$ we K razbrosy $500 < K < 1500$ maglumatlar berilendir.

Metodika laýyklykda $\frac{\Delta S}{S_H} = \frac{1}{1 + K_H \gamma_H} \frac{\Delta K}{K_H} \approx \frac{1}{1001} 0.5 = 5 \cdot 10^{-4}$

Berilen mysal üçin has takyk hasaplamany geçirmeklik aňsatdyr:

$$\frac{\Delta S}{S_H} = \frac{S - S_H}{S_H} \quad (39)$$

$$\frac{\Delta S}{S_H} = \left(\frac{K_{\min}}{1 + K_{\min} \gamma_H} - \frac{1000}{1 + 1000} \right) \cdot \frac{1 + K_H \gamma_H}{K_H} = \left(\frac{500}{1 + 500} - \frac{1000}{1 + 1000} \right) \cdot \frac{1001}{1000} = 10^{-3}$$

Alynan netijeleri özara çalyşyp, ýalňyşy kesgitlemegiň setirleri dargadylyp tapylmagy, ýalňyşyň 2 gezek bolýanlygyny berýar.

Mysal 3. Differensial operatiw güýçlendirijiniň EHG – iň kopensasiýa zynjyrdaky R,R,Z rezistorlaryň garşylygyny kesgitlemeli(surat 6).

Süýşme EHG –iň kopensirleýjisini üç sany goşulmadan durýan görnüşde ýazyp bolar:

$$e = \sum_{i=1}^3 B_i \Delta Z_i = e_1 + e_2 + e_3 = e_1 + e_2 + \frac{\varphi_T}{I_{\vartheta}} \Delta I_{\vartheta} \quad (40)$$

nired e - 1YT401A mikro çatgynyň süýşme EHG – i $e_1 = \pm 10$ mB köp däl dir.

e_2 - T mikroçatgysyndaky tranzistoryň baza – emmitter güýjenmesiniň tapawudy, K1HT 591Б pasпорты boýunça $e_2 \pm 3$ mB köp däl dir .

e_3 – T mikroçatgydaky tranzistornynyň emmitter togynyň tapawudy;

$$e_3 = I_{\vartheta 1} t_{\vartheta 1} - I_{\vartheta 2} t_{\vartheta 2} \approx \Delta I_{\vartheta} t_{\vartheta} = \frac{\varphi_T}{I_{\vartheta}} \Delta I_{\vartheta} \quad (41)$$

Şeýlelikde, şu mysalda $B_1=1$; $B_2 = 1$; $B_3 = \frac{\varphi_T}{I_{\vartheta}}$;

K1H591Б mikroshemanyň tranzistornynyň emmitter togy

1YT401A mikroshemanyň giriş togy bolup ulanylýar.

1YT401A mikroçatgynyň giriş togy 5mkA, emma giriş togynyň tapawudy bolsa 1,5 mkA köp däl dir. Onda

$$|e| \leq 10 + 3 + \frac{25}{5 \cdot 10^{-3}} = 20,8 \text{ mB};$$

$e_{mah} = \pm 20,8$ rugsat berilen çägi sazlanýlýan R_1 rezistoryň
dwižkanyň gyradaky ornunda

kopensirlenmelidir. $\frac{\pm E}{R + \iota} \iota = \pm e_{mah}$; Diýeli, $\iota = 100 \text{ Om}$; onda

$$R = \iota \frac{E - e_{mah}}{e_{mah}} \approx \iota \frac{E}{e_{mah}} = 10^2 \frac{6,3 \cdot 10^3}{20,8} = 30,2 \cdot 10^3 \text{ Om}$$

$R_1 < R$ bolanda R_1 rezistoryň garşylygy e - niň ululygyna täsir etmeýär.

$$R_1 \geq \frac{E - (-E)}{1 \text{ mA}} = \frac{12,6 \text{ B}}{1 \text{ mA}} = 12,6 \text{ kOm}$$

Dinamiki ýalňyşlyklary. Normatiw tehniki dokumentleriň köpüsinde EÖS – iň dinamiki häsiýetnamasyna baha bermek üçin t_y çykyş signalynyň bellenen wagtyňy, ýa – da amplituta ýygylýk häsiýetnamasy alynýar. Inžener hasaby boýunça iki häsiýetnamada taslama döwri diňe göniçyzykly EÖS üçin ulnmak bolýar.

AYX – AYH – y diňe EÖS – iň inersiýasyny häsiýetlendirip, signalyň (garmonik) bir hususy görnüşini üçin ulanylýanlygy göz önünde tutup, GOST 8.009 – 72 laýyklykda EÖS – iň diňe göniüzykly görnüşine baha bermän, eýsem onuň başga metrologik häsiýetlerine hem baha berýär. Abzakyň ähmiýetine we eksperimental barlagyň metodikasyna baglylykda $W_H(P)$ –den abzalyň hususy häsiýetine baha bermeklige geçmek bolar:

$$W_H(j\omega) = K_H(\omega)e^{j\varphi_H(\omega)} \quad (42)$$

nirede, $K_H(\omega)$ – amplituda – ýygylyk häsiýetnamasy;
 $\varphi_H(\omega)$ – birlik impulsyna EÖS – in gaýtargysynyň faza
 ýygylyk häsiýetnamasy.

$$K(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} W_H(j\omega) e^{j\omega t} d(\omega t); \quad (43)$$

Giriş signalyň bir gezeki syndyrgynsyzlygyna berýän
 gaýtargysy.

$$h(t) = L^{-1} \left[\frac{1}{p} W_H(p) \right] \quad (44)$$

nirede L^{-1} Laplasyň ters özgertmesi ;
 EÖS – in üçin özgertmönüň laýyk statiki funksiýasyny şeýle
 ýazmak bolar:

$$Y = W_H(0)X \quad (45)$$

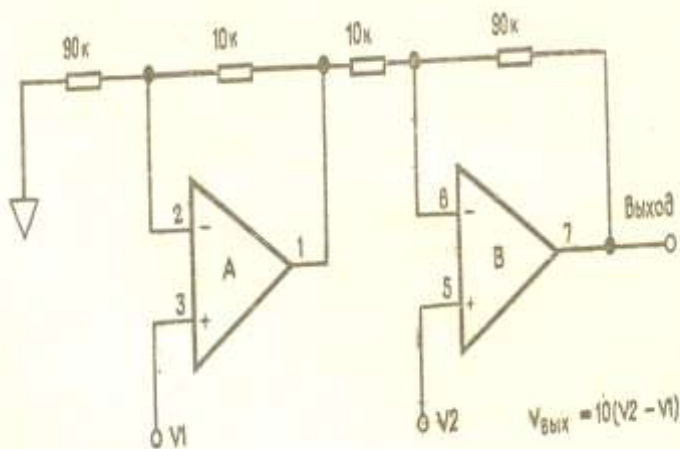
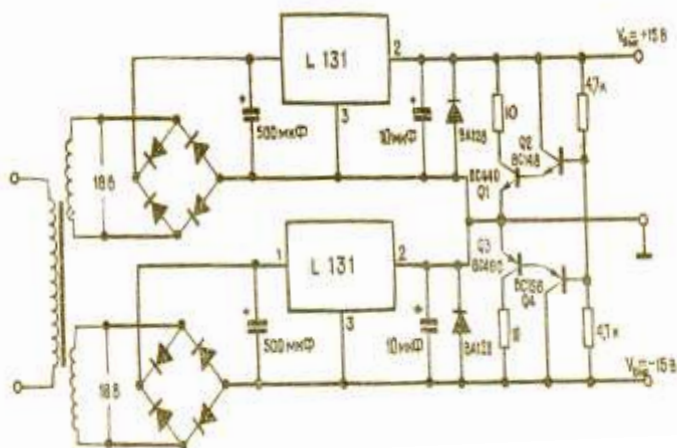
Onda dinamiki ýalňyşlyk:

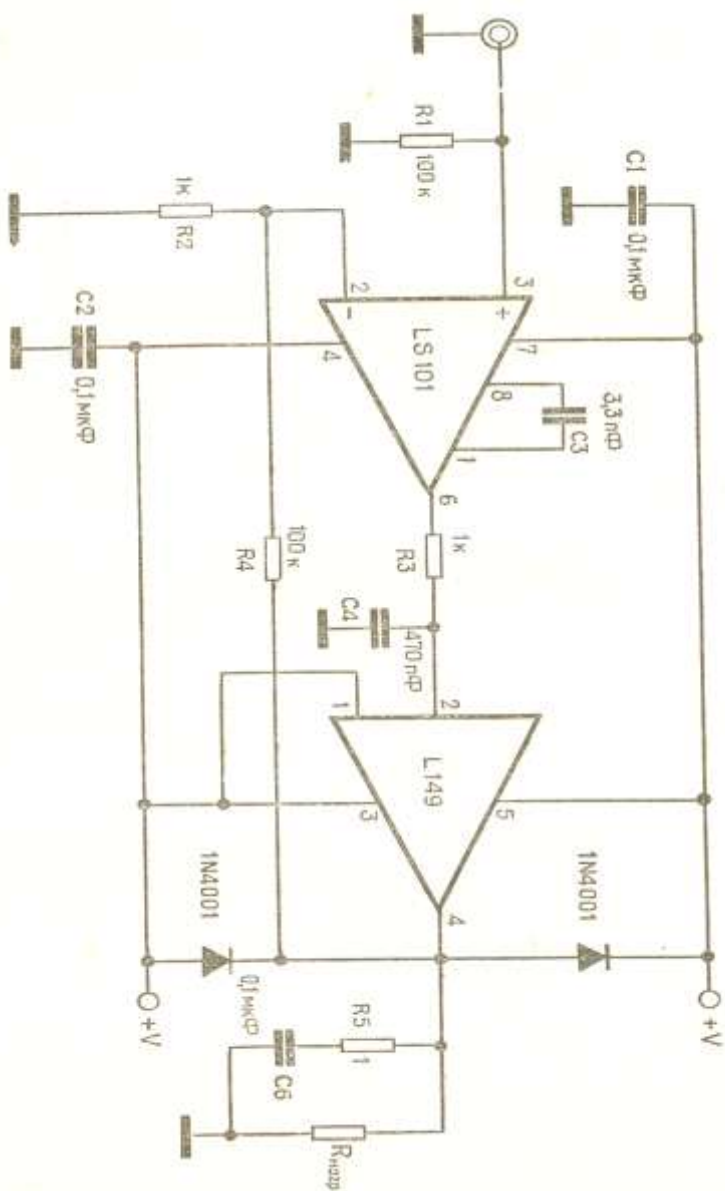
$$\Delta Y(p) = [W_H(p) - W_H(0)]X(p) \quad (46)$$

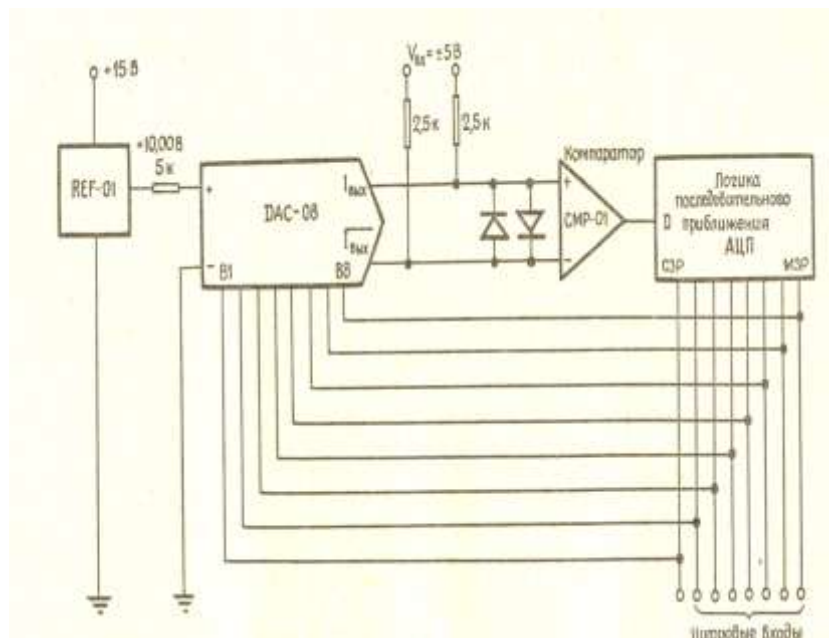
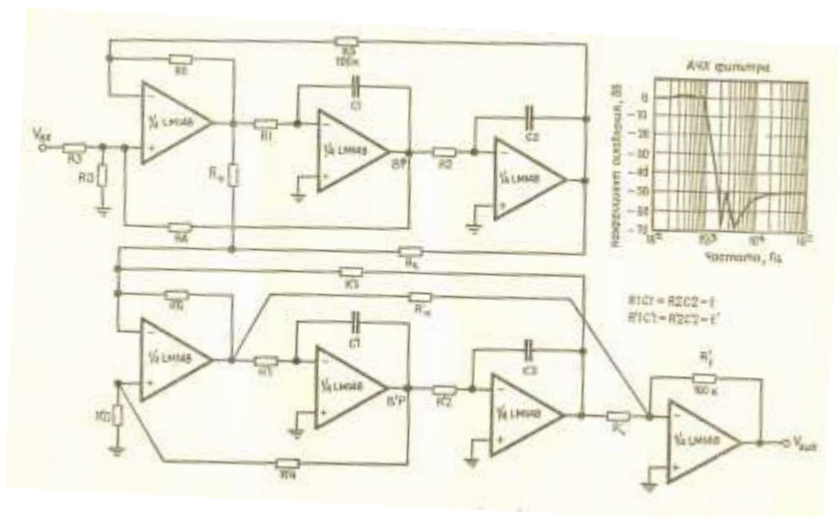
Bu aňlatmany EÖS – in girişine transformirmek bolar.

Soraglar:

1. Ýarymgeçirijili enjamlara tehniki talaplar
2. Ýarymgeçiriji enjamlara howa täsiri
3. Ýarymgeçiriji enjamlary taslamak ýollary







Edebiýat

1. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministirler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi (2009-nji ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat. Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2009.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow, Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007
3. Ökdirow A, Kuliýew T. “Senagat elektronikasy” Aşgabat – 2005.
4. I.P. Stepanenko. “Osnovy teorii tranzistorow i tranzistornyh shem” – M.: Energiýa, 1977.
5. N.M.Tugow, B.A.Glebow, N.A.Çarykow. “Poluprowodnikowyýe pribory” – M.: Energoatomizdat, 1990.
6. B.I.Gorşkow. “Elementy radioelektronnyh ustroýstw” – M.: Radioswýaz, 1988.
7. M.Kaufman, A.Sidman. “Praktičeskoýe rukowodstwo po rasçýetam shem elektroniki , 1 çast. Srawoçnik. – M.: Energoatomizdat, 1991.
8. М.В. гальперин. Практическая схематика в промышленной автоматике. М.: Энергоатомиздат. 1987

T/b	Mowzuk	Sah.
1	Giriş	7
2	Ýarymgeçirijiler barada gysgaça maglumat	11
3	Ýarymgeçirijilerdäki p – n geçişin fizikasy	21
4	Ýarymgeçiriji diodlar	30
5	Tranzistorlar	44
6	Meýdan tranzistorlary	61
7	Elektron güýçlendirijiler	74
8	Elektron güýçlendirijileriň nazary hasaplary	79
9	Güýçlendirijileriň çykyş signallary	86
10	Tranzistorly güýçlen-riň gör-leri we elekt. çatgylary	92
11	Tranzistorly güýçlendirijileriň çatgylarynyň mysallar	99
12	Operasion güýçlendirijiler	106
13	Operasion güýçlendirijileriň häsiýetnamalary	114
14	Tranzistor we ýönekeý süzgüçler	124
15	Elektron generatorlar	131
16	Elektron multiwibratorlar	140
17	Logiki elementlerden gurnalan multiwibratorlar	145
18	Elektron triggerler	149
19	Ýarymgeçiriji enjamlary taslamak	157
20	Edebiýat	176