

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRLOGI**

**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

Baýram Annamyradow

**TRANZISTOR WE  
MIKROELEKTRON  
SHEMALARYNYŇ  
NAZARYÝETI**

Mikroelektronika we ýarym geçirijili enjamlar hünäri üçin

Aşgabat – 2010ý.

~ 6 ~

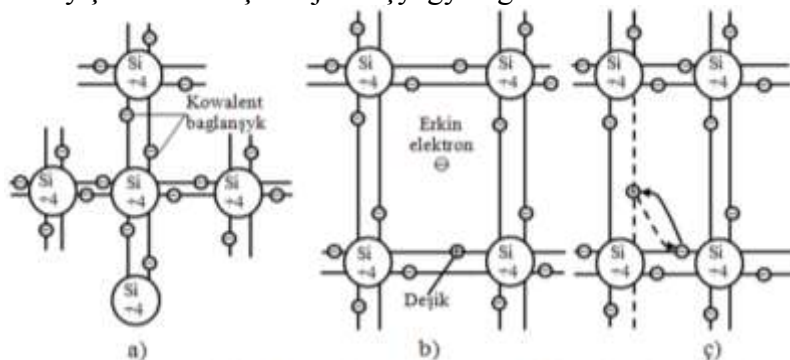
## I-nji BÖLÜM. ÝARYMGEÇİRİJİ ENJAMLAR.

### 1.1. Ýarym geçiriji enjamlar barada umumy düşüňjeler we işleýiş prinsipleri.

#### 1.1.1. Ýarymgeçirijilerde elektrik hadysalar

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-nji "a" çyzgyda görkezildi.



1-nji çyzgy. Tekizligiň üstünde kremniý elementiň 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 baglanşykda bolýarlar. Şonuň üçin-de, walent elektronlaryň özara jübütleşmeklerine (ýa-da goşalanmawlaryna) kowalentlik diýilýär.

Kristalyň düwünleri bolup hyzmat edýän, çöküp galan atomlar içi boş töwerejikler bilen şekillendirildi (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 baglanşyga 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 baglanşykda 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 baglanşykly elektronlarda energiýa artykmaçlyk edip, ol energiýa "Gadagan" zolagyň  $\Delta W$  – energiýasyndan-da ösüp, kowalent baglanşykdan sypyp (üzülip) gitmek bilen bolýarlar. Şular ýaly boşan elektronlar erkin hala eýe bolup, kristal gözenegiň içinde hereket edip başlaýarlar (1-nji "b" çyzga seret). Erkin elektronlaryň hereketleri (-) – alamatly zarýadlaryň (toguny) akymyny döredýärler.

Erkin elektronlaryň (zarýadlaryň) döremegi kowalent baglanşygyň çagşamagyna sebäp bolýar we olaryň ýerleri boşap galýarlar. Bu boşap galan ýerlere deşikler diýilýär. Deşikler – elektronlar bilen eýelenmedik kowalent baglanşykdaky boş ýerlerdir. Şol boş deşikleri erkin elektronlar eýeläp-de bilýärler we ondan elektronlar boşap gidip-de bilýärler. Kowalent baglanşyklarda 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 zonasynda emele gelen deşigi üçünji atomyň walentli elektrony doldurýar we ş.m., onda (+) zarýadly hasap edilýän deşikleriň hereketleri (-) zarýadly elektronlaryň üzülip çykyşlaryna baglydyrlar (1.3.-nji çyzyga seret). Şeýlelikde, deşiklere (+) zarýadlary äkidijiler hökmünde-de seredip bileris.

### 1.1.2. Elektronlaryň we deşikleriň hereketleri

Eger-de, erkin elektronlar kristal gözenekleri emele getirýän düwünleriň arasyndaky giňişliklerde hereket edýän bolsalar, onda deşikler kowalent baglansygy emele getirýän çyzyklar boýunça süýşýärler, şonuň üçin-de (-) zarýadlary äkidijileriň tizligi (+) zarýadlaryňkydan ýokarydyr.

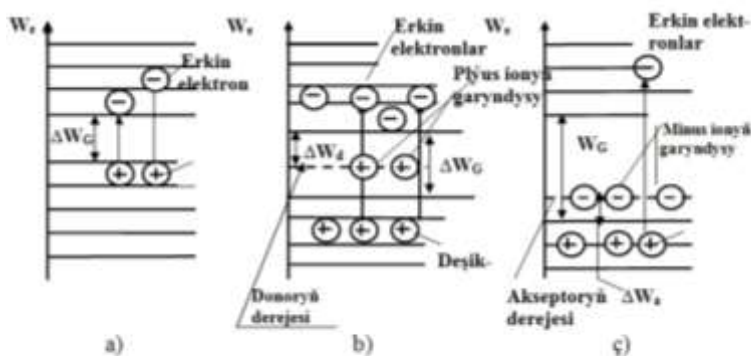
Erkin elektronlar bilen deşikleriň jübütleşmek prosesine zarýady äkidijileriň jübütleniş generasiýasy diýilýär.

Ýarymgeçirijileriň elektrik geçirijiligi zarýady äkidijileriň 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 äkidijileriň iki görnüşi-de kristal gözeneklerde elektrik tolkunlaryň döremegine sebäpkädirler. Umuman, tok iki sany tok goşulmalarynyň netijesidir (elektronlaryň we deşikleriň döredýän toklarynyň jemidir). Bu iki toklar hemişe bilelikde çykyş edýärler, ýöne biri beýlekisinden az ýa-da köp bolup bilerler.

Eger-de, elektronlaryň döredýän togy deşikleriň 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-nji "a" çyzgyda arassa ýarymgeçirijileriň diagrammasy görkezildi.



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 zony bolsa daralýar ( $\Delta W_G$  – 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 baglanşyklaryň öňki ýagdaýyna gaýdyp gelmegi), şeýýelikde elektronlaryň we deşikleriň zaryadlaryny äkidijileriň geçirijilik ukyplary ýitip gidýär. Bu proseslerde (geçişlerde) artykmaç energiýalar ýylylyga ýa-da ýagtylyga öwrülýärler.

Generasiýa bilen rekombinasiýa aralykda togy döredýän zaryady 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 zaryady 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  $\Delta W_d = 0,01 - 0,07$  eW 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 baglanşyga geçip, başinjisi kowalentlikden artyk bolup, öz atomynyň orbitasyndan aňsatlyk bilen çykyp bilýär we geçirijiligiň köpelmegine ýardam edýär (3-nji a

çyzga seret). Şonuň üçin-de elektronlaryň konsentrasiýasy deşikleriň konsentrasiýasyndan epesli ýokarydyr, ýagny  $n_n \gg p_n$ .

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 (3-nji a çyzga seret).

Eger-de, kremniý kristalynyň düzümine üçwalentli himiki elementlerden gössak (Indiý, Alýuminiý, Bor ýa-da Galliý), onda bu elementler özleriniň üçwalentli elektronlary bilen goňşynyň dörtwalentli atomlaryna diňe üç kowalentli aragatnaşyk saklaýar (3-nji b çyzga seret).

Dördünji kowalent bolmak üçin bir elektron ýetmeýär, şonuň üçin-de kristalyň üçwalentli atomynda bir boş ýer döräp, öňa 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.

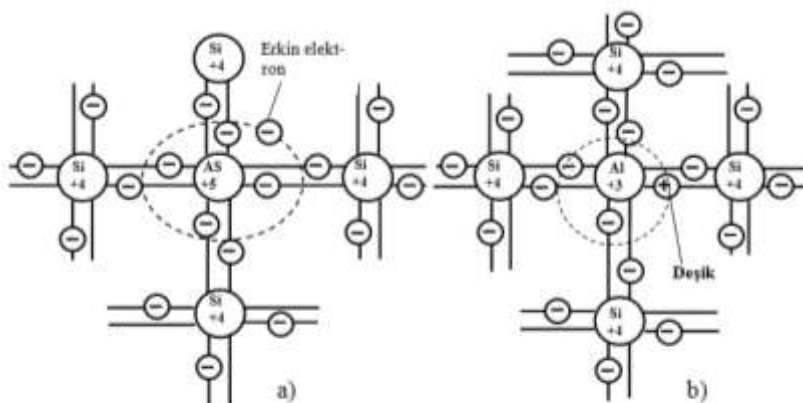
Goňşy atomyň walentli elektronyndan alyp öz walentli zonasynda kabul edip bilýän atomlara (garyndylara) akseptorlar diýilýär.

Akseptorly garyndyny goşmaklygyny netijesinde deşikleriň konsentrasiýasy (mukdary) elektronlardan köp bolýar  $p_p \gg n_p$ .

Akseptorly ýarymgeçirijilerde döreyän 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 zaryady döredijiler we äkidijiler deşiklerdir, elektronlar esasy dälirler.



3-nji çyzgy. a) Donor garyndyly Kremniniň kristal gözenekleriniň shemasynyň modeli; b) Akseptor garyndyly Kremniniň kristal gözenekleriniň shemasynyň modeli.

Akseptorly, ýagny p – tipli ýarymgeçirijileriň energetika diagrammasy 2.2-nji ç çyzgyda görkezildi. Akseptor garyntgylly atomlarynyň energiýa derejesi esasy ýarymgeçirijiniň walentli zonasyna golaýdyr. Akseptoryň  $\Delta W$  – energetiki derejesi örän kiçidir, takmynan 0,01 – 0,07 eV töweregidir.

Şonuň üçin-de, öý temperaturasy hasap edilýän ( $20^0$  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 zaryadlary äkidijileriň esasy bolup garyntgynyň atomlary çykyş edýärler, esasydäl äkidijiler bolup bolsa kowalent aragatnaşyklygyň ýumrulmagy esasynda hem-de zaryady äkidijileriň goşalanmagy (jübütlenmegi) netijesinde generasyýa bolup geçýär.



### 1.1.3. Ýarymgeçirijilerde dreýf we diffuzion toklar.

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

Elektrik meýdanynyň ýok wagty elektronlar we deşikler dürli tarapa bitertip (haotiki) hereket edip, ýylylyk energiýany bölüp 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 peýdalanlyp tapylýar.

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

bu ýerde:  $E$  – elektrik meýdanynyň dartgynlygy [ W/m];  
 $\mu_n, \mu_p$  – 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 zarýadlary  $1,6 \cdot 10^{-19}$  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  $V_{dr,n}$ ,  $\mu_n$  ululyklary (parametrleri) deşikleriň  $V_{dr,p}$ ,  $\mu_p$  – parametrlerinden epesli uludyr. Kremniýde zarýady äkidijileriň çakganlygy Germaniýe garaňda kiçidir.

Arassa ýarymgeçirijilerde elektronlaryň we deşikleriň konsentrasıýalary (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-zarýady äkidijiler bilen kesgitlenilýär, meselem  $p$  – tipde deşikler bolsa, onda  $n$  – tipde elektronlardyr.

Zarýady – äkidijileriň konsentrasıýasy (mukdary) kristalyň göwrümi boýunça deňdäl (deňölçegsiz) ýerleşenlerinde , onda konsentrasıýanyň has köp ýerinde özara çakyşmalar-da has köp bolup geçýär.

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

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

Zarýady äkidijileriň konsentrasıýalarynyň deňölçegsizligini konsentrasıýanyň gradiýenti diýilýän düşünje bilen häsiýetlendirilýär.

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

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

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

Diffuzion toguň dykzlygynyň hasaplanýş formulasy

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

bu ýerde :  $D_n$ ;  $D_p$  –

elektron bilen  
deşikleriň  
diffuzion  
koeffisiýentler  
i;

$$\frac{\Delta n}{\Delta x}, \frac{\Delta p}{\Delta x} -$$

birlik,  
ölçegdäki  
uzynlykda  
zarýady  
äkidijileriň  $x$  –  
boýunça  
özgerişi  
(üýtgeýşi).

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

## 1.2. Ýarymgecirijilerde elektronlaryň we deşikleriň statistikasy.

### 1.2.1. Fermi-Diragyn statistikasy boýunça paýlanyş funksiýa.

Islendik gaty jisim bu ummasyz köp sanly mikrobölejiklerden durýan ulgamdyr. Şeýle ulgamlarda özboluşly statistiki kanunalaýyklyklar ýüze çykýar.

Statistiki kanunalaýyklyklaryň esasy özboluşlylygy onuň ähtimallyk häsiýetidir. Olar diňe haýsy bolsa hem bir hadysanyň ýerine ýetmeginiň, haýsy hem bolsa bir netijäniň alynmagynyň ähtimallygyny görkezýär.

Gaty jisimlerde energiýalary  $E$  den  $E+\Delta E$  aralygynda üýtgeýän mikrobölejikleriň ortaça sany paýlanmagyň doly statistiki funksiýasy bilen kesgitlenýär.

Paýlanmagyň doly funksiýasyny  $dE$  energiýa aralygyndaky derejeleriň umumy sany  $g(E)dE$ , şol derejeleriň doly bolmagynyň ähtimallygyna köpeldilmegi görnüşinde göz önüne getirip bolar. Eger-de derejeleriň doly bolmagynyň ähtimallygyny  $f(E)$  diýip bellesek, onda

$$N(E)dE=f(E)g(E)dE$$

$f(E)$  funksiýa ýöne paýlanyş funksiýasy diýilip aýdylýar. Ýokarda görkezilişi ýaly  $f(E)$  funksiýa berlen derejeleriň elektronlar (bölejikler) bilen doly bolmagynyň ähtimallygyny görkezýär.

Şeýlelikde, bölejikleriň derejeler boýunça paýlanyşynyň doly funksiýasyny tapmaklyk meselesi  $g(E)dE$  funksiýany tapmaklyga (derejeleriň energiýalar boýunça paýlanyşy) we bu derejeleriň elektronlar doly bolmagynyň ähtimallygyny görkezýän  $f(E)$  tapmaklyga gelýär.

Paýlanma funksiýasy, meselem elektronlar üçin, şeýle görnüşde ýazylýar.

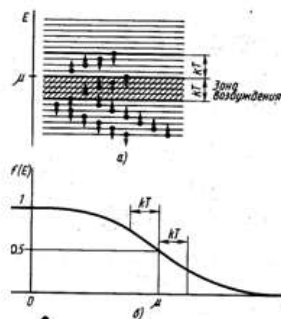
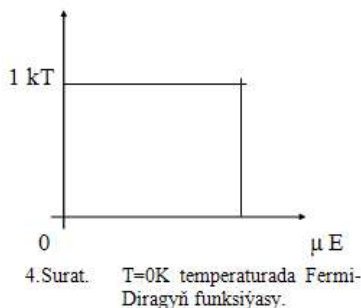
$$F(E) = (e^{(E-\mu)/kT} + 1)^{-1}$$

bu ýerde  $T$ -absolýut temperatura,  $\mu$ -ulgamyň himiki potenssiýaly, köplenç halatda Ferminiň energiýasy ýa-da derejesi diýilýär.

(6.2) funksiýa Fermi-Diragyň funksiýasy diýilýär. Ilki bilen bu funksiýanyň  $T \rightarrow 0$  K ýagdaýyna seredeliň. Bu ýagdaýda  $\mu$ -den kiçi bolan  $E$  energiýadaky derejeleriň islendigi üçin  $f(E)=1$ . Şol bir wagtda islendik  $E > \mu$  dereje üçin  $f(E)=0$  (4-nji surat).

Şeýlelikde,  $T=0$  K temperaturada  $E < \mu$  bolan energetik derejeleriň hemmesi elektronlar bilen eýelenendir, emma  $E > \mu$  energetik derejeler boşdyr. Başga söz bilen aýdanyňda,  $T \rightarrow 0$  K iň pesdäki energetik derejeleri eýelemäge ymtylýarlar. Temperaturanyň artmagy bilen elektronlar termiki oýandyrylýar we ýokary energetiki derejelere geçýärler, şol sebäpli hem elektronlaryň energetiki derejeleri boýunça paýlanyşy üýtgeýär. Emma, Ferminiň derejesiniň ýakynyndaky energetik derejelerde, ýagny  $kT$  energetiki aralykda, elektronlar ýylylyk oýandyrmasyna sezewar bolup bilýär. Çuň ýerleşen energetik derejelerdäki elektronlar öz ýerlerinde üýtgemän galýarlar, sebäbi  $kT$  energiýa olary Ferminiň derejesinden ýokary geçirmeklige ýetik däl.

Ýylylyk oýandyrmasy esasynda elektronlaryň öň Ferminiň derejesinden aşakda ýerleşen bir bölegi ýokary geçýär, şeýlelikde elektronlaryň energetik derejeler boýunça täze paýlanyşy emele gelýär (5-nji surat). Suratdan görnüşi ýaly, temperaturanyň artmagy bilen, energetik derejeler boýunça elektronlaryň paýlanyşy energiýa boýunça  $\mu$  ululykdan  $kT$  çuňlukda ýaýraýar.



## 1.2.2. Ýarymgeçirijilerde elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýasy.

Geçiş zonasynyň hemme energiýalary boýunça paýlanyşyň doly funksiýasyny (6.1) integrirläp, geçiş zonasyndaky elektronlaryň konsentrasiýasyny tapýarys:

$$n = \int_{(g.z.b)} n(E) dE = \int_0^{E_{zonadep}} g(E) f(E) dE$$

Bu ýerde  $n(E) - V=1$  ýagdaýda  $N(E)$  funksiýa.

Integralyň arasyndaky  $f(E)$  funksiýanyň çalt (eksponenta boýunça) energiýanyň artmagy bilen kemelmegi sebäpli, integral almaklygy tükeniksizlige çenli dowam etdirip bolýar, şol bir wagtyň özünde  $g(E)$  (dereje boýunça) ýuwaş-ýuwaş artýar.

$$n = \frac{1}{2\pi^2} \frac{((2m_n)^{3/2})}{h^3} \int_0^\infty \frac{\sqrt{E} dE}{e^{(E-\mu)/(kT)} + 1}$$

$$E(k) = -E_g - \frac{\hbar^2 k^2}{2m_p}$$

bu ýerde 
$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-\mu)/kT} + 1}$$

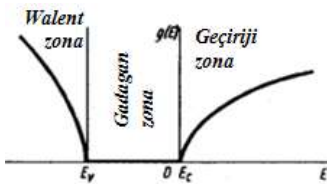
$$g(E) = \frac{V}{\pi^2} \cdot \frac{\sqrt{2m_n^3 \cdot E}}{\hbar^3} \quad g(E) = \frac{V}{\pi^2} \frac{\sqrt{2m_p^3 (E_v - E)}}{\hbar^3}$$

$E_v = -E_g$  - walent zonanyň depesindeki energiýa.

Geçiş zonasynyň düýbinde we walent zonasynyň depesinde derejeleriň dykzlygynyň funksiýasy 6-njy suratda görkezilen.

Eger Fermiň derejesi  $\mu$  geçiş zonanyň düýbünden  $E_c=0$ , aşakda ýerleşen bolsa, ýagny  $(E-\mu) \gg kT$ , onda Fermi-Diragyň funksiýasynyň maýdalawjysyndaky birligi hasaba almasada bolýar.

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-\mu)/(kT)} + 1} \approx e^{\mu/kT} \cdot e^{-E/kT}$$



6. Surat. Geçiş zonanyň düýbünde we walent zonanyň depesinde derejeleriň dykzlygynyň funksiýasy.

Bu ýagdaýda geçiş zonanyň derejeleriniň elektronlar bilen doly bolmak mümkinçiligi kiçidir

$$f(E) \ll 1$$

Bu şerte geçiş zonanyň elektronlar bilen doly bolmazlyk şerti (uslowiýem newyrozhdennosti) diýilýär.

Bu şert ýerine ýetende elektronlaryň energiýa boýunça paýlanyşynyň doly funksiýasy şeýle görnüşe eýe bolýar:

$$n(E) dE \approx \frac{(2m_n)^{3/2}}{2\pi^2 \hbar^3} \sqrt{E} \cdot e^{\mu/(kT)} \cdot e^{-E/kT} \cdot dE$$

Bu deňlige Bolsmanyň paýlanyşy diýilip at berilýär. Elektron gazynyň umumy sany  $e^{\mu/kT}$  köpelijä proporsionaldyr, emma olaryň energiýa boýunça paýlanyşy  $\sqrt{E} \cdot e^{-E/(kT)}$  köpelijiler boýunça kesgitlenýär. Energiýa boýunça deňlikden alnan integral Ferminiň energiýasyna  $\mu$  baglylykda elektronlaryň umumy sanyny berýär.

$$n = \frac{2(2\pi m_n kT)^{3/2}}{h^3} \cdot e^{\mu/(kT)} = N_c \cdot e^{\mu/(kT)}$$

$N_c$ -ululyga, geçiş zonanyň düýbünden başlap, energetik derejeleriň effektiv sany diýilýär.  $N_c$  ululyk umuman aýdanda geçiş zonanyň düýbünden  $kT$  aralykda ýerleşen derejeleri aňladýar, sebäbi esasan hem şol derejeler elektronlar bilen dolydyr. Şol bir temperaturada elektronyň konsentrasiýasy näçe az bolsa, Ferminiň derejesi şonça aşakda ýerleşendir.

Indi walent zonasyndaky deşikleriň konsentrasiýasynyň Ferminiň energiýasyna baglylygyna seredip geçeliň.

Walent zonada  $E$  energiýaly derejäniň elektron tarapyndan eýelenen bolmazlygynyň ähtimallygy şeýle tapylýar.

$$f_p(E) = 1 - f(E) = \frac{1}{1 + e^{(\mu - E)/(kT)}}$$

Eger-de  $f_p(E) \ll 1$ , bolsa onda

$$f_p(E) \approx e^{-(\mu - E)/(kT)}$$

Deşikleriň energiýa boýunça paýlanyş funksiýasyny  $f_p(E)g(E)$  integrirlemek bilen, deşikleriň konsentrasiýasyny tapýarys.

$$P = \frac{2(2\pi m_p kT)^{3/2}}{h^3} \cdot e^{-(\mu - E_v)/(kT)} = N_v e^{\frac{(\mu + E_g)}{(kT)}}$$

Bu ýerde  $N_v$ -walent zonadaky energetik derejeleriň effektiv sany (walent zonasynyň depesine getirilen).



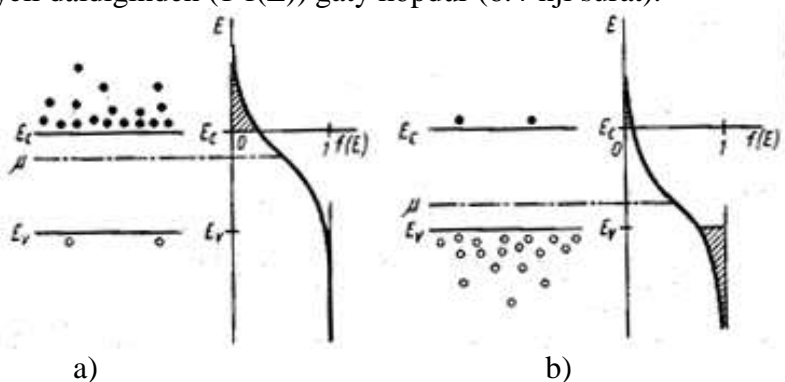
### 1.2.3. Hususy ýarymgeçirijide erkin zarýadlaryň konsentrasiýasy.

Garyndysyz hususy ýarymgeçirijide Ferminiň derejesiniň ýerleşişini, geçiş zonadaky elektronlar bilen walent zonadaky deşikleriň deňlik şerti esasynda tapmak mümkin:

$$n_i = p_i$$

Bu ýerde  $i$  indeks, hususy ýarymgeçirijä deňşililigi aňladýar.

Bu şert, Ferminiň derejesiniň gadagan zonanyň takmyndan ortasynda ýerleşýändigini aňladýar. Eger Ferminiň derejesi geçiş zona ýäkyn ýerleşse, onda şeýle ýarymgeçirijide elektronlar deşiklere seredende has köp, sebäbi geçiş zonanyň düýbünde energetik derejeleriň elektronlar bilen doldurylyşy ( $f(E)$ ) walent zonanyň depesindeki derejeleriň elektronlar bilen eýeli daldiginden ( $1-f(E)$ ) gaty köpdür (6.4-njı surat).



6.4. Surat.  $n$ -tipli ýarymgeçirijilerde ( $n \gg p$ )  
(a) we  $p$ -tipli ýarymgeçirijilerde ( $p \gg n$ )  
(b) paýlanyş funksiýasy.

Şeýlelikde, diňe Ferminiň derejesi gadagan zonanyň ortasynda ýerleşen ýagdaýynda elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýasynyň deňligini gazanmak mümkin. Hakykatyna

seredeniňde hususy ýarymgeçirijide Ferminiň derejesi takmyndan gadagan zonanyň ortasynda ýerleşendir. Sebäbi geçiş zonada we walent zonada energetik derejeleriň dykzlygy dürlidir.

Hususy ýarymgeçirijilerde Ferminiň derejesiniň takyk bahasyny  $n(\mu)$  bilen  $p(\mu)$  bahalaryny deňleşdirip alýarys

$$N_c e^{\mu_i / (kT)} = N_v e^{-(\mu_i + E_g) / (kT)}$$

Eger bu deňlikden Ferminiň derejesiniň bahasyny tapsak, onda şeýle aňlatmany alarys.

$$\mu_\phi = -\frac{E_g}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c}$$

Haçanda  $T \rightarrow 0$  K Ferminiň derejesi gadagan zonanyň ortasynda ýerleşendir.  $\mu_i$ -niň alynan bahasyny bu deňlige goýup, hususy ýarymgeçirijilerde erkin zarýadlaryň konsentrasiýasyny hasaplap bileris.

$$n_i = p_i = \sqrt{N_c N_v} \cdot e^{-E_g / (2kT)} = \frac{2(2\pi \sqrt{m_n m_p} \cdot kT)^{3/2}}{h^3} \cdot e^{-E_g / (2kT)}$$

Bu ýerde  $m_n$  we  $m_p$ -elektronyň we deşigiň effektiw massasy. bu deňlikden görnüşi ýaly hususy ýarymgeçirijilerde deňagramlykdaky zarýadlaryň konsentrasiýasy esasan ýarymgeçirijiniň gadagan zonasynyň giňligi we temperatura bilen kesgitlenýär.

Meselem,  $E_g$  -niň 1.1 eV-dan (kremniý) 0.08 eV (seroýe olowo) çenli kiçelmegi otag temperaturasynda  $n_i$ -niň 9 dereje artmagyna getirýär.

### 1.3. Kinetiki hadysalar.

#### 1.3.1. Elektrik meýdanynda erkin zarýadlaryň dreýfi.

Daşky elektrik meýdanynyň täsiri esasynda, erkin zarýadlaryň urukdyrylan herektiniň ýüze çykmaklygyna - dreýf-diýilýär. Daşky elektrik meýdany erkin zarýadlara tizlenme berip, bu tizlenmäniň ugry deşikler üçin daşky meýdanyň ugryna urukdyrylandyr, emma elektronlar üçin ters ugra urukdyrylandyr.

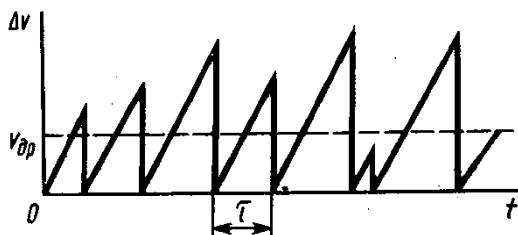
Eger güýjenmesi  $E$  bolan elektrik meýdany effektiv massasy  $m^*$  zarýady  $e$  bolan bölejige täsir etse, onda ol şeýle tizlenme bilen hereket eder:

$$a = \frac{F}{m^*} = \frac{e}{m^*} E ; (3.1)$$

Eger-de, her gezek çaknyşmadan soň zarýad islendik tarapa hereket edep öz urukdyrylan hereketini her bir erkin hereket edýän wagt aralygynda  $\langle \tau \rangle$  ýitirýär diýip hasap etseň, onda urukdyrylan hereketiň ortaça tizligi (dreýf tizligi) şeýle tapylýar:

$$v_{dr} = \frac{a \langle \tau \rangle}{2} = \frac{1}{2} * \frac{e}{m^*} \langle \tau \rangle E . (3.2)$$

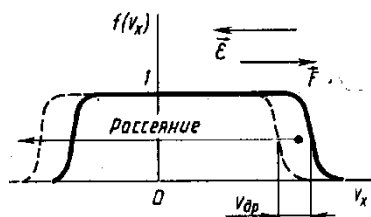
3.1 suratda daşky meýdanyň täsiri esasynda bölejigiň eýe bolan artykmaç dreýf tizliginiň wagt bilen üýtgeýşi görkezilen.



3.1. Surat. Dreýf tizliginiň hasaplanylyşyna düşündiriş.

### 1.3.2. Erkin zaryadlaryň hereket edijiligi.

Daşky elektrik meýdanndaky elektronlaryň dreýf hereketini we beýleki käbir kinetiki hadysalary. Bolsmanyň kinetiki deňlemesini peýdalanmak bilen, has takyk tapmak mümkin. Bu deňleme daşky meýdanyň täsiri esasynda elektronlaryň tizlikleri boýuça paýlanyş (raspredeleniýe) funksiýasyny görkezýär. Daşky  $\vec{E}$  elektrik meýdanynyň täsiri bilen elektronlaryň dreýfi ýüze çykyp, daşky güýjiň  $\vec{F}$  elektrona täsiriniň ugryna, tizlikler boýunça paýlanyş funksiýanyň  $V_{dr}$  ululyga süýşmesine getirýär (3.2 - surat).



3.2. Surat. Daşky elektrik meýdannda elektronlaryň tizligi boýunça paýlanyş funksiýasynyň süýşmesi ( $V_y=V_z=0$ ).

Daşky elektrik meýdanynyň aýrylmagy bilen elektronlaryň tizlikler boýunça paýlanyş funksiýasy öňki durnukly ýagdaýyna gelýär we relaksasiýa prosesi bolup geçýär. Relaksasiýa prosesi şeýle deňleme bilen ýazylýar.

$$\Delta n(v_x) = \Delta n(v_x) \Big|_{t_0} e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau_{rel}}}$$

bu ýerde  $t_0$  - meýdanyň aýrulan wagty,  $\tau_{rel}$  - relaksasiýa wagty.

$\tau_{rel}$  - wagtyň içinde , elektronlaryň tizlikler boýunça paýlanyş funksiýasynyň durnukly ýagdaýyndan üýtgemesi we elektronlaryň dreýf tizligi  $e$  esse kiçelýär.

Bolsmanyň kinetiki deňlemesiniň çözüdi esasynda alýarys:

$$v_{dr} = \frac{e}{m^*} \tau_{rel} E \quad (3.3)$$

(2) we (3) deňlemelere seretseň relaksasiýa wagtynyň  $t_{rel}$  we erkin hereket wagtynyň  $\langle \tau \rangle$  birmeňzeş manysynyň batlygy görünýär.

Erkin zarýadyň dreýf tizliginiň elektrik meýdanynyň güýjenmesine bolan gatnaşygyna, zarýadyň podwižnosti (hereket edijiligi) diýilýär ( $u$  ýa-da  $\mu$ ).

$$u = \frac{|v_{dr}|}{E} = \frac{e}{m^*} \tau_{rel} \quad (3.4)$$

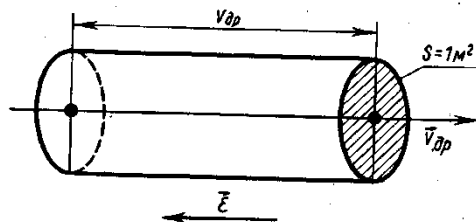
Zarýadyň podwižnosti  $m^2/Vs$  ýa-da  $cm^2/Vs$  birliklerde ölçelinýär.

### 1.3.3. Ýarymgeçirijileriň elektrik geçirijiligi.

#### Udel elektrik geçirijiligi.

Eger ýylylyk deňagramlylygy wagtynda elektronlaryň hereketiniň tizliginiň jeminiň nola deňligini göz öňünde tutsaň, onda elektrik togynyň dykzlygyny we geçirijiniň udel elektrik geçirijiligini, elektronlaryň dreýf tizligini  $V_{dr}$  hasaba alyp hasaplamak bolýar.

Geçirijiniň içinde esasy bire deň bolan silindri göz öňüne getireliň (3.3 surat). Silindriň içindäki elektronlar, haçanda silindriň uzynlygy  $V_{dr}$  deň bolanda, 1 sekunda silindriň esasyndan geçip, dykzlygy  $i$  deň bolan tok emele getirer:



3.3. Surat. Togyň dykzlygynyň aňlatmasynyň çykarylşyna degişli çyzgy.

$$i = en|v_{dr}| = enu_n \vec{E} \quad (3.5)$$

Bu erde  $n$  - geçirijidäki elektronlaryň konsentrasiýasy. Omyň kanunyna laýyklykda  $i = \sigma E$ .

$$\text{Onda } \sigma = enu_n. \quad (3.6)$$

Deşikler üçin

$$\sigma = epu_p \quad (3.1)$$

4 - nji deňlikden  $u$  - nyň bahasyny (6) goýup alýarys.

$$\sigma = enu_n = \frac{e^2 n \langle \tau_{rel} \rangle}{m_n} = \frac{ne^2 \langle \lambda \rangle}{m_n \langle v_n \rangle} \quad (3.7)$$

Bu formula, geçirijide elektronlaryň häsiýetnamalaryny peýdalanyň, udel elektrik geçirijiligiň tapylyşyny aňladýar.

### Ýarymgeçirijileriň elektrik geçirijiligi.

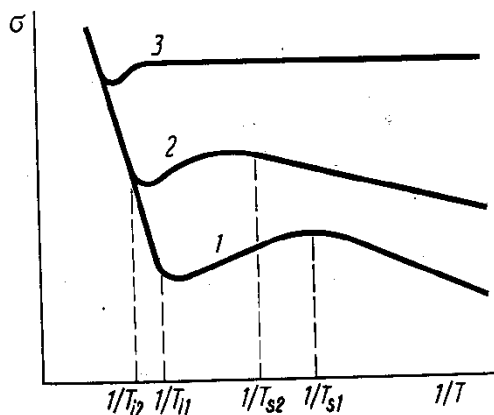
Umumy görnüşde ýarymgeçirijileriň udel elektrik geçirijiligi elektronlaryň ( $n$ ) we deşikleriň ( $p$ ) konsentrasiýasy bilen kesgitlenilýär:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = enu_n + epu_p \quad (3.8).$$

Emma has kiçi temperaturalarda, ýarymgeçirijilerde, esasy zarýadlaryň konsentrasiýasy, esasy däl zarýadlaryň konsentrasiýasyndan has köpdir. Şol sebäpli hem (8) deňlikdäki goşuljylaryň biri galdyrylyp ýazylýar, meselem,  $n$ -tipli ýarymgeçirijiler üçin erkin elektronlara degişli goşulyjy galýar:

$$\sigma \approx \sigma_n \approx enu_n \quad (3.9).$$

Ýarymgeçirijilerde erkin zarýadlaryň konsentrasiýasy temperatura gaty ýokary derejede, eksponenta boýunça baglydyr. Bu baglylyk diňe garyndylaryň erkin zarýad berip bilijiliginiň mümkinçiligini ýitirýän oblastynda üýtgeýär (3.4 surat).



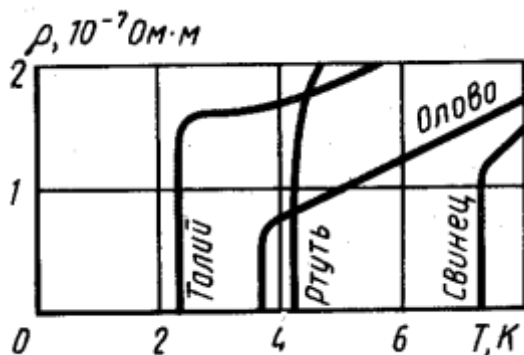
3.4. Surat. Dürli derejede garyndyly (degişlilikde) ýarymgeçirijileriň udel elektrik geçirijiliginiň temperatura baglylygy.

Pes temperaturalarda  $\ln \sigma = f(1/T)$  baglylygyň  $a$  böleginde udel elektrik geçirijilik ýagny erkin zarýadlaryň artmasy donorlaryň ýa-da akseptorlaryň hasabyna artýar. Baglansygyň  $b$  bölegi garyndylaryň erkin zarýadlary berip bilijilik ukybynyň gutarandygyny aňlagýar. Baglylygyň üçünji bölegi  $c$  hususy geçirijilige, ýagny walent we geçiş zonolaryň arasyndaky geçişiň hasabyna ýüze çykýar.

Ýarymgeçiriji näçe ýokary derejede garyndyly bolsa, şançada udel elektrik geçirijiligi ýokary bolup,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , bölekleriň arasyndaky çäkler umumylaşyp başlaýar

### Aşageçirijilik hadysasy.

1911 ýylda golland fizigi Kammerling-Onnes simabyň udel garşylygyny temperatura baglylygyny öwrenen wagtynda, has pes temperaturada ütgesik bir hadysany ýüze çykarýar: 4,2 K temperaturada simabyň udel garşylygy has çalt (скачком) nola çenli kemelýär. Bu hadysa aşageçirijilik diýen ada eýe bolýar. (3.5 surat).



3.5. Surat. Aşageçiriji ýagdaýa geçende geçirijileriň udel garşylygynyň birbada üýtgeýşi.

Häzirki wagtda aşageçirijilik hadysasy 100 töweregi jisimlerde ýüze çykaryldy. Jisimleriň aşageçirijilik ýagdaýa geçýän temperaturasyna, kritiki temperatura diýilip, dürli jisimler üçin 0-20K aralykda ýerleşýär. 1990-ýyllarda bu ugurda gaty uly üstünlikler gazanylyp, käbir keramiki materiallarda aşageçirijiliň ýüze çykýan temperaturasy 80-100K çenli ýokarlandy. Muňa mysal edip Y-Ba-Cu- $O_7$  materýaly we başga birnäçe garyndylary getirip bolar. Bu ugurda 1988-1996 ýyllarda Türkmenistan Ylymlar Akademiýasynyň Fizika-Tehnika institutynda hem birnäçe



ylmy işler edildi. Meselem  $\text{YBaCuO}_7$  we  $\text{BiSrCoCuO}_7$  sistemalary köp dürli garyndy garylyp alyndy (Pb, Sb, Li, K, Na). Bu keramiki materiallar ulgamyna aşageçirijilik 88-112K aralyka alynyldy. Olaryň alynýş tehnologiýasy we esasy fiziki häsiýetleri öwrenildi.

Umuman aýdanyňda aşageçirijiligi öwrenmeklik käbir düýpli häsiýetleriň üýtgeýändigini ýüze çykardy.

Aşageçirijilik hadysasynyň ýüze çykmaklygy, diňe bir udel garşylygyň nola öwrülmegi dädir. Ýene bir ýüze çykýan düýpli hadysa olam bolsa ideal diamagnetizmdir. Bu häsiýet 1933 ýylda Meýsner we Oksenfeld tarapyndan açyldy. Bu häsiýetiň düýp mazmuny şundan durýar. Magnit meýdanynda ýerleşdirilen jisim aşageçirijilik ýagdaýyna geçen wagtynda özünde bar bolan magnit meýdanyny «doňdurmaýar», a öz görüminden daşary itekläp çykarýar we ideal diamagnit ýagdaýyna geçýär. Egerdr jisim ýönekeý nol garşylydy ýagdaýyna geçende onda onuň içindäki magnit meýdany, daşyna iteklinmän, jisimiň içinde doňdurýlýar. Şeýlelikde aşageçirijiligiň mazmuny şeýle zatdan, ýagny bir-birine bagly bolmagyn iki sany fundamental häsiýetiň ýüze çykmagydyr: ideal geçirijilik we ideal diamagnetizmdir.

## **1.4. Ýarym geçiriji diodlar.**

### **1.4.1. Ýarymgeçiriji diodlar. Olaryň alnyşy.**

Elektrik signalyny göni däl öwürme üçin niýetlenen ýarymgeçiriji diodlar gaty jisim elektronikasynyň iň bir giňden peýdalynýan priborydyr. Şeýle diodlara, goneldiji diodlar, ýagtylygy duýujy we göýberýän diodlar (fotopriýomnikler we swetodiodlar) girýär. Diodlaryň aglaba köpüsü iki sany dürli tipli, ýagny n- we p-tipli ýarymgeçirijileriň seplesiginiň ajaýyp häsiýetini ulanylyp işläp düzülendir we taýýarlanandyr. Şeýle sepeşikde ýüze çykýan geçişe p-n geçiş, ýa-da elektron -

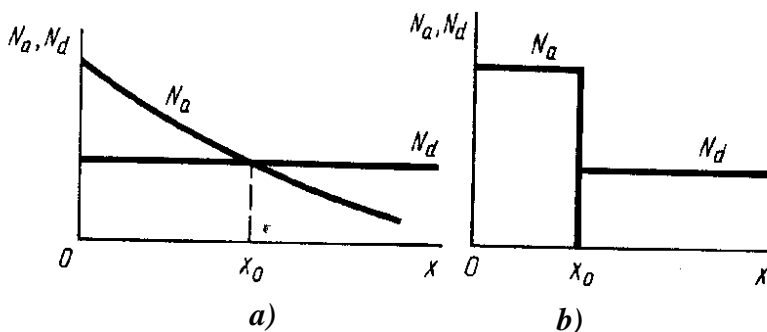
deşikli geçiş diýilýär. p-n-diodlaryň alynyşyna, gurluşyna we işleýiş prinsipine seredip geçeliň.

### *p-n-geçişiň alynyşy.*

Ýarymgeçiriji diodlaryň tehnologiýasynda, dürli tipli ýarymgeçirijileri bir birine galtaşdyryp p-n-geçiş almaklyk mümkin däl. Sebäbi ýarymgeçiriji plastinkasynyň üstüniň ideal tekiz bolmagyny gazanmaklyk mümkin däl, üstesinede islendik gaty gisimiň üsti defektler, dislokasiýalar, daşky hapalar we okis bilen örtülendir. Şol sebäpli ýarymgeçirijiniň içinde (üstki gatladan belli bir çukurlykda) p-n-geçiş almaklygyň tehnologiýasy işlenilip düzülenden soň bu ugurda gaty uly öňegidişlikler gazanyldy.

#### **1.4.2. Diffuziýa usuly.**

Elektron-deşikli geçiş p-tipli ýarymgeçirijä donor garyndysyny ýa-da n-tipli ýarymgeçirijä akseptor garyndysyny diffuziýa etdirmek bilen alynyp biliner. Diffuziýa prosesi plastinkanyň üstüne çaýylan gaty diffuzantlaryň üsti bilen, ýa-da ýarymgeçiriji plastinkasynyň üstünden akyp geçýän gaz geçirijilere (meselem wodorod) garyndylary goşmaklyk bilen, ýokary temperaturada (800-1300°C) amala aşyrylýar. 4.1-nji suratda n-tipli ýarymgeçirijä akseptor garyndysy diffuziýa edilenden soňra donor we akseptor garyndylarynyň koordinata boýunça paýlanyşy görkezilen.



4.1-Surat. Diffuziýa (a) we epitaksiýa (b) usullary p-n-geçişlerde garyndylaryň paýlanylyşy.

4.1-nji suratdan görünişi ýaly ýarymgeçiriji plastinkanyň üstünde geçişin tipi akseptor garyndy bilen kesgitlenilýär, bu ýerde  $N_a > N_d$ . Ýarymgeçiriji plastinkanyň üstünden uzaklaşdygynça  $N_a$  azalyp,  $x_0$  uzaklykda (çuňňurlykda)  $N_a = N_d$  bolýar. Şu tekizlikde hem p-n-geçiş emele gelýär. Bu tekizlikden uzaklaşdygynça akseptor garyndylaryň konsentrasiýasy  $N_a$  kiçelýär we  $N_a < N_d$  şert ýerine ýetýär. Şeýle geçişle ýuwaş-ýuwaşdan «plawnyý» geçiş diýilip at berilýär.

### 1.4.3. Epitaksiýa usuly.

Bu usulyň mazmuny monokristallik ýarymgeçiriji plastinkasynyň üstünde geçirijiliginiň görnüşi gabat gelmeýän (ters tipli) ýarymgeçiriji gatlagy çökdürilýär. Çökdürilen ýarymgeçiriji gatlak bilen esasy, düýp plastinkanyň arasynda p-n-geçiş emele gelýär. ýarymgeçiriji gatlagy çökdürmek prosesi suwuk ýa-da gaz fazadan amala aşyrylyp bilinýär.

Suwuk fazadan amala aşyrylýan epitaksiýanyň mysaly bolup, GaAs esasyň üstünde ergin galliýnin suwuk gatyndysyny ulanyp, GaAs - gatlagyny almaklyk bolup biler.

4.1 - suratda p-tipli esasy alynan n - epitaksial gatlakly p-n - geçişde akseptor ( $N_a$ ) we donor ( $N_d$ ) garyndylaryň (ýagny elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýasynyň) ideal görnüşdäki paýlanyşy birilen.

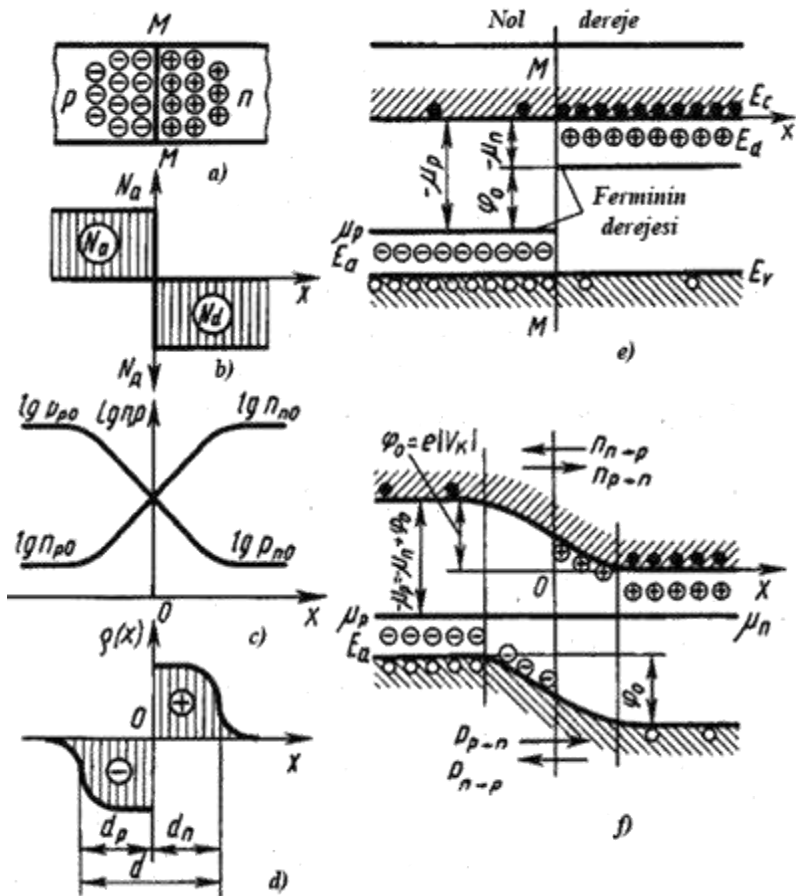
Garyndylaryň şeýle görnüşde paýlanmasyna, ýagny iki tipli (dürli tipli) geçirijiligi bolan ýarymgeçirijileriň dik «rezkiý» araçäginiň bolmagyna - «rezkiý» p-n- geçiş diýilýär. Hakykatda bolsa bu araçäk garyndylaryň özara diffuziýasy esasynda belli bir derejede ýaýraňnydyr.

Soňky döwürde epitaksial p-n-geçişi almagyň dürli usullary, ýagny, suwuk we gaz fazasyndan epitaksiýa usuly, metalorganiki birleşmeleri peýdalanmak, molekulýar-şöhle epitaksiýasy giňden peýdalanylyp başlady.

#### **1.4.4. p-n-geçişiň deňagramlykdaky ýagdaýy.**

Goý MM' tekizlik dürli tipli geçirijiligi bolan iki sany ýarymgeçirijiniň içki araçägi bolsun (4.2 surat); çep tarapda - akseptorlaryň konsentrassiýasy  $N_a$  bolan p-tipli ýarymgeçiriji (p-germaniý); sag tarapda - donorlaryň konsentrassiýasy  $N_d$  bolan n-tipli ýarymgeçiriji (n-germaniý).

Ýönekeýlik üçin  $N_a=N_d=10^{16} \text{ sm}^{-3}$ . Suratdan görünişi ýaly (4.2b surat), donorlaryň we akseptorlaryň konsentrasiýasy MM' tekizlikde (iki görnüşli ýarymgeçirijiniň araçäginde), has çalt, birbada üýtgeýär. Meselem, birbada akseptorlaryň konsentrasiýasy  $N_a$  nola gelip, şol bir wagtda donorlaryň konsentrasiýasy  $N_d$  ululyga çenli ösýär. n-oblast üçin esasy zarýad geçirijileri elektronlar bolup, p-oblast üçin esasy zarýad geçirijileri deşiklerdir.



4.2. Surat. p-n-geçiş deňagramlyk ýagdaýynda.

Esasy zaryadlaryň hemmesi diýen ýaly donor we akseptor garyndylarynyň ionlaşmagy esasynda emele gelýär. Şol sebäpli hem eger donorlar doly ionlasan bolsalar onda n-ýarymgeçirijidki elektronlaryň konsentrasiýasyny  $n_{n0}$  donor atomlarynyň konsentrasiýasyna deň diýip bolar ( $n_{n0} \sim N_d$ ), p-tarapdaky deşiklerin konsentrasiýasyny ( $p_{p0}$ ) akseptor atomlarynyň konsentrasiýasyna deň diýip bolar ( $p_{p0} \sim N_a$ ).

p- we n-ýarymgeçirijilerde esasy zaryad geçirijilerinden başgada esasy däl zaryadlar hem bar, meselem n-ýarymgeçirijide deşikler ( $n_{p0}$ ), p-ýarymgeçirijide elektronlar

( $p_{n0}$ ). Massanyň saklanmak kanunyny ulanyp olaryň konsentrasiýasyny tapmak bolýar.

$$n_{n0}p_{n0}=p_{p0}n_{p0}=n_i^2, \quad (4.1)$$

bu ýerde  $n_i$ - hususy ýarymgeçirijidäki zaryad geçirijileriniň konsentrasiýasy.

Haçanda  $n_{n0}=p_{p0}=10^{22} \text{ m}^{-3}$  we  $n_i=10^{19} \text{ m}^{-3}$  bolsa onda  $p_{n0}=n_{p0}=10^{16} \text{ m}^{-3}$  bolar.

Görüşimiz ýaly, deşikleriň konsentrasiýasy p-bölekde we elektronlaryň konsentrsiýasy n-bölekde, esasy däl zaryadlaryň konsentrasiýasyndan alty dereje uludyr. Şeýle konsentrasiýanyň uly tapawudy elektronlaryň n-oblastdan p-oblasta, deşikleriň bolsa p-oblastdan n-oblasta diffuzion akymyny emele getirýär. n-oblastdan p-oblasta geçen elektronlar uzaga gitmän p-oblastyň deşikleri bilen rekombinirlenýär. p-oblastdan n-oblasta geçen deşikler, n we p oblastyň araçäginden uzaga gitmän rekombinirlenýär. netijede n-oblastda, araçäginiň ýakynynda, erkin elektronlar ýok diýen ýalydyr, onda ionlaşan göwrüm zaryadlarynyň (ionlaşan donorlaryň göwrüm položitel zaryady emele gelýär) (4.2a surat).

Sepleşigiň ýakynynda p-oblastda deşik ýok diýen ýaly bolup, ionlaşan akseptorlaryň otrisatel göwrüm zaryady emele gelýär. 4.2f suratda geçişde emele gelen göwrüm zaryadlary görkezilendir. Hereketsiz göwrüm zaryatlary p-n-geçişde potenciallaryň tapawudy  $U_k$  bolan, seplesik elektrik meýdanyny emele getirýär. Şol sebäpli hem seplesigiň meýdanynyndan daşarda erkin zaryadlar haotiki hereket edýarler.

Şeýlelikde termodinamiki deňagramlaşyk ýagdaýynda p-n-geçişden bir-birine ululygy boýunça deň bolan elektronlar we deşikler n-tarapdan p-tarapa we tersine geçip bilerler. Beýle deňligi seplesikdäki potenciallaryň tapawudy emele getirip, esasy zaryadlaryň akymyny esasy däl zaryadlaryňka çenli azaldýar.

## 1.5. Deňagramlykda däl p-n-geçiş.

### 1.5.1. Deňagramlykda däl p-n-geçiş. p-n-geçişiň barýer sygymy.

Elektron-deşikli geçiş, dürli görnüşdäki ýarymgeçiriji priborlar üçin esasy bölüp durýar. Konstruksiýasy boýunça in ýönekeý ýarymgeçiriji pribora diod giýilip at berilýar. Diodyň n- we p-taraplaryna metal elektrodларыnyň kömegi bilen sep emele getirliپ üstünden tok göýberilýar. Ýarymgeçiriji bilen metalyň sepleşiginiň oiki garlyşygy kiçi we göniçyzykly bolup, p-n-geçişiň garşylygyndan has azadyr.

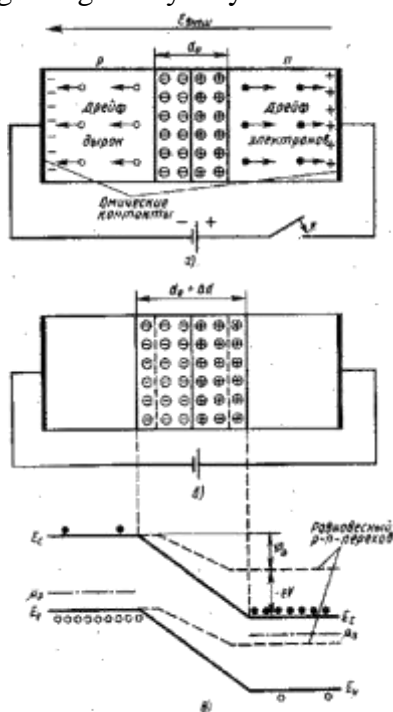
P-n- geçişi daşky meýdanyň täsiri esasynda seredip geçeliň. Haçanda daşky elektrik meýdanyň položitel polýusy (+) p-n-geçişiň n-tarapyna birikdirilse, hem-de minus (-) p-tarapyna birikdirilse şeýle ugra ters ugur giýilýar (5.1 Surat). P-n-dioda ters ugra daşky elektrik meýdany ( $\epsilon_d$ ) täsir etse, onda bu meýdan esasy zaryad geçirijileriniň strelka bilen görkezilen ugurlara dreýfini ýüze çykýar. Şeýlelikde n-oblastdaky elektronlaryň we p-oblastdaky deşikleriň aglabasy p-n-geçişden yza çekilip, ionlaşan akseptorlar we donorlar üçin täze ýer açylýar we göwrüm zaryadynyň giňligi  $d_0 + \Delta d$  ululyga giňelýar.

Elektronlaryň we deşikleriň omiki kontaktlara tarap akymy daşky goýulan e.h.g. doly kompensirlenýançä dowam eder. Soňra umumy goýulan naprýaženiýanyň aglabasy p-n-geçişde çöker.

5.1. Surat. p-n-geçişdäki geçiş hadysalary, (a) durnukly ýagdaýynda, (b,ç) diod ters elektrik meýdanynda.

Ters tarapa berilen daşky elektrik meýdanynda otrisatel ugur diýilip, şeýle meýdanyndaky wolt-amper harakteristika - wolt-amper harakteristikanyň ters şahasy diýilýar. Suratdan görünişi ýaly potensial päsgelçiligiň beýikligi daşky täsir edýan naprýaženiýa baglylykda -  $eU$  ululyga artýar. Göni ugur boýunça daşky elektrik meýdany täsir edende (plýus - p-

oblasta, minus - n-oblasta) n- we p-oblastlardan elektronlaryň we deşikleriň p-n-geçişiň göwrüm zarýadlaryna tarap hereketi ýüze çykýar (5.2. Surat). Bu proses p-n-geçişdäki potentsiallaryň tapawudy  $U_k - U$  ululyga kemelýänçä dowam eder. Göwrüm zarýadynyň giňligi  $d_0 - \Delta d$  ululyga çenli daralýar. Suratdan görünişi ýaly potensial barýeriň beýikligi göni ugra meýdanyň täsiri esasynda  $eU$  ululyga peselýär.



**5.2. Surat.** Dioddaky geçiş hadysalary (a), durnukly ýagdaýynda (b), göni ugra elektrik meýdany täsir edende.

Şeýlelikde, dioda daşky elektrik meýdany täsir edende, ilki bada iki sany ýarymgeçirijiniň araçäginde (p-n-geçişde) göwrüm zarýadynyň giňelmegine ýa-da daralmagyna getirýän togyň impulsy ýüze çykýar. Şol sebäpli hem p-n-geçiş özüni sygym ýaly alyp barýar. Bu sygyma barýer (ýa-da zarýad), sygymy diýilýär, sebäbi ol p- we n-oblastlaryň aralygyndaky



potensial barýeriň üýtgemegi bilen baglydyr. Barýer sygymynyň ululygy  $C_b$ :

$$C_b = \frac{dQ}{dU}, \quad (5.1)$$

bu ýerde  $dQ$  - p-n-geçişde zarýadyň üýtgemegi;  $dU$  - barýerde potensiallaryň tapawudynyň üýtgemesi. Çyzgydan (15.1-Surat) görünişi ýaly tekiz p-n-geçiş, tekiz kondensatora meňzeş. Şol sebäpli hem barýer sygymynyň bahasyny, tekiz kondensatoryň formulasyny ulanyp kesgitlemek mümkin.

$$C_b = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} \quad (5.2)$$

bu ýerde  $s$  - p-n-geçişiň meýdany;  $\varepsilon$  - ýarymgeçirijiniň otnositel dielektrik syzyjylygy;  $d$  - göwrüm zarýadynyň gatlagynyň giňligi.

P-n-geçişiň barýer sygymynyň kondensatoryň sygymyndan tapawudy, olam göwrüm zarýadynyň giňliginiň ( $d$ ), daşky elektrik meýdanynyň ululygyna we ugruna baglylygydyr.

$$d \approx \left[ \frac{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0 (\varphi_0 - eU)}{e^2 N_d} \right]^{1/2} \quad (5.3)$$

haçanda  $N_a \gg N_d$  bolanda. Barýer sygymynyň bahasyny ( $C_b$ ), (5.3) deňligi (5.2)-ä goýup alarys.

$$C_b = S \left[ \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot e^2 N_d}{2(\varphi_0 - eU)} \right]^{1/2} \quad (5.4)$$

Bu formula p-n- geçiş gaty dik (birbada) bolan ýagdaýynda dogrydyr. Haçanda p-n-geçiş ýaýraňňy (plawnyý) bolan ýagdaýda sygym:

$$C_b = s \left[ \frac{(\varepsilon \cdot \varepsilon_0)^2 e^2 \cdot a}{12(\varphi_0 - eU)} \right]^{1/3} \quad (5.5)$$

### 1.5.2. P-n- geçişde göni we ters toklar.

Daşky elektrik meýdanynyň täsiri esasynda barýer sygymynyň zarýadlanmagynyň tamamlanmagy bilen, p-n-geçişden toguň geçmesi tamamlanmaýar, daşky täsir esasynda p-n-geçişiň barýerinden bir taraplaýyn artykmaç tok geçmegini dowan etdirýär.

Esasy däl zarýad geçirijileri, meselem diodyň p-böleginde elektronlar, haotiki hereket esasynda, öz emele gelen ýerinden ortaça duffuziýa aralygyna deň bolan aralyga çenli ýetip bilýärler. Bu aralyk  $L$  zarýad geçirijileriniň ýaşaýyş wagtyna göni baglydyr

$$L = \sqrt{D \cdot \tau} \quad (5.6)$$

bu ýerde  $D$  - diffyziýa koeffisiýenti,  $\tau$  - erkin zarýadyň ýaşaýyş wagty. Hakykatda zarýadlar öz ýaşaýyş wagtynyň dowamynda, diffuziýa uzynlygy bolan  $L$  - den gaty köp aralyga ýetip bilýärler.

Eger erkin zarýadyň emele gelen nokadyndan göwrüm zarýadyna çenli aralyk, diffuziýa aralygyndan kiçi bolsa, onda bu zarýadyň hiç bolmanda bir gezek göwrüm zarýadynyň gatlagyna girip, onuň meýdany tarapyndan çekilip alynjakdygynyň ähtimallygy bire deňdir. Şeýle zarýadlar p-n-geçişiň ters togyny emele getirýär. Şeýlelikde ters toguň ululygy hasaplanylanda, galyňlygy  $L$  bolan gatlakdaky emele gelen zarýadlar hasaba alynyp, olaryň bary hem p-n-geçişe ýetýär diýip hasap edilýär.

Umuman aýdanda p-n-geçişden akýan (geçýän) ters toguň ululygy  $I_s$  şeýle hasaplanylýar.

$$-I_s = -I_{ns} - I_{ps} = eS \left( \frac{n_{po}}{\tau_n} \cdot L_n + \frac{p_{no}}{\tau_p} L_p \right) = eS \left( \frac{n_{po} \sqrt{D_n}}{\sqrt{\tau_n}} + \frac{p_{no} \sqrt{D_p}}{\sqrt{\tau_p}} \right) \quad (5.7)$$

Bu ýerde S-p-n geçişiň meýdany. Togyň n-tarapdan p-tarapa akýanlygy sebäpli, ters toguň alamaty minusdyr. P-n-geçişiň meýdany tarapyndan ters tarapa geçirilen zarýad, bu tarapda esasy zarýadlara goşulyp, zarýadlaryň daşky elektrik zynjyryna geçmegi sebäpei, gaty çalt ýitýer.

Bu tokuň ululygynyň ( $I_s$ ) uly naprýaženiýada daşky meýdana bagly dälligi sebäpli, oňa köplenç doýdun tok, ýa-da ýylylyk generasiýa togy diýilip aýdylýar.

Ýarymgeçirijide ýylylyk generasiýasy esasynda döreyän zarýad- laryň sany, haçanda daşky meýdanyň täsiri ýok bolan ýagdaýynda ( $U = 0$ ), ters ugra täsir meýdanyň ululygy  $U > 0$  ýagdaýynda-da, ululygy  $U > 0$  bolan meýdan göni ugra täsir edendede üýtgemän galýar. Şol sebäpli hem deňagramlyk ýagdaýynda esasy däl zarýadlaryň togy, garşylyklaýyn esasy zarýadlaryň togy bilen kompensirlinýär we jemliýji tok

$$-I_s + I_s = 0 \quad (5.8)$$

Emma esasy zarýadlaryň akymy, potensial päsgelçiligiň beýikligine ( $U$ ) baglydyr. Päsgelçiligiň deňagramlykdaky ýagdaýy üçin  $\varphi_0$  esasy zarýadlaryň akymy  $e^{-\varphi / (kT)}$  proporsionaldyr;

Eger potensial päsgelçilige göni ugra  $U$  daşky meýdan goýulsa, onda potensial päsgelçiligiň ululygy  $\varphi_0 - eU$  ululyga çenli kiçelýär we esasy zarýadlaryň akymy  $e^{eU / (kT)}$  gezek artýar. Onda esasy zarýadlaryň togy

$$I_{esasy} = I_s \cdot e^{eU / (kT)} \quad (5.9)$$

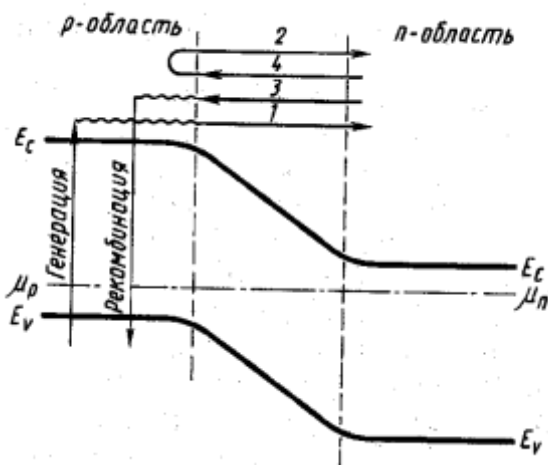
bolýar. Jemleýji tok

$$I = -I_s + I_s \cdot e^{U/(kT)} = I_s (e^{U/(kT)} - 1) \quad (5.10)$$

Esasy zaryadlaryň togy , olaryň akymyna garanynda elmydama kiçidir, sebäbi toga goşant diňe päsgelçilikden geçip, garşylykly tarapda rekombinirlenýän zaryadlar berýär.

Esasy zaryadlaryň bir bölegi, öz ýaşayyş wagtynyň dowamynda, täzeden p-n-geçişi yzyna kesip geçip ýetişýär (meselem, elektronlar - n - tarapa, deşikler bolsa - p - tarapa yzyna geçýärler). Bu proses 5.3 - nji suratda dörkezilendir .

5.3 suratda deňagramlykdaky p - n - geçişden geçýän elektronlaryň akymlary görkezilen. p - tarapdan ýylylyk generasiýasy esasynda ýuze çykan elektronlaryň akymy (1) göwrüm zaryady kesip geçýär. Onuň garşysyna n - tarapdan gaýdyp p - tarapda rekombinirlenýän elektronlar gelýarler (3). Ondan başgada elektronlaryn bir topary (4) n - tarapdan p - tarapa geçip, birnäçe gezek çaknyşma sezewar bolup, yzyna n - tarapa gaýdyp barýar (2).



5.3. Surat. Deňagramlykdaky p-n-geçişde elektronlaryň akymy.

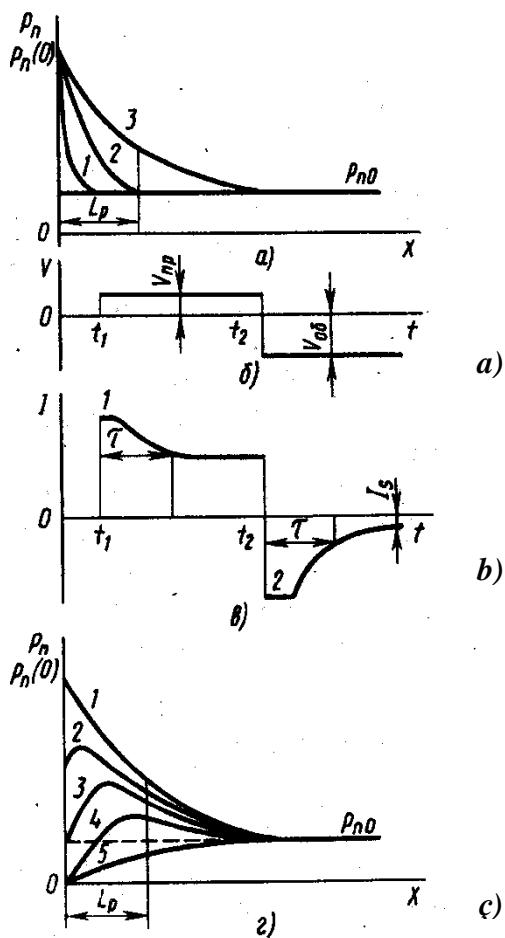
p- n - diodlaryň wolt-amper häsiýetnamalary, (5.10) deňlikden görünişi ýaly, käber üýtgeşikliklere ( $I_s$ ) seretmezden, metal- ýarymgeçiriji ýa-da Şottki barýeri diodlarynyňka meňzeşdir.

*P-n-geçişiň impuls we ýygylýk häsiýetleri.*

Elektronikada, radioelektronikada, hasaplaýyş tehnikaşynda we awtomatikada impuls shemalarda ýarymgeçiriji diodlar giňden peýdalanylýar. Diodlaryň bu maksat üçin işe ukyplydygyny kesgitleýän esasy häsiti olaryň çaltlygydyr. Diodlaryň çaltlygy p-n-geçişde göni utgaşma ýagdaýyndan, ters ytgaşma ýagdaýyna geçişi we tersine geçişiň wagtyňyň uzaklygy bilen kesgitlenilýär.

Wagtyň geçmegi bilen n-tarapa, inžektirlenen deşikleriň paýlanyşynyň üýtgeýşi 5.4a suratda görkezilen. Göni ugra daşky meýdanyň birleşmeginiň başlangyç momenti (5.4b surat,  $t_1$  moment), deşikleriň konsentrasiýasynyň gradiýenti gaty ýokarydyr (5.4a surat, 1egri).

Sebäbi n-tarapa inžektirlenen deşikler araçakde ýuka gatlakda toplanandyr. Artykmaç deşikleriň ýaşaýyş wagtyna deň wagtda  $\tau_p$ , olaryň n-tarapda paýlanyşy stasionar ýagdaýa ýetýär, göni tok özüniň adaty ýagdaýyna gelýär. Şeýlelikde, utgaşmada dioda geçiş hadysasy bolup geçýär (göni utgaşmada esasy däl zarýadlaryň toplanmasy we ýaýramagy ters utgaşmada). Bu geçiş hadysasy diodyň çaltlygyny çäkleýär. Geçiş hadysasynyň, esasan artykmaç zarýadlaryň ýaşaýyş wagtynda  $\tau$  tamamlanýandygy sebäpli, bu wagtda hem impuls diodlarynyň çaltlygyny kesgitleýär.



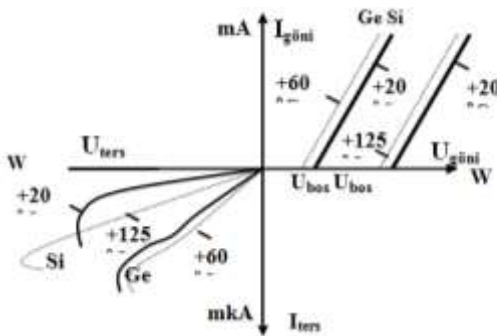
15.4. Surat. p-n-geçişde impuls häsiýetiniň ýüze çykyşy.

## 1.6. Diodyň köp görnüşligi.

### 1.6.1. Göneldiji diodlar

Göneldiji diodyň Wolt-Amper häsiýetnamasy diýlip, dioddan akyp geçýän toguň we oňa berilen naprýaženiýeniň polýarlaryna görä baglansygyna aýdylýar.

Tejribe arkaly derňelen diodlaryň Wolt-Amper häsiýetnamalaryny gurup, diodyň nähili dioddygyny, onuň **p-n** geçelgesiniň giňligi bosogadaky  $U_{bosoga}$  - naprýaženiýe bilen kesgitlenilýär.



6.1-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 (6.1-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.

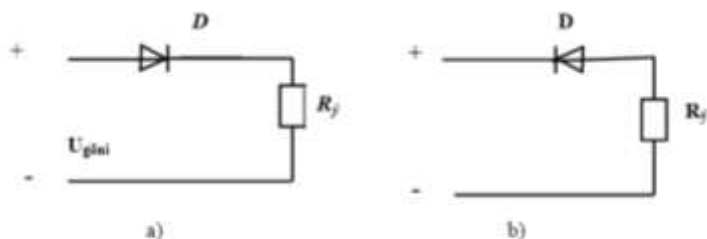
Kremniýniň häsiýetnamasynyň temperatura baglylykda çepesine ýa-da sagasyna süýşmegi Germaniý bilen deňeşdirlende epesli kiçidir. Diýmek Kremniýden ýasalan diodlar temperatura has çydamlydyr.

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

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

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

6.2-nji çyzgyda diodlaryň shemalary bolup biläýjek iki ýagdaýy görkezildi.



6.2-nji çyzgy. Göneldiji ýarymgeçiriji diodlaryň göni - a), ters - b) birleşdiriliş shemalary.

Göneldiji diodlaryň esasy parametrleri diýlip, şu aşakdaky parametrlere düşünilýär.

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

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

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

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

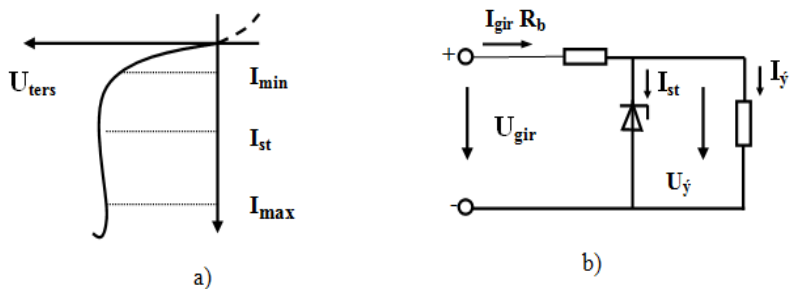


$I_{\text{ters}} [I_R]$  – Ters toguň täsir bahasy ;

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

### 1.6.2. Stabilitrnlar.

Ýüke gelyän naprýaženiýeni stabill (sarsdyrman) saklamak üçin niýetlenilen dioddyr. 6.3-nji çyzgyda stabilitrnyň Wolt-Amper häsiýetnamasy a) shemalara birleşdirlişi görkezildi.



6.3-nji çyzgy. a) Stabilitrnyň Wolt-Amper häsiýetnamasy;  
b) Shemalara birleşdirlişi.

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

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

Shemalarda stabilitrnyň diňe ters Wolt –Amper häsiýetnamasy ulanylýar (6.2-nji **a** çyzga seret).

Stabilitrnyň shemalarda birleşdirlişi 6.2-nji **b** çyzgyda görkezildi.

Shemada:  $U_{\text{gir}}$ ;  $U_{\text{çyk}}$  - girelgedäki we çykalgadaky naprýaženiýeler;

$I_Y$ ;  $R_Y$  - elektrik ýüküniň togy we garşylygy;

$U_{\text{st}}$ ;  $I_{\text{st}}$  - stabilitrndaky tok we naprýaženiýe;

$I_{\text{gir}}$  - girelgedäki tok;

$R_b$  - ballast(söndüriji) garşylyk.

Shema üçin Kirhgofyň kanunlary :  $I_{gir} = I_{st} + I_Y$   $U_{gir} = R_b I_{gir} + U_{st}$

Elektrik ýüküň  $R_Y$  - garşylygy üýtgedilmän saklananda girelgedäki  $U_{gir}$  - naprýaženiýeniň san bahasyny ösdürsek zynjyrdaky  $R_b$  - garşylykdan we stabilitrondan akýan toklar köpeliýärler.

Naprýaženiýe  $U_Y = U_{st}$  - hemişelik ululyklarynda saklanýarlar, emma girelgede emele gelen artykmaç  $U_{gir}$  – naprýaženiýe  $R_b$  – garşylyga siňýär.

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

Göni naprýaženiýeniň tokdan azajyk baglansykly ýerlerinde wolt-ampere baglansygyň işewür bölegini durnukly peýdalanmak üçin şol bölege degişli naprýaženiýeni stabil saklamak maksady bilen ýörite diodlar ulanylýar. Bu diodlara **stabistor** diýilýär. **Stabilitronyň** esasy parametrleri:

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

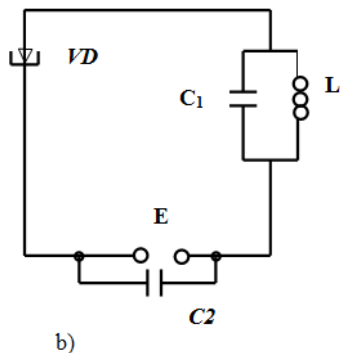
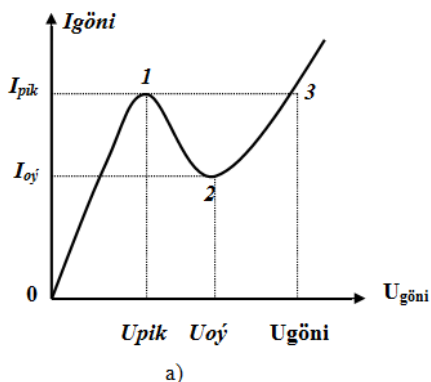
$I_{st}[I_{max}]$  - stabilirlenen tok;

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

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

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

ç) **Tunnelli diod**. 6.2-njy çyzgyda tunnelli diodyň Wolt-Amper baglansygy we shemalara birleşdirilişi görkezildi.



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

Tunnelli diodyň Wolt-Amper baglanşygynda aşak düşýän bölegi (1-2 aralyk) ýörite öwrenilmäge mynasyypdyr, 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  $I_{oy}$  – görnüşde belgilenýär. Aşaklygyna ýykylýan 1-2 aralyk baglanşygyň minus alamatly differensial garşylygyny kesgitleýär.

$$R_{dif} = \frac{\Delta U_{göni}}{\Delta I_{göni}} < 0$$

Sebäbi, göni naprýażeniýeniň ösmegi bilen 1-2 aralykda toguň bahasy peselýär, 2-nji nokatda tunnelli effekt ýitýär, sebäbi **p** we **n** böleklerdäki gadagan zonalaryň derejeleri deňleşýärler we bir bitewi akyma öwrülýärler. Ikinji nokatdan soň göni naprýażeniýeni ulaldanyň bilen tok hem özüniň göni ösmegini down edýär. Bu ösüş esasy zarýadlary äkidijileriň diffuzirlenmegi bilen düşündirilýär, sebäbi 2-3 aralykda

päsgelçiligiň potensialy azalýandygy üçin özüni adaty diod ýaly alyp barýar.

Tunnell diodlarynyň esasy parametrleri diýlip, şu aşakdaky ululyklara düşünilýär :

$I_{\text{pik}}$  – pik togy;

$U_{\text{pik}}$  – 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);

$I_{\text{göni}}$  – şadaky göni we hemişelik tok (girelgede);

$U_{\text{göni.mah}}$  – girelgedäki şhada 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

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

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 öwezini doldurylýar we sönmeýän yrgyldylary alyp bolýar.

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

### **1.6.3. Ortaça kuwwatly diodlaryň harpla 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 belgilerinň düşündürlişini özleşdireliň :

**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 ýygylykda 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.

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

Eger-de bäşinji elementden soň **defis** (çyzyk) bilen ýazylsa korpusyz abzaldygyny aňladýar. **P ; T ; Г ; К ; Н** – 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.

#### **1.6.4. Tunnel diodlary.**

Tunnel diodlary gaty ýokary konsentrasiýa çenli garyndyly ýarymgeçirijileriň esasynda taýýarlanylýar. Şeýle ýarymgeçirijilerde Ferminiň derejesi gadagan zonanyň içinde ýerleşmän, n-tarapda geçiş zonanyň içinde, p-tarapda bolsa walent zonanyň içinde ýerleşýär (6.4 surat). 6.4 suratda tunnel geçişiniň deňagramlyk ýagdaýynyň energetiki shemasy görkezilen. Çyzgydan görünişi ýaly, p-tipiň walent zonasy, n-tipiň geçiş zonasy bilen bir-birine tarap bölekleyin geçýärler (частично перекрываются).

Daşky meýdan täsir etmedik ýagdaýynda, tunnel toguň akymy (1) (ters tok) we göni toguň akymy bir-birine deňdir. Haçanda ters naprýaženiýa täsir eden wagtynda zonalaryň bir-birini örtmesi artyp, çepden saga geçýän elektronlaryň sany artýar. Şeýlelikde ters toguň ululygy artýar, onuň artmasy ters

elektrik meýdanyna göni proporsionaldyr. P-n-geçişe göni ugra elektrik meýdany birikdirilende, zonalaryň bir-birini örtmesi keçelip, göni ugra elektronlaryň akymy artyp başlaýar, onuň tersine ters ugra elektronlaryň akymy kiçelýär. Haçanda p-n-geçişiň n-tarapyňyň geçiş zonasynyň düýbi p-tarap üçin Ferminiň derejesi bilen deňleşen ýagdaýynda, göni ugra tok maksimuma ýetýär. Mundan beýläk göni ugra daşky meýdanyň artmagy bilen, tok kiçelýär, sebäbi p-tarapyň boş energetik derejeleriniň garşylynda duran n-tarapyň derejelerinde elektronlaryň sany azalýar. Şeýlelikde haçanda n-tarapyň geçiş zonasynyň düýbi, p-tarapyň walent zonasynyň depesi bilen bir derejede bolan ýagdaýynda göni tok özüniň minimal bahasyna ýetýär (6.4b surat).

Mundan beýläk göni ugra täsir edýän daşky meýdanyň (naprýaženiýanyň) artmagy, umuman belli diodlarda boluşy ýaly, p-n -geçişden diffuziýa togunyň eksponenta boýunça artmagyna getirýar.

Suratdan görünişi ýaly tunnel diodlaryň volt-amper häsiýetnamasynyň (VAH) esasy aýratynlygy, onuň VAH - nyň göni şahasynda naprýaženiýanyň artmagy bilen toguň kemelýan böleginiň ýüze çykmagydyr, ýagny diod otirisatel differensial garşylyga eýedir. Tunnel diodlarynyň bu häsiýetini, elektromagnit tolkunlaryny generirleme üçin, elektrik toguny aýyryp çatyjylar (pereklýuçatel) üçin peýdalanmak mümkin.

Tunnel diodlarynda, tunnel togy ýüze çykýanlygy sebäpli, p-n -geçişde zarýadlaryň toplanma we ýaýrama prosessi ýok diýen ýaly, şol sebäpli hem bu diodlaryň ýygylk häsiýetnamalary gaty kâmil we çaltlygy beýleki diodlaryňkydan ýokarydyr.

## 1.7. Tranzistorlar, tranzistordaky prosesler.

### 1.7.1. Umumy maglumatlar

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

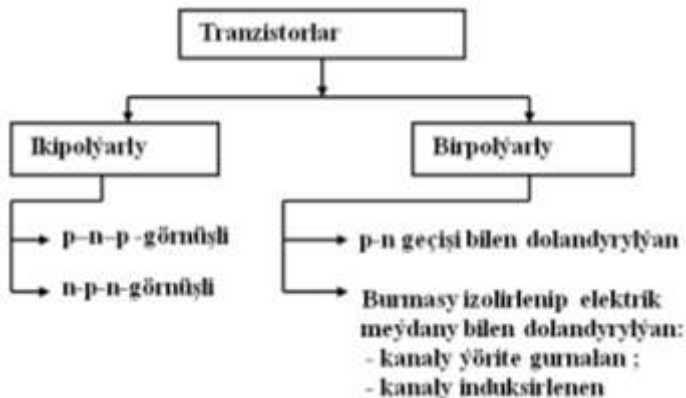
**Tranzistor** [İňlis sözi – **tran** (sfor) – üstünden geçirýän + (re) **zistor** – garşylyk] sözlerden döräpdir.

### 1.7.2. Tranzistorlaryň görnüşleri.

Islendik tranzistor ýarymgeçirijilerden ýygnaýar we olary görnüşleri boýunça iki topara bölýärler :

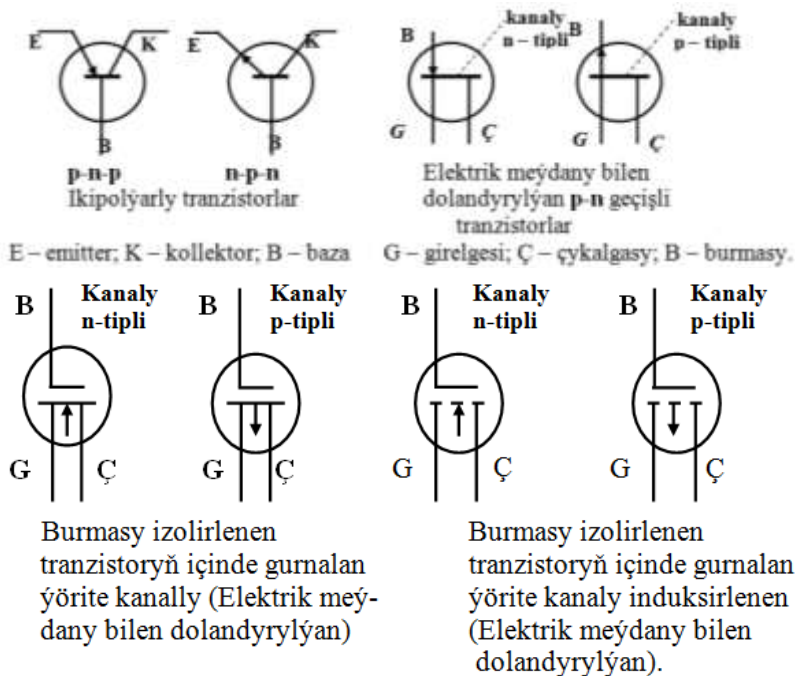
- 1) Ikipolýarly (**bi**-polýarly) tranzistorlar ;
- 2) Birpolýarly (**uni**-polýarly) tranzistorlar.

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.





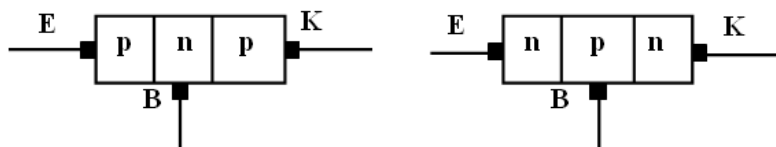
### 1.7.3. Shemalarda belgilenişi



### 1.7.4. Ikupolyarly (bi-polyarly) tranzistorlar.

**Kesgitlemesi :** Ikupolyarly tranzistorlaryň üç sany çykalgasy (elektrody) bolup, iki sany **p-n** geçişli ýarymgeçirijilerden gurnalan abzaldyr. Ikupolyarly tranzistorlaryň güýçlendiriş ukyby inžeksiýa (çüwdüriliş) hadysasyna hem-de toguň bazadan akdyrlyşyna ýagny ekstrasiýasyna baglydyr (Ekstrasiýa-Latyn sözi-daşyndan täsir edilişine bagly diýmekdir).

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



7.1-nji çygy. Ikipolýarly tranzistoryň gyrлуşynyň şertli düşündirişi.

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.

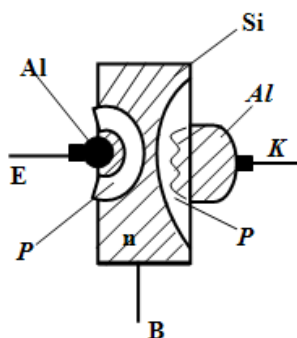
Emitter bilen baza aralygyndaky elektron-deşik (**p-n**) geçişe emitterli geçiş, kollektor bilen baza aralykdaky (**p-n**) geçişe bolsa kollektorly geçiş diýilýär.

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



7.2-nji çyzgy. Eredilip kebsirlenen tranzistoryň gurluşy.

Germaniý üçin – Indiý elementi ;

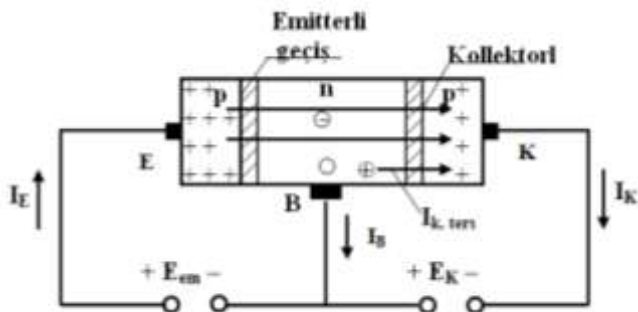
Kremniý üçin – Alýuminiý elementi

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

Şular ýaly tehnologi proseslerden soň **p**-niň meýdançasý bilen **n**-niň meýdançasynyň aralarynda **p-n**

geçişler emele gelýär.

**Tranzistoryň işledilişi** . Ikipolyarly tranzistorlar işlände togy döredijileriň ikisinden-de (elektronlardan we deşiklerden) bagly bolýarlar. Şonuň üçin-de iki polyarly 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.



7.3-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 edilmeýär.

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

**I<sub>E</sub>** – emitter togy döreýär. Baza tarap geçýän deşikler emitterli geçişin 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<sub>ters</sub>** – naprýaženiýeniň täsirinden deşikli geçirijileriň tutulmaklary (ekstrasiýasy) bolup geçýär. Ekstrasiýa wagty deşikleriň bazadan kollektora tarap hereketinden **I<sub>K</sub>** – kollektor toguny döredýär. Emitterden baza tarap çüwdürilen (inžektirlenen) deşikleriň az-bölegi bazadaky elektronlar bilen kompensirlense-de olaryň öwezini (ýerini) daşky **E<sub>em</sub>**- çeşmäniň üsti bilen doldurylyp durulýar. Şonuň netijesinde bazadan hem **I<sub>B</sub>** – tok akyp başlaýar.

Bazanyň örän ýukalygy hem-de esasy togy döredijileriň toplanmagynyň (üýşmeginiň) azlygy sebäpli bazadaky **I<sub>B</sub>** – tok örän ujypsyzdyr.

Şular ýaly şertlerde bazadaky **I<sub>B</sub>** – togy kesgitleýjiler (kompensirlenen deşikleriň mukdary beýle bir uly däldir).

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

Emitter tarapdaky p-n geçişde **U<sub>göni</sub>** – 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 zaryadlary äkidijileriň hereketlerini emitterdäki togy üýtgetmek bilen amala aşyrylýar. Diýmek, ikipolýarly (**bi** – polýarly) tranzistorlar tok bilen dolandyrylýar.

Emitterli **p-n** geçişň  $U_{göni}$  - napryäženiýesini 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.

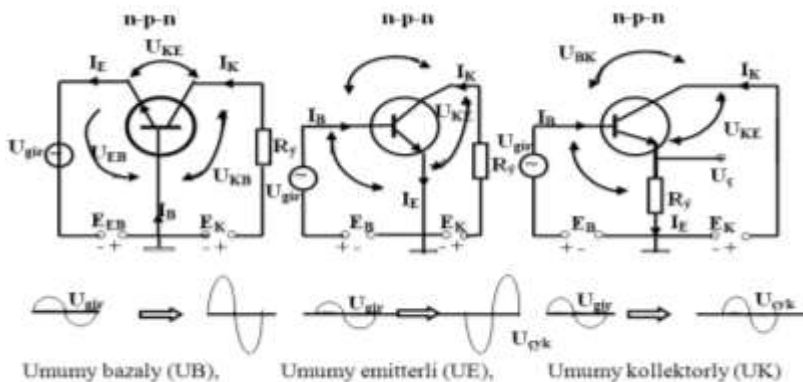
## 1.8. Tranzistorlaryň shema birleşdirilişi. Statiki häsiýetnamalary.

### 1.8.1. Ikipolýarly tranzistorlaryň shemalara birleşdirilişi.

Elektrik zynjyrlarynyň 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 duş gelinýär: 1) Umumy bazaly **U B** ; 2) Umumy emitterli **U E** ; 3) Umumy kollektorly **U K** . Bu görnüşleriň shemalary

8.1-nji çyzgyda görkezildi.



8.1-nji çyzgy. n-p-n gömügli 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 :

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

Umumy emitterli (UE) shemanyň häsiýetleri :

1. Örän kiçi  $R_{gir}$  - we örän uly  $R_{çyk}$  – garşylyklary bilen tapawutlanýar.
2. Signallaryň güýçlenmegi fazalarynyň  $180^0$  – 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 .

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

### **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.

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

### **1.8.2. 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 suratlandyryýan baglanşyklardyr. Olardan girelgesini häsiýetlendirýän baglanşyk diýlip, tranzistoryň çykalgasyndaky  $U_{çyk}$  – naprýaženiýeni hemişelik saklap, girelgesindäki  $I_{gir}$  – tok bilen  $U_{gir}$  – naprýaženiýeniň baglanşyklaryna aýdylýar.

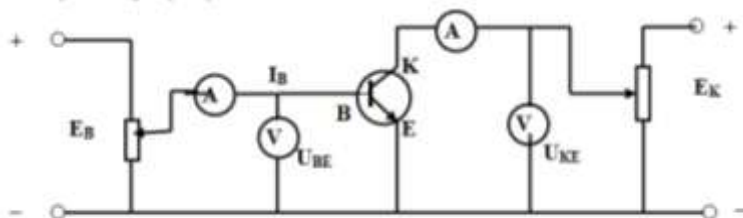
$U_{çyk} = \text{hemişelik bolanda } I_{gir} = f(U_{gir})$

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

$U_{çyk}$  – naprýaženiýeniň baglanşyklaryna aýdylýar.

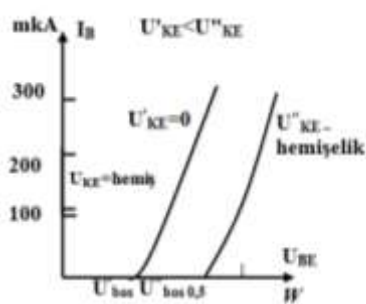
$I_{gir}$  = **hemişelik** bolanda  $I_{çyk} = f(U_{çyk})$

Tranzistorlaryň statiki häsiýetnamalaryny tejribe arkaly derňelişiniň shemasy 8.2-nji çyzgyda görkezildi.

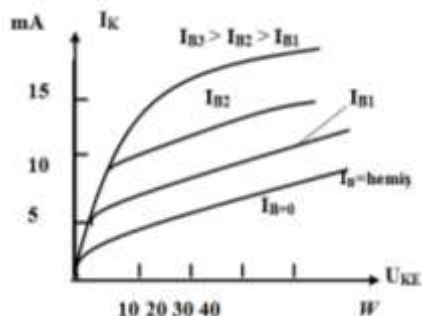


8.2-nji çyzgy. Emitteri umumylaşdyrýan tranzistoryň statiki häsiýetnamasyny derňemek üçin hödürileniýän shema.

Tranzistoryň häsiýetnamalarynyň görnüşleri tranzistoryň shemalarda birleşdirilişine baglydyr. Tranzistorlaryň shemalara birleşdirilmeginiň in köp ýaýrany emitteri umumylaşdyrýan görnüşidir. Şonuň üçin-de diňe umumy emitterli shema üçin girelgesini we çykalgasyny häsiýetlendirýän baglanşyklary görkezmek bilen çäklenýäris (8.3-njy çyzgyda görkezilen grafiklere seret).



Girelgesiniň häsiýetnamasy

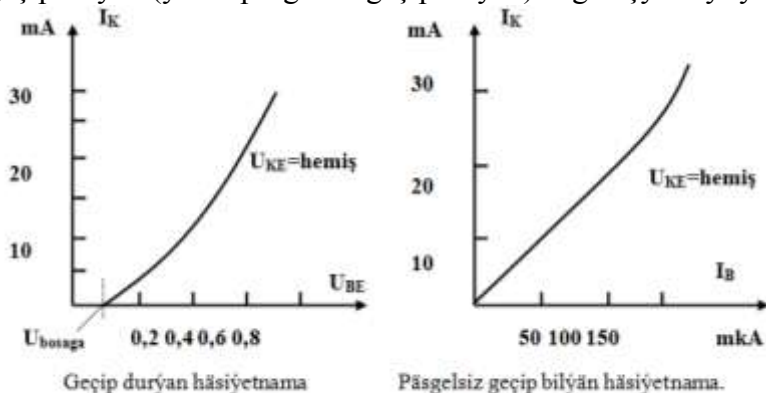


Çykalgasynyň häsiýetnamasy

8.3-njy çyzgy. Emitteri umumylaşdyrýan 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.



8.4-nji çyzgy. Emitteri umumylaşdyrılan tranzistoryň häsiýetnamalary.

Geçip durýan häsiýetnama koordinatyň merkezinden başlanman  $U_{BE}$  – naprýaženiýeniň **bosagasy** diýilýän ýerinden başlanýar. Tranzistoryň açylmagynyň öň 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  $I_K = f(I_B)$  baglanyşyk 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.

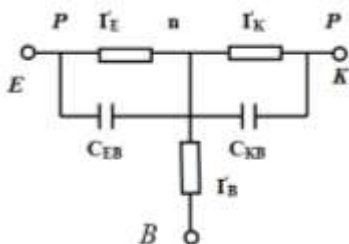
Baglanyşyklaryň ýokary süýşmekleriniň esasy sebäpleriniň biri kollektordan tersine (yzyna tarap) akýan toguň köpelmegidir, has-hem emitteri umumylaşdyrılan shemalarda onlarça, hat-da ýüzlerçe esse köpelmegi bilen düşündirilýär. Bulardan başga-da, emitteri umumylaşdyrılan shemalarda toguň güýçlenmegi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

## **1.9. Ekwiwalent, hasaplama parametrler, tranzistorlaryň h-parametri.**

### **1.9.1. Tranzistorlaryň ekwiwalent parametrleri.**

Islendik tranzistoryň häsiýetlerine degişli baha bermek üçin ýokarda görkezilen häsiýetlendiriji baglanyşyklardan başga-da tranzistorlaryň parametrlerinden giňden peýdalanýarlar. Umuman, parametrler eki 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 eki ( $r$ ,  $C$ ) parametrleriň kömegi bilen tranzistorlaryň ekwiwalent elektrik shemasyny şertli çyzyp, soňra degişli deňlemeler toparyny düzüp hem-de fiziki häsiýetini düşündirip bolýar (9.1-nji çyzga seret).



9.1 - 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.

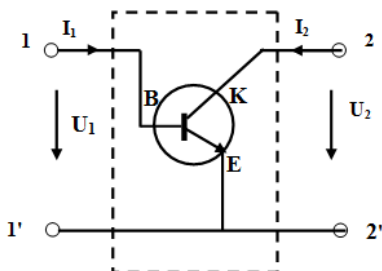
Bu garşylyk 100-lerçe kilo-Om bolup biler.

$C_{EB}$  – Emitterli geçişin sygymy ; 100-lerçe pF bolup biler.

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

Sesiň ýygyllyklarynda (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.



9. 2-njy çyzgy. Tranzistora dörtpolýusly görmüşde seredilişi.

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

Bu dört ululyklar özara baglansykdadyrlar. Şonuň üçin-de, dürli görmüşde 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 (9.2 -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.

### 1.9.2. Dörtpolýuslygyň **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 kiçijik  $\Delta$  – orunüýtgetmeler bilen aňladýarlar. Meselem  $\Delta I_1$ ,  $\Delta U_1$ ,  $\Delta I_2$ ,  $\Delta U_2$ . Bu deňlemeler toparyndaky  $\Delta I_1$  bilen  $\Delta U_2$  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  $I_1=\text{hemişelik}$ )

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

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

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

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

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

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 birleşdirişlerine 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 egričyzyklydyklary (gönidäldigi). sebäpli  $h$  – parametrleri-de tranzistoryň iş düzgünlerinden baglydyrlar. Bu parametrlar haýsy-da bolsa bir işçi nokat üçin tok bilen naprýaženiýeniň azajyk orunýtgedilmeklerinden tapýarlar.

Meselem,  **$h_{11E}$**  bilen  **$h_{22E}$**  parametrlar tranzistoryň häsiýetnamasynyň birinden tapylsa,  **$h_{21E}$**  bilen  **$h_{12E}$**  parametrlar

iki häsiyetnamadan gözlenýär (4.1-njy çyzgyda görkezilen baglanşyklara serediň).

Ýokarda belläp geçilişi ýaly tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent (tranzistoryň çykalgasynda naprýaženiýe hemişelik saklananda)  $\Delta I_2$  – toguň

$\Delta I_2$  – toga bolan gatnaşygy bilen anyklanylýar.

Bazasy umumylaşdyrlan shemalarda tranzistoryň tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýenti  $\alpha$  – harpy bilen belgilenýar. Tapylyşy

Emitteri umumylaşdyrlan shemalarda tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent  $\beta$  – harpy bilen belgilenýar. Tapylyşy

Kollektory umumylaşdyrlan shemalarda tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent  $\gamma$  – harpy bilen belgilenýar. Tapylyşy

Bu koeffisiýentler şu aşakdaky gatnaşyklar bilen özara baglydyrlar

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

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

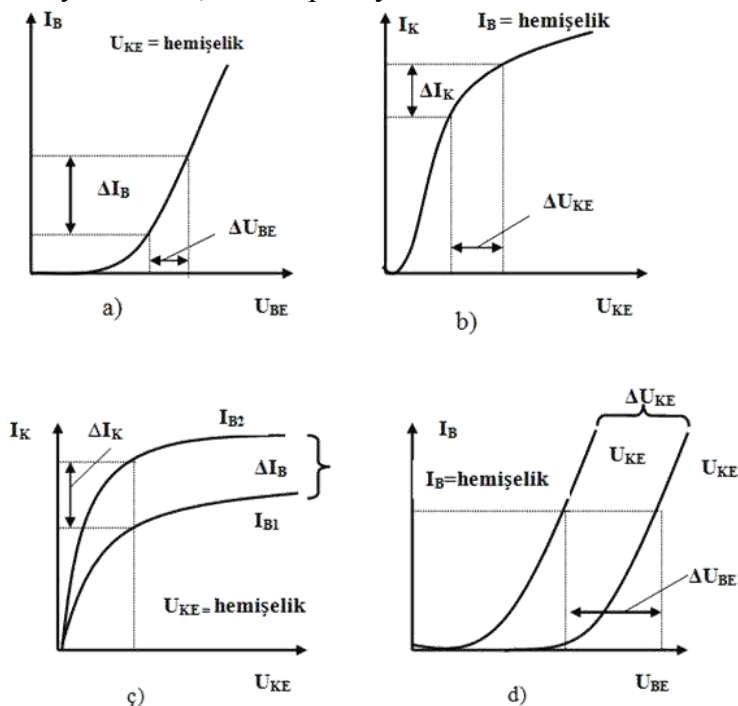
**Predel** – iş düzgünü diýlip, ygtyýar (rugsat) edilen maksimal toklaryň, naprýaženiýeleriniň we ýitirilýän kuwwatyň bahalaryndan hiç haçan geçmeli däldigini aňladýar. Olara kollektordaky  $I_{Kmax}$ , emitterdäki  $I_{Emax}$ , bazadaky

$I_{Bmax}$  – toklardan başga-da emitter – baza aralykdaky  $U_{EBmax}$ , kollektor – baza aralykdaky  $U_{KBmax}$ , kollektor – emitter aralykdaky  $U_{KEmax}$  – naprýaženiýeler hem-de kollektordaky **p-n** geçişde maksimal  $P_{Kmax}$  – 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. Araçak ýyglygynda tok boýunça güýçlendiriji koeffisiýent  $\sqrt{2} = 1,41$  esse peselýär.



9.3-njy çyzgy. Tranzistorlaryň  $h$ -parametrlerini emitteri umumylaşdyrýan shema esasynda gurulan statiki häsiýetnamalaryndan tapylyşy . a)  $h_{11E}$  ; b)  $h_{22E}$  ; c)  $h_{21E}$  ; d)  $h_{12E}$ .

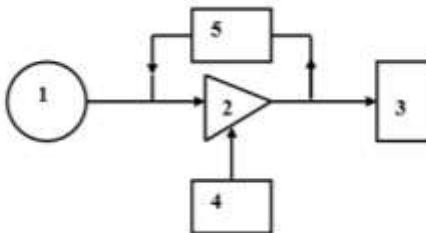
## II-nji GÜÝÇLENDIRIJILER.

### 2.1. Güýçlendiriji kaskad, işleýän nokadyň saýlawy, tipli shemalar, giriş we çykyş ekwiwalent shemalar.

#### 2.1.1. 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** – 1.1-nji çyzgyda görkezildi



1.1-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 özara kesgitli shemalar boýunça birleşdirilýärler.



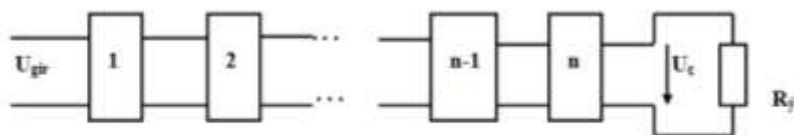
Shemasy çylşyrymly hasap edilýän güýçlendirijiler yzygiderli birikdirilen birnäçe basgançakly, signaly güýçlendirijilerden ýygnaýarlar. Bular ýaly güýçlendirijilere **köpkaskadly** diýilýär. Güýçlendirijiniň bir basgançagyňy emele getirýän bölegine **kaskad** diýilýär.

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

Köpkaskadly güýçlendirijileriň düzümi 1.2-nji çyzgyda görkezildi. Çyzgyda **1,2..., n** sanlar-kaskadlaryň 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.



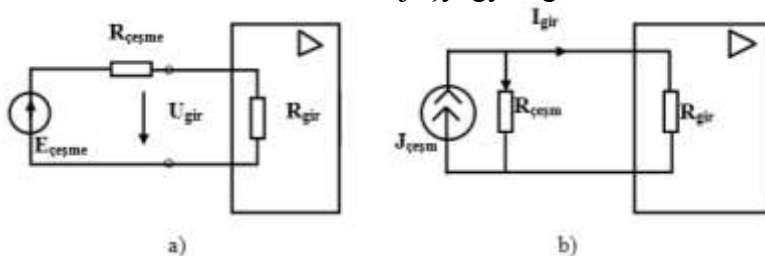
1.2-nji çyzgy. Köpkaskadly güýçlendirijileriň düzülişi.

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 düşünjä tersdir.

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

## 2.1.2. Güýçlendirijileriň girelgesi we çykalgasy üçin hödürilenilýän ekwiwalent shemalar.

1. Güýçlendirijileriň girelgesi üçin hödürilenilýän ekwiwalent elektrik shema 1.3-nji çyzgyda görkezildi.



1.3-nji çyzgy. Güýçlendirijileriň girelgesi üçin ekwiwalent shemalar :  
a – naprýaženiýe ( $E_{\text{ç}}$ ) – çesmeli we b – tok ( $J_{\text{ç}}$ ) – çesmeli

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

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

$$U_{\text{gir}} = E_{\text{çesme}} \frac{R_{\text{gir}}}{R_{\text{çesme}} + R_{\text{gir}}} \approx E_{\text{gir}}$$

Eger-de,  $R_{\text{gir}} \ll R_{\text{çesme}}$  bolsalar, onda güýçlendirilýän ululyk tok bolar. Değişli formulasy :

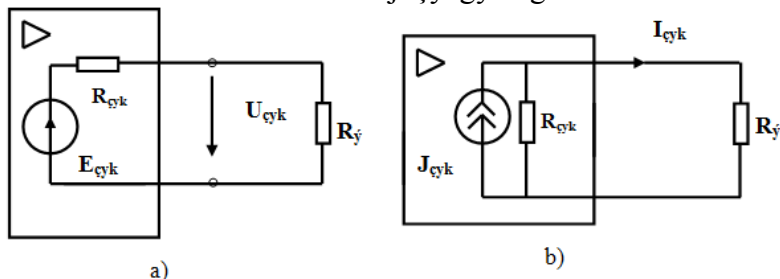
$$I_{\text{gir}} = J_{\text{ç}} \frac{R_{\text{çesme}}}{R_{\text{gir}} + R_{\text{çesme}}} \approx J$$

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

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

Eger-de, sözüň giň manysynda aýtsak, onda hemme güýçlendirijiler kuwwaty güýçlendirijilerdir. Ýöne , birinde  $U$  – naprýaženiýe has aýdyň ulalýan bolsa , başga birinde  $I$  – tok has aýdyň ulalýar. Şonuň üçin-de olara degişlilikde  $U$  – nyň ýa-da  $I$  – niň güýçlendirijisi diýilýär.

Güýçlendirijileriň çykalgasy üçin hödürülenýän ekwiwalent elektrik shema 1.4-nji çyzgyda görkezildi.



1.4-nji çyzgy. Güýçlendirijileriň çykalgasy üçin ekwiwalent shemalar

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

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

Çyzgyda :  $R_ý$  – güýçlendirijä birikdirilen elektrik yüküniň 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,  $R_{\dot{y}} \approx R_{\text{чык}}$  bolsa, onda çykalgada kuwwat boýunça güýçlenmek bolup geçýär.

## 2.2. Elektrik güýçlendirijileriň nazary hasaplary.

### 2.2.1. Güýçlendirijilerde güýçlendiriş koeffisiýentler.

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.

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 çözülende 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

$$N(B) = \lg \frac{P_2}{P_1}$$

$$N(\text{dB}) = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$$

Meselem, kuwwatlaryň gatnaşygy logarifm birliginde bir desibelle deň bolanda hasaplanyşy.

Signalynyň gowşamagy desibelliň (-) – minus alamatly bahasyny berýär, meselem ýagny, signalynyň **1-desibell** gowşamagy, kuwwatyň **26%-niň** ýitirlendiginä aňladýar.

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

Kuwwatyň analitiki (deňlemeler arkaly) tapylyşy :

Güýçlendiriş koeffisiýentini naprýaženiýeleriň we garşylyklaryň kömegi bilen tapylyşy.

Güýçlendiriş koeffisiýenti toklaryň we garşylyklaryň kömegi bilen tapylyşy.

Eger-de, ölçeg diňe bir garşylykda ýerine ýetirilýän bolsa, diýmek  $R_2 = R_1$  şert ýerine ýetýän bolmaly. Bular ýaly ýagdaýda hasap birneme ýeňilleşýär, sebäbi

Şeýlelikde, desibelde aňladylýan güýçlendiriş koeffisiýenti şu aşakdaky görnüşlerde-de aňladyp biliris.

$$k_u = 20 \lg \frac{U_{\text{çyk}}}{U_g}$$

$$k_i = 20 \lg \frac{I_{\text{çyk}}}{I_{\text{gir}}}$$

$$k_p = 10 \lg \frac{P_{\text{çyk}}}{P_{\text{gir}}}$$

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

$k_u = k_{u1} \cdot k_{u2} \cdot \dots \cdot k_{un}$  – naprýaženiýeleriň gatnaşyklaryndan ;

$k_i = k_{i1} \cdot k_{i2} \cdot \dots \cdot k_{in}$  – toklaryň gatnaşyklaryndan ;

$k_p = k_{p1} \cdot k_{p2} \cdot \dots \cdot k_{pn}$  – 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.

## 2.2.2. 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 :  $f$  – ýygylyk ,  $k$  – güýçlendiriş koeffisiýent,  $\varphi$  – faza,  $U_{gir}$ ;

$U_{çyk}$  – naprýaženiýeleriň we  $I_{gir}$ ,  $I_{çyk}$  – toklaryň modullary (ýa-da amplitudalary) ölçenen ýa-da hasaplanan bolmalydyrlar. Ýokarda agzalan parametrleriň özara baglansýklary-da güýçlendirijileriň häsiýetnamalarydyr.

Meselem, güýçlendiriş  $k_u$  – koeffisiýent bilen  $f$  – ýygylygyň özara  $k_u(f)$  baglansýgy,  $\varphi$  – faza bilen  $f$  – ýygylygyň özara  $\varphi(f)$  baglansýgy, ýa bolmasa Amplitudalaryň  $U_{çyk}(U)$  – baglansýgy we ş.m.

Islendik güýçlendiriji haýsy-da bolsa bir kesgitli ýygylyklaryň aralarynda işleýärler. Şonuň üçin-de olar haýsy aralykdaky ýygylyklarda işlejekdigine laýyklykda, olaryň häsiýetnamasy-da şol ýygylyk aralygyna görä gurulýar.

Meselem :

- Hemişelik toguň güýçlendirijilerde (HTG) – araçäk ýygylyklary  $f_1=0$ -dan  $f_2 = 10^3 - 10^8$  Gs aralykdaky signallary güýçlendirýär.
- Ses ýygylygynda işleýän güýçlendirijilerde (SÝG) – araçäk ýygylyklary  $f_1$  – onlarça gersden  $f_2 = 15 - 20$  kGs aralykdaky signallary güýçlendirýär.
- Ýokary ýygylykda işleýän güýçlendiriji (ÝÝG) – araçäk ýygylyklary  $f_1$  – onlarça kilogersden  $f_2 = \infty$ -ze çenli aralykdaky signallary güýçlendirýär.

Araçak ýyglylyklary diýlip aýyk (dury) zologyň iki çetindäki ýyglylyklara aýdylýar. Aýyk zologyň başlangyç ýyglylygyny  $f_1$  bilen, ahyrky ýyglylygyny bolsa  $f_2$  bilen belgileýärler. Şu iki ýyglylygyň dury zolagyna degişlidäl ýyglylyklarda berilen signallar bolmaly bahalaryndan daşlaşýarlar we ýoýulýarlar.

Köplenç ýagdaýlarda araçak ýyglylyklary anyklanylanda  $f_1$  bilen  $f_2$  ýyglylyklaryň bahalary signalyň maksimal bahasyndan

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

Maksimal bahasy bilen deňeşdirilende napryaženiýe 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, araçak ýyglylyklary ýokarky  $f_{yok}$  – ýyglylyk ýa-da aşaky  $f_{aşaky}$  - ýyglylyk bolup biler. Bu ýerde  $f_{yok} = f_2$  ,  $f_{aşaky} = f_1$  diýlip hem ulanylýar.

Araçak ýyglylyklaryň aralaryndaky ýyglylyk giňişligine **diapazon ýyglylyklary** ( $\Delta f = f_1 - f_2$ ) diýilýär ýa-da güýçlendirijiniň signallary hiç hili päsgelçiliksiz goýberýän zolagy hem diýilýär.

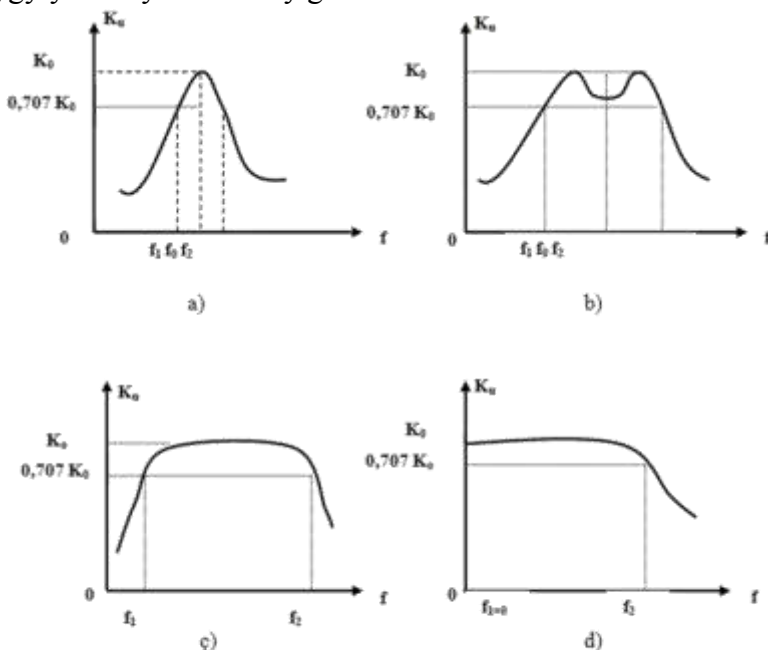
Signallaryň geçiş giňişliklerine laýyklykda güýçlendirijileri dar ýa-da giň gerimde işläp biler ýaly saýlaýarlar. Güýçlendirijilerde  $f_1$  we  $f_2$  yrgyldylar özära ýakyndyrlar.

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

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

### 2.2.3. Giňgerimli güýçlendirijiler we olaryň häsiýetnamalary.

Giňgerimli güýçlendirijiler belli bir  $\Delta f = f_1 - f_2$  aralykda signallary geçirmelidirler. Emma, ýygylgy  $f_1$ -den kiçi we  $f_2$ -den uly signallary üstünden geçirmeli dälidirler. Bular ýaly güýçlendirijiler tehnika da biçak köp ulanylýarlar. 2.1-nji çyzgyda dürli görnüşli güýçlendirijileriň amplituda ýygylgyk häsiýetnamalary görkezildi.



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

Giň zolakly güýçlendirijilerde (2.1-nji ç çyzga seret) köplenç ýokarky  $f_2$  we aşaky  $f_1$  ýygylgyklaryny anyklamak bilen çäklenilýär. Şol ýygylgyklardan çetde (çyzgyda  $f_1$ -den çepde we  $f_2$ -den sag tarapda) amplituda-ýygylgyk  $k(f)$  we faza – ýygylgyk  $\varphi(f)$  häsiýetnamalara düýpli ýoýulyp başlaýan ýerlerindäki (çyzgyda  $0,707 K_0$  bahalara gabat gelýän ýygylgyklaryň



töweregi) amplitudanyň bahalaryna gabat gelýän ýygylklara ortalanan (ortarak) ýygylklar diýilýär.

## 2.3. Güýçlendirijileriň çykyş signallary.

### 2.3.1. Güýçlendirijileriň çykyş signallarynyň ýoýulmalary.

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

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

Göni baglanşykly ýoýulmagyň bardygyny amplituda – ýygyllyk **k(f)** we faza – ýygyllyk **φ(f)** baglanşyklarda gurulan häsiýetnamalardan aňsa bolýar. Meselem, giňgerimli ideal güýçlendirijiler üçin güýçlendiriş **k** – koeffisiýent ýygyllyga bagly bolmaly däl (3.1-njy **b** çyzgydaky 2-nji çyzyk) ýa-da ýygyllygyň üýtgemigi bilen göni baglanşyklar bolmalydyrlar (3.1-njy **b** çyzgydaky 1 we 3-nji ýagdaýlar).

Giňgerimli ideal güýçlendirijiler üçin amplituda- we faza ýygyllyk häsiýetnamalary 3.1-njy çyzgyda görkezildi.

Ýygylýgyň ýoýulmagyny mukdar taýdan häsiýetlendirmek üçin ýygylýgyň **ýoýulyş** koeffisiýenti diýilýän düşünje girizilýär. Meselem, araçäk ýygylýklaryna göre ýygylýgyň 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 ýygylýkdaky güýçlendiriş koeffisiýent,

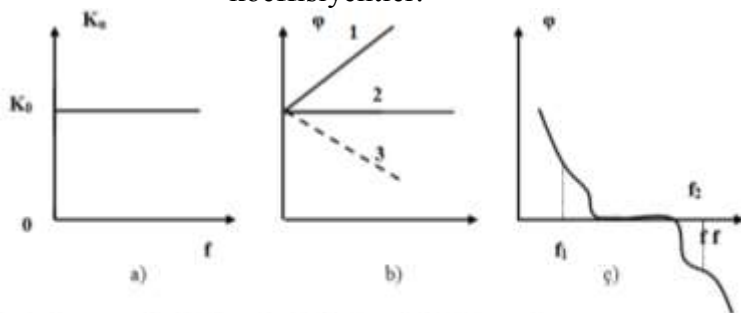
$K_1$  – bilen  $K_2$  – aşaky we ýokarky ýygylýklardaky güýçlendiriş koeffisiýentler.

Ýygylýgyň ýoýulmagyny mukdar taýdan häsiýetlendirmek üçin ýygylýgyň **ýoýulyş** koeffisiýenti diýilýän düşünje girizilýär. Meselem, araçäk ýygylýklaryna göre ýygylýgyň 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 ýygylýkdaky güýçlendiriş koeffisiýent,

$K_1$  – bilen  $K_2$  – aşaky we ýokarky ýygylýklardaky güýçlendiriş koeffisiýentler.



3.1-njy çyzgy. Giňgerimli güýçlendirijiniň ýygylýk häsiýetnamalary :

a – amplituda – ýygylýk, b – faza – ýygylýk ideal ,

ç – faza – ýygylýk real häsiýetnamalary.

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

Gönidäl baglanşykly ýoýulmagyň bardygyny güýçlendirijiniň girelgesindäki we çykalgasyndaky naprýaženiýeleriň baglanşygyny aňladýan amplituda häsiýetnamasyndan aňsa bolýar.

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

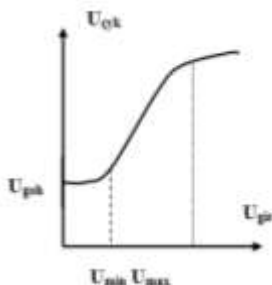
Gönidäl ýoýulmak başlanýança güýçlendirijiniň girelgesindäki signalynyň üýtgeýändigini häsiýetlendirýän ululyga dinamiki diapazon diýilýär (Diapazon – Grek sözi giňligi, çägi – diýmek).

3.2-nji çyzgyda güýçlendirijiniň girelgesi bilen çykalgasyndaky naprýaženiýeleriniň özara baglanşyklary görkezildi.

Güýçlendirijiniň çykalgasyndaky  $U_{çк}$  – nuldан başlaman, naprýaženiýeniň hut özüniň **gohy** we **päsgelçiligi** bilen döredýän  $U_{goh}$  – bahasyndan başlanýar (3.2-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.



3.2-nji çyzgy. Güýçlendirijide girelge we çykalga naprýaženiýeleriniň baglanyşygy.

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

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

Bu ýerde :

$I_{1f}$  – esasy garmonikanyň togy ;

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

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 garmonikalary gohlaryň (düzüjileriň) ýygylýklary, iýmitlendiriji tok çeşmesiniň ýygylýgyna 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 zarýadlaryň dykzlyklarynyň tolkunlar netijesinde döreýän päsgelçiliklerdir.

**Dreýf** zerarly döreýän goh. (**Dreýf** – Golland sözi – Türkmençe – haýsy-da bolsa bir güýç zerarly öňki ýagdaýyndan süýşmegi). 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.

### 2.3.2. 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  $R_{\gamma}$  – garşylygy birleşdirilip, güýçlendiriji tranzistoryň shemasynda işledilse, onda şol

$R_{\gamma}$  – garşylygyň egninden güýçlendirilen signal alynýar. Tranzistoryň şular ýaly işledilmegine dinamiki iş düzgünü diýilýär. Mysal hökmünde güýçlendiriji kaskadyň shemasy 3.3-nji a – çyzgyda ikipolýarly tranzistor üçin görkezildi.

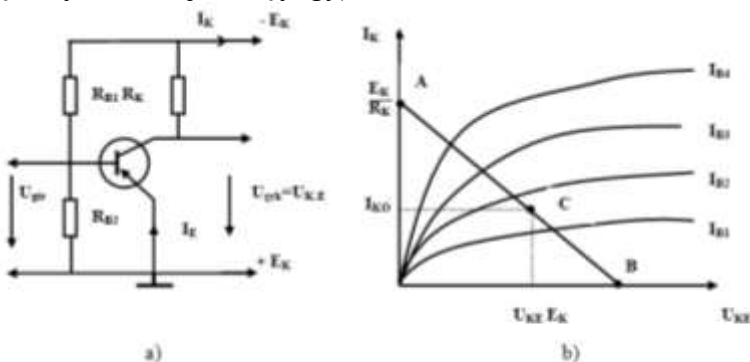
Bu shemanyň çykalgasyna (tranzistoryň kollektor şahasyna)  $R_k$  – garşylyk birleşdirilýär. Şol kollektordaky tok

bilen naprýaženiýeniň özara baglanşyklary aşakdaky formula bilen anyklanylýar.

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

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

Dinamiki häsiýetnamalary diýilende haýsy-da bolsa bir takyk naprýaženiýe çesmesiniň  $E_K$  bahasynda hem-de kollektordaky  $R_K$  – ýüküň garşylygynda bazadaky togy üýtgedip, birnäçe statiki häsiýetnamalar köplüğine (toplumyna) düşünilýär (3.3-nji **b** – çyzgy).



3.3-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

$$I_K = \frac{E_K}{R_K}$$

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).

## **2.4. Emmiter gaýtalaýjylar, ýönekeý gaýtalaýjylar, giriş garşylygy, galşyramgy gaýtalaýjylar.**

### **2.4.1. 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 4.1-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 çykalgasyndaky signalyň belli bir böleginiň kesilmegi mümkindir. Signalyň kesilmeginiň çuňlугy  $\theta$  – burçuň giňligi bilen bahalanýar.

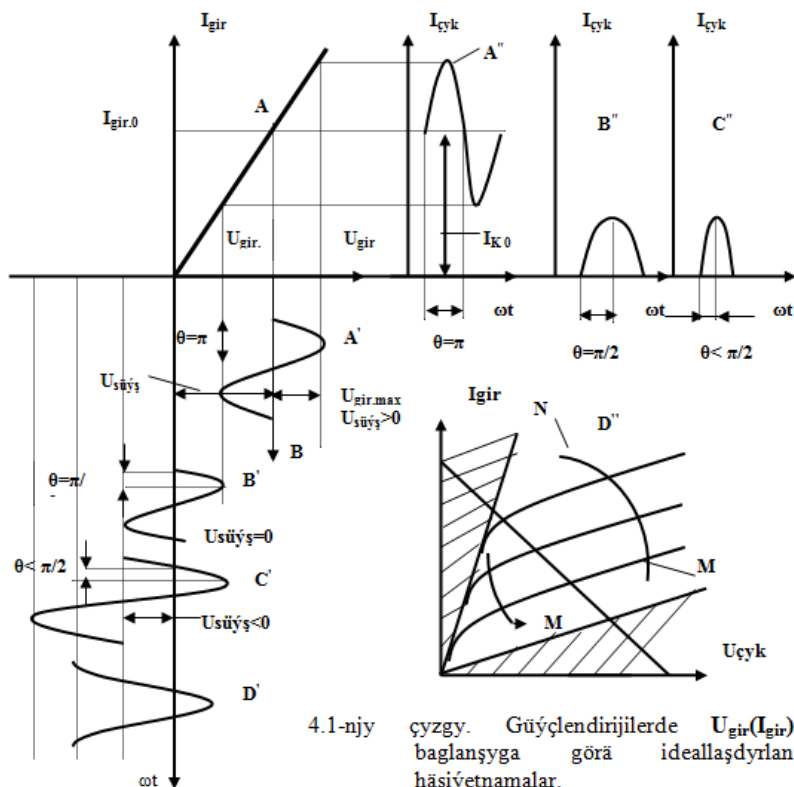
Zynjyryň çykalgasyndaky tok impulsynyň dowamlylygynyň ýarysy burç ölçeginde aňladylýar. Şonuň üçin-de  $\theta$  – burç hasaby diýilýän düşünje girizilýär (4.1-njy çyzga seret).

Güçlendirijilerin klasslara bölünen iş düzgünleri 4.1-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, güçlendirijiniň çykalgasynda berýän netijeleri (signallary) **A'', B'', C'', D''** harplar bilen belgilendi.

**A – klass boýunça güýçlenmegiň iş düzgüni ( $\theta = \pi$ ,  $A'$  we  $A''$  grafikler).** Bu güçlendirijiler kiçikuwwatly kaskadlara deňişlidirler. **A** – klassda signallar ýoýulmaýarlar, ýöne signallar juda az güýçlenýärler. Ýoýulma koeffisiýentiň (**k** – nyň) juda kiçiligine garamazdan, **A** – klasly kaskadlar boş işleýän wagty-da (ýagny, girelgede signalyň ýok wagty) çeşmeden örän köp kuwwaty talap edýär, munuň sebäbini kaskadyň shemasynyň dynclyk wagtynda-da üstünden köp toguň akýandygy bilen düşündirilýär. Şonuň üçin-de **A** – klassly kaskadlaryň peýdaly täsir koeffisiýenti (**PTK**-sy) 25% - den geçmeýär. Güçlendiriji kaskadlar **A** – klass düzgüninde işlänlerinde **A** – iş nokady **I<sub>gir</sub>** (**U<sub>gir</sub>**) baglansygyň 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 süşürilýän  $U_{süŷş}$  – naprýaženiýeniň san bahasy, onuň alamaty bilen kesgitlenilýär. Şeýle iş düzgün **B** – klassly güýçlendiriji kaskadyň çykalgasynda ýarymperiodly impulsyň (pulsirleýji toguň) döremegine sebäp bolýar (**B''** – grafike 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 – geçirmeýän **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).

#### **2.4.2. 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 elementniň 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 gysgaldylp **YBASA** – görnüşde gysgaldylp ýazyľjakdyr.

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 ( $\varphi=180^\circ$ ).

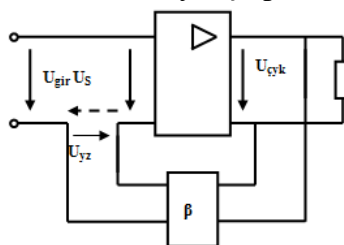
Signallaryň yzy bilen arabaglanşygynyň dört görnüşini bolup biler. (4.2-njy çyzga seret) :

a – naprýaženiýe boýunça yzygiderli (4.2-njy **a** – çyzgy);

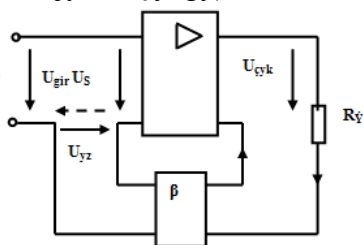
b – tok boýunça yzygiderli (4.2- njy **b** – çyzgy);

ç – naprýaženiýe boýunça parallel (4.2-njy **ç** – çyzgy);

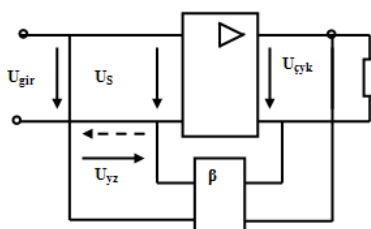
d – tok boýunça parallel (4.2-njy **d** – çyzgy).



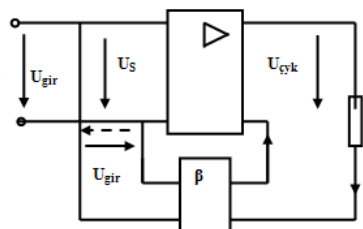
a) naprýaženiýe boýunça  
zygyderli.



b) Tok boýunça zygiderli.



ç) Naprýaženiýe boýunça  
parallel



d) Tok boýunça parallel

4.2 Surat. Signallaryň yzy bilen arabaglanşygynyň dört görnüşi

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

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

Güýçlendirijiniň çykalgasyndaky  $U_{çyk}$  – naprýaženiýe-de berilen  $U_s$  – naprýaženiýe bilen fazalary boýunça gabat gelibem bilerler, gabat gelmänem bilerler. Yzy bilen arabaglanşykda bolmaly signalyň  $U_{yz}$  – naprýaženiýesiniň san bahasy  $U_{yz} = \pm \beta \cdot U_{çyk}$  formuladan anyklanylýar.

Bu formuladaky « - » arabaglanşygyň ylalaşyklydygyny, « + » arabaglanşygyň garşylyklydygyny aňladýar,  $\beta$  - yzy bilen arabaglanşygyň koeffisiýenti.

Muňa garamazdan VBA – 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 arabaglanşykdaky 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  $\beta k_u \rightarrow 1$  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.

## **2.5. Emmitler girişli kaskadrallyryň işi, olaryň orta ýygylýkly kaskadyň emmitler bilen aragatnaşygy.**

### **2.5.1. 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 ýeterlidir.

Eger-de köpkaskadly güýçlendirijiniň koeffisiýentini anyklamak gerek bolsa, onda güýçlendiriji kaskadlaryň koeffisiýentlerini özära köpeltmek hasyllary hökmünde

seredilýär. Meselem köpkaskadly güýçlendirijiniň naprýaženiýe boýunça koeffisiýenti

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

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

Käbir meseleler çözülende 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.

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

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

ýagny, signalýň **1-desibell** gowşamagy, 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.

Şeýlelikde, desibelde aňladylýan güýçlendiriş koeffisiýenti şu aşakdaky görnüşlerde-de aňladyp bileris.

$$k_u = 20 \lg \frac{U_{\text{çyk}}}{U_g}$$

$$k_i = 20 \lg \frac{I_{\text{çyk}}}{I_{\text{gir}}}$$

$$k_p = 10 \lg \frac{P_{\text{çyk}}}{P_{\text{gir}}}$$

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

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

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

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

### 2.5.2. 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 :  $f$  – ýygylyk ,  $k$  – güýçlendiriş koeffisiýent,  $\varphi$  – faza,  $U_{gir}$ ;

$U_{çyk}$  – naprýaženiýeleriň we  $I_{gir}$ ,  $I_{çyk}$  – toklaryň modullary (ýa-da amplitudalary) ölçenen ýa-da hasaplanan bolmalydyrlar. Ýokarda agzalan parametrleriň özara baglanşyklary-da güýçlendirijileriň häsiýetnamalarydyr. Meselem, güýçlendiriş  $k_u$  – koeffisiýent bilen  $f$  – ýygylygyň özara  $k_u(f)$  baglanşygy,  $\varphi$  – faza bilen  $f$  – ýygylygyň özara  $\varphi(f)$  baglanşygy, ýa bolmasa Amplitudalaryň  $U_{çyk}(U)$  – baglanşygy we ş.m.

Islendik güýçlendiriji haýsy-da bolsa bir kesgitli ýygylyklaryň aralarynda işleýärler. Şonuň üçin-de olar haýsy aralykdaky ýygylyklarda işlejekdigine laýyklykda, olaryň häsiýetnamasy-da şol ýygylyk aralygyna görä gurulýar.

Meselem :

- Hemişelik toguň güýçlendirijilerde (HTG) – araçäk ýygyllyklary  $f_1=0$ -dan  $f_2 = 10^3 - 10^8$  Gs aralykdaky signallary güýçlendirýär.
- Ses ýygyllygynda işleýän güýçlendirijilerde (SÝG) – araçäk ýygyllyklary  $f_1$  – onlarça gersden  $f_2 = 15 - 20$  kGs aralykdaky signallary güýçlendirýär.
- Ýokary ýygyllykda işleýän güýçlendiriji (ÝÝG) – araçäk ýygyllyklary  $f_1$  – onlarça kilogersden  $f_2 = \infty$ -ze çenli aralykdaky signallary güýçlendirýär.

Araçäk ýygyllyklary diýlip açyk (dury) zologyň iki çetindäki ýygyllyklara aýdylýar. Açyk zolagyň başlangyç ýygyllygyny  $f_1$  bilen, ahyrky ýygyllygyny bolsa  $f_2$  bilen belgileýärler. Şu iki ýygyllygyň dury zolagyna degişlidäl ýygyllyklarda berilen signallar bolmaly bahalaryndan daşlaşýarlar we ýoýulýarlar.

Köplenç ýagdaýlarda araçäk ýygyllyklary anyklanylanda  $f_1$  bilen  $f_2$  ýygyllyklaryň bahalary signalyň maksimal bahasyndan

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \quad (\text{ýa-da } 70,7\% \text{ toweregi}) \text{ almaklyk kabul edilend}$$

Maksimal banasy bilen deneşdiriende napryazeniye 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 ýygyllyklary ýokarky  $f_{yok}$  – ýygyllyk ýa-da aşaky  $f_{aşaky}$  - ýygyllyk bolup biler. Bu ýerde  $f_{yok} = f_2$  ,  $f_{aşaky} = f_1$  diýlip hem ulanylýar.

Araçäk ýygyllyklaryň aralaryndaky ýygyllyk giňişligine **diapazon ýygyllyklary** ( $\Delta f = f_1 - f_2$ ) 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.

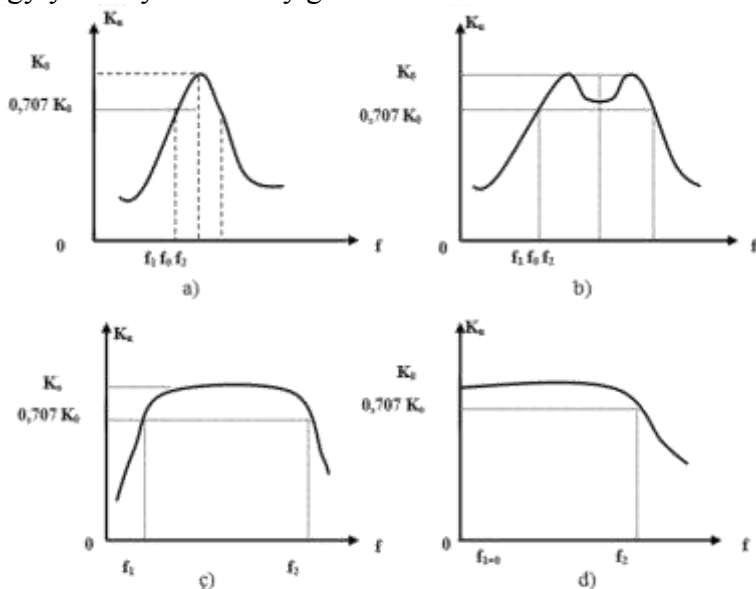


Olaryň saýlamak ukybyny yrgyldyly konturlaryň kömegi bilen amala aşyrýarlar (**rezonansly** we **zolakly güýçlendirijiler**) ýa-da ýygylýga bagly **RC** – zynjrlaryň kömegi bilen amala aşyrýarlar.

Eger-de, yrgyldyly (rezonansly) konturlar ýokary yrgyldylarda işleýän güýçlendirijilerde ulanylýan bolsalar, onda ýygylýga bagly **RC** – zynjrlar pes ýygylýklarda işleýän güýçlendirijilerde ulanylýarlar.

### Giňgerimli güýçlendirijiler we olaryň häsiýetnamalary.

Giňgerimli güýçlendirijiler belli bir  $\Delta f = f_1 - f_2$  aralykda signallary geçirmelidirler. Emma, ýygylýgy  $f_1$ -den kiçi we  $f_2$ -den uly signallary üstünden geçirmeli dälidirler. Bular ýaly güýçlendirijiler tehnikada biçak köp ulanylýarlar. 5.1-nji çyzgyda dürli görnüşli güýçlendirijileriň amplituda ýygylýk häsiýetnamalary görkezildi.



5.1-nji çyzgy. Dürli görnüşli: a – rezonansly, b – zolaklarda işleýän, ç – giňgerimli, d – ýygylýgy nuldán başlaýan güýçlendirijileriň amplituda – ýygylýk häsiýetnamalary.

Giň zolakly güýçlendirijilerde (5.1-nji ç ýyzga seret) köplenç ýokarky  $f_2$  we aşaky  $f_1$  ýygýlyklaryny anyklamak bilen çäklenilýär. Şol ýygýlyklardan çetde (çyzgyda  $f_1$ -den çepde we  $f_2$ -den sag tarapda) amplituda-ýygýlyk  $k(f)$  we faza – ýygýlyk  $\phi(f)$  häsiýetnamalara düýpli ýoýulyp başlaýan ýerlerindäki (çyzgyda **0,707 K<sub>0</sub>** bahalara gabat gelýän ýygýlyklaryň töweregi) amplitudanyň bahalaryna gabat gelýän ýygýlyklara ortalanan (ortarak) ýygýlyklar diýilýär.

## 2.6. Operasion güýçlendirijiler (OG).

### 2.6.1. OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri.

XX asyryň 40-njy ýyllarynyň ahýrlarynda matematiki operasiýalary (amallary) modularleýji gurnamalar peýda bolýarlar.

Hemişelik togy üçin niýetlenilen elektronly çyralardan ýygňalan 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 amallary (operasiýalary) işlemäge ukyply gurnama bolupdyr.

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

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

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

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

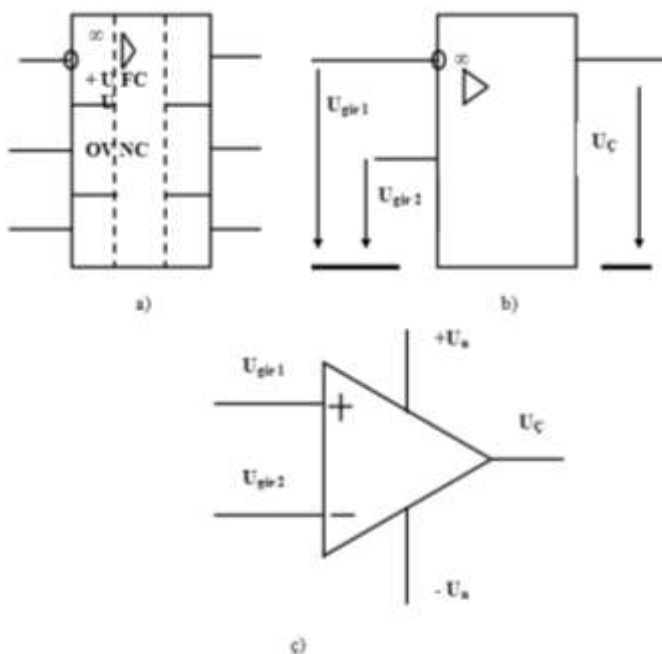
**OG-niň iş düzgüni** : Operasion güýçlendirijileri iki iş düzgüninde peýdalanmak bolýar :

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 baglanşykdadyrlar. OG-ni göni baglanşykly iş düzgüninde işletmek üçin adaty shemalardaky zýy 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 bahasyňa ýa-da tersine tapawudy ýok. Bu düzgünde işlediljek OG-lerde ýa-da zýy bilen baglanşyksyz ýa-da zýy bilen ylalaşyksyz aragatnaşykdan peýdalanýarlar.



6.1-nji çyzgy. OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri : a bilen b – täze standart, ç – köne standart.

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 (6.1-nji a çyzga seret).

OG-niň esasy meýdany hasap edilýän dörtburçlygyň içinde üçburçlyk görnüşli belgi goýulýar. Bu belgi « **Güýçlendiriji** » diýen manyny berýär.

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

Operasion güýçlendirijileri shemalara çatmak üçin, olarda ýerleşdirlen 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**, **OV**, ýaly harplar ýa-da belgiler bilen tapawutlandyrylar. Meselem, **FC** – operasion güýçlendirijiniň amplituda – ýygylýk häsiýetnamasyny 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;  $\pm U$  – ikipolýarly iýmitlendiriji çeşmäniň gysgyçlary.

OG-leriň prinsipial shemalarynyň aýdyň okalmagyny hem-de işleýiş düzgünleriniň düşündirişlerini sadalaşdyrmak maksady bilen OG-leriň şertli – grafiki belgilenişlerini ýönekeýlesdirmäge ygtyýar berilýär. Meselem, 6.1-nji **b** – çyzgyda, diňe OG-niň tutýan esasy meýdany we signallar üçin degişli çykalgalary görkezildi.

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

## 2.6.2. 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 amplitudasy  $\pm U_m$  [W] ;
- Girelgesindäki  $R_{gir}$  – garşylygyna [kOm ; MOm] ;
- Çykalgasyndaky  $R_\zeta$  – garşylygyna [Om] ;
- Ýüke ygtyýar berilýän maksimal  $R_\gamma$  – garşylygyna [kOm] ;
- Signallary süýşüriji  $U_s$  – naprýaženiýesine [mW] ;
- Girelgedäki  $I_{gir}$  – toguna [nA] ;
- Girelgä berilýän  $\Delta I_{gir}$  toklaryň tapawudyna [nA] ;
- Çykalgadaky  $U_\zeta$  – naprýaženiýeniň  $v_{u(c)}$  – ösüş tizligine [W/mks]
- Çeşmeden kabul edýän  $I_{çeşm}$  – toguna [mA] düşünilýär.

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

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

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

Sinfazaly signalyň naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň tapylyşy:

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

OG-leriň girelgesindäki naprýaženiýeleri 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.

### 2.6.3. 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 kioeffisiýenti 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 tükeniksiz 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 bildirmeyär we özüniň häsiýetleri boýunça ideal güýçlendirijilere golaýlaşýarlar.

Ulanylýan ýerlerine laýyklykda OG-leri 5(bäs) 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 kiçik süýşiriji naprýaženiýesi, differensial signallar üçin ýokary güýçlendiriş koeffisiýenti, sinfazaly 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 ýygýlykly signallar üçin niýetlenilip, üstünden signallary geçiriş ýygýlyk zolagynyň giňligi we çykalgasyndaky **U<sub>çyk</sub>** – 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 bölýärler, olaryň :

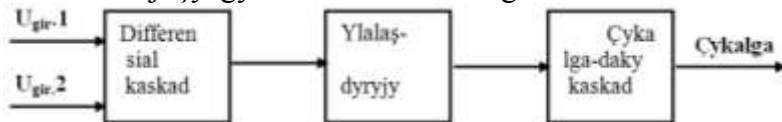
Birinjisi differensial kaskadlardan düzülip , **girelge** kaskad üçin ulanylsa ;

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



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

6.2-nji çyzgyda OG-niň düzümi görkezildi



6.2-nji çyzgy. Operasion güýçlendirijiniň düzümi.

## 2.6.4. OG-leriň iýmitlendirilişi 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  $\phi(f)$  häsiýetnamasy.

Bu baglansyklaryň her birine aýratynlykda seredeliň.

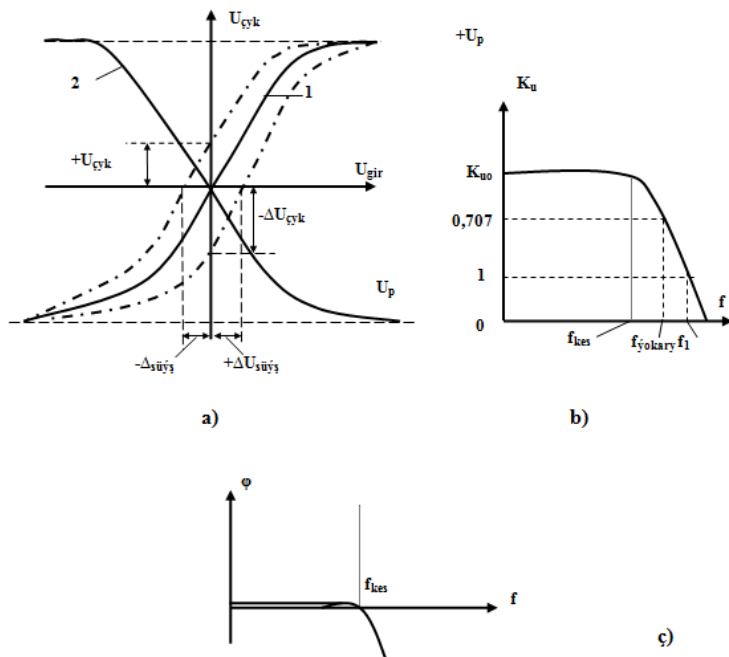
1. Üstünden geçiriş (amplituda) häsiýetnamasy.

OG-niň bu häsiýetnamasy girelgedäki we çykalgadaky naprýaženiýeleriň özara  $U_{çyk}(U_{gir})$  baglansyklaryny aňladýar (6.3-nji a çyzgy). Çyzgydaky 1-nji egri çyzyk inwertirlemeýän, 2-nji egri inwertirleýän OG-ler üçindir.

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

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

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



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

Balansyň bozulmagyna girelgedäki differensial kaskadyň parametrleriniň dargayanlygy we olaryň temperaturadan hem baglydygy sebäp bolýandygy bilen düşündirilýär. 6.3-nji a çyzgyda keltejik çyzyklar bilen OG-niň balansynyň bozulan ýagdaýyny aňladýan-üstünden geçiş 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  $U_{\text{süýş}}$  – süýşüriji 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 6.3-nji **b** çyzgyda görkezildi. Bu baglanşykda OG-niň güýçlendiriş koeffisiýentiniň ýygylýkdan baglanşygy görkezilip, onda şu aşakdaky parametrler hem görkezildi :

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

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

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

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

OG-leriň faza-ýygylýk  $\phi(f)$  häsiýetnamasy 13.1-nji **ç** çyzgyda görkezildi. Bu baglanşyk OG-lerde güýçlendirilen

signallaryň  $\varphi$  – faza burçy boýunça süýşmegiň  $f$  – ýygylýkdan baglydygyny aňladýar.

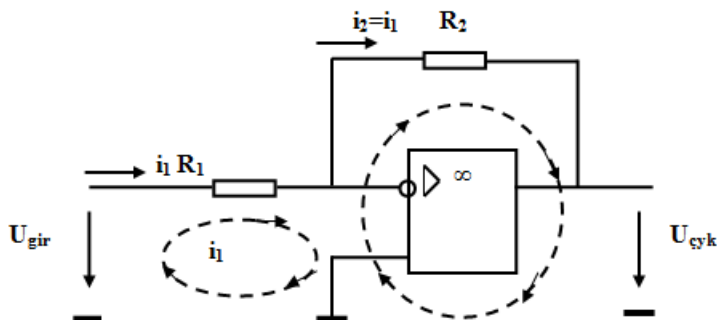
## 2.7. Operation güýçlendirijileriň esasy shemalary.

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

### 2.7.1. Inwertirleýän we inwertirlemeýän güýçlendiriji.

1. **Inwertirleýän** (Latyn sözi – çalşyryň, çöwürýän diýmek) OG-ler.

Inwertirleýji OG-niň shemasy 7.1-njy çyzgyda görkezildi.



7.1-njy çyzgy. Inwertirleýji OG-niň shemalary birleşdirilşi.

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 ( $\Delta U_{\text{gir}}=0$ ) 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.

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

OG-niň çykalgasyndaky uly kontur üçin-de deňleme düzeliň

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

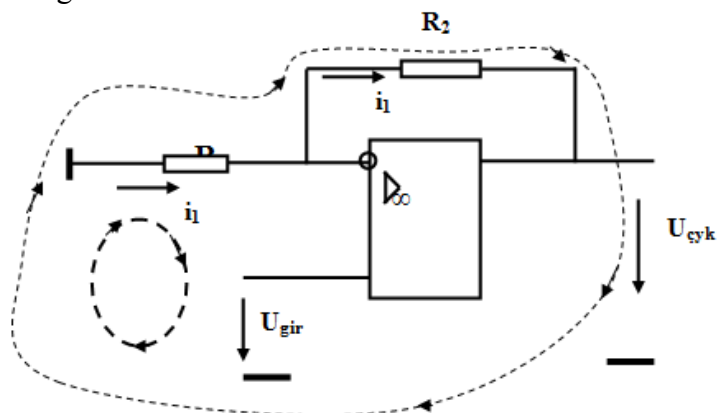
$$U_{\text{çyk}} = - R_2 i_1$$

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

$$U_{\text{çyk}} = - \frac{R_2}{R_1} U_{\text{gir}}$$

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

2. **Inwertirlemeýän güýçlendiriji.** Inwertsiz güýçlendirijileriň shemasy 7.2-nji çyzgyda görkezildi.



7.2-nji çyzgy. Inwertirlemeýän OG-niň shemalara birleşdiriji.

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

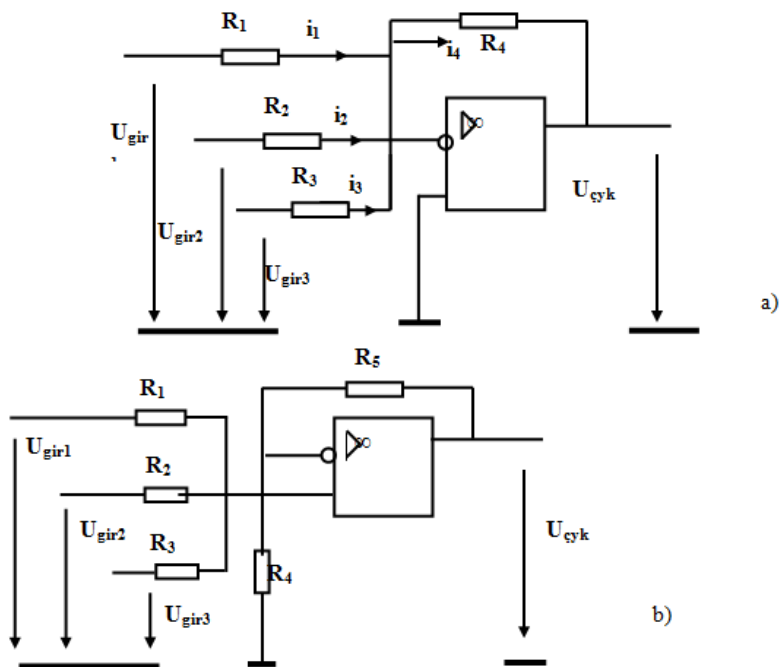
Uly kontur üçin  $(R_1 + R_2) i_1 + U_{\text{çyk}} = 0$  ýa-da

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

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

### 2.7.2. Summirleýän güýçlendiriji (Summator).

Summatorlaryň girelgesinde signallar goşulanlaryndan soň, olaryň çykalgasyndan alynýan signallary inwertirleýän ýa-da inwertirlemeýän görnüşde alyp bolýar. Olara deňişli shemalar 7.3-nji **a**, **b** çyzgyda görkezildi.



7.3-nji çyzgy. Summatorlaryň a – inwertirleýän , b – inwertirlemeýän shemalary.

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

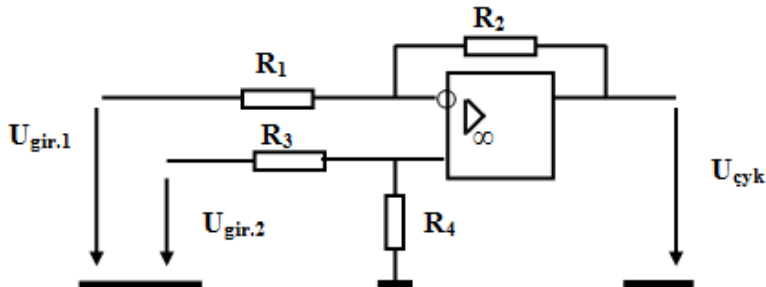
Eger-de garşylyklaryň ( $R_4=R_k$ ) deňlikleri gazanylsa, onda güýçlendirijiniň çykalgasyndaky  $U_{\text{чык}}$  – naprýaženiýe

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

Deňlemäniň öňündäki (–) – minus alamatynyň manysy çykalgadaky  $U_{\text{чык}}$  – naprýaženiýe, girelgedäki  $U_{\text{gir.k}}$  – naprýaženiýeleriň goşulmaklarynyň inwertlenýändigini aňladýar.

### 2.7.3. 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.



### 7.4-njy çyzgy. Differensial (tapawudyny berýän) güýçlendiriji.

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

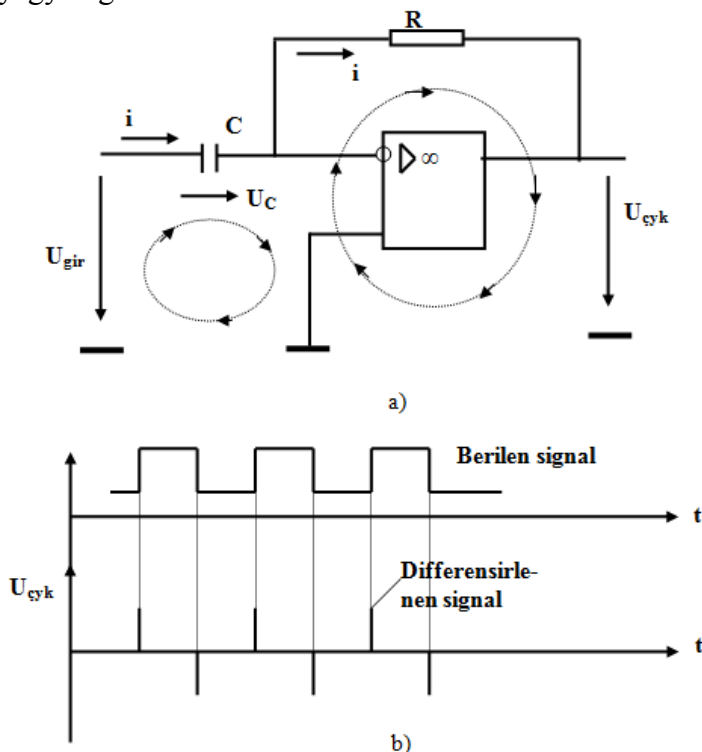
Eger-de, OG-niň birinji girelgesindäki signalyň naprýaženiýesi ( $U_{\text{gir.1}}=0$ ) bolup, ikinji girelgesindäki signalyň naprýaženiýesi nula deň bolmasa ( $U_{\text{gir.2}} \neq 0$ ), onda shema inwertirlemeýän güýçlendiriji bolup işleýär.

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

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

## 2.7.4. Differensirleýän güýçlendiriji (Differensiator).

Differensirleýji güýçlendirijiniň shemasy 13.3.1-nji a – çyzgyda görkezildi.



7.5-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.



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

Formuladan görnüşi ýaly, OG-niň çykalgasyndaky  $U_{çyk}$  – signal girelgä berilýan  $U_{gir}$  – 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  $U_{çyk}$  – naprýaženiýeniň diagrammasy bilelikde görkezildi.

### III-nji BÖLÜM TRANZISTORLY AÇARLAR.

#### 3.1. Süzgüçleri (filtrler).

##### 3.1.1. Signallaryň örküçlerini düzleýji elektrik süzgüçleri.

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

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 ýüküniň 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 ( $k_{p1.cyk}$ ) – puls koeffisiýentine bolan gatnaşygy bilen häsiýetlendirilýär.

$$q = \frac{k_{p1gir}}{k_{p1.cyk}}$$

Öz gezeginde puls koeffisiýentleriniň tapylyşlary:

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.

Eger-de,  $U_0 = E_0$  bolsa, onda  $\lambda=1$  we  $q=k_r$  bolar, bu bolsa düzleýji koeffisiýentiň süzülmegiň koeffisiýentine deňleşýändigini aňladýar.

Köplenç ýagdaýlarda elektrik ýükünde 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:

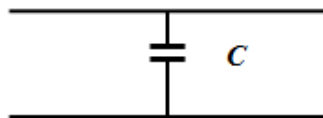
**a)**Reaktiw elementlerden gurnalan süzgüçler (passiw süzgüçler);

**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 tegekden 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.



a)



b)

1.1-njy çyzgy. Ýönekeý süzgüçleriň shemalara birleşdirlişi.

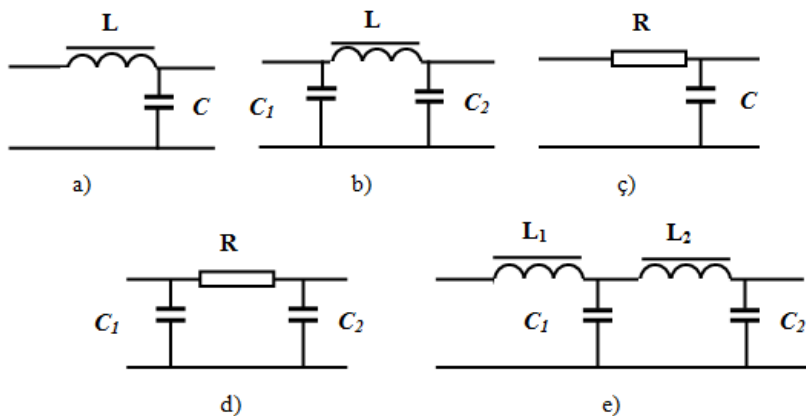
Çylşyrymly süzgüçler birhalkaly we köphalkaly bolup bilerler. Süzgüçleriň her bir halkasy  $\Gamma$  – ýa-da  $\Pi$  – görnüşde ýygnaýar. Ýygnaýan süzgüçler drossel – kondensator (**LC** – tipli süzgüçler) ýa-da Rezistor – kondensator (**RC** – tipli süzgüçler) görnüşli bolup bilerler. 10.11 – nji çyzgyda passiw süzgüçleriň dürli görnüşlerinden birnäçe mysallar getirildi:

- a)  $\Gamma$  – görnüşli **LC** – süzgüç;
- b)  $\Pi$  – görnüşli **LC** – süzgüç;
- c)  $\Gamma$  – görnüşli **RC** – süzgüç;
- d)  $\Pi$  – görnüşli **RC** – süzgüç;
- e) Iki halkaly  $\Gamma$  – görnüşli **LC** – süzgüç;

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

$$x_L = 2\pi f L; x_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Bu formulalardan görnüşi 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.



1.2-nji çyzgy. Passiw süzgüçleriň dürli görnüşlerinden birmäçe mysallar.

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.

Impulsalaryň ýumşamak şerti  $\tau \gg T_k$  bolanda amala aşýar (Bu ýerde  $T_k$  – garmonikanyň periody).

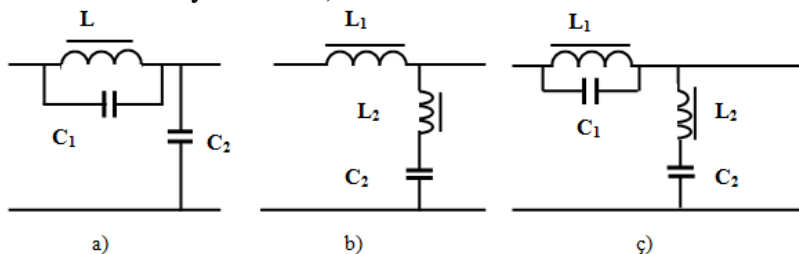
Kiçijik toklara (birnäçe milliampere) niýetlenilen ýüklerde **RC** – süzgüçleri ulanmak hemmetaraplaýyn amatlydyr, sebäbi **RC** – süzgüçleriň göwrümi hem-de massasy **LC** – süzgüçlerden epesli kiçidir.

Gurluşlary boýunça has çylşyrymly passiw süzgüçlere-de duş 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:

a)  $\Gamma$  – görnüşli rezonansly süzgüç (garmonikalary böwet döredýär),

- b) Režektorly süzgüç,  
c) Iki rezonansly süzgüç (napryaženiýeleriň we toklaryň rezonanslary bilelikde)



1.3-nji çyzgy. Reaktiv elementlerden gumalan çylşyrymly süzgüçleriň shemalary.

Çylşyrymly süzgüçlerde ýumşadyjy (düzleýji) koeffisiýent süzgüji-emele getirýän halkalaryň her beriniň düzleýji koeffisiýentleriniň köpeltmek hasyllaryna deňdir.

$$q = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n$$

### 3.1.2. Tranzistorly süzgüçler.

Elektronly elementlerden guralan süzgüçlerde düzleýji element hökmünde ikipolýarly tranzistorlar ulanylýar.

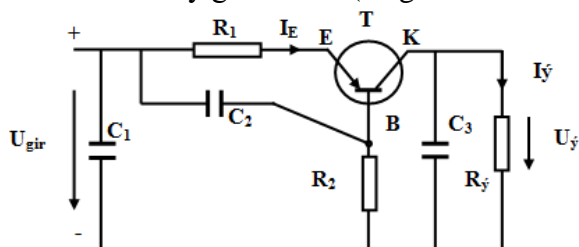
Ikipolýarly tranzistorlarda signallaryň örküçlerini tekizlemek häsiýeti tranzistorlaryň hemişelik we üýtgeýän toklara görä garşylyklarynyň bahalary özara örän uly tapawutlanýandyklary bilen düşündirilýär.

Eger-de, tranzistorlaryň elektrik ýüklerine üç hili (görnüşli) birleşdirip bolýandyklaryny göz önünde tutsak, onda :

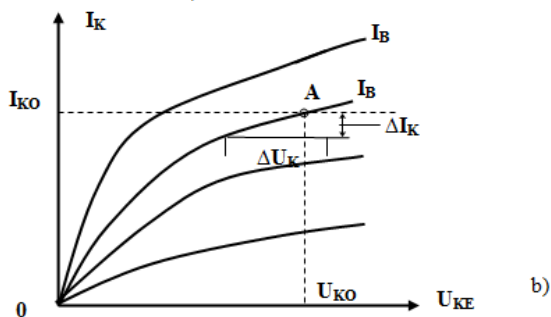
- Kollektory bilen elektrik ýüküniň yzygider birleşdirilişi ;
- Emitteri bilen elektrik ýüküniň yzygider birleşdirilişi ;
- Tranzistor bilen elektrik ýüküniň parallel birleşdirilen shemalary giňden ulanylýar.

Mysal hökmünde 1.4-nji a çyzgyda görkezilen shema seredeliň :

Bu shemada tranzistornıń kollektory bilen elektrik  $R_f$  – ýüki yzygider birleşdirildi. 1.4-nji **b** çyzgyda bolsa tranzistornıń çykalgasyny häsiýetlendirýän  $I_k(U_{KE})$  baglanşykda tranzistornı işläp duran bir nokady görkezildi (diagrammada **A** nokat).



a)



b)

1.4-nji cyzgy. Tranzistorlary süzgüç: a – tranzistorly süzgüjüń shemasy ; b – tranzistorly süzgüjüń çykalgasyny häsiýetlendirýän diagramma.

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 süzgüjüń shemasynda induktiw garşylyk ýaly özüni alyp barýar (ýagny, üýtgeýän toga tranzistor köp garşylyk görkezýär).

10.13-nji **a** – çyzgyda görkezilen shemadaky elementleriň näme üçin gerekdiklerini öleşdireliň :  $C_1$  we  $C_3$  – kondensatorlar ýokary garmonikaly signallary  $R_f$  – garşylyga goýbermän öz üstlerinden geçirmek üçin ;  $R_1$  we  $C_2$  –

elementler emitte 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.

### 3.2. Simmetrik we simmetrik däl triggerler, olardaky geçiş prosesler.

#### 3.2.1. Triggerler hakda umumy maglumatlar.

**Kesgitlemesi** : Triggerler iki sany **durnukly ýagdaýy** bilen häsiýetlenýän sifrli 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 dolandyrýar.

**Kömekçi** girelgä berilýän signallar bolsa, triggeriň işläp başlamagynyň ön 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 gelýän maglumatlary bir-birden kabul edýänligi bilen

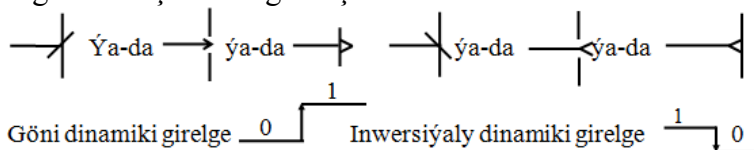
(**D**-trigger); **Delaý** (iňlis)- saklanmak. Başgaça görnüşü **DV**-triggerdir, onuň kömekçi **V**-girelgesi bolup, girelgesine





**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.

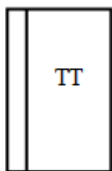
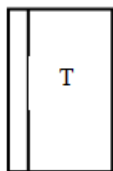


Triggerler özleriniň gurluş çylşyrymlyklaryna görä **birbasgançakla** we **ikibasgançakla bölünýärler**.

**Birbasgançakly triggerlerde** onuň ýeke-täk basgançagy bir gezek maglumat bilen doldurylýar.

Bular ýaly triggerlerde maglumatlaryň ýazylyşy-wagt boýunça üznüksiz üýtgeýän prosesini 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 alynýar. 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, Inlisçe) diýilýär.

Bu iki triggerleriň birinjisine **alyp baryjy** ýa-da **S**-trigger diýilýär (**Slade** – işçi, hyzmatkär- inlis).

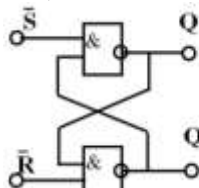
**Flip- flop** trigger [durydäl trigger – (ptiklenip – şappatlanmak) iňl.]

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.

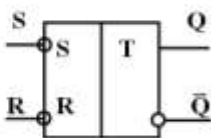
## Asinhron RS triggerler.

Iki görnüşine seredeliň :

### 1) I-NE elementli asinhron RS- triggerler.



Logiki I-NE elementli RS – triggeriň düzülişi.

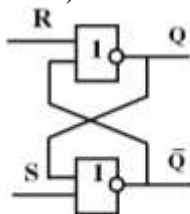


RS – triggeriň shemalarda belgilenişi

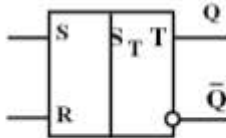
$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q	$\bar{Q}$	Düzgüni
0	0	-	-	Gadagan
0	1	1	0	Yagdaýy-1
1	0	0	1	Yagdaýy-0
1	1	Q'	Q'	Yatda saklaýar

RS – triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş tablisasy. (Yagdaýy – ustanowka manyсында).

### 2) ILI-NE elementli asinhron RS-triggerler



Logiki I-NE elementli RS – triggeriň düzülişi.



Shemalarda belgilenişi

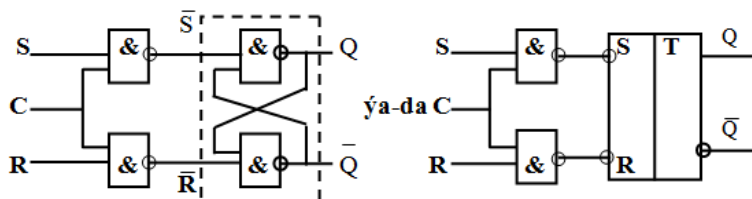
S	R	Q	$\bar{Q}$	Düzgüni
0	0	Q'	Q'	Yatda saklaýar
0	1	0	1	Yagdaýy-0
1	0	1	0	Yagdaýy-1
1	1	-	-	Gadagan

RS – triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş tablisasy

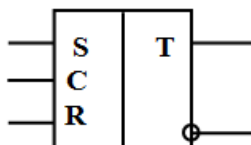
## Sinhron RS-triggerler.

Sinhron RS-triggerlerden hem iki sany mysala seretmek bilen çäklenýäris.

### 1) I-NE elementlerden gurnalan sinhron RS-triggerler



**I-NE** logiki elementlerden ýygňalan birbasgançakly sinhron **RS**-triggeriň düzülişi



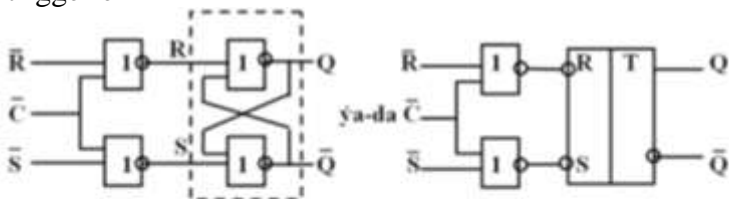
C	S	R	Q	$\bar{Q}$	Düzgüni
1	0	0	$Q^*$	$Q^*$	Ýatda saklaýar
1	0	1	0	1	Ýagdaýy-0
1	1	0	1	0	Ýagdaýy-1
1	1	1	-	-	Gadagan

Sinhron  
**RS**-triggeriň  
Shemalarda  
belgilenşi

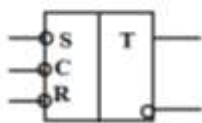
**RS**-triggeriň iki ýanlaýyn  
geçiriş tablisasy.

Shemalarda we tablolarla görkezilen  $Q^*$ -belgi ýatda saklamak düzgüni aňladýar.

## 2) **ILI-NE** elementlerden gurnalán sinhron **RS**-triggerler



**ILI-NE** logiki elementlerden ýygňalan birbasgançakly sinhron **RS**-triggeriň düzülişi

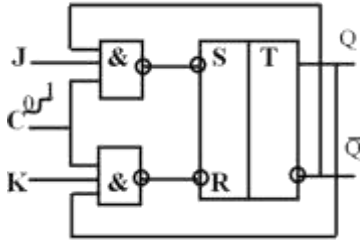


Shemalarda  
belgilenşi

$\bar{C}$	$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q	$\bar{Q}$	Düzgüni
0	0	0	-	-	Gadagan
0	0	1	1	0	Ýagdaýy-1
0	1	0	0	1	Ýagdaýy-0
0	1	1	$Q^*$	$Q^*$	Ýatda saklaýar

Sinhron **RS**-triggeriň iki ýanlaýyn  
geçiriş tablisasy.

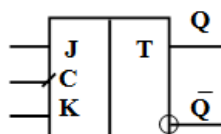
### 3.2.3. Birbasançakly sinhron JK-triggerler.



I-NE logiki elementlerden ýygynalan bir basançakly sinhron **JK**-triggeriň düzülişi

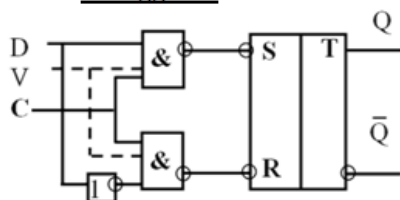
C	J	K	Q	$\bar{Q}$	Düzgüni
	0	0	$Q^*$	$Q^*$	Ýatda saklaýar
	0	1	0	1	Ýagdaýy-0
	1	0	1	0	Ýagdaýy-1
	1	1	$\bar{Q}$	Q	0-dan 1-e ýa-da 1- den 0-a geçiliş

Birbasançakly sinhron **JK**-triggeriň tablisasy

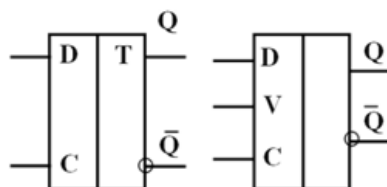


Göni dinamiki geçelgeli  
**JK**-triggeriň shemalarda  
belgilenşi

### D-triggerler



**D** we **DV**-triggerler



Göni statiki girelgeli **D** we  
**DV** triggerleriň shemalarda  
belgilenişleri

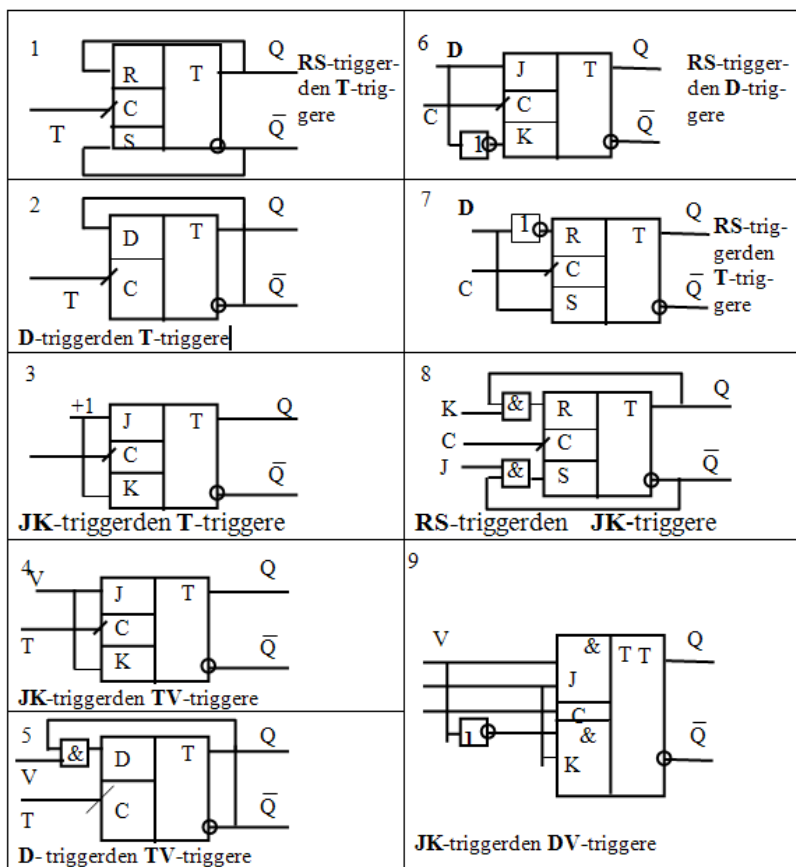
<b>C</b>	1	1	0	0
<b>D</b>	0	1	0	1
<b>Q</b>	0	1	$Q^+$	$Q^+$

Göni statiki girelgeli  
**D** triggeriň iki  
ýanlaýyn geçiriş  
tablisasy

<b>V</b>	1	1	1	1	0	0	0	0
<b>C</b>	1	1	0	0	1	1	0	0
<b>D</b>	0	1	0	1	0	1	0	1
<b>Q</b>	0	1	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$

Göni statiki girelgeli **DV**-triggeriň iki  
ýanlaýyn geçiriş tablisasy.

### 3.2.4. Triggerleriň özara özgerdiş shemalary.



## IV-nji BÖLÜM. GENERATORLAR

### 4.1. 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.

#### 4.1.1. Generatorlaryň klasslara (toparlara) bölünişi.

Elektron generatorlary özleriniň birnäçe nyşanalary (aýratynlyklary) boýunça klasslara bölünýärler :

1. Generirlenen yrgyldylaryň ýygylýk diapazony (giňligi) boýunça bölünişi : **a)** ýygylýkly generatorlar (1-Gers böleginden tä **100 KGS**-e çenli) ; **b)** ýokary ýygylýkly generatorlar (**100 KGS**-den **100 MGS**-e çenli) ; **ç)** aşa ýokary ýygylýkly generatorlar (**AÝÝ**) (**100 MGS**-den ýokary).
2. Generirlenen ýygylýklary formalary boýunça sinus we sinus däl yrgyldylara-da bölýärler.

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 ýygylýkly generatorlar adaty rezonansly **LC** – konturlar bilen döredilýär, şonuň üçin-de bular ýaly konturlara **LC** – generatorlar diýilýär. Pes ýygylýkly generatorlar bolsa – ýygylýkdan 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 kompensirmek bolýar.

Islendik, hatda hil tarapdan aşa ýokary ýyglylykly yrgyldyly konturlarda-da ýitgi bardyr, sonuň üçin-de döreýän islendik ýyglykdaky 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 diýiligidir.

Islendik yrgyldyly sistemada döreýän ýitgileri birnäçe ekwiwalent garşylyklaryň üsti bilen düşündirip bolýar, meselem  $R_{\text{ýitgi}}$  – garşylygy haýsy-da bolsa bir minus alamatly  $R^-$  – garşylyk bilen kompensirleseň, onda  $R_{\text{ýitgi}} - R^- = 0$  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.

Naprýaženiýesi ulalanda togy kiçelýän (we tersine) elementlere minus alamatly garşylyklar diýilýär. Şular ýaly garşylyklara **termistorlar**, **tunelli diodlar**, **tiristorlar**, **birpolýarly** (ýa-da bir sany **p – n** geçişli) **tranzistorlar** degişlidirler.

Bu elementleriň Wolt-Amper häsiýetnamalarynda (WAH-larynda), 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-nyň ýykylýan ýerinde, garşylyk minus alamata eýe bolýar).

Eger-de, sinusdäl yrgyldylar (impulsar) bar bolsa, onda **100%** yzy bilen plýus aragatnaşykly generatorlardan peýdalanmak maslahat berilýär. Şeýle edilende generatorlarda

döreyän yrgyldyly hadysa garmonikasyz (bigarmoniki) bolýar. Şular ýaly bigarmoniki görnüşdäki signallar üçin harçlanýan energiýalaryň mukdaryndan - çeşmeden 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 bölünişleri :

- a) Impulslaryň generatorlary (bloking – generatorlar) ;
- b) Goniburçly yrgyldylaryň generatorlary (multiwibratorlar) ;
- c) Naprýaženiýesi göni üýtgeýän generatorlar (NGÜG) ;

Relaksasion generatorlar üç iş düzgüninde işläp bilýär :

- a) Awtoyrgyldyly düzgünde ;
- b) Haýallanýan (tormozlanýan) iş düzgüninde ;
- c) Sinhronly iş düzgünde.

Relaksasion generatorlar durnukly we deňagramly belli bir ýagdaýda işlände **birwibratorly** 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 ýalňyş bolmaz.

Awtoyrgyldyly 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 ýygylklary gaýtalanyp durýan 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 (awtogeneratorlar).

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, yzy bilen plýus baglanşykly zynjyryň üsti (kömegi) bilen amala aşyrylýar.

Awtogeneratorlarda öz-özünden oýanmagyň ýörite şertleri bardyr. Olaryň girelge signallary bolmaýar. Şonuň üçin-de, döreýän durnukly yrgyldylar takyk şertler bilen baglanşykdadyrlar. 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 :  $\kappa$  – güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti ;

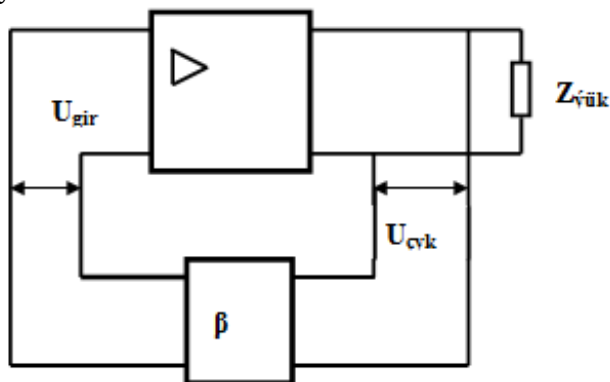
$\beta$  – yzy bilen arabaglanyş koeffisiýenti ;

$\varphi$  – güýçlendirijiniň naprýaženiýesiniň süýşme burçy;

$\psi$  – yzy bilen arabaglanyş naprýaženiýesiniň süýşme burçy ;

$n = 0, 1, 2, 3, 4...$  islendik san.

Birinji ( $\kappa\beta \geq 1$ ) aňlatmanyň manysy, amplitudalar balansynyň şertini aňladýar. Bu aňlatma, generatorda öz-özünden oýandyrylma hadysasy bolup geçende yzy bilen arabaglanşygy emele getirýän zynjyryň çykalgasyndaky signalyň güýçlendirijidäki girelge signalyndan kiçi bolmaly dälidigini aňladýar.



### 1.1-nji çyzgy. Awtogeneratoryň gurluşynyň shemasy.

1.1-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  $\beta$  – elementiniň, hem-de - güýçlendirijiniň girelge we çykalga naprýaženiýeleri öz güýçlendiriji koeffisiýentleri bilen aňladylýarlar. (Ähli ululyklar kompleks görnüşde ýazyldy).

$$\underline{U}_{gir} = \underline{\beta} \cdot \underline{U}_{çyk}; \quad \underline{U}_{çyk} = \underline{k} \cdot \underline{U}_{gir};$$

$$\underline{U}_{çyk} = \underline{k} \cdot \underline{\beta} \cdot \underline{U}_{çyk};$$

$\underline{k} \cdot \underline{\beta} = 1$  bolanda dogrudyr. Bu ýerde  $\underline{k}$  bilen  $\underline{\beta}$  – güýçlendiriji bilen yzyna baglanşygyň deňişlilikde güýçlendirij koeffisiýentleriniň modullary  $\varphi$  bilen,  $\psi$  – 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  $k \cdot \beta = 1$  şert ýerine ýetse, onda awtogeneratorda sönmeýän yrgyldylar döreýär. Köplenç ýagdaýlarda  $k$  bilen  $\beta$  – koeffisiýentleriň köpeltmek hasyly  $k \cdot \beta \geq 1$  kanagatlanar ýaly edip gurnaýarlar.

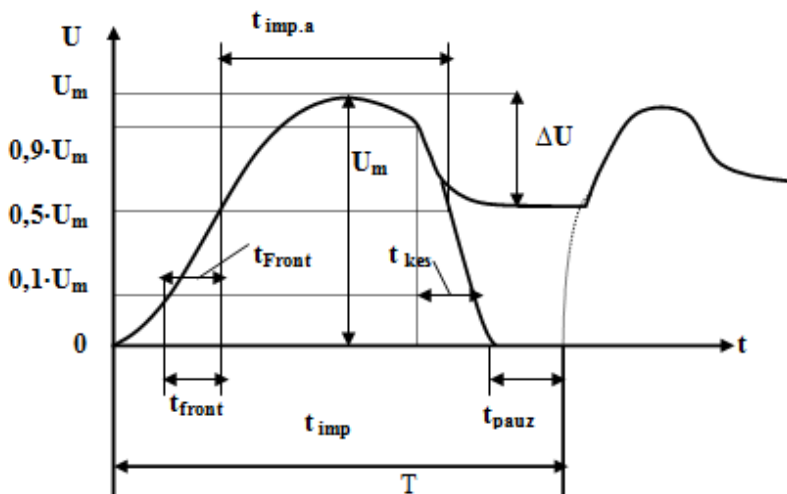
Umuman  $k$  bilen  $\beta$  koeffisiýentler ýygylyga baglydyrlar, şonuň üçin-de kompleks görnüşde aňladylýarlar.

Eger-de, öz-özünden oýandyrylýan prosesleriň şerti hiç bolmanda bir ýygylyk üçin kanagatlandyryýan bolsa, onda garmoniki ýygylyklar döreýär. Eger-de, öz-özünden oýandyrylmagyň şerti birnäçe ýygylyklary kanagatlandyryýan bolsa, onda çylşyrymly formalaryň yrgyldylary döreýär. Bu çylşyrymly formalar birnäçe garmoniki yrgyldylaryň goşulmalaryndan (düzüminden) emele gelýär.

## 4.2. Impulslaryň parametrleri.

### 4.2.1. Doldurylýan koeffisiýent bilen skwažnost.

Mysal hökmünde, gönüburçly real impulsyň esasy parametrleri hakda düşüňjeleri özleşdireliň



2.1-nji çyzgy. Impulsyň esasy parametrlerini özleşdirmek üçin diagramma.

**Amplituda** – Berilen naprýaženiýeniň 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 esasynyň  $t_{\text{impuls}}$  – dowamlylygy bilen kesgitlenilýär.

Impulsyň aktiw  $t_{\text{imp.a}}$  – 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  $t_{\text{imp}}$  – wagty bilen bir pauzanyň  $t_{\text{pauz}}$  – wagtyň jemlerine deňdir.

$$T = t_{\text{imp}} + t_{\text{pauz}}$$

Doldurylan koeffisiýent diýlip, impulsyň  $t_{\text{imp}}$  – uzynlygynyň gaýtalanýan  $T$  – periodyna bolan gatnaşygyna aýdylýar  $\gamma = t_{\text{imp}} / T$

Dolandurylan koeffisiýentiň ters ululygyna impulsyň skwažnosti diýilýär.

$$q = \frac{1}{\gamma} = \frac{T}{t_{\text{imp}}}$$

#### 4.2.2. Impulsyň uzynlygy we onuň frontynyň ýapgytlygy.

Impulsyň frontunyň alny (öňi) we kesilýän ýeri (yzy) diýilýän böleklere bölýärler.

Impulsyň öňündäki 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 ( $t_{\text{imp.a}}$ ) – uzynlygydyr. Bu  $t_{\text{imp.a}}$  – wagta impulsyň  $0,1 U_m$  – bahasyndan tä  $0,9 U_m$  – bahasyňa çenli anyklanylýar. Frontuň kesilýän  $t_{\text{kes}}$  – wagtyň uzynlygy bolsa impulsyň  $0,9 U_m$  bahasyndan tä  $0,1 U_m$  – bahasyňa çenli peselýän aralygy göz önünde tutulýar.

Käwagtlar  $t_{\text{front}}$  – bilen  $t_{\text{kes}}$  – wagtlaryň deregine frontyň ösüş (ýa-da peseliş) tizligini häsiýetlendirýän ululyklardan peýdalanýarlar. Bu ululyga impulsyň frontunyň **ýapgytlygy** (krutiznasy) diýilýär.

$$\frac{W}{s}$$

$s$  – harp bilen belgilenýär we Wolt/sekundda ölçenilýär.

Impulsyň frontlarynyň aralygyna impulsyň tekiz üsti (depesi) diýilýär. 11.2-nji çyzgyda impulsyň tekiz üstüniň pese gaçyşy görkezildi.

**Impulsyň kuwwaty.** Impulsyň  $W_{\text{imp}}$  – 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.

$$P_{\text{orta}} = \frac{W}{T}$$

$P_{\text{imp}}$  bilen  $P_{\text{ort}}$  deňlemeleri özara deňläp ýazsak şu aşakdaky netijä geleris.

Görüşimiz ýaly impulsdaky kuwwat generatoryň ortaça kuwwatyndan  $q$  esse artykdyr.

### 4.3. Multiwibratorlar, iş ýygylgy, olaryň durnuklylygy, ýygylgy sazlamak, mikroshemada gurnalşy.

#### 4.3.1. Multiwibratorlar.

**Multi** – Latyn sözi – birnäçe, juda köp diýmegi aňlatsa, **wibrator** – hem Latyn sözi – **ýrgyldy** diýen manyny berýär.

Dürli – dürli impulslar bilen işleýän gurnamalaryň girelgesine ýa-da başga görnüşli zynjyrlara formasy göniburçly naprýaženiýeniň impulslary talap edilýär. Şular ýaly göniburçly impulslary öndürýän generatorlara bolsa multiwibrator diýilýär.

Multiwibratorlar iki sany güýçlendiriji kaskaddan we zyz bilen çuňňur we plýus arabaglanşygy emele getirýän zynjyrdan gurnalýar.

Göniburçly impulslaryň formalaryny kämilleşdirmek üçin iki sany prosesden ýagny **regeneratiw\*** we **releksasion\*\*** proseslerden peýdalanýarlar.

Regeneratiw prosesi göniburçly impulsyň parametrleri hasap edilýän frontuň we kesilişiň formasyny kämilleşdirmek



üçin peýdalanýarlar. Regeneratiw proses diýlip, yzy 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 impulslaryň 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** – Latyn sözi – Gowşamak, pese geçmek, prosesiň gutarmagy ýaly manylary berýär.

#### 4.3.2. Tranzistorlardan gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.

Tranzistorlardan gurnalan multiwibratoryň awtoyrgyldyly düzgüninde işleýşini özleşdireliň. Multiwibrator awtoyrgyldyly düzgünde işlände ýygylgy boýunça giň spektrli, göniburçly impulslary öndürýär (**Spektr** – Latyn sözi – garmoniki yrgyldylaryň toplumy). Multiwibrator diýilmeginiň sebäbi-de sözün dogry manysynda birnäçe (juda köp) yrgyldylar öndürji diýmekdir.

Eger-de 3.1-nji çyzgyda tranzistordan gurnalan multiwibratoryň shemasy görkezilen bolsa, onda 3.2-nji çyzgyda multiwibratorda bolup geçýän prosesleriň  $t$  – wagta görä diagrammalary guruldy.

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.

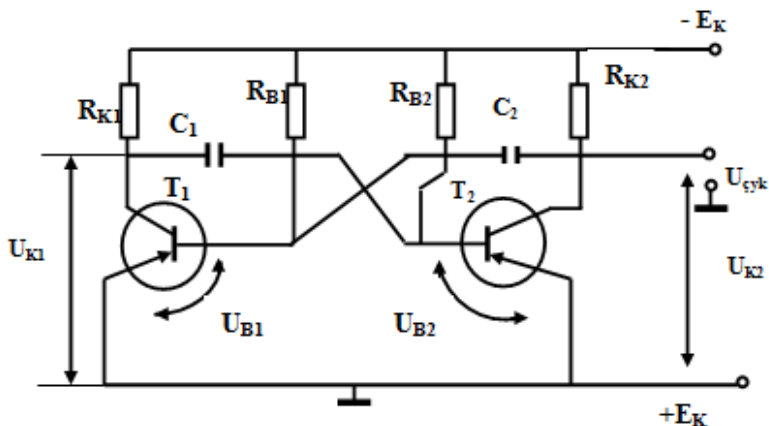
Ikinji  $T_2$  – tranzistor ýapylandan soň  $C_2$  – kondensator zarýadlanyp başlanýar :  $C_2$  – kondensatoryň zarýadlanýş ýolunyň zynjyry  $+E_K$  – Ýer –  $T_1$  –  $C_2$  –  $R_{K2}$  – (– $E_K$ ). Emele gelen şeýle ýapyk zynjyryň üsti bilen  $T_2$  – tranzistoryň kollektoryndaky naprýaženiýe özüniň 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.

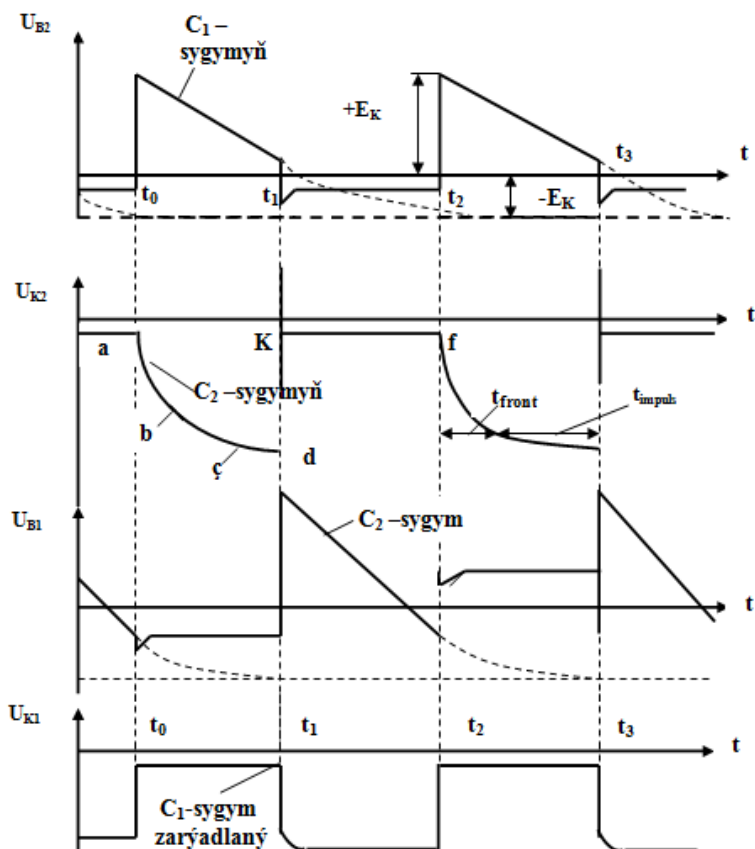
Edil şular ýaly-da  $T_1$  – tranzistoryň ýüklenmegi we  $C_1$  – kondensatoryň razrýadlanmagy  $+E_K$  – Ýer –  $T_1$  –  $C_1$  –  $R_{B2}$  – (– $E_K$ ) ýapyk zynjyryň üsti bilen amala aşýar. Zarýadsyzlanmak prosesi doly gutarýança dowam edýär.

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.



3.1-nji çyzgy. Tranzistordan gurnalan multiwibratoryň shemasy.



3.2-nji cyzgy. Multiwibratordaky signallaryň diagrammalary.

Açylan tranzistorlaryň bazasyndan böküşin 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  $T_1$  – iň açylmagyna ýapylýan  $T_2$  – tranzistoryň kollektoryndan  $C_2$  – sygymyn 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 (3.2-nji çyzgyda - - - çyzyklar). Kondensatorlaryň zarýadlanmagy we zarýadsyzlanmaklary eksponentiň kanuny esasynda bolup geçýär. Bu proses ( $-E_K$ ) – baha ýetýänçe dowan edýär.

#### **4.3.3. Logiki elementlerden gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.**

Awtoyrgyldyly multiwibratorlary II – HE hem-de ИЛИИ – HE logiki elementlerden-de gurnap bolýar, sebäbi sifrli kaskadlaryň çykalgasyndaky güýçlendirijiniň shemasy inwertordyr.

Mysal hökmünde 3.3-nji çyzgyda logiki elementlerden gurnalan multiwibATORYň shemasy, 3.4-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 baglanşykdadylrlar ( $C_1R_2$  we  $C_2 R_1$ ) sonuň üçin-de yzy bilen (+) – plýus arabaglanşyk döreýär.

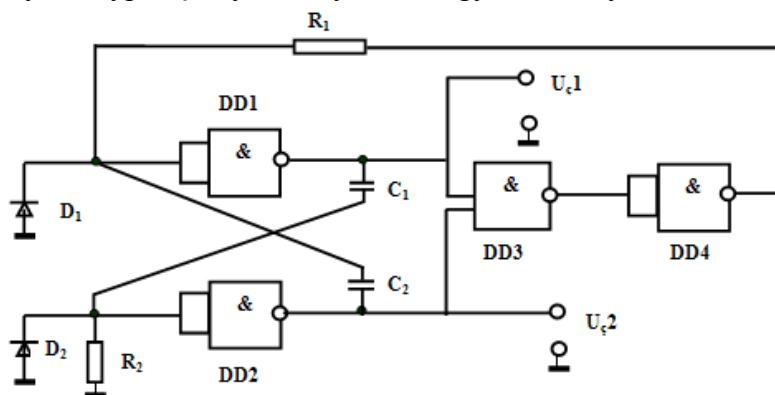
3. Shemadaky  $D_1$  we  $D_2$  – diodlar goraýjy bolup hyzmat edýärler, sebäbi olardaky naprýaženiýe ( $-0,7W$ ) – dan aşak düşmeýärler. Eger-de diodlar ýok bolsa (meselem köýse), onda kondensatorlardan gelýän ummasyz minus

naprýażeniýe mikroshemanyň hatardan çykmagyna sebäp bolýar.

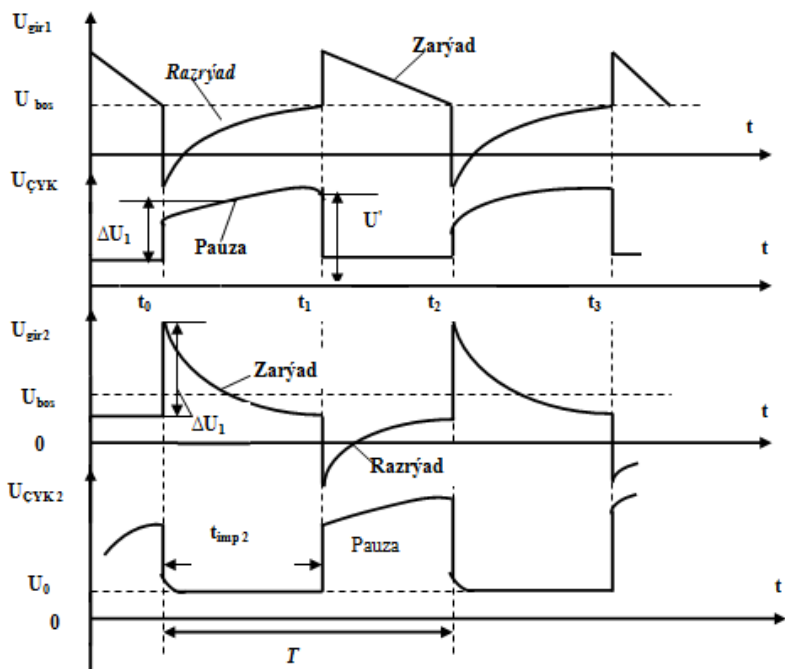
4. Shemadaky DD3 bilen DD4 elementler И – logiki elementi emele getirýärler. Bu logiki И – element, haçanda DD1 bilen DD2 elementlerin girelgelerine birwagtyň özünde ýokary derejeli signal berilende multiwibrator tötänden açylman duraýsa, onuň öňüni alyp, multiwibratoryň açylmagyny üpjün edýär.

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  $R_{\text{ЧЫК}}$  – garşylygyň juda kiçiligi sebäpli, shemanyň sag tarapyndaky  $R_1$  – garşylygyň hem-de açylygy duran DD4 elementiň üsti bilen Ýere – birikdirilgi zynjyry emele getirýär.

Shemanyň işleýşi. Goý, DD1 elementiň çykalgasyndaky naprýażeniýe  $\Delta U_1$  – ululykda böküp ulaldy, DD2 elementiň çykalgasynda bolsa şonça naprýażeniýe böküp aşak düşdi diýeliň. Şeýle bolanda  $C_1$  – kondensator  $R_{\text{ЧЫК}}$  – garşylygyň, DD1 – elementiň we  $R_2$  – garşylygyň üsti bilen zarýadlanyp başlanýar. Zarýadlanmagyň dowamy.



3.3-nji çyzgy. Logiki elementlerden gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.



3.4-njy çyzgy. Logiki multiwibratordaky signallaryň diagrammalary.

Shemada görkezilen  $R_2$  – garşylyga  $C_1$  – kondensatordan düşýän  $U$  – naprýaženiýe DD2 – elementiň girelgesinde (+) – plýus polýarlygy üpjün edip, bu DD2 – elementiň açyk ýagdaýynda ( $U_{\text{ÇYK2}}=U^0$ ) saklanmagyna ýardam edýär. Şol bir wagtyň özünde  $C_2$  – kondensator ujypsyz  $R_{\text{ÇYK}}$  – 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 ( $U_{\text{ÇYK1}}=U'$ ) şeýlelikde,  $C_1$  – kondensatoryň zarýadlanyp başlamagy bilen ondaky tok kiçelip başlaýar. Şonuň üçin-de  $R_{\text{ÇYK1}}$  – garşylyga düşýän naprýaženiýeniň DD1 – elementde peselmegine,  $U_{\text{ÇYK1}}$  – naprýaženiýeniň ulalmagyna, DD2 – elementiň girelgesindäki  $U_{\text{gir2}}$  – naprýaženiýeniň kiçelmegine getirýär.

$\tau = C_1 (R_2 + R_{\text{ЧК}})$  formula bilen anyklanylýar.

Kä wagtlar  $U_{\text{gir2}}$  – peselip DD2 – elementiň işleýän nokady öňki ýagdaýynda geçiş häsiýetnamanyň aktiw bölegine geçýär, şonuň üçin-de  $U_{\text{gir2}}$  – naprýaženiýeniň kesilmegi  $U_{\text{ЧК2}}$  – naprýaženiýeniň ösmegine getirýär. Bu bolsa  $C_2$  – kondensatoryň üsti bilen DD1 – elementiň girelgesine täsir edýär.

Haçanda  $U_{\text{gir1}}$  – 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  $U_{\text{ЧК2}}$  – naprýaženiýe duýdansyz ulalýar,  $U_{\text{ЧК1}}$  – naprýaženiýe bolsa tersine duýdansyz kiçelýär. Netijede DD1 – element açylýar ( $U_{\text{ЧК1}}=U^0$ ), DD2 – element bolsa ýapylýar ( $U_{\text{ЧК2}}\approx U'$ ).

Şeýle pursatda  $U_{\text{gir2}}$  – naprýaženiýe  $U_{\text{bosaga}}$  – naprýaženiýesine deňleşýär. Soňra,  $C_2$  – kondensator zarýadlanyp başlaýar,  $C_1$  – kondensator bolsa D2 – diodyň,  $R_{\text{ЧК}}$  – garşylygyň hem-de DD1 – elementiň üstleri bilen çalt zarýadсылланýar we ikinji ýarymperiod başlanýar. Ikinji ýarymperiodyň-da iş düzgüni ýokardaky düşündirilişlere meňzeşdir.



## Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşin täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşin täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazeti, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Alihan Ökdirow, Tahyr Kuliýew. Senagat Elektronikasy. Aşgabat. Ýlym. 2005
11. Б.И. Горшков. Элементы радиоэлектронных устройств – М.: Радиосвязь, 1988.
12. И.П. Степанко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем – М.: Энергия, 1977

13. М. Кауфман, А. Сидман. Практическое руководство по расчетам схем электроники 1 часть. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
14. Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н. А. Чарыков. Полупроводниковые приборы – М.: Энергоатомиздат, 1990.
15. Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам. Под ред. К.В.Шалимовой, Москва – 1968
16. Internetden alnan maglumatlar.

## MAZMUNY

I-nji BÖLÜM. ÝARYMGEÇIRIJI ENJAMLAR.....	6
1.1. Ýarym geçiriji enjamlar barada umumy düşünjeler we işleýiş prinsipleri.....	7
1.1.1. Ýarymgeçirijilerde elektrik hadysalar .....	7
1.1.2. Elektronlaryň we deşikleriň hereketleri .....	9
1.1.3. Ýarymgeçirijilerde dreýf we diffuzion toklar. ....	14
1.2. Ýarymgeçirijilerde elektronlaryň we deşikleriň statistikasy. ....	16
1.2.1. Fermi-Diragyň statistikasy boýunça paýlanyş funksiýa.....	17
1.2.2. Ýarymgeçirijilerde elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýasy. ....	19
1.2.3. Hususy ýarymgeçirijide erkin zarýadlaryň konsentrasiýasy. ....	22
1.3. Kinetiki hadysalar.....	24
1.3.1. Elektrik meýdanynda erkin zarýadlaryň dreýfi. ....	24
1.3.2. Erkin zarýadlaryň hereket edijiligi.....	25
1.3.3. Ýarymgeçirijileriň elektrik geçirijiligi.....	26
1.4. Ýarym geçiriji diodlar. ....	30
1.4.1. Ýarymgeçiriji diodlar. Olaryň alnyşy. ....	30
1.4.2. Diffuziýa usuly.....	31
1.4.3. Epitaksiýa usuly. ....	32
1.4.4. p-n-geçişiň deňagramlykdaky ýagdaýy. ..	33
1.5. Deňagramlykda däl p-n-geçiş.....	36
1.5.1. Deňagramlykda däl p-n-geçiş. p-n-geçişiň barýer sygymy.....	36

1.5.2. P-n- geçişde göni we ters toklar.....	39
1.6. Diodyň köp görnüşligi.....	44
1.6.1. Göneldiji diodlar .....	44
1.6.2. Stabilitronlar.....	46
1.6.3. Ortaça kuwwatly diodlaryň harpla bilen şertli belgilenşi (markirowkasy). ....	50
1.6.4. Tunnel diodlary. ....	51
1.7. Tranzistorlar, tranzistordaky prosesler. ....	53
1.7.1. Umumy maglumatlar .....	53
1.7.2. Tranzistorlaryň görnüşleri.....	53
1.7.3. Shemalarda belgilenişi .....	54
1.7.4. Ikipolýarly (bi-polýarly) tranzistorlar. ....	54
1.8. Tranzistorlaryň shema birleşdirlişi. Statiki häsiýetnamalary.....	58
1.8.1. Ikipolýarly tranzistorlaryň shemalara birleşdirlişi. ....	58
1.8.2. Tranzistorlaryň statiki häsiýetnamalary...	60
1.9. Ekwiwalent, hasaplama parametrleri, tranzistorlaryň h-parametri.....	63
1.9.1. Tranzistorlaryň ekwiwalent parametrleri.	63
1.9.2. Dörtpolýuslygyň h – parametrli deňlemeler toparynyň ulanylyşy. ....	65
II-nji GÜÝÇLENDIRIJILER.....	69
2.1. Güýçlendiriji kaskad, işleýän nokadyň saýlawy, tipli shemalar, giriş we çykyş ekwiwalent shemalar. ....	69
2.1.1. Elektronly güýçlendirijiler hakda umumy maglumatlar. ....	69
2.1.2. Çüýçlendirijileriň girelgesi we çykalgasy üçin hodürlenilýän ekwiwalent shemalar.	71

2.2. Elektrik güýçlendirijileriň nazary hasaplary. ..	73
2.2.1. Güýçlendirijilerde güýçlendiriş koeffisiýentler. ....	73
2.2.2. Güýçlendirijileriň häsiýetnamalary.....	75
2.2.3. Giňgerimli güýçlendirijiler we olaryň häsiýetnamalary. ....	77
2.3. Güýçlendirijileriň çykyş signallary. ....	78
2.3.1. Güýçlendirijileriň çykyş signallarynyň ýoýulmaklary. ....	78
2.3.2. Güýçlendirijilerdäki elementleriň iş düzgünleri. ....	82
2.4. Emmiter gaýtalaýjylar, ýönekeý gaýtalaýjylar, giriş garşylygy, galşyramgy gaýtalaýjylar. ....	84
2.4.1. Güýçlenmegiň klasslary (görnüşleri). ....	84
2.4.2. Güýçlendirijilerde yzy bilen arabaglanşygyň zerurlygy. ....	87
2.5. Emmitler girişli kaskadralyryň işi, olaryň orta ýygyllykly kaskadyň emmitler bilen aragatnaşygy.....	90
2.5.1. Güýçlendirijilerde güýçlendiriş koeffisiýentler we olaryň tapylyşlary. ....	90
2.5.2. Güýçlendirijileriň häsiýetnamalary.....	92
2.6. Operasion güýçlendirijiler (OG). ....	95
2.6.1. OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri. ....	95
2.6.2. Operasion güýçlendirijileriň parametrleri. ....	99
2.6.3. Ideal operasion güýçlendirijiler, ulanylýan ýerleri we düzümi. ....	100
2.6.4. OG-leriň iýmitlendirilişi we olaryň häsiýetnamalary. ....	102

2.7. Operasion güýçlendirijileriň esasy shemalary. ....	105
2.7.1. Inwentirleýän we inwentirlemeýän güýçlendiriji. ....	105
2.7.2. Summirleýän güýçlendiriji (Summator). ....	107
2.7.3. Differensial (tapawudyny berýän) güýçlendiriji. ....	108
2.7.4. Differensirleýän güýçlendiriji (Differensiator). ....	109
III-nji BÖLÜM TRANZISTORLY AÇARLAR. ....	111
3.1. Süzgüçleri (filtrler). ....	111
3.1.1. Signallaryň örküçlerini düzleýji elektrik süzgüçleri. ....	111
3.1.2. Tranzistorly süzgüçler. ....	115
3.2. Simmetrik we simmetrik däl triggerler, olardaky geçiş prosesler. ....	117
3.2.1. Triggerler hakda umumy maglumatlar. ....	117
3.2.2. Asinhron we sinhron RS triggerler. ....	118
3.2.3. Birbasgançakly sinhron JK-triggerler. ....	121
3.2.4. Triggerleriň özara özgerdiş shemalary. ....	123
IV-nji BÖLÜM. GENERATORLAR. ....	125
4.1. Elektron generatorlary hakda umumy maglumat. ....	125
4.1.1. Generatorlaryň klasslara (toparlara) bölünişi. ....	125
4.2. Impulslaryň parametrleri. ....	130
4.2.1. Doldurylýan koeffisiýent bilen skwažnost. ....	130
4.2.2. Impulsyň uzynlygy we onuň frontynyň ýapgytlygy. ....	132

4.3. Multiwibratorlar, ish ýygylgy, olaryň durnuklylygy, ýygylgy sazlamak, mikroshemada gurnalyşy. ....	133
4.3.1. Multiwibratorlar. ....	133
4.3.2. Tranzistorlardan gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.....	134
4.3.3. Logiki elementlerden gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.....	138
Edebiýatlar .....	142