

TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRRLIGI
TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

Baýram Annamyradow

AWTOMATIKANYŇ
ULGAMLARYNY WE
SERIŞDELERINI
SAZLAMAK

Mikroelektronika we ýarym geçirijili enjamlar hünäri üçin

Aşgabat – 2010ý.

I-nji BÖLÜM

AWTOMATIKANYŇ SERIŞDELERINDE ÝARYMGEÇIRIJI ENJAMLAR

1.1. Awtomatika we mikroelektronika umumy maglumatlar.

Awtomatikanyň formirlenmegi, bu ylmyň we tehnikanyň özbaşdak bir bölegi bolup umumy düşünje bilen kesgitlenýär. Şu kesgitli düşünje we öňden dogry akyl ýetirmeklik talyplar üçin wajypdyr.

Awtomatika - bu kesgitli prosessli operasiýany ýerine ýetirmekte adamyň gatnaşygy bolmanda işlenilýän tehniki prosessleriň we metodlaryň toplumydyr.

Awtomatlaşdyrmak - bu prosess, ýagny dolandyрма funksiýasyna gözegçilik etmegi awtomatikanyň metodikalary we serişdeleri bilen amala aşyrylýar. Önümçiligi awtomatlaşdyrmak derejesi boýunça tapawutlandyryşlar: böllekleýin, kompleks we doly awtomatlaşdyrmak.

Awtomatiki gözegçilik - bu hereketiň zerur bolan täsirini aýdynlaş-dyrmak maksady bilen, obýektiň gözegçilik edilýän parametrleriň (informasiýasyny) maglumatyny awtomatiki kabul etmek we ony işläp bejermekdir.

Awtomatik gorag - gözegçilik edilýän parametrleriň bellenen belli bir bahasyndan üýtgän mahalynda prosessi bes edýän metodgarnyň we serişdelerin toplumydyr.

Awtomatiki sazlama - bu girizilen programma baglylykda dolandy-ryjy prosessiň syzma talaplaryny kesgitleýän parametrleriň berlen bahalaryny awtomatiki üpjün etmekdir. Awtomatiki sazlamany awto-matiki dolandyryjyň bir bölegi hökmünde seretmek bolar. Sazlama obýektiniň toplumyny we awtomatiki sazlaýjyny - awtomatiki sazlama sistemasy (ASS (SAR)) diýip atlandyryşlar.

Funksionirleme algoritmi - diýip haýsy hem bolsa gurluş sistema toplumynyň ýa-da gurluşyn tehniki prosessiniň

dogry ýerine ýetirilmegine alyp barýan buýruklar toplumyna aýdylýar.

Dolandyryw algoritmi - diýip, funksionirleme algoritmini ýerine ýetirmek maksady bilen dolandyryjy obýektine daşky täsirleriň häsietlerini kesgitleýän buýruklar toplumyna aýdylýar.

Awtomatiki dolandyryjy gurluş – bu dolandyryjy algoritme bagly-lygynda dolandyryş obýektine täsir edýän gurluşdyr.

Awtomatiki çyzyk (göni) - bu bir tipli detallaryň gruppalary ýa-da detallary işläp bejermegiň doly siklini üpjün edýän, merkezi EHM -den umumy ADS (awtomatiki dolandyryjy sistema) bilen birleşen we kömekçi abzanlary bilen daşamak serşideleri bilen baglanşykly, bolan zygnder ýerine etirlen tehnologiýa operasiýalarynda ýerleşdirilen awtomatlaşdyrylan işçi maşynlarynyň kompleksidir.

Awtomatiki uçastok (bölüm) - bu operasiýanyň dürli zygiderlikde bir tipli detallary işläp bejermegi üpjün edýän, merkezi EHM-den grup-paly dolandyryş ýeke-täk sistemasy bolan şol sanda monipul-ýatorlar transport sistemasynyň kömegi bilen baglynyşan modullardan ýa-da öýjüklerden, bir näçe awtomatlaşdyrylan stanoklardan ybarat bolan kompleksdir.

1.2. Mikroelektronika hakda umumy maglumatlar.

Kesgitlemesi – Elektrik enjamlarynyň göwrümini, agramyny, bahasyny azaltmak, işe çydamlylygyny ýokarlandyrmak we gurluş suduryny, ýasalýş tehnologiýasyny (tilsimini), elektrik çatym işlerini miniatýurlemek we mikrominiatýurlemek ýaly işleri öwredýän elektronikanyň bu pudagyna (ugruna) mikroelektronika diýilýär.

Mikroelektronikanyň ösüş ýollaryny iki ugur bilen düşündirýärler. Birinjisi miniatýurlemek, ikinjisi bolsa mikrominiatýurlemekdir.

Miniatýurlemek – san hasabynda ýagny mukdar düşüňjani, elektron abzallaryndaky enjamlaryň, bloklaryň, düwünleriň we elementleriň agramlaryny, göwürümlerini kiçeltmekdir.

Elektron abzallarynyň miniatýurlenmeçleri netijesinde mikromodul önümleri peýda boldy. Mikromodullar özleriniň gurluşlary we ýygnaýuş usullary boýunça iki topara bölünýärler: Birinjisi – ýasy (tekiz üstli); Ikinjisi – gatlakly (göwürümlü).

Tekiz üstli mikromodullar – gutarnykly funksional düwünler bolup, mikroelementlerden taýýarlanylýarlar. Olarda diňe sim çykalgalary bolup peçatlanan (ýelimlenen) platalarda ýygnaýýarlar. Platalar reňkli metaldan ýasalan ekranlarda ýerleşdirilýärler we germetizlenýärler (tä gömülýänçe eboksidi eredip guýýarlar).

Gatlakly (göwürümlü) – mikromodullar dielektrikden ýasalyp, ýörite ýasalan mikroplatalarda mikroelementleriň toplumlary berkidilýärler (rezistorlar, kondensatorlar, induktiv tegekler, transformatorlar we ş.m.).

Mikroelementleri mikroplatalarda ýygnaýýaryndan soň, mikroplatalary toplaý gatlaklaýýarlar. Şonuň üçin-de gatlaklanan mikromodullara göwürümlü diýilýär.

Mikrominiatýurizasiýa – diýlende mikroelektronikanyň hil tarapyna seredilýär (ýagny-elektron abzallaryndaky bloklaryň, elementleriň we düwünleriň agramy ýa-da göwürümi, kiçeldiljek bolunmaýar). Mikrominiatýurizasiýa täze tehnologiýa proseslere esaslanyp oňa tehnologiýasy integrirlenýän mikroelektronika diýilýär.

Integrasiýa – Latyn sözi – bütinlemek diýmekdir (ýagny, birnäçe elementleri ýa-da bölekleri bir bütewi görnüşe getirmekdir). Tehnologiýasy integrirlenýän mikroelektronika ýola goýulandygy sebäpli mikroelektronikanyň esasyny düzýän IMS – integrirlenen mikroshemalar emele geldi.

Integrirlenilýän tehnologiýanyň esasy prinsipi (maksady) tehnologiýasy meýillenip (planirlenip) toparlaýyn (tapgyrlaýyn) usulda önümleri çykarmakdyr.

Toparlaýyn usulda – diametrleri 25-8- mm we ondan-da uly ýarymgeçiriji plastinalardan bir wagtyň özünde ummasyz köp sanly elementleri ýa-da funksional düwünleri ýa bolmasa platalaryň kompleks elementleri taýýarlanylýar, soňra şol ýarymgeçiriji plastinany birnäçe aýratyn böleklere (kristally integral mikroshemalara) IMS – lara dürli usullar bilen kesýärler.

Termin « kristal », hiç hili korpussyz we simli çykalgasy bolmadyk taýýar ýarymgeçiriji abzallarda we mikroshemalarda – MS, resmi kabul edilipdir. Bu termin şowsuz kabul edilen termindir, sebäbi fizika ylmynda ulanylýan « kristal » düşüňjesi bilen gabat gelýär. Köp ýurtlarda bu terminiň deregine « run » sözi ulanylýar. Türkmençe-de mikroelektronika bölümünde ulanylýan « kristal » sözünüň deregine fiziki manysyny berip biljek söz ulanylsa gowy bolardy, meselem ýarymabzal – ýarymgeçirijilerden gurnalan abzal diýildigi we ş.m.

Planirlenen tehnologiýa – bir gezekki tehnologi prosesinde IMS-iň ähli elementleri ýarymgeçiriji kristalyň üst tekizliginde kemala getirilýär. Netijede, bir tapgyrda bir sany IMS däl-de onlarça (hatda yüzlerçe) IMS taýýarlanylýar.

Planar – iňlis sözi bolup, onuň esasynda Latynlaryň « planus » - sözi ýatyr, türkmençe – tekizlik, düzlük diýmekdir. Taryhy nukdaý nazardan seredeniňde integral mikroelektronikanyň ösüş ýoluny baş düwürä bölýärler :

Birinji döwür – XX-asyryň 60-nji ýyllarynyň birinji ýarymýyllygyna degişli bolup, integral mikroshemalaryň derejesi (orny) her bir kristalda 10-dan 100 aralykdaky elementler bilen häsiýetlendirilipdir, olaryň minimal (iň kiçi) ölçegleri 100 mkm töweregi bolupdyr.

Ikinji döwür – 60-nji ýyllaryň ikinji ýarymýyllygyndan 70-nji ýyllaryň birinji ýarymýyllygyna degişli bolup,

integrirlenen mikroshemalarynyň derejesi (her kristalda) 100-den 1000 aralykdaky elementler bilen häsiýetlendirilipdir, olaryň minimal ölçegleri 100 mkm-den 3 mkm aralyklarda bolupdyr.

Üçinji döwür – 70-nji ýyllaryň ikinji ýarymyndan başlanýar. Integrirlenen mikroshemalaryň derejesi (mukdary) her kristalda 1000 element bolup, ölçegleri 1 mkm çenlidir. Uly integrirlenen mikroshemalaryň (UIS-iň) üstünde dünýä möçberinde ylmy işler alnyp barylýar we önümçilikde özleşdirmelik dowam edýär.

Dürdünji döwür – Aşa ýokary integrirlenen mikroshemalaryň (AÝIS-iň) üstünde ylmy işler dowam edýär. Her bir kristalyň üstündäki elementleriň derejesi (mukdary) 10^5 -e çenlidir, ölçegleri 0,1 mkm töweregidir.

Bäşinji döwür – UIS bilen AÝIS-leriň bazasynda mikroprosesleri (MP) we mikro-EHM-leri (elektrik hasaplaýjy maşynlary) giň möçberde ulanmak bilen häsiýetlendirilýär.

Funksional elektronikanyň döremegi bilen mikrominiatýurizasiýanyň ikinji bir tarapy emele geldi. Bu ugurda öňden belli bolan elektron elementleri we shemalary ulanylmazdan elektron abzallarynyň gurluşlary hil tarapdan gowulandyrmakda we iş ýerinde ornaşdyrmakda uly ösüşler gazanyldy.

Funksional elektronika fiziki meýdanlaryň we dinamiki güýçleriň özara täsirleri netijesinde döreýän näsazlyklary birjynsyzlygyň sebäplerini öwredýänliginden başga-da, jisimleriň köplüğine, üznüksizdiklerine garamazdan, informasiýalary gowulandyrmak we arassalamak ýaly işleri bitirip bilýän täze prinsipli abzallary döretmekde hem-de stabill ýagdaýda işletmekde çäksiz baha eýedir. Funksional elektronikaly abzallarda elektrik signallaryny özgertmek, güýçlendirmek ýa-da generirlemek üçin gaty jisimlerdäki fiziki häsiýetler we hadysalar ulanylýar.

Funksional elektronikany häsiýetlendirýän esasy ugurlar mikroelektronikanyň ösüş ýollaryny görkezýän daragtda görkezildi

1.2.1. Mikroelektronikanyň predmeti.

Kesgitlemesi. Elektronika – zaryadlanan bölejikleriň elektromagnit meýdany bilen özara täsirlerini hem-de elektron abzallaryny we gurnamalaryny döretmegiň we olary önümçilikde ulanmagyň usullaryny öwredýän ylymdyr. Şeýlelikde, özara täsirleriň netijelerinden döreyän dürli – dürli maglumatlary kämilleşdirmek, degişli zynjyrlara güýçlendirip geçirmek we geregiçe uzak wagtlap ýatda saklap bilýän elektron abzallary (gurnamalary) giňden ulanylýar.

Elektronikany – esasan-da iki bölege bölýärler:

1. Fiziki elektronika;
2. Tehniki elektronika.

Fiziki elektronika – wakuumlarda, gazlarda, suwukluklarda, plazmalarda we gaty jisimlerde hem-de olaryň ýakyn araçäklerinde döreyän hadysalary öwredýän ylymdyr. (Ylmy derňewler esasynda kanunlar açylýar, öwrenilýär).

Tehniki elektronika – tehnika äleminde elektron abzallaryň dürli görnüşleriniň döredilişini, olaryň öndürilşini (tehnologiýasyny) we ulanylşyny öwredýän ylymdyr.

Tehniki elektronikanyň ugurlary :

1. **Radioelektronika** – özara baglansykly hyzmat edýän ähli aragatnasyk desgalary (*radiolokasiýa* – radio üsti bilen tapmak, radioastronomiýa, radiogepeşikler, radio üsti bilen dolandyryş, radio üsti bilen aragatnaşyk, telewideniýe, radionawigasiýa – radio üsti bilen herekete getirmek).

2. **Senagat elektronikasy** – tehnikanyň dürli pudaklarynda elektroniki abzallaryň (gurnamalaryň) üsti bilen ölçegler geçirmek, barlaglar gurnamak, işleri sazlamak, guramak we başga-da ençeme (dürli-dürli) dolandyryşlary amala aşyrmak.

Senagat elektronikanyň ugurlary:

a) **habar beriş (informasiýa) elektronikasy** – senagat desgalarynyň iş düzgünlerini we tehnologiiki prosesleriň zygiderligini hem-de ölçeglerini derňewde (gözastynda) saklap, habardar edip durýan ugur ;

b) **energetiki elektronikasy** – elektrik akymalaryny bir görnüşden beýleki (başga) bir görnüşe geçiriji elektron desgalary;

c) **elektron tilsimaty** – elektromagnit we ultrases tolkunlarynyň hem-de elektron we ion çüwdürümleri bilen jisimlere täsir edilşini öwredýän ugur.

3. **Ýader elektronikasy** – elektron bölejiklerini peýdalanyp, elektron desgalaryny işletmek we olary öwrenmek, önümçilikde peýdalanmak ýaly ugur.

4. **Biologiýa elektronikasy** – biologiýada, medisnada ylmy barlag we derňew işlerini geçirmek üçin elektron desgalaryny işletmek we olary öwrenmek hem-de peýdalanmak ýaly ugur.

5. **Kompýuter tehnologiýasynyň elektronikasy** – bu ugurda maglumatlary toplan işleýji we hasaplaýjy maşynlarynda dürli meseleler seredilip, elektroniki önümleriniň özleşdirilişi we olaryň dürli pudaklarda giňişleýin ulanylşy öwrenilýär (ses ýazgylary, şekilleri gurnamak we hasaplaýjy elektronika).

Elektronikanyň ugurlaryny baş topara bölüşleri ýaly onuň ösüş ýollaryny-da birnäçe döwürlere bölýärler. Her bir döwür bolsa elektronikanyň belli bir pudagynyň ösmegi bilen baglydyr. Häzirki wagtda elektronikanyň ösüş ýoluny dört döwre bölýärler:

Birinji döwür (etap) – elektrowakuumly enjamlaryň giňden ösen döwrüdür. Ilkinji bolup, 1904-nji ýylda, iňlis alymy D.Fleming ikielektrodly elektron çyrasyny oýlap tapýar we üýtgeýän togy hemişelik toguna göneldiji hökmünde işde ulanýar. 1907-nji ýylda bolsa Amerikan alymy Li de Forest üçelektrodly elektronly çyrany oýlap tapýar we onuň

güçlendiriji häsiýetiniň bardygyny anyklaýar. Soňra birnäçe torly (tetrod, pentod, geksod, geptod, oktod we nonnod ýaly) elektrowakuumly çyralar ýüze çykyp, hatda birleşdirilen (bir çypanyň içinde iki diod, iki triod) elektrowakuumly çyralar döredilýär.

Şol bir wagtyň özünde gazlar bilen zarýadsyzlanýan (ionly) enjamlar (abzallar) hem oýlanylýp tapylýär. 1908-nji ýylda W.P. Wologdin tarapyndan simaply (rtutly) göneldiji döredilýär. 1929-1931-nji ýyllarda gazatron, tiratron, stabilitron ýaly we başga-da birnäçe görnüşli elektronly çyralar döredilýär.

Fotoeffektli çyralaryň oýlanylýp tapylmagy we olaryň ylmy esasyda öwrenilmegi fotoelektron enjamlarynyň (abzallarynyň) dürli görnüşlerini dürli maksatlar üçin ulanylmaga mümkinçilik döretdi.

Bu ugurdan ylmyň rowaçlanmagy, elektron tehnikasynada elektron-şöhleli abzallaryň we aşa ýokary ýygylkda işläp bilýän elektron abzallaryň-da oýlanyp tapylmagyna sebäp bolýar.



Elektrowakuumly abzallarda elektronlaryň akymyny döredip, olaryň peýdalanyşynyň, elektronlaryň emissýalanmagynyň dört görnüşü bardyr, olar:

1) termoelektronly; 2) fotoelektronly; 3) ikilenji emissiýa we 4) awtoelektronly (elektrostatiki) emissiýalardyr.

Elektrowakuumly abzal diýlip, abzalyň iş meýdanyna (abzalyň içki giňişligine) howany, gazy geçirmeyän gatlak hem-de goraýjy bilen üpjün edilende aýdylýar. Abzalyň içindäki howasy sorulyp çykarylýar we ýörite niýetlenilen gazlar (gazlaryň buglary) bilen doldurylýar. Şonuň üçin-de, elektronly abzallaryň işleýiş düzgünleri wakuumlarda ýa-da gazlarda döreyän fiziki hadysalar bilen düşündirilýär.

Elektrowakuumly abzallar elektronly we ionly (gazy seýreklandirililen) diýilýän iki topara bölünýär. Tehnikanyň dürli pudaklarynda XX-asyryň 50-nji ýyllaryna çenli elektrowakuumly abzallar esasy orun tutýardy.

Elektrowakuumly abzallaryň ýetmezçiligi, ol hem olary işletjek bolsaň, hökmany gyzdyryjy simleri bilen katodyny gyzdyrmaly bolýandygy hem-de tutýan göwrüminiň ullakanlygydyr. Netijede, epesli kuwwatyň özünde harçlanmagyna, işlemek ömrüniň gysgalmagyna, olara bolan ynamyň, umydyň peselmegine getirýär.

Ikinji döwür – Tranzistorlaryň, diskretli ýarymgeçirijili abzallaryň oýlanyp tapylmagy we olaryň elektron abzallarynda (enjamlarynda) ulanylyp başlanmagy bilen baglydyr.

Amerikaly alymlar Jon Bardin, Uolter Bratteýn we Uilýam Şokli tranzistory (üçelektrodly ýarymgeçiriji) döredýärler. 1947-nji ýylyň 23-nji Sanjar aýynda tranzistoryň güýçlendiriji häsiýetiniň bardygy açylýär.

Tranzistoryň beýany, fiziki häsiýetleriniň netijeleri, elektrik häsiýetleriniň dürli görnüşleri 1949-njy ýylda "The Physical Review" žurnalynda çap edilýär we bu täsin açyş üçin ýazarlar 1956-njy ýylda fizika ylymy boýunça Nobel baýragyna mynasyp bolýarlar.

XX - asyryň 50 – nji ýyllarynyň başlarynda elektron enjamlarynda (abzallarynda) ýarymgeçirijiler peýda bolýar we ähli elektrowakuumly abzallary gysyp çykarýar. Netijede rezistiw, induktiw, sygym, transformator ýaly birnäçe düzüm

böleklerde üýtgeşmeler bolup geçýär, meselem göwrümleriniň birnäçe esse kiçelmegine getirýär.

Diskret elementleriň özara tirkeşdirilip birleşdirilmekleri peçatlanan platalaryň öndürilip başlamagyna we täze tilsimat önümçiliginiň döremegine sebäp bolýär. Olardaky özara birleşdiriji sim hökmünde platalaryň üstüne mis çäýylyp tilsimat işleriň çalt ýerine ýetirilmegine we zawod möçberinde öndürilip başlanmagyna getirýär. Diskretlenen elementleri özara kebşirlemek hem awtomatlaşdyrylýär, netijede tranzistorlary köp çykarmaklygyň önümçiligi artýär.



Ýarymgeçiriji abzallaryň elektrowakuumly abzallara garanynda gowy tarapy, olaryň uzak wagtlap işläp bilýändigleri, ykjamlygy we gyzdyryjy nakalynyň ýoklugyndadyr.

Optoelektron abzallar diýlip ähli işlenilýän maglumatlary elektrik we ýagtylyk signallarynyň kömegi bilen amala aşyryan abzallara aýdylýär.

Üçünji döwür – täze tehnologiýa prosesleriň usullary oýlanyap tapylmagy, täze-täze elektro-radio elementleriniň dürli görnüşli formalarynyň (integral elektronikanyň) emele gelmegi bilen baglanyşyklydyr. Munuň özi birwagtda elektro-radio elementleriň ýüzlerçe kristallardan emele gelip, bir tehnologiýa prosesde öndürilýänligi tehniki progresiň ýokary derejä ýetendigini aňladýär. Şeýlelikde, täze elektroniki tehnologiýa bilen taýarlanylýan integral tehnologiýasynyň önümlerine integrirlenen mikroshemalar diýilýär.

Integrallanan mikroshemalar – örän ýokary dykzylykda ýerleşdirilen komponentlerden ýygnaýp gaplanan

mikroelektronikanyň önümi bolup, elektrik signallaryny özgerdiji, täzeden işleýji, güýçlendiriji ýaly funksiýalary ýerine ýetirýän abzallar degişlidirler.

Integrallanan mikroshemalar dielektrik materiallaryň üstünde ýygňalan elementleriň sany (mukdary) bilen häsiýetlendirilýär. Şonuň üçin-de mikroshemalar kiçi , orta , uly we aşa uly integrallanan shemalara bölünýärler :

1. Integrallanan elementleriň sany 10-a çenli bolsa kiçi mikroshemaly.

2. Integrallanyp ýerleşdirilen elementleriň sany 11-den 1000-e çenli bolsa orta mikroshemaly.

3. Integrallanyp ýerleşdirilen elementleriň sany 1001-den 100000-e çenli bolsa, ýokary mikroshemaly.

4. Integrallanyp ýerleşdirilen elementleriň sany 100000-den ýokary bolsa, onda aşa ýokary mikroshemaly diýilýär.

Dördünji döwür – funksional elektronikalý abzallaryň döremegi we ulanylmagy bilen baglydyr. Funksional elektronikalý abzallarda elektro-radio elementler we hemmä belli shematehnika ulanylmaýar. Olaryň deregine (funksiýasyny) gaty jisimlere mahsus bolan *göwrüm häsiýetler* we molekulýarara baglanşyklar ýerine ýetirýärler.

Funksional elektronikanyň ýüze çykmagy, elektro-radio elementleriň hem-de shematehnikany peýdalanmazdan elektron enjamlarynyň hil taýdan çalt ösmegine uly itergi berdi.

Funksional elektronika – dürli signallar görnüşinde gelýän maglumatlary işlemek , generirlemek we uzak wagtlap ýatda saklamak maksady bilen mikroelektronika *äleminde* ýüze çykýän dürli fiziki hadysalaryň (meselem: akustikanyň, ýylylygyň, elektrik we magnit meýdanlarynyň) täsirlerinden döreýän dinamiki durnuksyzlardan peýdalanmakdan ybaratdyr.

Dinamiki durnuksyzlyk (birjynsyzlyk) – tutuş giňişligiň (göwrümiň) içinde ýa-da daşynda aýratyn ýerleşdirilen göwrüm, öz içinde statiki näsazlyklary bolmadyk, häsiýetnamasy boýunça-da tapawutlanýan bolanda aýdylýar.

Elektronikanyň mundan beýläk ösmeginde funksional elektronika iň täze we gelejegi gowy ugur hasap edilýär.

Funksional elektronikanyň ugurlaryna degişli hasap edilýän ugurlar akustoelektronika, ýylylyk elektronikasy, dielektriki elektronika, magnitoelektronika, optoelektronika, krionelektronika we başga-da birnäçe ugurlar degişlidirler.

1.3. Ýarymgeçiriji diodlar.

1.3.1. Ýarymgeçiriji diodlar. Olaryň alnyşy.

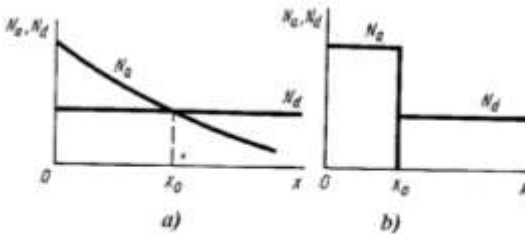
Elektrik signalyny göni däl öwürme üçin niýetlenen ýarymgeçiriji diodlar gaty jisim elektronikasynyň iň bir giňden peýdalynýan priborydyr. Şeýle diodlara, goneldiji diodlar, ýagtylygy duýujy we göýberýän diodlar (fotopriýomnikler we swetodiodlar) girýär. Diodlaryň aglaba köpüsü iki sany dürli tipli, 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.

1.3.2. p-n-geçişiň alnyşy.

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.

1.3.3. 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 çayylan gaty diffuzantlaryň üsti bilen, ýa-da ýarymgeçiriji plastinkasynyň üstünden akyp geçýän gaz geçirijilere (meselem wodorod) garyndylary goşmaklyk bilen, ýokary temperaturada ($800-1300^{\circ}\text{C}$) 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 garyndylarynyň konsentrasiýasy N_a kiçelýär we $N_a < N_d$ şert ýerine ýetýär. Şeýle geçişle ýuwaş-ýuwaşdan «plawnyý» geçiş diýilip at berilýär.

1.3.4. Epitaksiya 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.

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 paýlanysy 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.

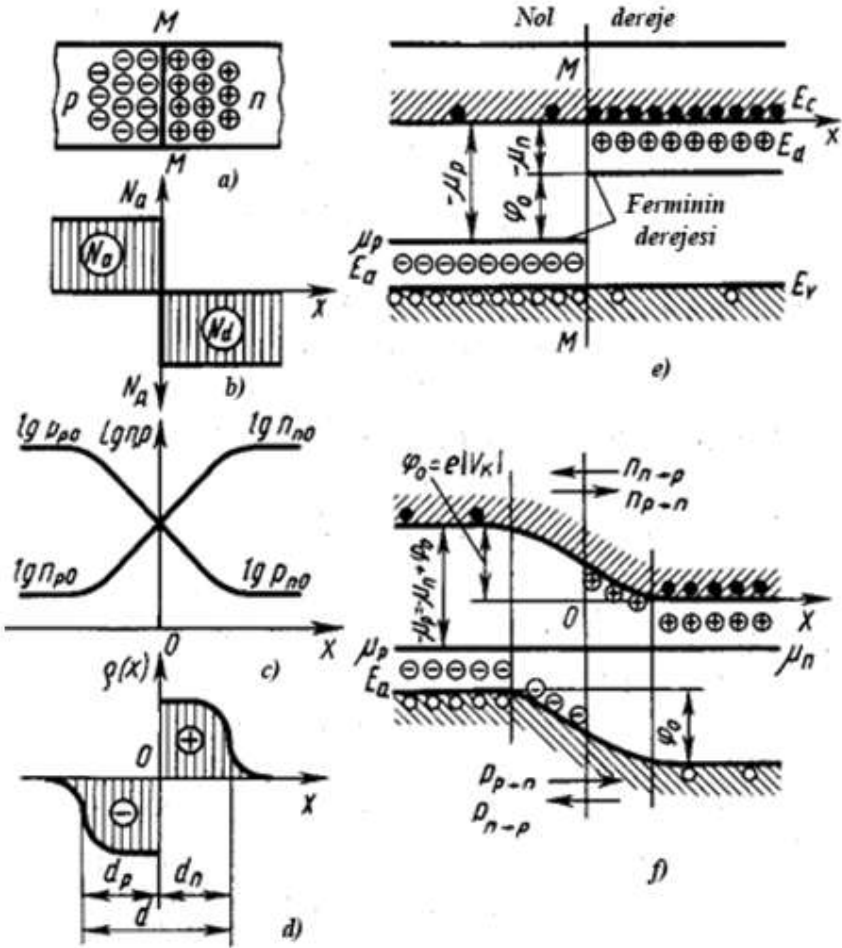
Soňky döwürde epitaksial p-n-geçişi almagyň dürli usullary, ýagny, suwuk we gaz fazasyndan epitaksiya usuly, metalorganiki birleşmeleri peýdalanmak, molekulýar-şöhle epitaksiýasy giňden peýdalanylýp başlady.

1.3.5. p-n-geçişin deňagramlykdaky ýagdaýy.

Goý MM' tekizlik dürli tipli geçirijiligi bolan iki sany ýarymgeçirijiniň içki araçägi bolsun (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 araçaginde), 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 zarýadlaryň 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 zarýad geçirijilerinden başgada esasy däl zarýadlar hem bar, meselem n-ýarymgeçirijide deşikler (n_{p0}), p-ýarymgeçirijide elektronlar (p_{n0}). Massanyň saklanmak kanunyny ulanyp olaryň konsentrasiýasyny tapmak bolýar.

$$n_{n0} p_{n0} = p_{p0} n_{p0} = n_i^2, \quad (1)$$

bu ýerde n_i - hususy ýarymgeçirijidäki zarýad 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, deşiklerin konsentrasiýasy p-bölekde we elektronlaryň konsentrsiýasy n-bölekde, esasy däl zarýadlaryň konsentrasiýasyndan alty dereje uludyr. Şeýle konsentrasiýanyň uly tapawudy elektronlaryň n-oblastdan p-oblasta, deşiklerin bolsa p-oblastdan n-oblasta diffuzion akymyny emele getirýar. 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 rekombinirlenýar. netijede n-oblastda, araçäginiň ýakynynda, erkin elektronlar ýok diýen ýalydyr, onda ionlaşan göwrüm zarýadlarynyň (ionlaşan donorlaryň göwrüm položitel zarýady emele gelýär) (2a surat).

Sepleşigiň ýakynynda p-oblastda deşik ýok diýen ýaly bolup, ionlaşan akseptorlaryň otrisatel göwrüm zarýady emele gelýär. 14.2d suratda geçişde emele gelen göwrüm zarýadlary görkezilendir. Hereketsiz göwrüm zarýatlary p-n-geçişde potenciallaryň tapawudy U_k bolan, seplesik elektrik meýdanyny emele getirýär. Şol sebäpli hem seplesigiň meýdanynyndan daşarda erkin zarýadlar 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.

1.4. p-n-geçiş barada umumy maglumatlar.

1.4.1. Deňagramlykda däl p-n-geçiş. p-n-geçişiň barýer sygymy.

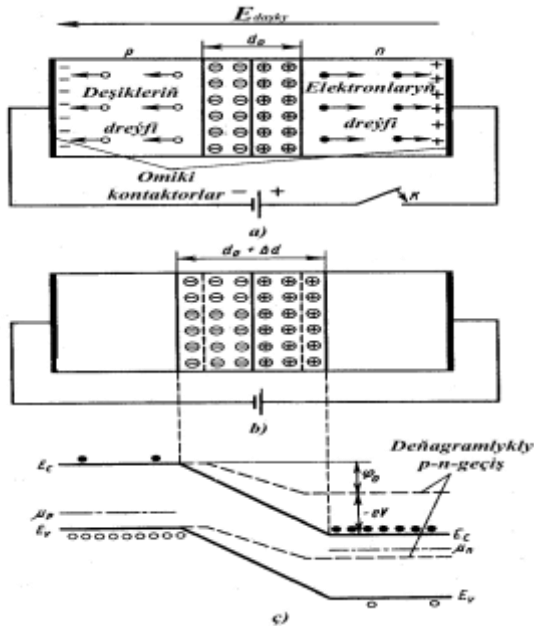
Elektron-deşikli geçiş, dürli görnüşdäki ýarymgeçiriji priborlar üçin esasy bölüp durýar. Konstruksiýasy boýunça in ýönekeý ýarymgeçiriji pribora diod giýilip at berilýar. Diodyň n- we p-taraplaryna metal elektrodларыnyň kömegi bilen sep emele getirilip üstünden tok göýberilýar. Ýarymgeçiriji bilen metalyň seplesiginiň 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 (15.1 Surat). P-n-dioda ters ugra daşky elektrik meýdany (ϵ_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 kompensirlenýança dowam eder. Soňra umumy goýulan naprýaženiýanyň aglabasy p-n-geçişde çöker.

15.1. Surat. p-n-geçişdäki geçiş hadysalary, (a) durnukly ýagdaýynda, (б,в) diod ters elektrik meýdanynda.

Ters tarapa berilen daşky elektrik meýdanynda otrisatel ugur diýilip, şeýle meýdanyndaky wolt-ampere harakteristika - wolt-ampere harakteristikanyň ters şahasy diýilýär. Suratdan görünişi ýaly potensial päsgelçiligiň beýikligi daşky täsir edýän naprýaženiýa baglylykda - eU ululyga artýar. Göni ugur boýunça daşky elektrik meýdany täsir edende (plýus - p-oblata, minus - n-oblata) n- we p-oblatlardan elektronlaryň we deşikleriň p-n-geçişiň göwrüm zarýadlaryna tarap hereketi ýüze çykýar (1. Surat). Bu proses p-n-geçişdäki potensiallaryň 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 ugur meýdanyň täsiri esasynda eU ululyga peselýär.



1. Surat. Dioddaky geçiş hadysalary (a), durnukly ýagdaýynda (b), göni

Şeýlelikde, dioda daşky elektrik meýdany täsir edende, ilki bada iki sany ýarymgeçirijiniň araçağında (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 :

$$C_b = \frac{dQ}{dU}, \quad (1)$$

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.

$$C_b = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} \quad (2)$$

bu ýerde s - p-n-geçişiň meýdany; ε - ýarymgeçirijiniň otositel 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.

$$d \approx \left[\frac{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0 (\varphi_0 - eU)}{e^2 N_d} \right]^{1/2} \quad (3)$$

haçanda $N_a \gg N_d$ bolanda. Barýer sygymynyň bahasyny (C_b), (15.3) deňligi (15.2)-ä goýup alarys.

$$C_b = S \left[\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot e^2 N_d}{2(\varphi_0 - eU)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

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

$$C_b = S \left[\frac{(\varepsilon \cdot \varepsilon_0)^2 e^2 \cdot a}{12(\varphi_0 - eU)} \right]^{1/3} \quad (5)$$

1.4.2. 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 ýaşaýş wagtyna göni baglydyr

$$L = \sqrt{D \cdot \tau} \quad (6)$$

bu ýerde D - diffuziýa koeffisiýenti, τ - erkin zarýadyň ýaşaýş wagty . Hakykatda zarýadlar öz ýaşaýş 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 zaryadlar p-n-geçişiň ters togyny emele getirýär. Şeýlelikde ters toguň ululygy hasaplanylanda, galyňlygy L bolan gatlakdaky emele gelen zaryadlar 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.

Togyň n-tarapdan p-tarapa akýanlygy sebäpli, ters toguň alamaty minusdyr. P-n-geçişiň meýdany tarapyndan ters tarapa geçirilen zaryad, bu tarapda esasy zaryadlara goşulyp, zaryadlaryň daşky elektrik zynjyryna geçmegi sebapei, 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 döreýän zaryadlaryň 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 zaryadlaryň togy, garşylyklaýyn esasy zaryadlaryň togy bilen kompensirlinýär we jemliýji tok

$$-I_s + I_s = 0 \quad (8)$$

Emma esasy zaryadlaryň akymy, potensial päsgelçiligiň beýikligine (U) baglydyr. Päsgelçiligiň deňagramlykdaky ýagdaýy üçin φ_0 esasy zaryadlaryň 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 zaryadlaryň akymy $e^{eU / (kT)}$ gezek artýar. Onda esasy zaryadlaryň togy

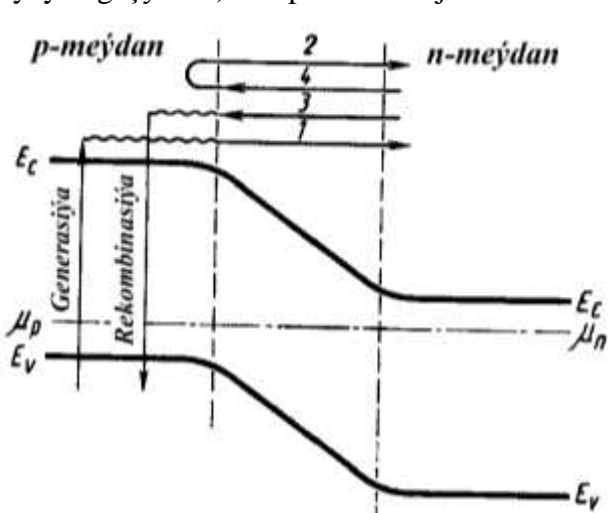
$$I_{esasy} = I_s \cdot e^{eU / (kT)} \quad (9)$$

bolýar. Jemleýji tok

$$I = -I_s + I_s \cdot e^{eU/(kT)} = I_s (e^{eU/(kT)} - 1) \quad (10)$$

Esasy zaryadlaryň togy , olaryň akymyna garanynda elmydama kiçidir, sebäbi toga goşant diňe päsgeçilikden 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 3 - nji suratda dörkezilendir. Bu

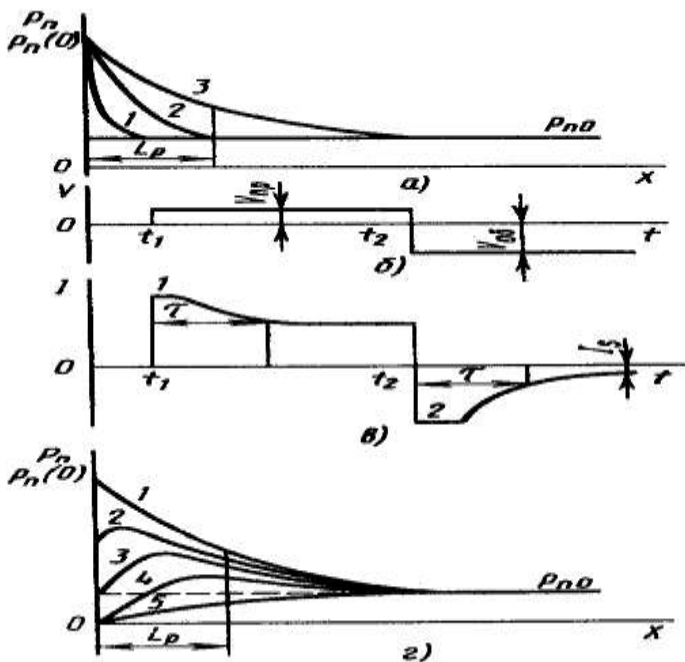


3. Surat. Deňagramlykdaky p-n-geçişde elektronlaryň akymy.

gaýdyp p - tarapda rekombinirlenýän elektronlar gelýärler (3). Ondan başgada elektronlaryn bir toparý (4) n - tarapdan p - tarapa geçip, birnäçe gezek çaknyşma sezewar bolup, yzyna n - tarapa gaýdyp barýar (2).

p- n - diodlaryň wolt-ampere häsiýetnamalary, (10) deňlikden görünişi ýaly, käber üýtgeşikliklere (I_s)

ýerde deňagramlykdaky p - n - geçişden geçýän elektronlaryň akymlyary görkezilen. p - tarapdan ýylylyk generasiýasy esasynda ýuze çykan elektronlaryň akymy (1) göwrüm zaryady kesip geçýär. Onuň garşysyna n - tarapdan



4. Surat. p-n-geçişde impuls häsiýetiniň ýüze

seretmezden, metal- ýarymgeçiriji ýa-da Şottki barýeri diodlarynyňka meňzeşdir.

1.4.3. P-n-geçişin impuls we ýygylýk häsiýetleri.

Elektronikada, radioelektronikada, hasaplaýyş tehnikasynda 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 wagtynyň uzaklygy bilen kesgitlenilýär.

Wagtyň geçmegi bilen n-tarapa, inžektirlenen deşikleriň paýlanyşynyň üýtgeýşi 15.4a suratda görkezilen. Göni ugra daşky meýdanyň birleşmeginiň başlangyç momenti (4b surat, t_1

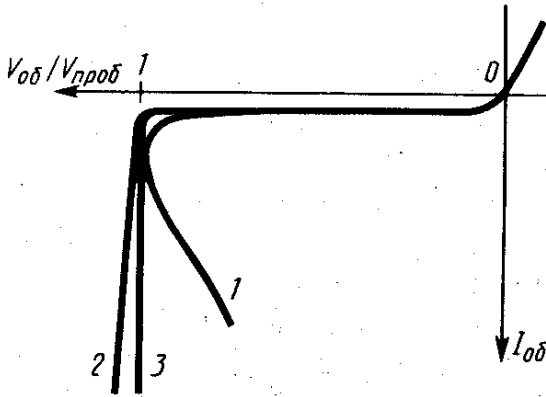
moment), deşikleriň konsentrasiýasy-nyň gradiýenti gaty ýokarydyr (4a surat, 1egri).

Sebäbi n-tarapa inžektirlenen deşikler araçakde ýuka gatlakda toplanandyr. Artykmaç deşikleriň ýaşaýyş wagtyna deň wagtda τ_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 çatlygyny çäkleýär. Geçiş hadysasynyň, esasan artykmaç zarýadlaryň ýaşaýyş wagtynda τ tamamlanýandygy sebäpli, bu wagt hem impuls diodlarynyň çaltlygyny kesgitleýär.

1.4.4 P-n-geçişiň böwsülmeği.

Daşky elektrik meýdany ters ugur boýunça p-n-gurluşlara (diodlara), täsir eden ýagdaýynda bolup geçýän fiziki proseslere seredip geçeliň. Haçanda p-n-geçişe daşky elektrik meýdany ters ugura täsir etse, onda p-n-geçişden geçýän esasy zarýadlaryň akymy deňagramlykdaky ýagdaýdan kiçidir, emma esasy däl zarýadlaryň akymy üýtgemän galýar. Şeýlelikde ters ugra goýulan naprýażeniýanyň artmagy bilen jemleýji tok ilki bilen biraz artýar, soňra, doýgun tok diýilip atlandyrylýan ululyga ymtylýar. Şeýlelikde diod göni däl wolt-ampere karakteristika eýedir.

P-n-geçişden akýan ters toguň naprýażeniýa baglylykda üýtgeýşi 1 suratda görkezilendir. Ters naprýażeniýanyň belli bir ululygynda, ýagny $U_{\text{ters}} = U_{\text{böws}}$, ters toguň gaty çalt (rezkiý) üýtgemesi ýüze çykýar. Bu hadysa p-n-geçişiň böwsülmeği diýen ada eýe bolup, böwsülme bolup geçýän naprýażeniýa, böwsülme naprýażeniýasy diýilip at berilýär. Böwsülmede bolup geçýän fiziki prosesleriň häsiýetnamalary boýunça, böwsülme esasy dört görnüşe bölünýär: tunnel, lawina, ýylylyk we üst boýunça.



5. Surat. p-n-geçişniň böwsülmegi. 1 – ýylylyk, 2 – tunnel, 3 – lawina.

1.4.5. Ýylylyk böwsülmesi.

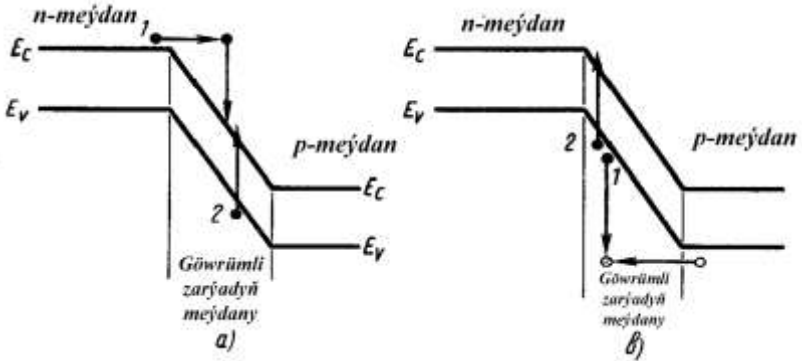
P-n-geçişden ters tok akanda ýylylyk bölünip çykýar we onuň temperaturasy ýokarlanýar. Temperaturanyň artmagy ýylylygy äkitmegiň hiline bagly bolup, ýylylyk garşylygy bilen häsiýetlendirilýär (R_0). Bu garşylyk bölünip çykýan birlyk kuwwata (W) baglylykda temperaturanyň artdyrmasy (ΔT) deňdir, ýagny $\Delta T = R_0 W$. Öz gezeginde, temperaturanyň artmagy, ters toguň artmagyna getirýar, şeýlelikde ýenede temperatura artýar we tok artýar.

Kuwwatiň belli bir ululygynda W , näçe uly bolsa şonçada priboryň ýylylyk garşylygy kiçi R_0 , tok lawina boýunça artyp başlaýar we p-n-geçişniň ýylylyk böwsülmesi ýüze çykýar.

Ýylylyk böwsülmesi bolan ýagdaýynda wolt-amper häsiýetnamanyň ters şahasynda otrisetel garşylykly bölek ýüze çykýar, ters toguň artmasy naprýaženiýanyň kemelmegine getirýär (5-surat, 1-egri).

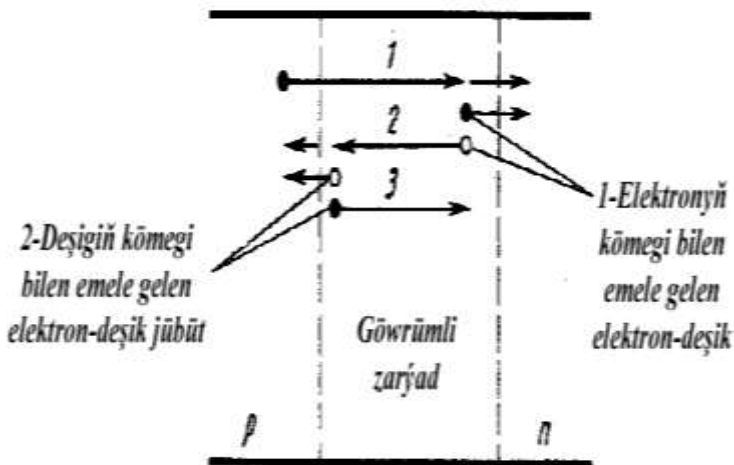
1.4.6. Lawina boýunça böwsülme.

Haçanda p-n-geçiş giň bolan ýagdaýynda ters naprýaženiýanyň ýokary bahasynda, esasy däl zarýadlar p-n-geçişiň meýdanynda, gaty ýokary kinetik energiýa eýe bolup, olar urgu ionlaşdırmany ýüze çykarmaga ukuply bolýar (6 surat).



6. Surat. p-n-geçişde urgy (udarný) ionlaşmasy.

Urgy ionlaşdurmany elektron bilen bir hatarda deşikler hem ýüze çykaryp bilýärler. Iki ýagdaýda hem elektronlar öňki energetik zonynda galyp, energiýasyny ýitirýär (1). Ol öz ýitiren energiýasyny walent zonadaky 2 elektrona bermeklik bilen ony geçiş zonasyna geçirýär, şeýlelikde täze elektron-deşik jübüti emele gelýär. Bu ýagdaýda ters toguň lawina boýunça artmagy ýüze çykyp, onuň lawina boýunça böwsülmegine getirýär.



Şeýlelikde p-n-geçişiň meýdanyna giren bir elektrona derek, ondan birnäçe elektron-deşik jübütleri çykyp-ters tok gaty çalt ösýär (7 surat). Böwsülme ýüze çykýan oblastda ters toguň naprýaženiýanyň artmagy bilen üýtgemesi gaty kert (krutoý) bolýar.

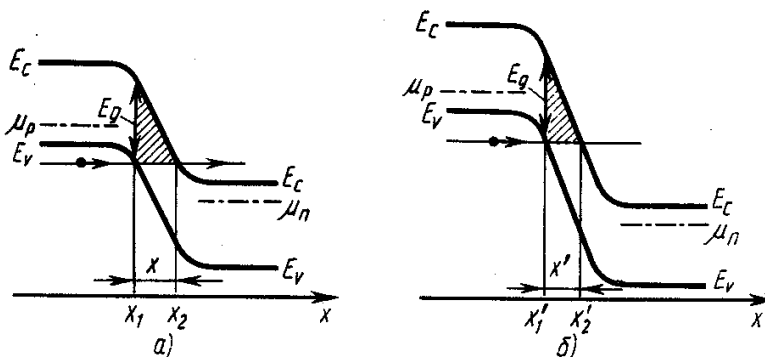
7. Surat. Lawina boýunça böwsülmäniň emele gelişi we ösüşi.

Bu effekt naprýaženiýany stabilizirlemek üçin ulanylýar. Şeýle režimde işleýän diodlara, wolt-ampere häsiýetnamasynyň ters şahasy lawina boýunça böwsülýän diodlara ýagny, stabilitronlar diýilip at berilýär. Stabilitronlar köplenç kremniý materialynyň esasynda oňarylyp, olaryň böwsülme naprýaženiýasy n- we p-böleklerde (oblastlarda) garyndylaryň konsentrasiýasy bilen kesgitlenilýär. Konsentrasiýanyň artmagy bilen böwsülme naprýaženiýasy kiçelýär.

1.4.7. Tunnel böwsülmesi.

P-n-geçişe ters goýulan naprýaženiýanyň belli bir ýokary bahasynda, p-oblastyň walent zony, n-oblastyň doly

bolmadyk geçiş zonasynyň garşysynda ýerleşýär (8 surat). Bu ýagdaýda p-oblastyň walent elektronlarynyň n-oblastyň geçiş zonasyna galyňlygy x bolan potensial barýerden syzyp geçmegi mümkin. Ters naprýażeniýanyň artmagy bilen (U_{ters}) p-n-geçişiň göwrüm zaryadynyň «giňligi kiçelip», ondaky meýdanyň güýjenmesi artýar. Bu ýerde şeýle zady belläp geçmeli, ýagny umumy göwrüm zaryadynyň giňligi ulalyp, elektronlaryň önündäki barýeriň giňligi kiçelýär. Haçanda p-n-geçişiň gaty ýuka bolan ýagdaýynda, U_{ters} naprýażeniýanyň gaty uly bolmadyk bahasynda hem, elektrik meýdany ε , p-n-geçişden effektiv tunnelirlenme başlanýan bahasyna ýetip bilýär we bösülme başlanýar. Meselem germaniý üçin tunnel böwsülmesi $E_{\text{böws}} = 3 \cdot 10^7 \text{ V/m} = 30 \text{ V/mkm}$ başlasa, kremniý üçin $E_{\text{böws}} = 10^8 \text{ V/m} = 10^2 \text{ V/mkm}$ başlaýar. Şeýle bösülmä tunnel böwsülmesi diýilip at berilýär. Şeýle böwsülme bolýan p-n-diodyň wolt-ampere häsiýetnamasynyň ters şahasy 4-nji suratda görkezilen.



8. Surat. Diodylarda tunnel geçişi ters elektrik meýdanynda.

P-n-geçişin böwsülme naprýażeniýasynyň nämä baglydygyna seredip geçeliň. P-n-geçiş birbada (kert) bolan ýagdaýynda elektrik meýdanynyň güýjenmsini şeýle kesgitläp bolýar.

$$E = -\frac{dU}{dx} = \frac{1}{e} \cdot \frac{d\phi}{dx} \quad (1)$$

Elektrik meýdanynyň (ϵ) maksimal bahasy p- we n-taraplaryň araçäginde ýetilýär. Bu ýerde

$$E_{\max} = -\frac{eN_d \cdot d}{\epsilon \cdot \epsilon_0} = -\frac{eN_a \cdot d}{\epsilon \cdot \epsilon_0} \quad (2)$$

Haçanda p-n-geçiş asimmetrik diýlip hasap edilende, ýagny az garyndyly tarap n-tipli bolsa, onda $d_n = d$ diýip, alarys.

$$E_{\max}^2 = \frac{2(\phi_0 + eU_{\text{ters}})}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot N_d} \quad (3)$$

Haçanda ϵ_{\max} böwsülme meýdanyna ϵ_{bows} (deň) diýilip kabul edilse onda böwsülme naprýaženiýa:

$$U_{\text{bows}} = \frac{\frac{1}{2} \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot N_d \cdot E_{\text{bows}}^2 - \phi_0}{e} \quad (4)$$

(16.4) deňlikden görünişi ýaly tunnel böwsülmaniň naprýaženiýasynyň ululygy az garyndyly tarapyň garyndysynyň konsentrasiýasynyň artmagy bilen çyzykly kemelýär.

Ust böwsülmesi.

P-n-geçişe çykylyan ýerde, ýarymgeçirijiniň üstünde çäklendirilen zarýad, geçişde meýdanyň güýjenmesiniň güýçli üýtgemesine getirip bilýär. Bu ýagdaýda p-n-geçişiň üstündäki gatlagyň böwsülmesi has ähtimal bolýar.

1.5. Ýarymgeçiriji diodlaryň görnüşleri

1.5.1. Ýarymgeçiriji diodlarda geterogeçiş.

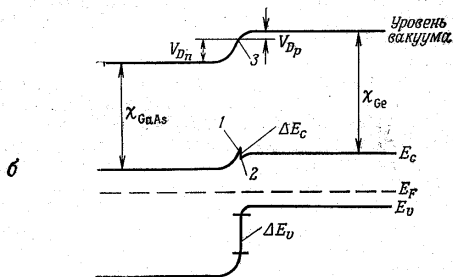
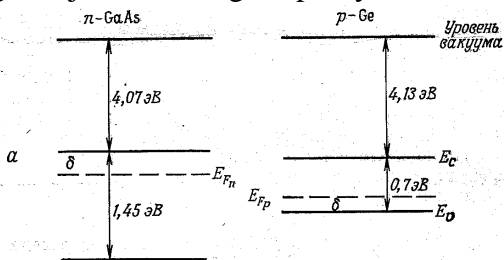
Geterogeçiş diýilip, dürli elektrik we optiki häsiýetlere eýe bolan iki sany dürli materialyň (ýarymgeçirijiniň) şepine aýdylýar. Biz bu temada iki sany dürli ýarymgeçirijiniň arasyndaky geterogeçişe (mysal üçin arsenid-galliý we germaniýniň arasyndaky geterogeçişe) seredip geçeliň.

Energetik zonalaryň gabat gelmezligi sebäpli (ΔE_c we ΔE_v), geterogeçişin energetik zonasynyň diagrammasy ýönekeý gomogeçişiňkä seredende çylşyrymly bolýar. Bu gabat gelmezlik, ýagny energetiki zonanyň üzügi, sepleşýan ýarymgeçirijileriň gadagan zonasynyň giňliginiň we çykyş işiniň dürliligi bilen baglydyr.

Haçanda GaAs we Ge ýarymgeçirijileriň göwrümünde geterogeçiň ýakynyna çenli esasy häsiýetnamalar üýtgemeyän ýagdaýynda, geterogeçişin energetik diagrammalaryna seredip geçeliň. GaAs we Ge ýarymgeçirijileriň gadagan zonalarynyň giňligini degişlilikde 1.45 we 0.7 eV diýip kabul edeliň. Öňden belli bouşy ýaly, çykyş işi elektrony Ferminiň derejesinden wakuum derejesine çykarmak üçin gerek bolan energiýa deň bolup, Ferminiň derejesiniň ýerleşişiniň üýtgemegi bilen üýtgäp durýar. Çykyş işiniň Ferminiň derejesine baglylygy sebäpli, ol garyndynyň konsentrasiýasynyň üýtgemegi bilen üýtgäp durýar. Şol sebäpli hem, elektron srodstwosy diýen ululykdan peýdalanmaklyk amatly bolýar. Sebäbi elektron srodstwosy diýen ululyk, elektrony geçiş zonanyň düýbünden wakuum derejesine geçirmek üçin gerek bolan energiýa deň bolup, garyndynyň konsentrasiýasynyň üýtgemegi bilen üýtgemeyär.

Köp sanly almaz gurluşyna eýe bolan ýarymgeçirijiler, geterogeçiş almaklyk üçin has amatlydyrlar. Bu gurluşlar

kubiki elementar gözenegiň (ýaçeýkanyň) ululygy (a) bilen häsiýetlendirilýär. Almaz gurluşynda, atomyň onuň iň ýakyn goňşy 4 atom bilen aralygy $a\sqrt{3}$ deňdir. Otag temperaturasynda (300 K) GaAs we Ge ýarymgeçirijileriniň gözeneginiň hemişeligi (a) gaty golaý (takmyndan 0,08% töweregi takyklyk); bu ýarymgeçirijileriň giňelmek koeffisienti hem gaty ýakyn, şol sebäpli bu materiallar gaty oňat geterobjübüt emele getirip bilýär.



Arsenid galliý we germaniýniň arasyndaky geterogeçişiň zona diagrammasyny gurmak üçin, n-GaAs donorlar bilen $3 \times 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ çenili garyndyly diýeliň, p-Si akseptor garyndylary bilen $3 \times 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ çeni garyndyly bolsun. 1-nji tablisada geterogeçişiň zona diagrammasyny

gurmak üçin gerek bolan häsiýetnamalar bu ýarymgeçirijiler üçin berilen.

1. Surat. n-GaAs-p-Ge geterogeçişiň energetiki derejeleriniň diagrammasynyň gurluşy (masştab saklanylmaýar).

1-nji tablisa. GaAs-Ge arasyndaky p-n-geterogeçişiň energetiki diagrammasyny gurmak üçin gerek bolan häsiýetnamalaryň ululygy

No	Häsiýetnamalar	GaAs	Ge
1	Gadagan zonanyň giňligi, E_g	1,45 eV	0,7 eV
2	Elektronnoýe srodstwo, χ	4,07 eV	4,13 eV
3	Kompensirlenmedik donorlaryň konsentrasiýasy, $N_D - N_A$	10^{16} sm^{-3}	-
4	Kompensirlenmedik alseptorlaryň konsentrasiýasy, $N_A - N_D$	0,1 eV	$3 \times 10^{16} \text{ sm}^{-3}$
5	$E_g - E_f = \delta_{\text{GaAs}}$	-	-
6	$E_v - E_f = \delta_{\text{Ge}}$	0,1 eV	0,14 eV
7	Gözenegiň hemişeligi, a	$5,654 \text{ \AA}$	$5,658 \text{ \AA}$
8	Otnositel dielektrik hemişeligi, ϵ	11,5	16

Geterogeçişiň energetiki diagrammasyny gurmaklyk üçin ilki bilen, wakuum derejeleri gabat gelýan ýagdaýda bu iki materialyň energetik diagrammasyny aýratynlykda çyzalyň (1 surat).

1a suratdan görünişi ýaly elektronyň energiýasy E_{fp} derejede E_{fn} derejä seredeniňde kiçidir. Şol sebäpli hem, ýarymgeçirijiler sepleşenden soň, Ferminiň derejesiniň deňleşmegi üçin n-GaAs-den p-Ge elektronlaryň belli bir sany geçýär. Elektronlaryň şeýle geçişi (hereketi) ýarymgeçirijileriň

araçagında zonalaryň egreýmesine getirýär. Arsenid galliýniň geçiş zonasy E_c ýokary gyşarar. Zonalaryň gyşarmagynyň ululygyny U_{Dn} we U_{Dp} diýip belläliň.

Ferminiň derejesiniň süýşmesiniň ululygy, şeýle deňligiň üsti bilen tapylýar.

$$E_{fp} - E_{fn} = (\chi_{Ge} + E_{gGe} - \delta_{Ge}) - (\chi_{GaAs} + \delta_{GaAs}) = U_{Dn} + U_{Dp} \quad (1)$$

Bu tapawut şu mysal üçin 0,52 eV deň bolup zonalaryň egreminiň jemine deňdir $U_{Dn} + U_{Dp}$. Edil gomoperehotdaky ýaly, geçiş serhedinde giňligi χ_n we χ_p bolan göwrüm zarýady emele gelip, zarýadyň saklanmak kanuny esasynda kompensirlenmedik donorlar we akseptorlaryň konsentrasiýasy bilen şeýle gatnaşykdyr.

$$\frac{\chi_n}{\chi_p} = \frac{N_A}{N_D} \quad (2)$$

Puassonyň deňlemesini ulanyp alýarys

$$U_{Dn} = \frac{N_D x_n^2}{2\epsilon_{GaAs}}$$

we

$$U_{Dp} = \frac{N_A x_p^2}{2\epsilon_{Ge}}$$

Bu ýerde

$$\frac{U_{Dn}}{U_{Dp}} = \frac{N_A \epsilon_{Ge}}{N_D \epsilon_{GaAs}} \quad (3)$$

Biziň mysalymyza U_{Dn}/U_{Dp} takmyndan 4:1 deňdir, şeýlelikde, $U_{Dn}=0,42$ eV we $U_{Dp}=0,1$ eV.

Energetiki diagrammany gurmagy dowam etdirip, 1b suratdaky çyzgyny alarys.

Geometriki nukdaý nazardan içikin seretseň, energetiki diagrammadaky üzülmäniň ululygy üçin (ΔE_c), deňlemäni şeýle görnüşde ýazmak bolýar.

$$\Delta E_c = \delta_{\text{GaAs}} + U_{\text{Dn}} - (E_{\text{gGe}} - \delta_{\text{Ge}}) + U_{\text{Dp}} \quad (4)$$

Bu deňlige (1)-nji deňikden bahalary goýup, amatly görnüşde ýazýarys:

$$\Delta E_c = \chi_{\text{Ge}} - \chi_{\text{GaAs}} \quad (5)$$

(5)-nji deňligiň dogrydygyny 1b suratdan hem görmek mümkin, sebäbi 3-1 arasyk χ_{GaAs} deňdir we 3-2 aralyk χ_{Ge} deň. Şol sebäpli hem biziň mysalymyz üçin $\Delta E_c = 4,13 - 4,07 = 0,06$ eV.

Walent zonasyndaky energetik üzülmäni ΔE_v şu aşakdaky deňlik den tapmak mümkin.

$$\Delta E_v = (E_{\text{gGaAs}} - E_{\text{gGe}}) - (\chi_{\text{Ge}} - \chi_{\text{GaAs}}) \quad (6)$$

(5) we (6) geňlikleriň esasynda alarys.

$$\Delta E_c + \Delta E_v = E_{\text{gGaAs}} - E_{\text{gGe}} \quad (7)$$

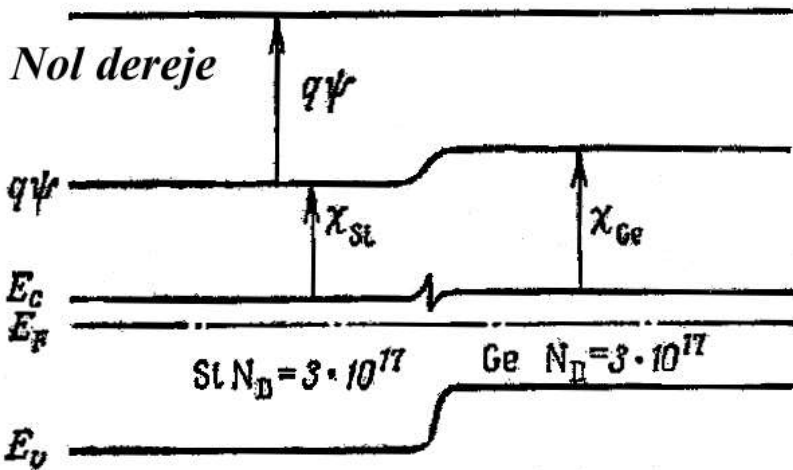
Geterojübütlere seredilende alynan deňlikleriň, ýagny (5, 6, 7) deňlikleriň gymmaty uludyr n-GaAs-p-Ge geterogeçiş üçin energetik zonanyň üzülmesi degişlilikde $\Delta E_c = 0,06$ eV we $\Delta E_v = 0,69$ eV deňdir.

Izotip (n-n we p-p) geterogeçişler.

Izotip geterogeçişde dürli ýarymgeçirijileriň geçiş zonasynyň arasyndaky energetiki päsgelçilik, bu iki ýarymgeçirijiniň elektron srodswalarynyň ululyklarynyň tapawudy bilen kesgitlenýär ($\Delta E_c = \chi_2 - \chi_1$). Mundan başgada energetik päsgelçiligiň ululygyna ýarymgeçirijilerdäki garyndylaryň konsentrasiýasynyň täsiri bar. 2-nji suratda iki sany n-tipi ýarymgeçirijiniň arasyndaky geterogeçişiň energetik diagrammasy getirilen. Suratdan görünişi ýaly n-n-geterogeçişde geçiş zonasında elektronlaryň 2-nji bölekden 1-nji bölege geçýän araçäginde elektronlaryň oňunde potensial päsgelçilik emele gelýär. Edil şonuň ýaly p-p-geterogeçişde (2b surat) 2-nji bölekden 1-nji bölege geçýän deşikleriň oňunde

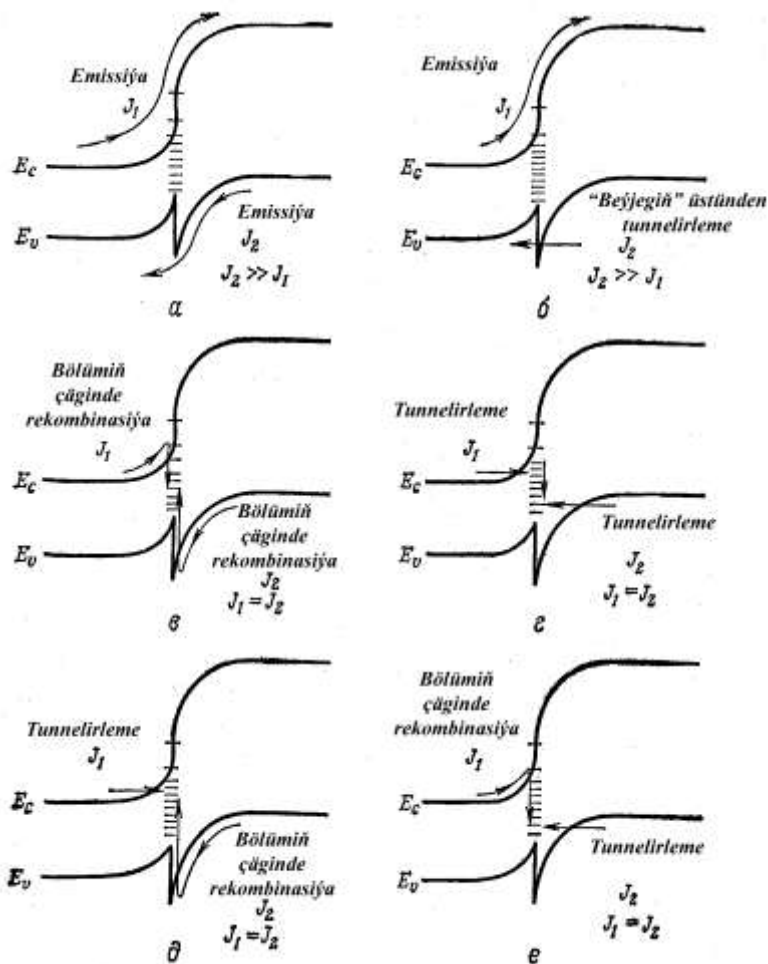
päsgeçilik emele gelyär. Şeýlelikde, bu iki geterogurluş hem (n-n we p-p) bir taraplaýyn geçirijilik häsiýetine eýe bolup bilýär.

Izotip geterogeçişde esasy däl zaryadlaryň inžeksiýasy bolmaýar, şonuň üçin hem şeýle gurluşlardan taýýarlanylýan diodlar gaty kiçi goşulyş (wklýuçeniýe) wagtyna eýedir. Umuman aýdanda has ýokary ýygylkda işläp bilýär.



2. Surat. Birtipli (izotipli) n-Ge-n-Si geterogeçişiniň deňagramlyk ýagdaýyndaky energetiki diagrammasy.

Elektron srodstwa baradaky ululyklara laýyklykda n-n Ge-Si geterogeçişde energetiki üzülmäniň ululygy $\Delta E_c = 0,12$ eV (4,13 eV - 4,01 eV). Bu n-n Ge-Si geterogeçişi birmeňzeş garyndyly ýagdaýynda, ýagny garyndynyň konsentrasiýasy $\sim 3 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ bolanda seredeliň (3 surat). Zona diagrammasynyň görnüşi zaryadlaryň jeminiň nola deň bolmalydygyndan gelip çykýar.



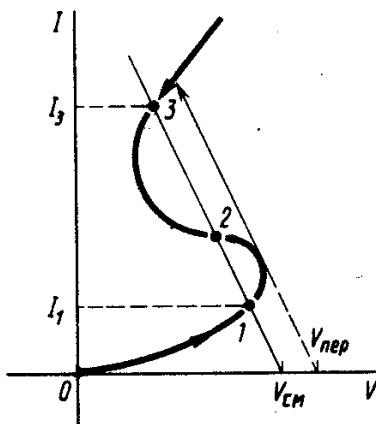
3. Surat. n-p-geterogeçişlerde toguň geçişiniň altý sany mümkin bolan görnüşleri. a – andersonyň modeli; б – Redikeriň modeli; в – Dolegiň modeli; г – n-Ge-pGaAs geçişde peýdalanylýan model; д – n-Ge-p-GaAs we p-Ge-n-Si

geterogeçişlere peýdalanylýan model; e – d-model serdende ony çalyşýan model.

Geterogeçiş araçäginde zarýadyň ýok ýagdaýynda Şottkiniň adaty çäklendirme şertiniň esasynda, elektrostatiki potensialyň ψ üznüksizligi üçin geçiş zonasýnda iki jisimiň (germaniý - kremniý) elektron srodstwalarynyň tapawydyna deň bolan üzük emele gelýär. Geteroserhetde kremniniň göwrüm zarýadyndaky položitel zarýad germaniniň otrisatel zarýad bilen baýlaşmasyny kompensirleýär.

1.5.2. S-görnüşli wolt-amper häsiýetnamaly priborlar

Awtomatikanyň käbir gurluşlarynda we hasaplaýyş tehnikasynyň zynjrlarynda s-görnüşli wolt-amper häsiýetnamaly ýarymgeçiriji priborlara uly orun berilýär (3 surat). Şeýle priborlarda, belli bir çykyş garşylygynda we daşky naprýażeniýanyň bahasynda U_d iki sany durnukly ýagdaý emele gelýär (3 suratdaky çyzgyda 1 we 3 nokat durnukly ýagdaý, emma 2-durnuksyz ýagdaý). Wolt-amper häsiýetnamanyň 1-nji nokadynda daşky naprýażeniýanyň esasy bölegi diotda çökýär, emma 3-ýagdaýda I_3 tok akyp çykyş garşylykda çökýär. Diodyň uly garşylykly 1- ýagdaýdan, kiçi garşylykly 3-ýagdaýa geçişi, daşky naprýażeniýanyň utgaşma (pereklyuçeniýe) naprýażeniýa çenli ýokarlanmagy bilen baglanşyklydyr. Şeýlelikde, S-görnüşli wolt-amper häsiýetnamaly priborlar, elektron utgaşdyryjylary bolup durýarlar.



3. Surat. S-görnüşli wolt-ampere häsiýetnama.

Şeýle S-görnüşli wolt-ampere häsiýetnamaly diodlaryň iň ýönekeý görnüşi, uzyn bazaly diodlardyr (uzyn bazaly diodlarda ýokary garşylykly gatlagyň galyňlygy esasy däl zarýadlaryň diffuziýa aralygyndan ulydyr). P-n-geçişden inžektirlenen esasy däl zarýadlar, haçanda göni ugra elektrik meýdany täsir edende, diodyň p we n-bölekleriniň garşylygyny peseldýär, bu bolsa p-n-geçişe goýulan naprýaženiýanyň artmagyna getirýär. Öz gezeginde p-n-geçişe goýulan naprýaženiýanyň artmagy p-n-geçişden inžeksiýany artdyrýar we p we n-bölekleriň ýenede garşylygy kiçelýär. Emma geçirilen deňewlerden görnüşi ýaly, WAH-da otisatel differensial garşylykly bölegiň ýüze çykmagy üçin, diodyň baza gatlagynyň geçirijiligi inžeksiýa toguna proporsional artman, has çalt artmalydyr. Şeýle geçirijiligiň gaty çalt artmagynyň birnäçe mehanizmi bar. Birinjiden, inžeksiýanyň artmagy bilen zarýadlaryň ýaşaýyş wagtynyň artmagy mümkin. Ikinjiden, zonara ýüze çykýan şöhläniň (rekombinasion şöhlelenmäniň) bazada ýuwdulyp artykmaç zarýady ýüze çykarýan bolmagy mümkin.

S-görnüşli WA häsiýetnamaly ýarymgeçiriji priborlaryň içinde, köp gatlakly ýarymgeçiriji gurluşlar, ýagny dinistorlar we tiristorlar köp ýaýrandyr.

1.5.3. Tunnel diodlary.

Tunnel diodlary gaty ýokary konsentrasiýa çenli garyndyly ýarymgeçirijileriň esasynda taýýarlanylýar. Şeýle ýarymgeçirijilerde Fermiň derejesi gadagan zonanyň içinde ýerleşmän, n-tarapda geçiş zonanyň içinde, p-tarapda bolsa walent zonanyň içinde ýerleşýär.

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-tarapyň geçiş zonasynyň düýbi p-tarap üçin Fermiň 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 (46 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.

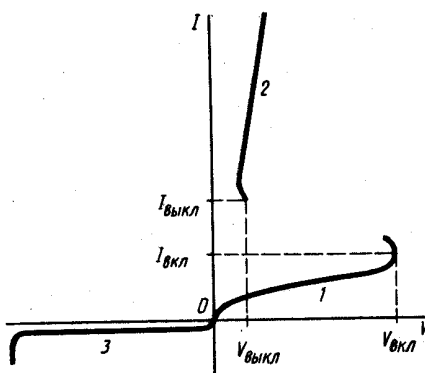
Suratdan görünişi ýaly tunnel diodlaryň volt-ampere häsiýetnamasynyň (VAH) esasy aýratynlygy, onuň VAH - nyň

göni şahasynda naprýaženiýanyň artmagy bilen toguň kemelýan böleginiň ýüze çykmagydyr, ýagny diod otrisetel differensial garşylyga eýedir. Tunnel diodlarynyň bu häsiýetini, elektromagnit tolkunlaruny generirleme üçin, elektrik toguny aýyryp çatyjylar (pereklyuçatel) üçin peýdalanmak mümkin.

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

1.5.4. Dinistorlar.

Daşdan elektrik meýdanyň täsiri bilen urukdyrylmayan tiristora dinistor diýilip at berilýär. Dinistoryň WAH-sy 2 suratda, gurluşynyň struktura shemasy 3 suratda görkezilendir. Iki gyraky p-n-geçişlere, emitter geçişleri diýilýär, ortaky p-n-geçişe kollektor geçişi diýilýär. Dinistorlaryň üç sany p-n-geçişi bolup, onyň içki bölekleri az garyndylydyr. Onuň tersine iki daşky emitter bölekleri baza seredeniňde ýokary derejede garyndylydyr. Haçanda göni ugra naprýaženiýe berilende, plus daşky p_1 – gatлага we minus daşky n_2 – gatлага berilýär. Bu



ýagdaýda iki daşky geçiş p_1-n_1 we p_2-n_2 – göni ugra utgaşyp, içki p_2-n_1 – geçiş ters ugra daşky täsiriň esasynda bolýar (4

surat). Göni ugra meýdan berilen daşky geçişlerde garşylyk kiçi bolup, naprýażeniýanyň aglaba bölegi içki p-n-geçişe goýlandyr. Şeýlelikde umumy toguň ululygy, içki p-n-geçiş tarapyndan kesgittenilip, p_2-n_1 geçişden geçýän I_k togy tapmaklyk ýerliklidir.

4. Surat. Dinistoryň wolt-ampere häsiýetnamasy.

u p_2-n_1 geçişden geçýän I_k tok, ýylylyk generasiýasy tarapyndan emele gelýän tokdan, we p_1-n_1 , p_2-n_2 geçişlerden inžektirlenen zarýatlardan durýar. Inžektirlenen zarýadlaryň aglabasy kollektor geçişine ýetýär, sebäbi n_1 we p_2 gatlaklaryň galyňlygy esasy däl zarýadlaryň diffuziýa aralyklaryndan, deňişlilikde L_n we L_p – den ýukadyr.

Şeýlelikde kollektor geçişinden geçýän tok, birnäçe düzüjiden, ýylylyk generasiýasy tarapyndan ýüze çykýan I_{ks} tokdan we emitter geçişlerinden generirlenip kollektor geçişine ýetýän elektronlaryň I_{kn} hem-de deşikleriň I_{kp} togundan durýar.

$$I_{kp} = \beta_1 \gamma_1 I_1 \quad (1)$$

$$I_{kn} = \beta_2 \gamma_2 I_2 \quad (2)$$

Bu ýerde γ_1 we γ_2 – emitter geçişleriň inžeksiýa koeffisiýenti, β_1 we β_2 – elektronlaryň we deşikleriň emitter geçişinden kollektor geçişine ýetijilik (perenos) koeffisiýenti. I_1 we I_2 geňişlilikde p_1-n_1 we p_2-n_2 – geçişden geçýän umumy tok.

Kollektor geçişinden geçýän umumy togyň ululygy

$$I_k = I_{ks} + I_{kp} + I_{kn} = I_{ks} + \beta_1 \gamma_1 I_1 + \beta_2 \gamma_2 I_2 \quad (3)$$

Haçanda dinistoryň üç p-n-geçişinden geçýän toklar deň bolanda dinistor durnukly ýagdaýynda bolýar.

$$I_1 = I_k = I_2 = I \quad (4)$$

Onda

$$I = I_{ks} + I(\beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2) \quad (5)$$

Bu deňligi I göre çözüp alarys

$$I = \frac{I_{ks}}{1 - (\beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2)} \quad (6).$$

Dinistor taýýarlanylanda onyň ýapyk ýagdaýynda $(\beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2)$ ululyk birden kiçi bolar ýaly edilip işlenilip düzülýär.

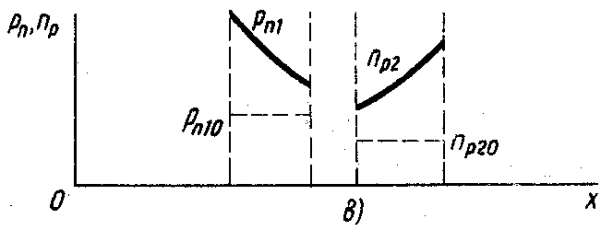
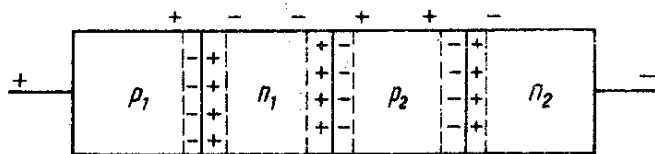
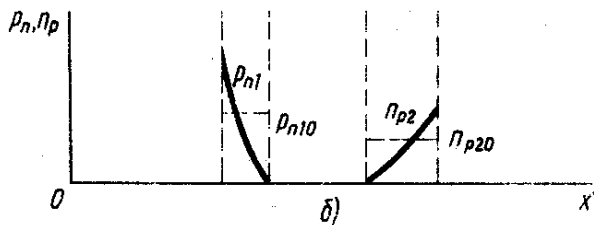
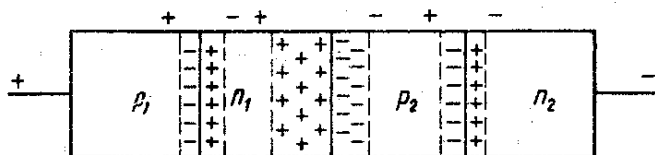
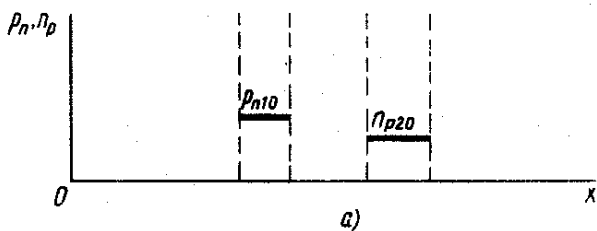
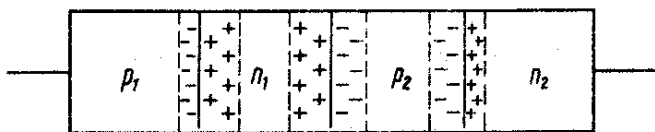
Dinistordan akýan I togyň ululygynyň artmagy bilen inžeksiýa koeffisiýentleri γ_1 we γ_2 artýar. Şeýlelikde dinistora goýlan naprýaženiýanyň artmagy bilen $(\beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2)$ ululyk artýar. Diýmek, (6) deňlige laýyklykda, daşky naprýaženiýanyň belli bir bahasyndan başlan $(\beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2)$ ululyk bire golaýlap, dinistordan geçýän tok tükeniksizlige ymytlyp bilýär.

Emma tok şeýle ýagdaýa ýetmänkä dinistoriň iş režimi durnuksyz ýagdaýa geçýar. Hakykatdan hem kollektor togunyň I_k ululygy emitter geçişlerinden geçýän tokdan artyklyk edýär.

$$I_k = I_{ks} + (\beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2)I_e > I_e \quad (7).$$

Başga söz bilen aýdanda, kollektor p-n-geçişinden p_2 gatлага tarap zyňylýan deşikleriň sony bu gatлага inžektirlenýän elektronlaryň sanyndan agdykdyr, emma n_1 gatлага artykmaç elektronlar zyňylýar.

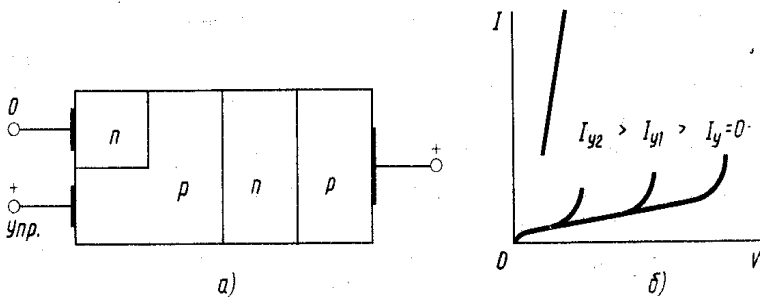
Şeýlelikde n_1 - p_2 geçişiň ýakynynda ters alamatly zarýadlar bilen kompensirlenmedik elektronlar we deşikler toplanyp başlaýar. Zarýadlaryň toplanmagy kollektor geçişinde potensial päsgelçiligiň has peselip, toguň artmagyna getirýär. Umuman aýdanda bu hadysa dinistoryň WAH-da otrisatel garşylykly bölegiň emele gelmegine getirýär.



5. Surat. Tiristoryň bazalarynda göwrüm zaryadlarynyň we esasy däl zaryadlaryň konsentrasiýasynyň paýlanyşy: denagramlyk ýagdaýynda (a); daşky meýdana birleşdirilmedik (b) we birleşdirilen ýagdaýynda (B).

Dinistoryň iş ýagdaýy (wklýuçonnoýe sostoýaniýe) durnukly ýagdaýdyr. Sebäbi bu ýagdaýda ýene-de $(\beta_1\gamma_1 + \beta_2\gamma_2)$ ululyklaryň jemi birden kiçidir. Utgaşan ýagdaýynda, ýagny iş ýagdaýynda dinistoryň umumy garşylygy kiçidir, şol sebäpli hem dinistorlara yzygider çäklendiriji garşylyk birikdirilýär. Utgaşan ýagdaýynda dinistoryň togy 5 suratda görkezilişi ýaly daşky meýdanyň naprýaženiýasynyň ululygy we çäklendiriji garşylyk bilen kesgitlenilýär.

Dinistorlar özboluşly elektron relesi bolup, ol daşky goýulan naprýaženiýa belli bir ululyga ýetende utgaşýar. Olar utgaşdyryjylar hökmünde radiotehnikada we awtomatikada giňden peýdalanylýar.



6. Surat. Dolandyrylýan tiristoryň gurluşy (a) we wolt-ampere häsiýetnamalary (b).

Dinistorlardan tapawutlylykda, tiristorlarda utgaşma naprýaženiýany goşmaça üçünji elektrodyň kömegi bilen urukdyrmak (dolandyrmak) mümkin (6 surat). Urukdyryjy elektroda elektrik meýdany şeýle polýarlykda berilýär, ýagny kollektor geçişniň ýakynyndaky emitter p-n-geçişden

inžektirlenýan togyň ululygy artar ýaly. 6 suratda urukdyryjy togyň dürli bahasynda, tiristoryň WAH-nyň özgerişi görkezilen. Urukdyryjy elektrotndan geçýän toguň artmagy bilen, tiristoryň utgaşma naprýaženiýasy kiçelýär.

Tiristorlaryň iş režimini diňe bir daşdan berilýan goşmaça elektrik meýdanynyň üsti bilen urukdyrylman, tiristoryň baza bölegini ýagtylyk şöhesi bilen şöhlendirip, özgertmeklik mümkin. Şeýle tiristora fototiristor diýilip at berilýär.

1.6. Tranzistorlar.

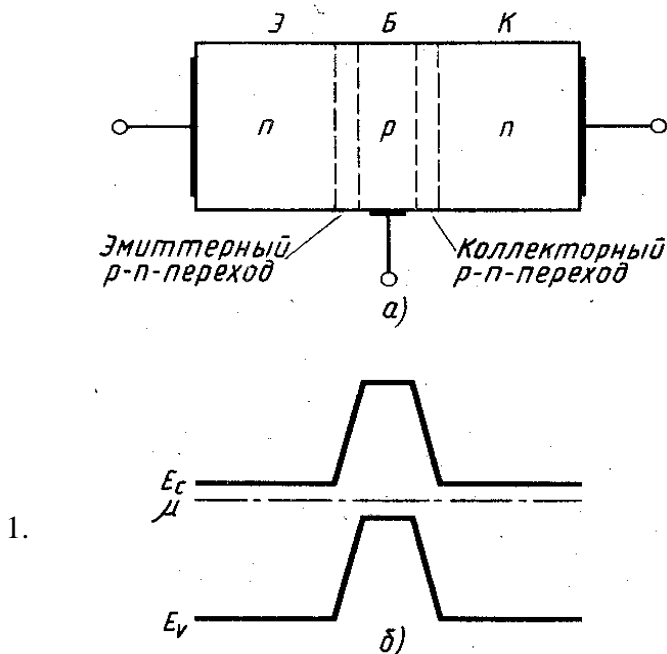
1.6.1. Tranzistorlaryň işleýşiniň fiziki prinsipi.

Alynşy.

Ýarymgeçirijiler elektronikasynyň esasy we has wajyp ülüşleriniň biri tranzistor bolup, bu gaty jisimler esasyndaky pribordyr. Ol elektrik signalyny güýçlendirmäge, elektrik çeşmesiniň energiýasyny elektromagnit yrgyldysina öwürmeklige (elektrik yrgyldysyny generirmeklige), elektrik zynjiryny çalt aýryp çatmaklyga niýetlenen pribordyr. Şu günki gün tranzistorlar elektron hasaplaýyş maşynlarynyň, aragatnaşyk abzallarynyň hem-de hojalyk elektron aparatlarynyň gaýra goýulmasyz bölegidir. Bipolýar tranzistorlar 1947 ýylda oýlanylyp tapylgy. 1948 ýylda nokatlanç-galtaşma tranzistorlar işlenilip düzüldi. 1949 ýylda Bardin tekiz tranzistorlar hakda işi çapdan çykardy. 1952 ýylda p-n-geçişli meýdan tranzistory hödürlenildi, sönra izolirlenen zatworly meýdan tranzistory hödürlendi.

Bipolýar tranzistor iki sany bir-birine ýakyn (sepleşýän) p-n-geçişden durýar. öz gurluşi boýunça şeýle tranzistor p-n-p we n-p-n-görnüşde bolup bilýär. Mysal üçin, n-p-n-görnüşdeki tranzistora seredeliň (1a,6 surat). Onuň energetiki diagrammasy deňagramlyk ýagdaýynda, ýagny daşky meýdanyň täsiri ýok

wagtynda getirilen. Tranzistoryň orta bölegine baza diýilip (B) , oňa emitter (e) we kollektor (k) bölekleri sepleşýär.

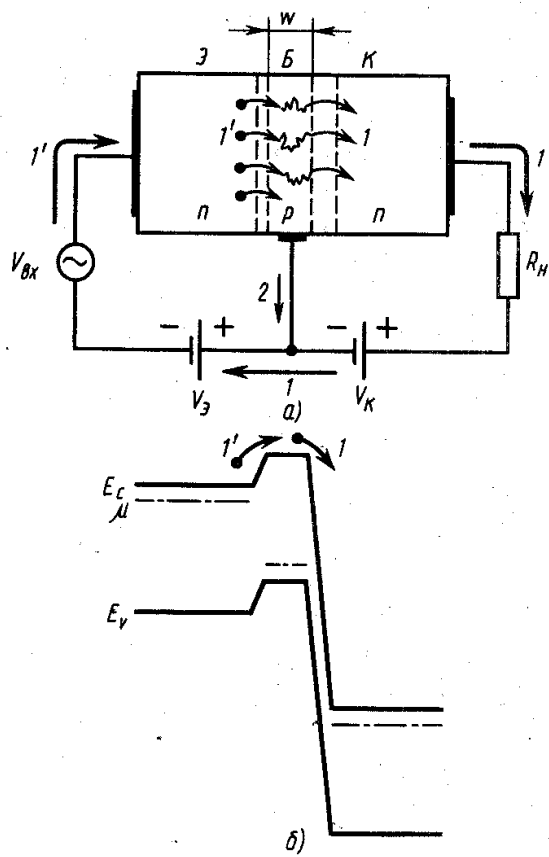


Surat. n-p-n – tranzistoryň gurluşy (a) we energetiki diagrammasy (b).

1.6.2. Bipolýar tranzistorlaryň işleýşi. Umumy baza boýunça birleşdirilişi.

Umumy baza shemasy boýunça birleşdirilen tranzistoryň iş režimine seredeliň (2 surat). Emitter-baza geçişe göni ugra, baza-kollektor geçişe ters ugra elektrik meýdany berilýär. Elektrik meýdanyň täsiri esasynda tranzistoryň emitter böleginden elektronlar, emitter-baza geçişini peslen päsgelçiliginden geçip, baza tarap inžektirlenýär (2 surat, 1 çyzyk). Abaty diodlara meňzeş, daşky elektrik meýdanyň

naprýaženiýasy (U_{eb}) emitter-baza geçişiň göwrüm zarýadynda çökýär; U_{bk} - öz gezeginde kollektor geçişiň göwrüm zarýadynda we daşky garşylykda çökýär. Şeýlelikde, bazada elektrik meýdany ýok diýen ýaly bolup, emitterden inžektirlenen elektronlar, bazadan kollektora tarap diffuziýa boýunça hereketlenýär.



2. Surat.
Umumy baza zynjyrynda tranzistoryň işleýşi (a) we onuň iş şertlerinde energetiki diagrammasy (b).

Elektronlaryň konsentrasiýasy emitter geçişde, göwrümdäki deňagramlyk ýagdaýdaka seredende $\exp [eU_{eb} /$

(kT)] gezek uludyr, emma ters meýdan berilen kollektor p-n-geçişde nola golaýdyr. Haçanda, tranzistoryň bazasynyň galyňlygy π , elektronlaryň bazadaky diffuzion hereketiniň uzynlygyndan gaty keçi bolsa, onda elektronlar hiç ýitgisiz diýen ýaly emitterden baza-kollektor geçişe barýarlar.

Eger elektronlar ýylylyk haotiki hereket esasynda kollektor geçişiň göwrüm zarýadynyň meýdanyna girse, onda olar geçişiň gaty uly meýdany tarapyndan tranzistorlaryň kollektoryna zyňylýar (2-surat, 1-strelka). Şeýlelikde, tranzistorlaryň emitter geçişiniň elektron togy (elektronlaryň akymy) I_{ne} , baza çykyşynyň üsti bilen geçmän, ilki kollektor çykyşyndan geçýär, soňra bolsa R garşylygyň üstünden geçýär. Tranzistoryň gurluş konstruksiýasy, emitter geçişden geçýän elektronlaryň diňe bir azyrak bölegi baza zynjyryna bölüner ýaly edilip ýörite düzülýär (2-surat, 2-çyzyk).

Tranzistorlary umumy baza zynjiry boýunça birikdermek, giriş naprýaženiýa seredeninde çykyş zynjirda (R_n garşylykda) naprýaženiýanyň güýçlenmesine getirýär. Hakykatdanda giriş zynjirda naprýaženiýanyň (U_{gr}) gaty kiçi üýtgemesi , haçanda emitter geçişine göni ugra daşky elektrik meýdany berilende, emitter togynyň uly üýtgemesine getirýär. Eger-de emitter geçişde naprýaženiýa $kT/e \approx 25$ mV ululyga üýtgeşe, onda tok e gezek üýtgeýär.

1.6.3. Tranzistorlaryň parametleri we çykyş häsiýetnamalary.

Tok boýunça güýçlendirilme koeffisienti α tranzistoryň esasy häsiýetnamasy bolup, ol kollektor geçişinde hemişelik naprýaženiýada kollektor togunyň üýtgemesiniň bu üýtgemäni ýüze çykarýan emitter togunyň üýtgemesine bolan gatnaşygyny aňladýar (2a-surat; $R_n=0$).

$$\alpha = \left(\frac{\partial I_k}{\partial I_e} \right)_{U_k} \quad (1)$$

α - koeffisiyente tranzistoryň daşky häsiýetnamasy diýilýär. Ol üç

samy içki häsiýetnamalar bilen kesgitlenilýär: emitteriň effektiwligi γ , geçiş koeffisiyenti β we kollektoryň effektiwligi α^* .

Emitteriň togy elektron (I_{ne}) we deşik (I_{pe}) düzümlerinden durýar. n-p-n-tranzistorlarda güýçlendirme effekti emitter togunyň elektron dýzýjisiniň esasynda ýerine ýetýär. Emitteriň effektiwligi γ

emitteriň umumy togunyň I_e üýtgemesiniň onuň elektron dýzýjisiniň

üýtgemisine gatnaşygyna deňdir:

$$\gamma = \left(\frac{\partial I_{ne}}{\partial I_e} \right)_{U_k} \quad (2)$$

P-n-geçişden geçýän esasy we esasy däl zarýadlaryň akymyny göz önünde tutulanda, umumy tok (önki temalarda getirilen):

$$I = -I_s + I_s e^{\frac{eU}{kT}} = I_s \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \quad (3)$$

P-n-geçişden geçýän umumy toguň formulasyny (3) we onuň elektron we deşik düzüjilerini göz önünde tutup ýazýarys:

$$I_{pe} = S_e e \frac{p_{n0}}{\tau_p} L_p \left\{ \exp \left[\frac{eU_e}{kT} \right] - 1 \right\} \approx S_e e \frac{p_{n0}}{\tau_p} L_p \exp \left(\frac{eU_e}{kT} \right) \quad (4)$$

bu ýerde S_e - emitter geçişniň meýdany.

Zarýadyň diffuziýa aralygynyň $L = \sqrt{D\tau}$ - dygyndan peýdalanyp (19.4) deňligi şu göznüşde ýazyp bolýar.

$$I_{pe} \approx S_e e D_p \frac{p_{n0}}{L_p} \exp \left(\frac{eU_e}{kT} \right) \quad (5)$$

Emitter togynyň elektron düzüjisiniň tapylyşy (4) formuladan tapawutlanýar. Sebäbi baradan emittere inžektirlenen deşikler p-n-geçişden L_p aralykda paýlanan bolsalar, emitterden baza inžektirlenen elektronlar diňe bazada $\omega < L_n$ aralyga ýaýraýar (bu ýerde ω - tranzistoryň baza böleginiň galyňlygy). Bazada elektronlaryň hereketi diffuziýa häsiýetine eýeligi sebäpli, togyň elektron düzüjisiniň ululygy elektronlaryň konsentrasiýasynyň gradiýenti bilen kesgitlemilýär.

$$I_{ne} = S_e e D_n \left| \frac{dn}{dx} \right| \quad (6)$$

bu erde x oky emitterden kollektora tarap urukdyrylandyr.

Bazadaky elektronlaryň konsentrasiýasynyň gradiýentini kesgitleliň. Emitter geçişde elektronlaryň konsentrasiýasy

$$n(0) = n_{p0} \exp \frac{eU_e}{kT} \quad (7)$$

Kollektor geçişde $n(\omega)=0$ diýeliň.

Onda

$$\left| \frac{dn}{dx} \right| \approx \frac{n(0) - n(\omega)}{\omega} = \frac{n_{p0}}{\omega} \exp \frac{eU_e}{kT} \quad (8)$$

$\frac{dn}{dx}$ -yň bahasyny (19.8) deňlikden (19.6) deňlige goýup alýarys.

$$I_{ne} = S_e e D_n \frac{n_{p0}}{\omega} \exp \frac{eU_e}{kT} \quad (9)$$

Emitter togynyň $I_e = I_{ne} + I_{pe}$ bolýandygyny göz önünde tutup, hem-de (19.2), (19.5) we (19.9) deňlikleri kombinirlemek esasynda emitterin effektowligi üçin deňligi alýarys:

$$\gamma = \left(1 + \frac{p_{n0}}{n_{p0}} \cdot \frac{D_p}{D_n} \cdot \frac{\omega}{L_p} \right)^{-1} \quad (10)$$

Diffuziýa koeffisiýentini Eýnşteýniň deňligine esaslanip zarýadyň hereket edijilik ukyby bilen çalyşsaň, massanyň saklanmak kanunyna esaslanyp esasy däl zarýadlaryň konsentrasiýasyny esasy zarýadlaryň konsentrasiýasynyň üsti bilen aňladyp, (19.10) deňligi amatly görnüşde ýazyp bolýar.

$$\gamma = \left(1 + \frac{\sigma_p}{\sigma_n} \cdot \frac{\omega}{L_p} \right)^{-1} \approx 1 - \frac{\sigma_p \omega}{\sigma_n L_p} \quad (11)$$

Tranzistoryň emitteriniň effektiwligini bire golaýlatmak üçin, (19.11) deňlikden görünişi ýaly emittere baza seredende has ýokary derejede garyndy gaşmaly ($\sigma_n \gg \sigma_p$) we bazany gaty ýuka etmeli ($\omega \ll L_p$). Bazanyň ýuka bolmagy geçirijilik koeffisiýenti, ýagny emitterden inžektirlenen elektronlaryň kollektor geçişe ýetýäniň snyny artdyrmak üçin hem wajpydyr:

$$\beta = \left(\frac{\partial I_{nk}}{\partial I_{ne}} \right)_{U_k} \quad (12)$$

Bu koeffisiýent birden kiçi, sebäbi elektronlaryň bir bölegi kollektor geçişe ýetmän rekombinirlenýär. Baza bölegi näçe dar boldugyça bire golaýlaýar. Haçanda ($\omega \ll L_n$) bolan ýagdaýynda, hasaplamalara esaslanyp alýarys:

$$\beta \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega}{L_n} \right)^2 \quad (13)$$

Kollektoryň effektiwligi şeýle hasaplanyp:

$$\alpha^* = \left(\frac{\partial I_k}{\partial I_{nk}} \right)_{U_k} \quad (14)$$

egerde kollektor p-n-geçisde urgy ionlaşmasy ýüze çykýan bolsa, α^* birden uly bolup biler.

Tranzistoryň adaty iş režiminde, haçanda $U_k \ll U_{\text{bowS}}$ bolanda, α^* ululygy bire ýakyndyr.

Şeýlelikde (19.1), (19.2), (19.12) we (19.13) denlemelerden tranzistoryň güýçlen dirme koeffisiýenti α -ny tapýarys.

$$\alpha = \gamma \beta \cdot \alpha^* \quad (15)$$

Bu deňlige γ we β -nyň bahalaryny (19.11) we (19.13) deňlikden alyp goýup, $\alpha^* = 1$ diýip hasap edip, hem-de ikinji derejeli kiçi goşulyjilary hasaba alman, alýarys:

$$\alpha = 1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_n} \cdot \frac{\omega}{L_p} - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega}{L_n} \right)^2 \quad (16)$$

(19.16) deňlikden görünişi ýaly tranzistor umumy baza boýunça birikdirilende togyň güýçlendirilmesi ýüze çykmaýar ($\alpha < 1$).

1.6.4. Meýdan tranzistorlary we olaryň ulanylyşy.

Çykyş togy giriş naprýaženiýesi bilen dolandyrylýan ýarymgeçirijili enjama meýdan tranzistory diýilýär. Giriş naprýaženiýesiniň çykyş toguna täsir edýän elektrik meýdanyny döredýändigini üçin tranzistora meýdan tranzistory diýilýär.

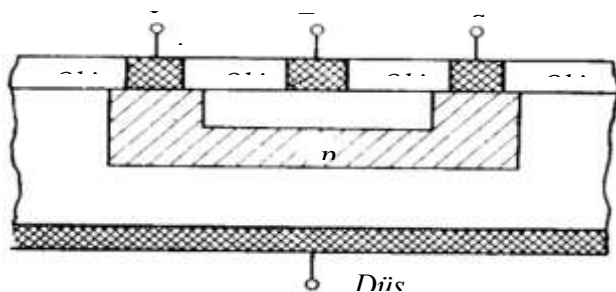
Geçen bapda öwrenilen bipolar tranzistorlarynda elektrik toguny görnüşleriň iki görnüşini (esasy we esasy däl) aýgıtly rol oýnaýardy. Meýdan tranzistorlarynda tok görnüşleriň esasy görnüşini bilen döredilýär, görnüşleriň esasy däl görnüşini aýgıtly rol oýnamaýar. Şonuň üçin tranzistorlary biri-birinden tapawutlandyrmak üçin adaty tranzistorlara *bipolyar*, meýdan tranzistorlaryna bolsa *unipolyar* diýilýär.

Bipolýar tranzistorlarynda çykyş toguny dolandyrmak bazanyň ýa-da emitteriň giriş togunyň kömegi bilen amala aşyrylýar. Bu kiçi giriş garşylygy bilen baglydyr. Köp ýagdaýlarda bu ýetmezçilik däl-de, artykmaçlykdyr. Meselem, kiçi giriş garşylygynda keseki naprýaženiýeleriň her dürli täsir etmeleri uly giriş garşylygyndakydan ep-esli az bolýar. Şeýlede bolsa käwagt örän uly giriş garşylygy juda zerur bolýar. Meýdan tranzistorynyň giriş garşylygy elektrik meýdany bilen dolandyrylýandygy sebäpli hemişelik tok we üýtgeýän toguň pes ýygylgy üçin has uly 10^8-10^{15} Om bolup biler.

Meýdan tranzistorlarynyň ýasalyş tilsimaty bipolýarlaryň ýasalyşyndan gaty ýönekeýdir. Meýdan tranzistorlary mikroçatgylarda bir tranzistora ep-esli kiçi meýdan eýeleýärler we has kiçi tok ulanylýarlar. Bu bolsa kremniniň 4 x 5 mm ölçegli bir plastinkasynda birnäçe müňden onlarça müň tranzistorlary we rezistorlary özünde jemleýän uly we aşa uly integral mikroçatgylary döretmäge mümkinçilik berýär. Şeýle mikroçatgylar, meselem, mikrokalkulýatorlarda we elektron el sagatlarynda ulanylýar.

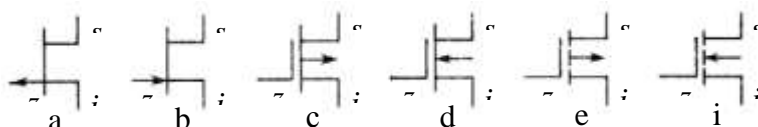
3-nji suratda dolandyryşly *p-n*-geçişli meýdan tranzistorynyň düzülişiniň çyzgyda şöhlelendirilişi görkezilen.

Dolandyryşly *p-n*-geçişli meýdan tranzistorlary diňe *p*-görnüşli geçiriji kanally däl, eýsem *n*-görnüşli kanally hem ýasalýar.



3-nji surat. Dolandyryşly *p-n*-geçişli we *p*-

Isolirlenen kanally meýdan tranzistorlaryna başgaça *MOÝ-tranzistorlar* ýa-da *MDÝ-tranzistorlar* hem diýilýär. Bu gysgaldylan atlar olaryň düzümini görkezýär: metal-okisel-ýarymgeçiriji we metal-dielektrik-ýarymgeçiriji. Isolirlenen kanally meýdan tranzistorlarynyň esasy iki sany görnüşi bolýar: oturdylan kanally we indusirlenen kanally tranzistorlar. Prinsipial çyzyklarda meýdan tranzistorlarynyň şertli belgilenişi 5.2-nji suratda görkezilen.

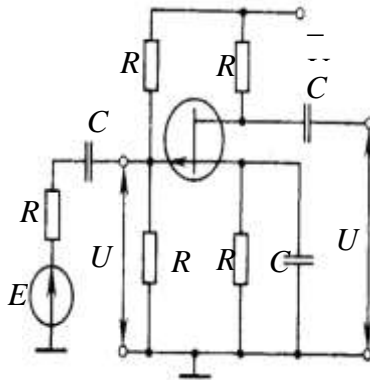


4-nji surat. Meýdan tranzistorlarynyň şertli belgilenişi.
a – *p-n*-geçişli *p*-görnüşli kanally meýdan tranzistory; b – şeýle *n*-görnüşli kanally; ç

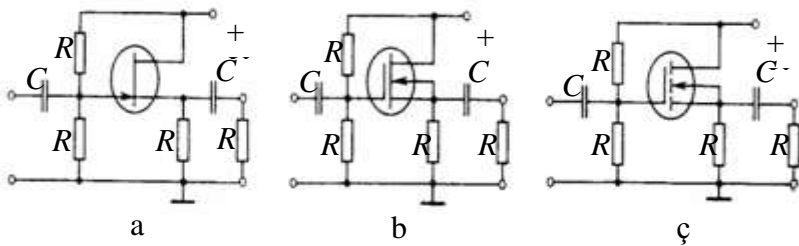
1.6.5. Meýdan tranzistorynda güýçlendirijiler.

Meýdan tranzistorlarynda hem köp dürli güýçlendirijileri gurmak mümkin. Dolandyryşly *p-n*-geçişli meýdan tranzistoryndaky rezistor güýçlendirijisi 5-nji suratda görkezilen. Güýçlendirijide R_i rezistoryň üstünden istok togunyň akyp geçmegi netijesinde döreyän awtomatiki süýşürme ulanylan. Bu süýşürme R_2 rezistoryň üstünden meýdan tranzistorynyň zatworyna düşýär-de, *p-n*-geçişi ters ugra süýşürýär.

6-nji suratda istok gaýtalaýjylarynyň çyzyklary görkezilen. Ähli üç çyzygyda hem istok togunyň başlangyç bahasy zatworyň zynjyryndaky bölüjiniň we istogyň zynjyryndaky rezistoryň kömegi bilen saklanýar.



5-nji surat. Dolandyryşy $p-n$ -geçişli p -görnüşli kanally meýdan tranzistoryndaky



6-nji surat. Istok gaýtalaýjylarynyň çyzgylary. a – dolandyryşly $p-n$ -geçişli tranzistorda; b – oturdylan kanally MOÝ-tranzistorda; ç –

1.7. Ýagtylyga duýgur abzallar hakda umumy maglumatlar.

1.7.1. Ýagtylyga duýgur abzallar

Kesgitlemesi. Ýagtylyga duýgur abzallar (optiki şöhleleri kabul edijiler) diýlip, optiki diapazonda elektromagnit şöhlelenmegi tapyp bilýän (**duýýan**) hem-de şol şöhleleri ölçäp bilýän abzallara aýdylýar.

Ýagtylyga duýgur abzallar – elektromagnit energiýalaryň şöhleleniş hadysasyna esaslanyp, olary başga elektrik signallaryna, (başga energiýalara, meselem görünilýän optiki şekillere) öwürip bilýän abzallardyr.

Klassifikasiýalary (toparlara bölünişleri) : Ýagtylyga duýgur abzallary – fotoelektronly, fotoelektrikli, ýylylykly ýaly üç topara bölýärler :

1. Fotoelektronly abzallaryň işleýiş prinsipleri **dasky** fotoeffektlere hem-de wakuumly ýa-da gaz bilen doldurlan abzallardaky döredilýän elektrik meýdanynyň täsirinden hereketlendirilýän elektronlaryň akymyna esaslanýarlar. Käbir abzallarda bolsa **içki** fotoeffektler (**widikonlara**) we **ýylylyk** efektlere

(**Piro-widikonlara**) esaslanýarlar (**Piro-ýanýan**, ýangyn – Grek sözi, **Widio**-görmek-Latyn, **eikon** – şekil – Grek sözleri).

Olara degişli abzallar : Telewideniýelerde ulanylýan elektron şöhlelerini döredýän turbalar, fotoelektronly köpeldijiler (**FEK**), fotoelementler, elektronly-optiki özgerdijiler, fotoelektronly özgerdijiler, fotoemissiýaly ýüwürük (ylgaýan) tolkunlaryň çyralary we başgalar.

2. Fotoelektrikli abzallaryň işleýiş prinsipleri **içki** fotoeffektlere hem-de ýarymgeçirijileriň taýýarlanylş tehnologiýasyna esaslanýar.

Olara degişli abzallar. Fotorezistorlar, fotodiodlar ýarymgeçirijilerden ýasalan fotoelementler (Gün elementleri), fototranzistorlar, fototiristorlar, zaryadlary äkidýän ýagtylyga duýgur abzallar (ZÄÝDA).

3.Ýagtylygyň ýylylyk täsirine has duýgur abzallara ýylylygyň abzallary diýilýär. Ýylylyk abzallarynyň işleýiş prinsipi şöhleleriň ýuwdulan wagty, abzallara edýän täsirinden temperaturanyň garşylygynyň üýtgemeginiň duýgurlygyna esaslanýar ýa-da temperaturanyň üýtgemegi netijesinde birnäçe

kristallaryň üstlerinde elektrik zaryadlarynyň toplanýanlygy sebäpli garşylygynyň üýtgeýiş duýgurlygyna esaslanýar.

Olara degişli abzallar : Ýarymgeçiriji bolometrler, şöhlelenýän piroelektriki ýükler, bolometriki ýylylygy kabul edýän gurnamalar (**ÝKEG**) .

1.7.2. Ýagtylyga duýgur abzallarda bolup geýän esasy fiziki hadysalar.

Daşky fotoeffekt. Daşky fotoeffekt diýlip, elektromagnit şöhleleriniň jisimler tarapyndan ýuwdulýanlygy sebäpli jisimlerden wakuuma tarap elektronlaryň emissiýalanmak hadysasyna aýdylýar.

Jisimiň üstüne düşýän elektromagnit şöhlelerindäki fotonlaryň energiýasy elektronlara goşmaça energiýa bermek üçin harçlanýar.

Şu energiýanyň hasabyna elektron özüniň m_e – massasy bilen $A_{\text{çyk}}$ – işi ýerine ýetirýär we V – başlangyç tizligine eýe bolýar.

Ýokardaky aýdylan energiýa, iş, tizlik we massa ýaly ululyklaryň özara matematiki baglansyklary Eýnşteýniň deňlemesi bilen aňladylýar.

$$hV = A_{\text{çyk}} + \frac{m_e \cdot V^2}{2}$$

Bu ýerde :

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ **Joul · sek** – Plankyň hemişeligi

V – elektromagnit şöhlelenmegiň ýygyllygy.

1.7.3. Daşky we içki fotoeffektleriň aýratynlyklary.

Daşky fotoeffektiň aýratynlyklary :

1. Hemişelik şöhleleriň akymy bilen jisimiň üsti şöhlä tutulanda fotoelektron emissiýanyň netijesinde döreyän tok, şol spektral düzümlü şöhle akymynyň intensiwligine (ýitiligine) gönüden-göni baglydyr.

$$I_F = s \cdot \Phi$$

Bu ýerde : I_F – fototok , Φ – elektromagnit akymynyň ululygy ;

s – fotokatodyň ýagtylyga duýgurlygy.

2. Fotokatoddan uçup (atylp) çykýan elektronlaryň tizligi näçe uly boldugyça, şonça-da şöhlelenmegiň V – ýygylgynyň siňişi uly bolýar ; V – ýygylgyň artmagy bilen fotoelektronlaryň başlangyç kinetiki energiýalary göni baglansygyň kanuny bilen artýar.

3. Fotoeffekt hadysasy diňe şöhleleriň desselenen ýiti akymy bolanda hem-de $V \geq V_{\text{kriz}}$ ýygylk bilen şöhlelendirlende ýüze çykýar we döreyär. Bu ýerde V_{kriz} – krizis ýygylgy diýilmeginden başga-da, oňa fotoeffekt hadysasynyň « **gyzyl araçägi** » hem diýilýär.

4. Fotoeffekt hadysasyna **inersiýasyz** diýseň-de bolýar, sebäbi şöhlelenmek bilen fotoelektronlaryň ýüze çykyp başlamagynyň aralaryndaky wagt $3 \cdot 10^{-9}$ sekund töweregidir. Şonuň üçin-de yza galmak (saklanmak) hadysasy ýok diýip kabul edilýär.

Umuman, islendik metaly, dielektrigi hem-de ýarymgeçirijini ýagtyldanyňda-da (yşyklandyryanyňda-da) görmek bolýar.

1.7.4. Içki fotoeffektin aýratynlyklary.

Içki fotoeffekt diýilip, krisstalyň içinde birnäçe hadysalaryň bolup geçmegine aýdylýar. Meselem, elektromagnit akymy kristalyň gözeneklerinden geçende edýän täsirinden şöhlelendirlen nusganyň garşylygynyň üýtgemegine aýdylýar.

Içki fotoeffekt dörän wagty elektronlaryň energetiki ýagdaýy üýtgeýär, kristaldaky toklary erkin alyp baryjylaryň-da mukdary üýtgeýär ýa-da olaryň çakgan gozganmaklary netijesinde kristalyň göwrüminiň içindäki zarýadlaryň täzedan paýlanmaklary bolup geçýär.

Içki fotoeffekt hadysasy diňe ýarymgeçirijilerde we dielektriklerde bolup geçýär.

Içki fotoeffektler diýlip hasap edilýänler :

a) fotogeçirijilik (fotorezistor effekti) ; b) fotogalwaniki effekti ;

w) fotoelektromagnit effekti ; ç) ýarymgeçirijiler deňölçegsiz şöhlelendirlende döreyän effekter.

Fotoelektriki abzallarda ulanylýan içki fotoeffektlerden esasan hem iki görnüşi has köp ulanylýar, olar fotogeçirijilik hadysasy bilen fotogalwaniki hadysalarydyr.

Fotogeçirijilik – diýilip, ýarymgeçirijilere şöhle ugrukdyrylanda nusgada döreyän özara deň bolmadyk dürli sebäpler bilen döreyän geçirijilikleriň bolçulygy ýüze çykanda aýdylýar.

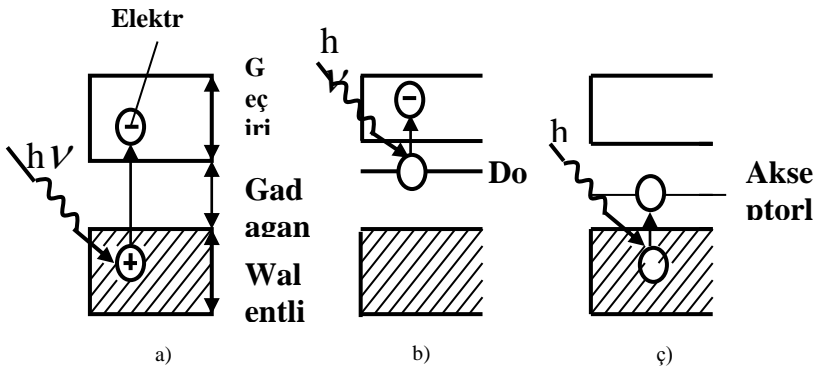
Esasy geçirijilik diýlip, ýagtylyksyz (ýagny ýylylygyň täsiri netijesinde döreyänligi üçin oňa şöhlesiz) ýa-da **tümlükde** döreyän geçirijilige diýilýär, sebäbi bu geçirijilik nusganyň tümlükde duran wagtyna gabat gelýär.

Ýarymgeçirijilere ugrukdyrılan şöhläniň bir bölegi arassa ýarymgeçirijä zerurlyk üçin harçlanýan (ýuwdulýan) bolsa, beýleki bölegi ýarymgeçirijiniň düzümine goşulan garyndylar tarapyndan ýuwdulmagy mümkindir.

Arassa ýarymgeçirijide ýagtylygyň ýuwdulmagy diýlip, ýagtylygyň **sorulyp** ýuwdulýanlygy netijesinde erkin toklary döredýänleriň (elektronlar bilen deşikleriň) jübütleşmeklerine aýdylýar.

Garyndyly ýarymgeçirijilerde ýagtylygyň ýuwdulmagy diýlende ýagtylygyň **sorulyp** ýuwdulýanlygy netijesinde togy döredýänler diňe bir tipli bolmalydyrlar (ýa elektron tipli ýa-da deşik).

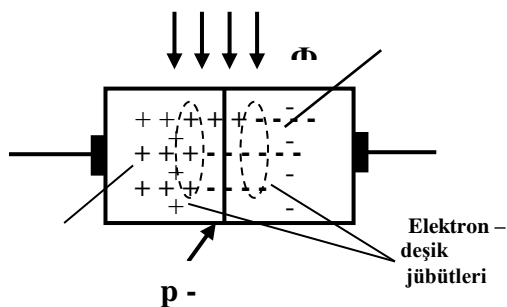
1-nji çyzgyda – arassa we garyndyly ýarymgeçirijilerde ilkinji togy alyp barýanlar : **a** – hususy bolanda we **b** ; **ç** – garyndyly bolanda şöhleler zerarly döreyän geçirijiligiň emele gelişleri görkezildi (çyzgyda **hν** – fotonlaryň energiýasy)



1-nji çyzgy. **a** – arassa, **b** – garyndysy donor, **ç** – garyndysy akseptor bolan ýarymgeçirijilerde şöhleler zerarly geçirijiligiň döreyşi.

Fotogalwaniki effekt – diýlip ýarymgeçirijiden ýasalan nusganyň üstüne şöhle ugrukdyrylanda **nusganyň** eginlerinde elektrik hereketlendiriji güýjüň (EHG-niň) döremegine aýdylýar.

Mysal hökmünde **p-n** gurluşa seredeliň. Nusganyň p-n geçelgesine we bu geçelgäni emele getirýän **p** hem-de **n** – böleklerine-de ýagtylyk ugrukdyrylýar. (2-nji çyzgy).



2-nji çyzgy. Ýarymgeçirijiden taýýlanýan nusganyň üstüne şöhläniň ugrukdyrlyşy.

Ýarymgeçirijiniň üstüne düşýän $h\nu$ – fotonlar energiýasynyň Φ – akymy, togy döredýän zarýadlaryň käbirinde elektronlaryň we deşikleriň jübütleşmeklerine sebäp bolýar. Ýagtylygyň Φ – akymy bilen üpjün edilenden soň, ýarymgeçirijä elektrik meýdany bilen täsir etsek, onda **p-n** geçelgäniň töwereginde ýaňky jübütleşen elektron-deşikler aýrylyşmak bilen bolýarlar we deşikler öz **p** – bölegine tarap, elektronlar bolsa **n** – bölege tarap süýşmek bilen bolýarlar. Şeýlelikde, **n** – bölekde elektronlaryň üýşmekleri, **p** – bölekde bolsa deşikleriň üýşmekleri bolup geçýär. Netijede, **fotoelektrik** hereketlendiriji güýç

(**Foto EHG**) emele gelýär. Foto EHG-niň ululygy ýagtylygyň dessesiniň ýitiligine (**intensiwligine**) bagly bolup **1-Woltuň** ondan biri (**0,1W**) töweregi bolýar.

Eger-de, **p-n** gurnamany (abzaly) ýapyk zynjyr bilen birleşdirsek, onda foto **EHG**-niň täsirinden elektrik togy dörär. Dörän elektrik togunyň ululygy (güýji) ýagtylygyň akymyna we ýüküň garşylygyna baglydyr.

1.7.5. Ýagtylyga duýgur abzallaryň esasy häsiýetnamalary we esasy parametrleri.

1. Wolt-Amper ýa-da anodyň häsiýetnamasy diýlip ýagtylygyň akymy

Φ = hemişelik saklananda I_F – fototok bilen elektrodalaryň arasyndaky

U – naprýaženiýeniň baglanşyklaryna aýdylýar, $I_F = f(U)$.

Aslynda I_F – fototok ýagtylyk we tümlük toklarynyň tapawutlaryna deňdir

$$I_F = I_{\text{ýagt}} - I_{\text{tüml}}$$

Tümlügiň togy – $I_{\text{tüml}}$ – haýsy-da bolsa belli bir naprýaženiýede şöhläniň ýok wagty ýapyk zynjyrdaky tok bolsa, onda ýagtylygyň togy – $I_{\text{ýagt}}$ – haýsy-da

bolsa belli bir naprýaženiýede şöhläniň bar wagty ýapyk zynjyrdaky tokdur.

2. Ýagtylygyň häsiýetnamasy – haýsy-da bolsa bir takyk (U =**hemişelik**) naprýaženiýede I_F – fototok bilen ýagtylygyň Φ – akymynyň özara baglanşyklaryna aýdylýar.

$$I_F = f(\Phi) ; U = \text{const}$$

3. Spektral häsiýetnama – ýagtylyga duýgur abzalyň s – duýgurlygynyň (ýa-da s/s_{maks} – otnositel duýgurlygynyň) abzala düşýän şöhläniň λ – tolkun uzynlygy bilen baglanşygyna aýdylýar.

$$\frac{S}{S_{\text{maks}}} = f(\lambda)$$

4. Ýagtylyk häsiýetnama – fototoguň I_F – üýtgeýän böleginiň (goşulmasynyň) hemişelik spektr

düzümünde (λ =**hemişelik**) şertde, ýagtylyk akymynyň f – ýygylgy bilen baglansygna aýdylýar $I_F = f(f)$; λ =**hemişelik**

Ýagtylyga duýgyr abzallaryň esasy parametrleri hökmünde şu aşakdaky parametrler kabul edilen :

1. Tümlükdäki şertde R_T – garşylyk – ýagtylygyň ýok wagty (tümlükde) şöhlendirilmeyän abzalyň garşylygy

$$R_{\text{tüml}} = \frac{U}{I_{\text{tüml}}}$$

Bu ýerde, $I_{\text{tüml}}$ – tümlük wagtyndaky tok.

2. Ýagtylygyň döredýän $R_{\text{ýagt}}$ – garşylygy, bu garşylyk ýagtylygyň bar wagty spektriň (görünmegiň) duýgurlyk diapazonynda ugrukdyrylan şöhleleriň akymynyň täsirinden döreýän ýüküň garşylygy.

3. Integral (bütin) duýgurlygy – şöhlesi takyk ugrukdyrylan ýagtylyk çeşmesiniň ýagtylygyna göre şöhlendirilýän ýüküň duýgurlygy

Eger-de, I_F – fototok bilen ýagtylygyň Φ – akymynyň baglansygy **göni** bolanda duýgurlyk koeffisiýentiniň tapylyşy

$$S = \frac{I_F}{\Phi}$$

4. Spektral duýgurlygy – Takyk tolkunynyň λ – uzynlygy bilen monohromatiki (birreňkli) şöhlendirilende ýüküň duýgurlyk koeffisientiniň tapylyşy

$$S_{\lambda} = \frac{d I_{F,\lambda}}{d \Phi_{\lambda}}$$

1.7.6. Ýagtylyga duýgur abzallaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişleri (markirowka).

Tehnikada tapawutlandyryşlaryna görä, ýagtylyga duýgur abzallary üç topara bölýärler, olar: 1.Fotoelektronly; 2.Fotoelektriki; 3.Ýylylygyň abzallary.

1. Fotoelektrik abzallaryň şertli belgilenişleri.

Birinji element-harp-fotokatodyň tipini görkezýär ; **Ц** – surmaly we kükürtli , **И** – kislorodly-kükürtli, **Ф** – fotoelement, **ФЕК (ФЭУ)** – çykalgasy koaksal görnüşli fotoelement, **КФЕ (ФЭУ)** – köpeldiji fotoelektron abzaly.

Ikinji element – **В** we **Г** – harplary – wakuumly gaz bilen doldurylgy fotoelementler.

Üçünji element – sifr (san) – fotoelement taýýarlanylanda onuň tertip nomeri.

Belgilere mysallar : **С ИВ-3**, wakuumly element, surmaly we sezili, tertip nomeri üçünji. **ИГ-4** – gazy zarýadsyzlanýan fotoelement kislorod – sezili, tertip nomeri dördünji.

Fotoelektron köpeldijiler iki elementli belgilenýärler : şertli belgilenişiň birinji elementi – harplar – köpeldiji fotoelektron dygyny aňladýar.

Ikinji elementi – sifrlar – nirede işlenilip taýýarlanylsa şol ýeriň tertip nomeri.

Belgilere mysallar : **ФЭУ -19** – köpeldiji fotoelektron, tertip nomeri – **19**.

2. Fotoelektrik abzallaryň şertli belgilenişleri.

Birinji element – iki harp – abzalyň haýsy tapgyra degişlidigini we işleýiş prinsipini aňladýar. Meselem, **ФР** – fotorezistor, **ФД-p-n** geçelgeli abzallardyr, onda **ФУ-p-n** geçelgeli we içinden güýçlendiriji abzaldyr.

Ikinji element – harp – haýsy materialdandygyny aňladýar : **К** – Kremniý, **Г** – Germaniý.

Üçünji element – san, **0,01**-den tä **999**-za çenli abzalyň taýýarlanylş tertip nomeri.

Dördünji element – harp – abzalyň haýsy toparlara degişlidigini aňladýar :

Б – iki polýarly (bipolýar) tranzistorlar, **У** – birpolýarly (unipolýarly) fototranzistorlar, **Т** – tranzistorlar.

Ýagtylyga duýgur abzallaryň üçünji bir görnüşi ýylylygyň abzallarydyr. Olaryň şertli belgilenişi.

Birinji element – harp – tapgyryň haýsy klassifikasiýa (topara) degişlidigini aňladýar : **ФР** – fotorezistorlar, **ФД** – fotodiodlar, **ФЭ** – ýarymgeçiriji fotoelementler, **Ф** – elektrowakuumly fotoelementler, **ФТ** – fototranzistorlar, **ФЭУ** (**KFE**) – fotokopeldijiler we ş.m.

Ikinji element – san (sifr) – abzal taýýarlanylanda onuň registirlenen (möhürlenlen) nomeri (1-den tä 999-a çenli).

Üçünji element – harp ýa-da san-harp bilelikde.

Konstruksiýasynyň (gurluşynyň) özboluşly taýýarlanylşyny ýa-da haýsy-da bolsa bir parametrinde aýratyn üýtgeşikligiň bardygyny aňladýar.

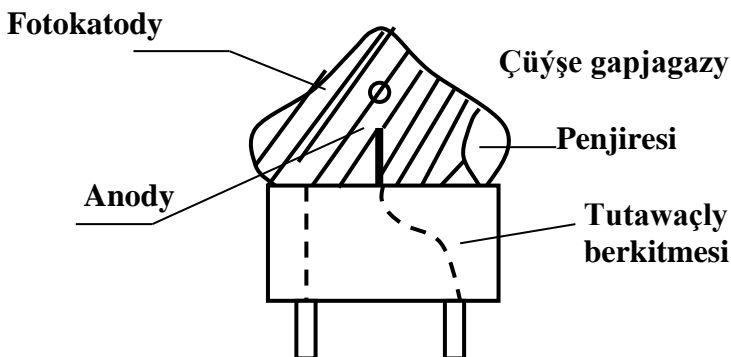
1.8. Fotoelementlerde daşky fotoeffekt.

1.8.1. Daşky fotoeffektli fotoelementler.

Daşky fotoeffektli fotoelementleri iki topara bölýärler :

1) Wakuumly, 2) Içi gaz bilen doldurylgy.

Gurluşy boýunça daşky fotoeffektli fotoelementleriň içinde fotokatod bilen halkaly anod ýerleşdirilip (1-nji çyzygy), olar çüýşeli gapjagaz (balon) bilen gurşalan abzaldyr.



**Anodyň we katodyň
çykalgalary**

1-nji çyzygy.

Katod hökmünde çüýşe balonyň içki üstüne çayylan metall gatlagy hyzmat edýär.

Katodyň gabat garşysynda çüýşeli balonyň metal çaylylmadyk bölegini goýýarlar, ýagny ýagtyltygyň şöhesi düşer ýaly **penjirejik** goýulýar.

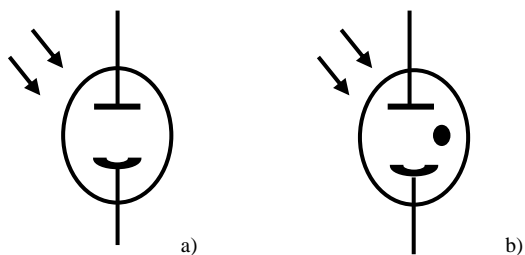
Anoda ýüzük şekili (formasy) berilip, penjireden katoda düşýän şöheleleriň akymyna böwet bolmaz ýaly ýerde, balonyň içki giňişliginde ýerleşdirilýär.

Wakuumly fotoelementlerde balonyň içinden howa (gaz) **10^{-6} mm simap sütüni** derejesine ýetýänçe sorulyp çykarylýar.

Içi gazly fotoelementlerde bolsa çüýşeli balon inert gazlary bilen (köplenç **Argon** gazy) **0,1 – 1 mm simap sütün** basyşa çenli doldurylýar.

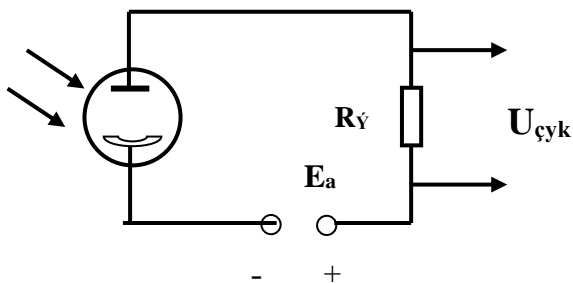
Fotoelementleriň daşky effekt bilen tehniki görkezijileri fotokatody üçin niýetlenilip çayylan metalyň häsiýetlerine bagly bolýar.

Fotokatod üçin iň köp ulanylýan material **kislorodly – seziý** we **surmaly – seziýdir**.



2-nji çyzgy. Fotoelementleriň grafiki görnüşde şertli belgilenişleri.
a – wakuum, **b** – inert gazly dolandyrylýan fotoelementler.

Fotoelementleriň elektrik shemalaryna çatylyşy we işleýiş prinsipi 3-nji çyzgydaky shema bilen düşündirmek bolar.



3-nji çyzgy. Fotoelementiň shemalara çatylyşy.

Fotoelementiň zynjyryna hemişelik naprýażeniýeniň E_a EHG-si çatylyar (150-200 W töweregi) we elektrik ýüki hökmünde R_γ – garşylygy yzygider birleşdirlip, ondan $U_{\text{çyk}}$ – naprýażeniýe alynýar.

Fotoelementiň katody ýagtylandyrylanda katoddan elektronlar emitterlenýärler (çykyp başlaýarlar), netijede anodyň zynjyrynda I_F – tok döreýär. Bu I_F – tok ýagtylygyň Φ – akymynyň ýitiligine (intensiwliline) göni baglydyr.

$$I_F = k \cdot \Phi$$

Ýagtylyk akymynyň ululygyny (ýitiligini) nähili üýtgetsek fototok hem şoňa görä üýtgeýär. Şeýlelikde, ýükden alynýan $U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýe-de ýagtylygyň üýtgeýiş kanunyna görä üýtgär, sebäbi

$$U_{\text{çyk}} = I_F \cdot R_Y = k \cdot \Phi \cdot R_Y$$

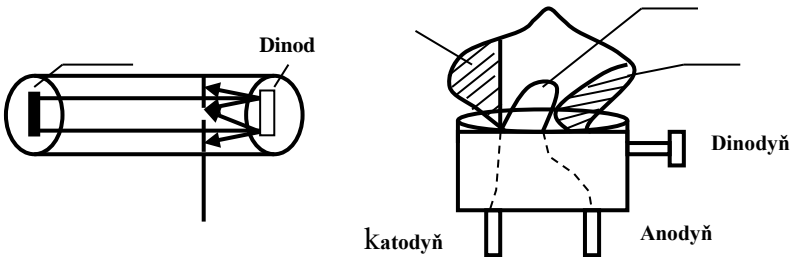
Diýmek, $U_{\text{çyk}}$ – naprýaženiýe ýagtylyk akymynyň üýtgemeginiň önümidir.

1.8.2. Fotoelektronly köpeldijiler (FEK).

Fotoelektronly köpeldijiler hem edil daşky fotoeffektli fotoelementler ýaly awtomatikanyň we ölçeýji shemalaryň dürli pudaklarynda giňden ulanylýarlar. Şol bir wagtyň özünde **FEK**-ler fotoelementler bilen deňşdirilende birnäçe aýratynlyklary we mümkinçilikleri bilen tapawutlanýarlar hem-de özlerine mahsus bolan has ýokary integrallanmak duýgurlyklary bilen-de tapawutlanýarlar.

Ýerine ýetirýän işine (wezipesine) we oňa edilýän talaplara laýyklykda **FEK**-ler birkaskadly we köpkaskadly toparlara bölünýärler.

Birkaskadly **FEK**-leriň gurluşy we işleýiş prinsipi 4-nji a, b çyzgylarda görkezildi.



4-nji çyzgy. a – birkaskadly FEK-iň gurluşy ;
b – birkaskadly FEK-iň daşky görnüşi.

Abzalda **fotokatodyň** elektrodyndan başga-da iki sany elektrod bolup, olaryň biri **anod** üçin niýetlenilen bolsa, beýlekisi ikilenji emissiýa üçin niýetlenilen **dinoddyr**.

Dinodyň potensialy katoda görä has ýokary bolup, anodyň potensialyndan kiçi bolýar. Şonuň üçin-de ilki-başdaky elektronlar fotokatoddan sypan soň göni dinod-dinod ýol bilen hereket edýär. Şular ýaly hereketde elektronlaryň käbiri anodda saklanyp anodyň zynjyrynda tok döretse, käbiri anodyň toruny böwsüp geçäge-de dinoda barýar. Eger-de, dinoda berilen belli bir naprýaženiýede dinodyň materialynyň ikilenji sapa emissirlenýän koeffisiýenti $\sigma > 1$ bolsa, onda anodda toplanýan ikilenji elektronlar ilki-başdaky elektronlaryň döreden togundan σ - esse köp tok döreder.

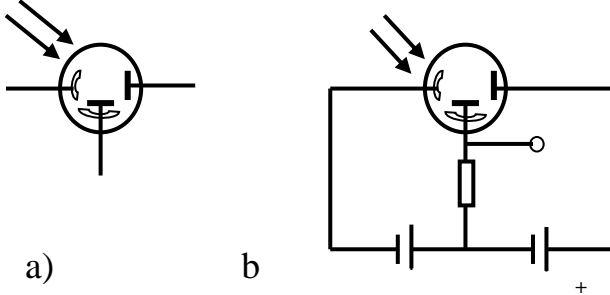
$$I_2 = \sigma \cdot I_1$$

Bu ýerde I_1 – katoddan alynýan tok.

Şeýlelikde, birkaskadly fotoelektronly köpeldijiler (FEK-ler) ilkinji

I_1 – togy σ – gezek köpeldýär.

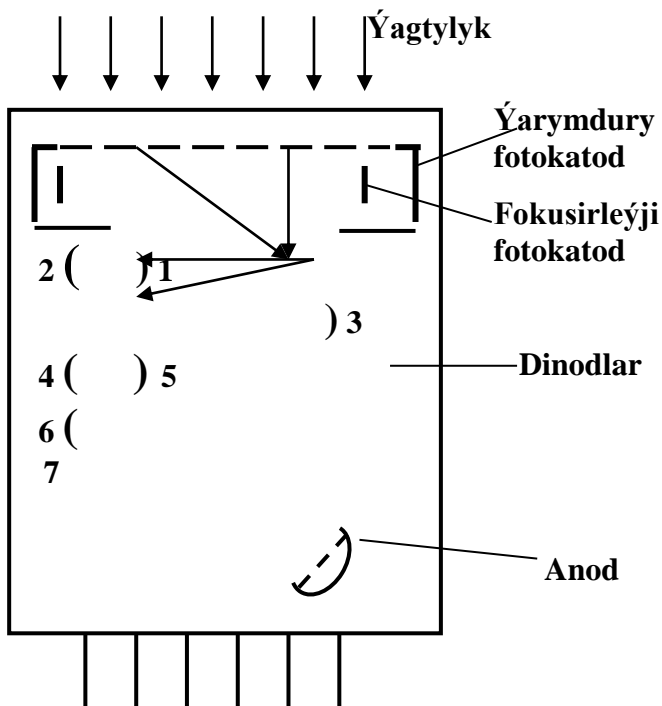
Birkaskadly FEK-leriň grafiki görnüşde sertli belgilenişi we elektrik shemalarynda çatylyşy 5-nji çyzgyda görkezildi.



5-nji çyzgy. Birkaskadly FEK-iň **a** – grafiki görnüşde şertli belgilenişi **b** – shemalara çatylyşy.

1 8.3. Köpkaskadly FEK-leriň gurluşy we işleýiş prinsipi.

Köpkaskadly **FEK**-iň gurluşy 6-nji çyzgyda görkezildi. Ýagtylygyň çeşmesinden (çyralardan) **FEK**-iň fotokatodyna ýagtylyk şöhlesiniň akymy ugrukdyrylýar.



6-nji çyzgy. Köpkaskadly FEK-iň gurluşy.

Häzirkizaman konstruksiýalaryň abzallarynda ýarymdury fotokatodlar ulanylýar. Olaryň (FEK-leriň) içki giňişliginiň başlanýan tarapynda ýarymdury katodlar çäýlýärlär.

Katoda ýagtylygyň şöhlesi (signaly) düşenden fotoelektronlaryň emissiýasy başlanýar, olaryň mukdary ýagtylygyň ýitilgine (intensiwligine) göni baglydyr.

FEK-iň tutýan meýdany birinji dinodyň tutýan meýdanyndan epesli uldyr. Şonuň üçin-de fotoelektronly köpkaskadly köpeldijileri ýygnanlarynda katoda golaý ýerlerde, ýörite fokusirleýji elektrodlaryň toparlary goýulýar.

Fotoelektronlar tizlendiriji elektrik meýdanyna düşenden birinji **dinod** bilen fotokatodyň aralygynda has tijenip birinji dinody bombalaýar we ondan ikilenji elektronlary goparyp çykarýar, soňra bu ikilenji fotoelektronlar has ýokary (+) – potensially ikinji dinody bombalaýar we ondan üçülenji fotoelektrony goparyp çykarýar we ş.m.

Köplenç ýagdaýda ikilenji elektronlaryň sany ilkinji elektronlaryň sanyndan 4 – 5 esse köp bolýar. Şonuň üçin-de her bir dinod, elektronlaryň gelip düşýän kuwwatly elektron akymalaryny, elektrik yüküniň \mathbf{R}_y – garşylygyndan akyp geçýän \mathbf{I}_y – toguň ululygyny kesgitleýär.

Eger-de, dinodlaryň sanyny 10-na 15-e ýetirsek, onda örän ýokary derejede fototoguň güýçlenmegini gazanyp bileris. Şonuň üçin-de häzirkizaman FEK-leriň duýgurlyklaryny ýüzlerçe Amper – Lýmene çenli ulaldyp bolýar.

Dogrudan-da, eger fotokatodyň öz duýgurlygyny s – harpy bilen belgilesek, onda fotokatoddan akýan fototoguň ululygyny $\mathbf{I}_F = s\Phi$ formula bilen kesgitlese bolar. Dinodlarda döreyän ikinji emissiýany σ – diýip belgilesek, onda birinji dinodyň togy $\mathbf{I}_1 = \sigma \cdot \mathbf{I}_F = \sigma \cdot s \cdot \Phi$ bolar. Ikinji dinodyň togy

$\mathbf{I}_2 = \sigma \mathbf{I}_1 = \sigma^2 \cdot s \cdot \Phi$, üçinji dinodyň togy $\mathbf{I}_3 = \sigma \mathbf{I}_2 = \sigma^3 \cdot s \Phi$ bolar, onda

n – dinodyň togy (elektrik yükünden akýan tok)

$$\mathbf{I}_y = \sigma^n \cdot s \cdot \Phi \text{ bolar}$$

Fotoelektronly köpeldiji (FEK-leriň) fototogunyň güýçlendirij umumy koeffisiýentiniň aňladylşy

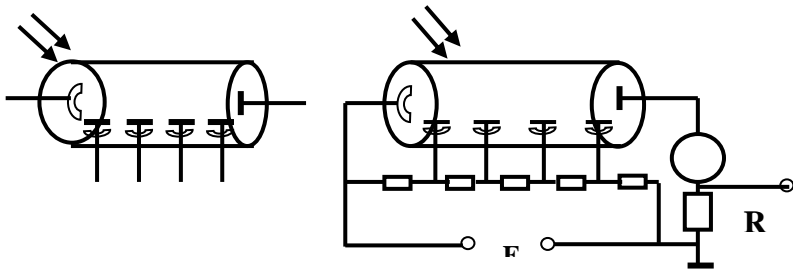
$$\mathbf{K}_{güýç} = \sigma^n$$

Bu ýerde n – dinodlaryň sany (mukdary).

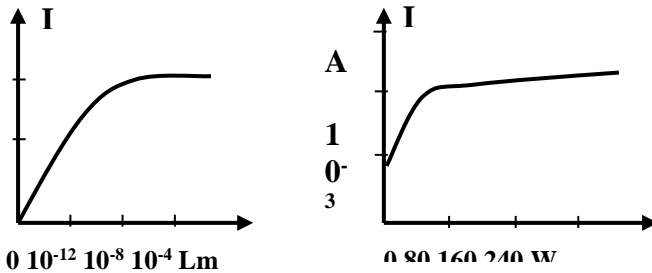
Şeýlelikde fotoelektronly köpeldijileriň kömegi bilen abzallaryň duýgurlygyny millionlarça esse ýokarlandyryp bolýar.

Fotoelektronly köpeldijileriň grafiki görnüşde belgilenişleri we olaryň shemalara çatylyşlary 7-njy **a** ; **b** çyzyglarda degişlilikde görkezildi.

Köpkaskadly FEK-leriň häsiýetnamalary 8-nji çyzygyda görkezildi.



7-njy çyzygy. Köpkaskadly FEK-leriň **a** – grafiki belgilenişi, **b** – shemalara çatylyşy.



8-nji çyzygy. Köpkaskadly FEK-leriň **a** – ýagtylyk we **b** – anod häsiýetnamalary.

Mysal hökmünde görkezilen **a** – çyzgyda ýagtylygyň Φ – akymynyň örän giň aralykda ($0 - 10^{-4}$ gerimde) üýtgesede-de ýagtylygyň häsiýetnamasy gönüligini saklaýar.

Has ýokary Φ – akymda baglansygyň egrelmegini görmek bolýar. Bu egriligi soňky dinodlardaky minus zarýadly giňişlikleriň emele gelmegi bilen, netijede dinodlardan çykarylýan ikilenji elektronlaryň doly bolmadyk mukdarynyň alynýandygy bilen düşündirilýär.

Görkezilen **b** – çyzgyda baglansygyň ilki başlanýan ýeri iň soňky **dinod** bilen anodyň aralaryndaky guňişlikde emele gelen zarýadlaryň düzgünine laýyk gelýär. Anoda berilýän **U** – naprýaženiýeniň ösmegi anoddaky toguň doymagyna getirýär we ondan aňry **U** – naprýaženiýeniň ösmegi **I** – toguň ösmegine hiç hili täsir etmeýär we **U** – okuna parallel galýar.

Köpkaskadly FEK-leriň integral duýgurlygy fotokatodyň integral duýgurlygynyň fototok boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň köpeltmek hasylyna deňdir.

$$K_F = s \cdot K_{güýç}$$

Hökmany üns berilmeli zat, FEK-lerde ýagtylyk akymynyň ujypsyz (ýitidäl) şöhlelerini (signallaryny) hasaba almak üçin ulanylýar. Şonuň üçin-de, has ýokary integral duýgurluklarda elektrik ýükündäki tok onlarça milliamperden ýokarydyr.

1.9. Fotorezistorlar.

1.9.1. Umumy maglumatlar

Fotorezistor diýlip fotoelektrik abzallaryň içindäki ýarymgeçirijilere elektromagnit şöhleleri bilen täsir edilende

onuň elektrik garşylyklarynyň kiçelmegine aýdylýar (**Fotorezistor effekti**).

Fotorezistiw effekti – ilkinji bolup 1873-nji ýylda akademik U.Simtom **selen** elementini derňände açýar.

Häzirkä döwürde fotorezistoryň tok geçiriji elementi hökmünde kükürtli kadmiden [**CdS**], selenli-kadmiden [**Cd·Se**], selenli gurşundan [**PbSe**] we başga-da ýagtylyga duýgur materiallardan (jisimlerden) taýýarlanylýar.

Fotorezistoryň tokgeçiriji elementleri gurluşy birnäçe dürli tilsimli (konstruktiv tehnologi) wariantlarda taýýarlanlyp bilner :

a) ýagtylyga duýgur ýarymkristal materiallary ýasy çüýşe bölegine plýonka görnüşde çäýýarlar;

b) Disk ýa-da bölejik plastinka görnüşde gysdyrylyp (presslenip) ýokardaky materiallardan ýasaýarlar;

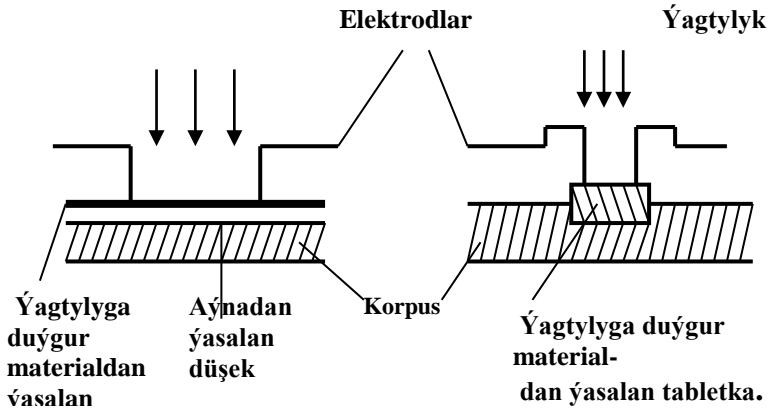
c) Ýarymgeçirijileriň arassasyndan ýagny monokristall görnüşinden-de taýýarlaýarlar.

Soňky iki ýagdaýda elementi ýukajyk plastmassalara ýa-da ýukaldylan aýna bölegine ýelim bilen berkidýärler. Fotorezistoryň elektrodлары metallardan ýasalan ýukajyk plýonkalardan ýa-da fotorezist bilen elementi birleşdiriji ýörite elektrik geçirijili metall oýukларыndan ýasaýarlar.

Fotorezistoryň iň ýönekeý gurluşy – korpussyzdyr. Onuň tok geçiriji elementi aýnadan ýasalan bölejige berk ornaşdyrylyp, daşky hadysalardan goraýan hem-de ýagtylyk şöhleleriniň yzyna serpilmän geçeri ýaly dury plýonkalar bilen örtülýär. Bular ýaly fotorezistorlar elektrik zynjyrlaryna ýöriteleşdirilen gysyjy kontaktlar bilen birleşdirýärler.

Fotorezistorlaryň aglabasynda tok geçiriji element dury aýnaly deşik bilen üpjün edilen metall-korpussyň (gutynyň) ýa-da plastmassa-korpussyň (gutynyň) içinde dury plýonka bilen ýapylyp berkidilýär. Bular ýaly fotorezistorlary elektrik zynjyrlaryna birleşdirmek üçin ýumşak ýa-da gaty simuçlary fotorezistorlar üçin çykalgalary bolup hyzmat edýär.

Ýagtylyga duýgur elementleriň gurluşynyň ýönekeý görnüşi 1-nji çyzgyda şertli görkezildi



1-nji çyzgy. Ýadtylyga duýgur elementleriň gurluşlarynyň şertli

düşündirişi.

Fotorezistorlaryň şertli belgilenişi we elektrik shemalaryna çatlyşy hem-de olaryň dürli elementler üçin häsiýetnamalary 2-njy çyzgyda görkezildi.

Fotorezistorlar üçin çeşmäniň polýarlaryny (ýagny \pm -ny) çalyşanyň täsir ermeýär, diýmek fotorezistorlaryň Wolt-Amper häsiýetnamalary koordinatanyň merkezine görä simmetrikdirler.

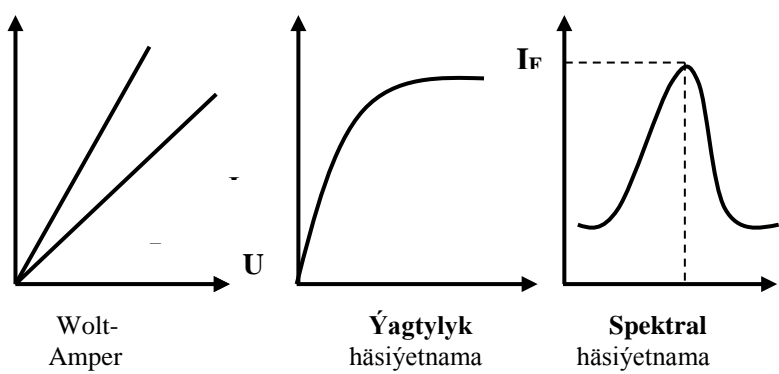
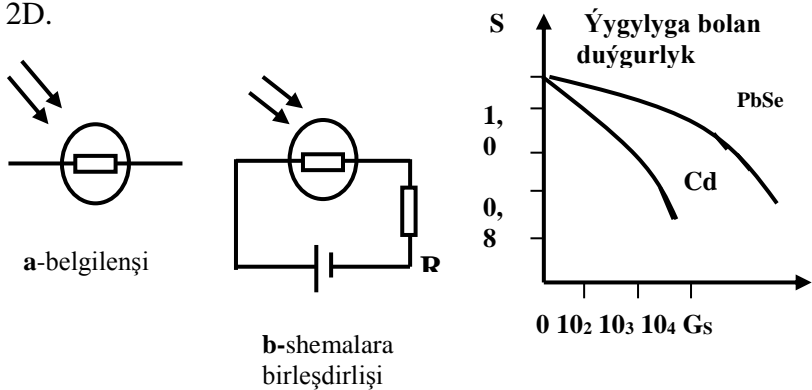
1.9.2. Fotorezistorlaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişi.

Köne markalansy : Birinji ýazgy **ФС** – harplar – fotogarşylyk diýmek ; **Üçünji** ýazgy – **harp**, ýagtylyga duýgur materialyň görnüşini aňladýar (**A** – PbS – sulfidli gurşun, **K** – Cd·S – sulfidli kadmiý , **D** – CdSe – selenli kadmiý). **Üçünji** şertli ýazgy – **Sifr** – abzalyň ýygnaýşyny aňladýar. **Г** – harp sifriň oň ýanynda goýulýar we germetikdigini aňladýar, **П** –

ýa-da M – hapr ýazylan bolsa, onda П – plýonkadygyny, M – monokristaldygyny aňladýarlar.

Täze markalanysy.Belginiň birinji şertli ýazgysy – **CΦ** harp (ýagtylyga duýgur garşylyk). Belginiň ikinji ýazgysy **sifr**, ýagtylyga duýgur elementiň tipini aňladýar (**1-PbS**, **2 – CdS**, , **3 – Cd·Se**, **4 – Pb·Se**).

Belginiň üçünji şertli ýazgysy (defisden soň) – **sifr**, fotorezistorlaryň haýsy materiallardan gurnalandygyny aňladýar, meselem Γ – germetikdigini aňladýar. Fotorezistorlaryň şertli belgi belgilenişlerine birnäçe mysallar : ΦCЛ – Γ1, ΦCD-1, ΦC3 – 1, ΦCA – 6, ΦCB – 16AH, CΦ4-2D.



2-njy çyzgy. Fotorezistorlaryň şertli belgilenişleri shemalara birleşdirlişleri we häsiýetnamalary.

1.9.3. Fotogalwaniki elementler.

Fotogalwaniki element diýlip, ýagtylyk energiýasyny göni elektrik energiýasyna öwürýän ýarymgeçirijiden ýasalan abzallara aýdylýar.

Olaryň işleýşi fotogalwaniki effekte esaslanýar.

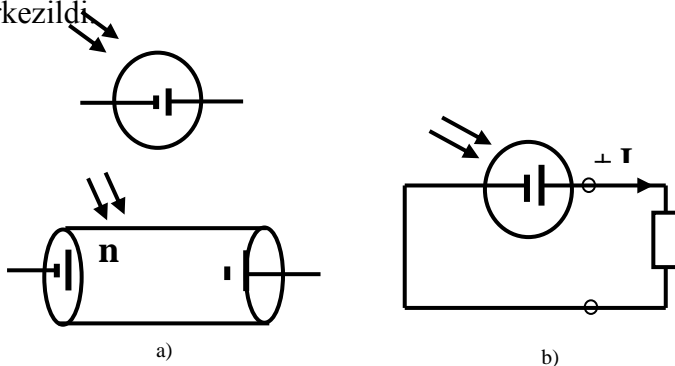
Fotogalwaniki elementler, başgaça-da dürli-dürli atlandyrylýar : Wentilli (diodly), fotoelement, ýarymgeçiriji fotoelement, Gün elementleri we ş.m.

Fotogalwaniki elementler Gün batareýleri hökmünde elektrik energiýany öndüriji çeşme hasaplanylýar we durmuşda, ösen tehnikalarda giňden ulanylýar.

Meselem fotometriýada, awtomatikada, ýagtylygy ölçeýji abzallarda (Lýuksmetrlerde), suratlar alynanda we kinolara düşürlende bolmaly ýagdaýy (ekspozisiýany) kesgitlemek üçin eksponimetrler hökmünde-de ulanylýar.

Fotogalwaniki elementler özleri üçin aýratyn iýmitlendiriji çeşme talap etmeýär. Şular ýaly elementleri taýýarlanlarynda Kremniý, Selen, Germaniý we başga-da birnäçe ýarymgeçirijiler giňden ulanylýarlar (ozal bellap geçişimiz ýaly, ähli p-n geçişler şol elementlerden döredilýär).

3-njy çyzygyda Gün elementleriň (Gün batareýleriniň) şertli belgilenişleri we elektrik shemalaryna birleşdirişleri görkezildi.



3-njy çyzygy. Gün elementleriniň (batareýleriniň) :

a – şertli belgilenişleri we **b** – elektrik shemalaryna çatylyşy.

Ýarymgeçiriji diodyň Wolt-Amper häsiýetnamasy şu aşakdaky deňleme bilen düşündirilse bolar.

$$I = I_0 e^{-1} \left(\frac{U}{U_T} \right)$$

Bu ýerde, I_0 – polýarlygy tersine wagty doýan toguň ters bahasy ,

$U - p - n$ – geçelgedäki naprýaženiýe ,

kT
 $q U_T = \frac{\quad}{\quad}$ temperaturanyň dördýän potensialy ,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} [J/K]$ – Bolsmanyň hemişeligi,

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} [K\ell]$ – elektronyň zarýady ,

T – temperatura (Kelwiniň absalýt şkalasy boýunça).

Ýarymgeçirijiniň $p-n$ geçelgesi ýagtylandyrylanda foto EHG-niň döremegi netijesinde Wolt-Amper häsiýetnama öňki ýagdaýyndan ornuny üýtgedýär. Foto EHG-niň döremegi bolsa fotogalwaniki effekti bilen düşündirilýär .

Şular ýaly ýagdaýda Wolt-Amper häsiýetnamanyň beýan edilşini şu aşakdaky formula kanagatlandyrýar.

$$I = I_F - I_0 e^{-1} \left(\frac{U}{U_T} \right)$$

Bu ýerde I_F – fototok (fotogalwaniki effektiň esasynda döreýär).

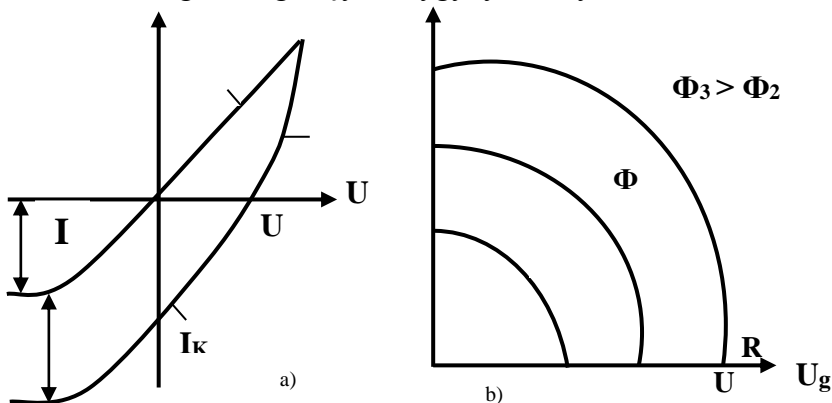
4-nji çyzgyda ýagtylandyrylmadyk – **1**, we ýagtylandyrylan – **2** ýarymgeçirijileriň Wolt-Amper häsiýetnamalary görkezildi.

Elektrik ýüküniň garşylygy $R_{\Sigma}=0$ bolanda, fotogalwaniki elementiň zynjyryndaky (sakasyndaky) tok gysga utgaşma wagtyndaky I_K – bahasyna deň bolýar.

$$I_K = I_F = S\Phi$$

ýagny, I_K – tok, integrallanmagyň S – duýgurlygyna we ýagtylygynyň,

Φ – akymvna göni baglansykdadygyny aňladýar.



4-nji çyzgy. Fotogalwaniki elementleriň Wolt-Amper häsiýetnamalary. a) p-n – geçelgeli ýarymgeçiriji diod üçin, b) fotogalwaniki element üçin.

Eger-de elektrik ýüki tükeniksiz ($R_{\Sigma}=\infty$) deň bolsa, onda fotogalwaniki elementiň şahasynda tok döremez, şonuň üçin-de şahadaky tok $I=0$ bolar (şahanyň boş iş düzgüni).

Fotogalwaniki elementiň boş iş düzgüninde onuň gysgyçlarynda döreyän naprýaženiýä fotoEHG – diýilýär. FotoEHG-niň tapylyşy.

$$E_F = \frac{KT}{\ln 1 + \frac{q}{I_0}} \left(U_{\text{boş}} \equiv \frac{I_F}{I_0} \right)$$

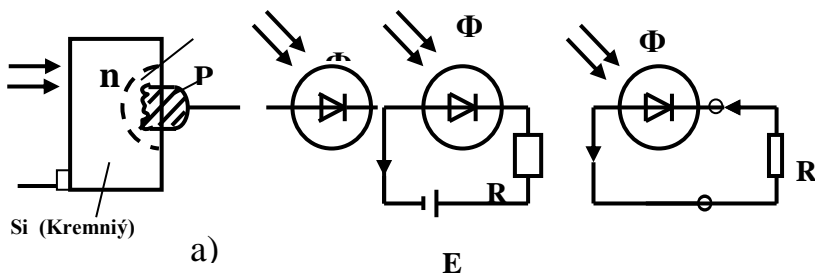
1.10. Fotodiodlar.

1.10.1. Umumy maglumatlar.

Ýagtylygyň akymy bilen togy dolandyrylýan ýarymgeçiriji diodlara **fotodiod** diýilýär.

Fotodiodyň düzümi iki gatlakdan ýygulanan bir sany **p-n** – geçelgeli abzaldyr (1-nji **a** çyzga seret).

1. Elektrik shemalarynda fotodiodlaryň grafiki görnüşde şertli belgilenişi 1-nji **b** çyzgyda görkezildi .



1-nji çyzgy. Fotodiodlaryň şertli belgilenişleri we elektrik shemalaryna çatylyşlary : **a**–düzümi; **b** – belgilenişi; **ç** , **d** – shemalara birleşdirlişi.

Fotodiodyň esasy bölegi hökmünde Kremniý, Germaniý, Arsenid-Galliý ýaly ýarymgeçirijiler ulanylýarlar.

Fotodiodyň işleýiş düzgünini iki hilli ýagdaýda düşündirip bolýar.

1) Fotodiodly we 2) Fotogalwaniki düzgünler.

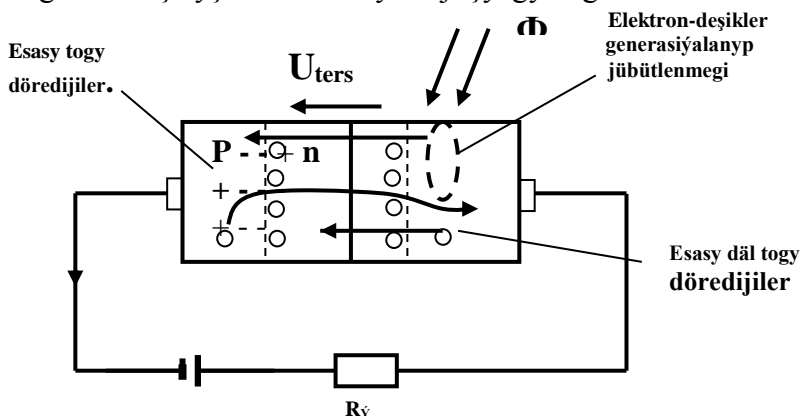
Fotodiodly düzgün bolanda daşky iýmitlendiriji çeşmäniň **E** – EHG-si bilen fotodiodyň polýarlary özära ters birleşdirilýärler (1-nji **ç** çyzga seret). Bu düzgünde fotoeffekti ulanmak bilen, fotodiodda döreyän **I_F** – tok bilen belgilenen ters togy, ýagtylygyň akymy bilen dolandyrylýar.

Fotogalwaniki düzgün bolanda daşky iýmitlendiriji çeşme bolmaýar (1-nji **d** çyzga seret) . Bu düzgünde

fotogalwaniki effekti ulanmak bilen, fotodiodda döreyän E_F – EHG-ni ýagtylygyň akymy bilen dolandyrylýar.

1.10.2. Fotodiodlaryň fotodiod we fotogalwanik düzgünlerinde işledilişleri.

a) **Fotodiod iş düzgüni.** Fotodiodyň fotodiod düzgüninde işleýşiniň shemasy 2-nji çyzgyda görkezildi.



2-nji çyzgy. Fotodiodyň iş düzgüniniň shemasy.

Ýagtylyk akymynyň ýok ($\Phi = 0$) wagty berilen ters ($U=U_{ters}$) naprýaženiýede, tümlükde duran fotodioddan ujypsyz ters tok akýar, şonuň üçin-de bu toga tümlükde döreyän tok diýilýär we I_T – harp bilen belgilenýär. Kän bir uly bolmadyk bu ujypsyz toga esasydäl tok hem diýilýär.

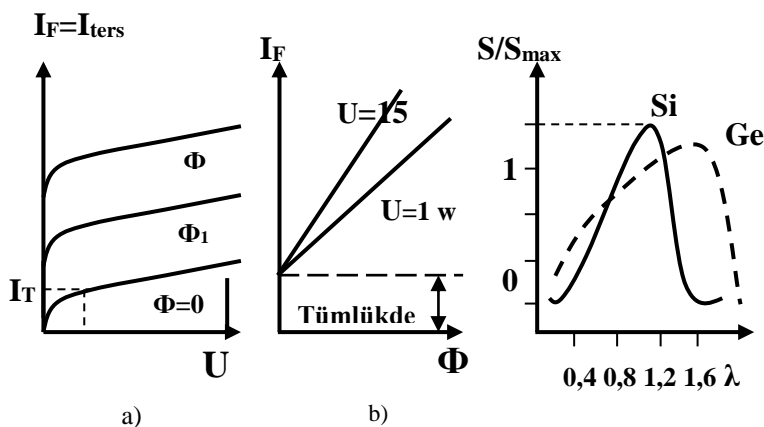
Fotodiodyň esasy bölegi (bazasy) hasap edilýän ýukajyk n – ýarymgeçirijiniň üstüne ugrukdyrylan ýagtylyk akymynyň täsirinden elektronlar bilen deşikleriň bilelikde generasiýalanmaklary bolup geçýär. Şeýlelikde, n – tipli ýarymgeçirijide esasydäl zaryad hasap edilýän deşikleriň sany

n – bölekde köpeliş başlaýarlar, bu bolsa $p-n$ – geçelgeden geçýän I_{ters} – toguň köpelmegine getirýär.

Ýagtylyk akymynyň täsirinden döreyän fotodiodydaky toga fototok diýilýär we I_F – harpy bilen belgilenýär.

Fotodiodyda döreyän fototoguň ululygy ýa-da kiçiligi fotodiodyda berilýän ters U_{ters} – naprýaženiýe bilen ýagtylyk akymynyň (Φ -niň) ululyklaryna baglydyr.

Fotodiodyda degişli esasy häsiýetnamalar 3-nji çyzgyda görkezildi.



3-nji çyzgy. Fotodiodyň häsiýetnamalary : a – Wolt-Amper ,
 b – ýagtylyk, ç – spektral häsiýetleri.

Naprýaženiýeden känbir bagly bolmadyk n – bölekdäki esasydäl hasaplanýan zarýadlary alyp baryanlaryň mukdary diňe ýagtylygyň şöhesiniň ýitiligine baglydyr, sebäbi naprýaženiýeni köpeldenin bilen fotodiodyň togy artmaýar diýsek-de ýalňyş bolmaz (3-njy b çyzga seret).

Naprýaženiýeni köpeldenin bilen fotodiodyda toguň känbir ulalmaýanlygynyň sebäbini ters U_{ters} – naprýaženiýe ulaldylanda $p-n$ geçelgäniň meýdany giňelýänligi bilen, şol, esasyda-da n – bölegiň bazasynyň giňliginiň kiçelýänligi bilen düşündirilýär. Şular ýaly geçijilik döwürde-de deşikleriň az

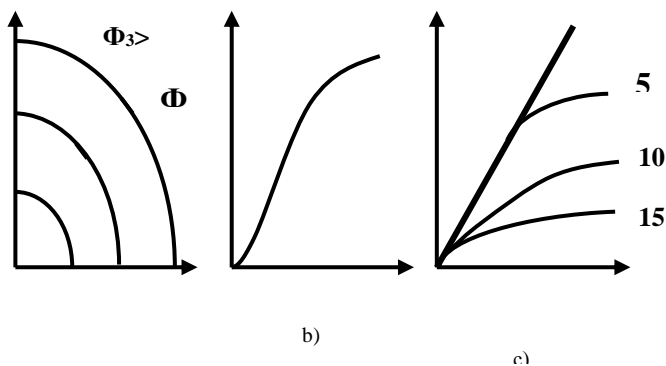
sany ýol ugruna elektronlar bilen rekombirlenmäge (jübütleşmäge) ýetişýärler, emma köp bölegi fotodiodda togy döretmekde aktiw gatnaşýarlar. Ýagtylygyň ýok wagty döreyän tümlük I_T – toguň ululygy $\Phi=0$ we $U=1w$ ýagdaýda kesgitlenilýär. Meselem ýagtylygyň ýok wagty fotodioddaky tümlük I_T – tok germaniý diodda **15 – 30 mA** toweregi, kremniýde **1 mA** toweregidir. Fotodiod **1 w** bilen iýmitlendirilende integrallanmak duýgurlygy kremniý üçin **3 – 7 mA/Lm**, germaniý üçin bolsa **10 – 20 mA/Lm** töweregidir.

b) Fotodiodyň fotogalwaniki iş düzgüni. Fotogalwaniki düzgünde fotodiodlar daşyndan hiç hili iýmitlendiriji çeşme talap etmän işläp bilýärler. Fotodiodyň zynjyryna diňe elektrik ýüküniň R_Y – garşylygy birleşdirilýär (1-nji d – çyzga seret).

Fotodiodyň **p-n** geçelgesi şöhlelendirilende **p-n** geçelgede elektron – deşikler jübütlenişip generirlenýärler.

Kontakt sebäpli döreyän potenciallaryň tapawutlarynyň täsirlerinden **p-n** geçelgede zarýadlaryň saýlanmaklary bolup geçýär : deşikler **p** – bölege tarap, elektronlar **n** – bölege tarap çekilýärler. Netijede, **p** – bölekde deşikleriň toplanmagy, **n** – bölekde bolsa elektronlaryň toplanmagy bolup geçýär.

Şeýlelikde, **p** – bilen **n** – bölekdäki simçykalgalarynyň aralarynda potenciallaryň tapawudy döräp, oňa foto EHG diýilýär we E_F – harpy bilen belgilenýär. Fotogalwaniki düzgünde işleýän fotodioda degişli esasy häsiýetnamalar 4-nji çyzgyda görkezildi.



4-nji çyzgy. Fotogalwaniki elementiň esasy häsiýetnamalary :
a – Wolt-Amper, **b** – ýagtylyk EHG boýunça,

Ýagtylyk akymynyň artmagy bilen E_F – foto EHG ilki-başda çalt ösýär, soňra haýallanýar. (4-nji **b** çyzgy).

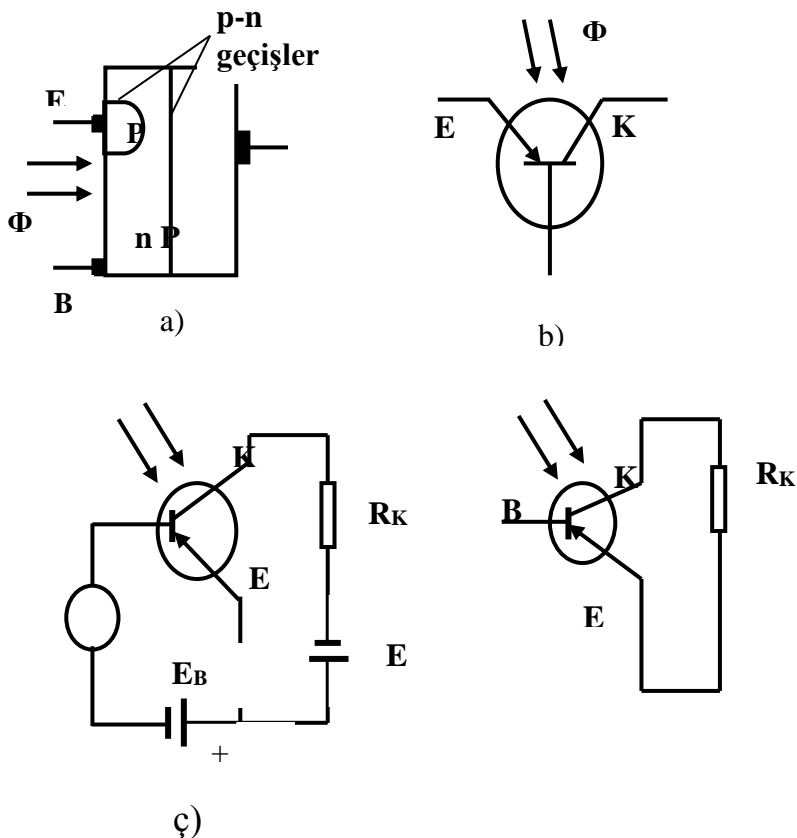
Elektrik ýüküniň R_Y – garşylygyny ulaltdygyňça $I_F(\Phi)$ baglanyşygyň häsiýeti egrelmek (**doýmak**) bilen bolýar (4-nji **ç** çyzga seret), bu bolsa fototoguň kiçelmegine getirýär. Çyzgydan görnüşine esaslansak, onda elektrik ýüküniň R_Y – uly bahalarynda ýagtylygyň Φ – akymyny ýiteldeniň (ösdüreniň) bilen I_F – fototok känbir ösmeýär.

1.11. Fototranzistorlar we fototiristorlar.

1.11.1. Fototranzistorlar.

Fototranzistorlar – üstünden geçýän toguny ýagtylygyň Φ – akymy bilen dolandyryp bolýan, gurluşy boýunça adaty tranzistorlara meňzeş abzaldyr. Has takygy, tranzistorlaryň gurluşy iki polýarly tranzistorlara meňzeşdir. Emitterli we kollektorly iki sany **p-n** geçelgesi bolup **p-n-p** ýa-da **n-p-n** görnüşde ýygnalýarlar. Bazasy hasap edilýän gatlagy örän ýuka taýýarlanýlar.

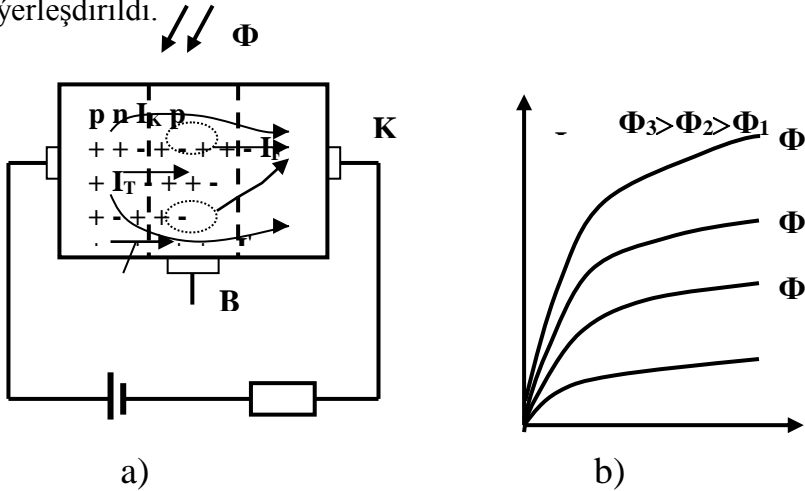
Düzümi ýarymgeçiriji kristallardan ýasalan fototranzistorlar ýöriteleşdirilen korpussyň içinde ýerleşdirilýär. Oňa ýagtylygyň şöhlesi düşüp durar ýaly korpussyň oňalyýy ýerinde aýna böleginden ýasalan durýy penjire berkidilýär. Fototranzistoryň gurluşy, şertli belgilenişi we shemalara çatylyşy 1-njy çyzgyda ýerleşdirildi.



1-njy çyzgy. Fototranzistorlaryň şertli belgilenişleri we elektrik shemalaryna çatylyşlary : **a** – düzümi, **b** – belgilenişi, **c** we **d** – shemalara birleşdirlişi.

Iýmitlendiriji çeşmäniň zynjyryna fototranzistoryň çatylyşy adaty ikipolýarly tranzistorlaryň birleşdirilişlerine meňzeşdir, sebäbi emitterli geçelgesine göni naprýażeniýe, kollektorly geçelgesine bolsa polýary ters naprýażeniýe berilýär. Köplenç ýagdaýlarda emitteri umumylaşdyrlan shema ulanylýar (1-njy ç ýzga seret).

Köp ulanylýan shemalaryň ýene-de bir görnüşi, ol hem bazasy umumylaşdyrlan shemadyr (1-njy d ýzga seret). Çyzgyda görkezilişi ýaly bazanyň çykalga simi çatylyman boş durmaly, hatda käbirlerinde simçykalga bazadan asla çykarylmaýar. Mysal hökmünde **p-n-p** tipli umumylaşdyrlan bazaly fototranzistoryň işleýiş düzgüni 2-nji a – çyzgyda ýerleşdirildi.



2-nji çyzgy. Fototranzistoryň işleýiş düzgüni a – çyzgyda , daşky Wolt-Amper häsiýetnamasy b – çyzgyda görkezildi.

Düzümi **p-n-p** tertipde gurnalan fototranzistoryň bazasy (ýagny **n** – bölegi) ýagtylyk bilen şöhlelendirlende elektron-deşik jübütleri emele gelýärler. Kollektor-emitter aralygy birleşdirilen

E_K – çeşmäniň elektrik meýdanynyň zarbyna deşikler çydaman kollektora tarap geçip I_K – fototogy döredýärler, elektronlar bolsa n – bölekde (bazada) toplanyp emitter geçelgedäki potensial päsgelçiligi (barýeri) azaldýar. Netijede, emitterden baza tarap çüwdürlüp akýan (inžeksirlenýän) deşikleriň sany (mukdary) diýseň çalt köpeliýär we kollektorly geçelgä tarap hereketlenip, onuň üsti bilen kollektora akyp barýarlar. Şular ýaly deşikleriň hasabyna, kollektordaky toguň düzümünde

I'_K – goşulmasy emele gelýär.

Kollektordaky I_K – umumy tok, deşikleriň döredýän I_K – tokdan has köp derejede uludyr. Kollektordaky I_K – togyň şular ýaly birden köpelmegine ýagtylyk akymynyň täsiri bilen düşündirilýär. Diýmek, fototranzistorlary güýçlendiriji abzal hökmünde-de ulanmak bolar.

Ýagtylygyň ýok wagty (tümlükde) kollektorly geçelgeden diňe tümlük wagty döreyän I_T – tok **akýar**. Beýle bir uly bolmadyk bu tok, deşikleriň emitter geçelgesinden n – bazanyň içine girip, soňra kollektor geçelgesini böwsüp kollektora tarap geçýär. Tümlük wagtyndaky I_T – toguň kiçijik bolmagyny, deşikleriň baza (n – bölege) geçenlerinde emitterli geçelgeden potensial päsgelçiliginiň (barýeriniň) köpeliýänligi bilen düşündirilýär. Şeýlelikde, kollektordan akýan ähli toklaryň jemini şu aşakdaky ýaly düşündirilýär.

$$I_K = I'_K + I_F + I_T = \beta I_F + I_F + I_T = (\beta + 1) I_F + I_T$$

Bu ýerde, $\beta = h_{21E}$ – tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent.

Fototranzistorlarda fototoguň döreyänliginden başga-da signallary güýçlendirmek hadysasy-da bolup geçýär. Sonuň üçin-de bular ýaly fototranzistorlaryň integral duýgurluklary fotodiodlara garanynda has ýokary bolýar.

Fototranzistorlaryň Wolt-Amper häsiýetnamalary diýlip kollektordaky toguň kollektor-emitter aralykdaky U_{KE} –

naprýaženiýe bilen ýagtylyk akymynyň hemişelik ($\Phi = \text{const}$) ýagdaýyndaky baglanşyklaryna aýdylýar.

Şeýle seredeniňde bu baglanşyklar adaty iki-polýarly tranzistorlaryň baglanşyklaryna juda meňzeşdir.

Ýeke-täk tapawudy, ol hem hemişelik saklanýan ululuk adaty iki-polýarly bazadaky $I_B\text{-const}$ bolsa, fototranzistorlarda ýagtylygyň akymydyr, $\Phi\text{-const}$ saklanylýar.

1.11.2. Fototiristorlar.

Fototiristor – fotoelektrik abzaly bolup, togy ýagtylyk akymy bilen dolandyrylýan, gurluşy boýunça dört gatlakly (dört-tirkeşikli) diodly tiristordyr.

Fototiristorlaryň gurluşy, belgilenişi, Wolt-Amper häsiýetnamalary 3-njy çyzgyda görkezildi.

Fototiristorlar hem adaty diodly tiristorlaryň gurluşy ýaly $p_1\text{-}n_1\text{-}p_2\text{-}n_2$ we üç sany $p\text{-}n$ geçelgeleri bolup, olaryň çetki j_1 we j_3 geçelgeleriň polýarlygy göni, emma ortadaky j_2 – geçelgäniň polýary ters ugurlydyrlar.

Fotorezistora berilmeli naprýaženiýeniň ululygyny anykylanlarynda ýagtylyk akymynyň ýok wagty fototiristor ýapyk ýagdaýda bolar ýaly saýlaýarlar.

Eger-de, adaty tiristorlarda açylýan naprýaženiýe dolandyryjy tokdan

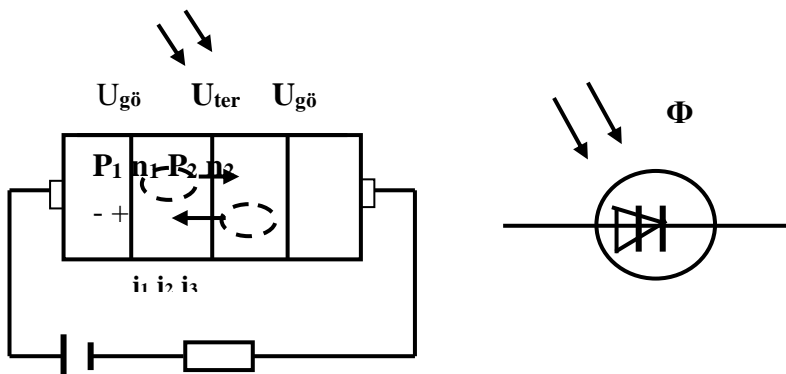
$U_{a\phi}$ (I_{d0l}) bagly bolsa, onda fototiristorlarda açylýan naprýaženiýe ýagtylygyň akymyndan $U_{a\phi}$ (Φ) baglydyr.

Fototiristorlary ýasanlarynda onuň içki gatlaklary hasap edilýän n_1 we

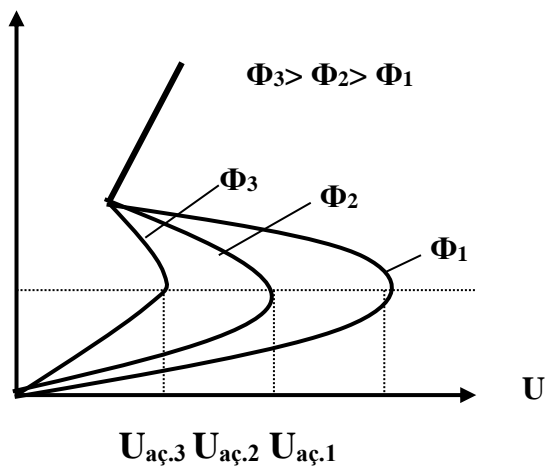
p_2 –niň üstlerine ýagtylyk şöhleleri düşer ýaly dury aýnadan penjire goýýarlar. Sebäbi şeýle edilende elektron-deşiklik jübütleri döreyär. Netijede j_2 -nji geçelgä berilýän ters alamatly U_{ters} – naprýaženiýeniň täsirinden deşikler n_1 -nji bölekden p_2 -nji bölege geçýän bolsalar, elektronlar tersine p_2 -nji bölekden n_1 -nji

bölege geçýärler.

Elektron bilen deşikleriň **j₂**-nji geçelgeden yzly-yzyna geçip durmaklary netijesinde, şol ýerde potensialyň päsgeçiligi azalýar we elektrik böwsülmegi (fototiristorlyň açylmagy) bolup geçýär.



I a) b)



ç)

3-njy çyzgy. Fototiristorlaryň **a** – düzümi, **b** – şertli belgilenisi. **c** – Wolt-Amper häsiwtnamalary.

Ýagtylygyň Φ – akymynyň ýitiligi näçe köp bolsa, şonça-da fototiristorlar kiçi $U_{a\phi}$ napryžaňiýelerde işläp başlaýarlar. Munuň şeýledigini 3-nji ϕ çyzygyda Wolt-Amper häsiýetnamanyň ýagtylyga görä üç ýagdaýy ($\Phi_3 > \Phi_2 > \Phi_1$) bilen düşündirilýär.

Fototiristor tümlük ýagdaýyndan ýagtylyk ýagdaýyna geçende

(1-mikrosekund wagtyň dowamynda) fotorezistoryň garşylygy 100-lerçe megeomdan 10-larça oma çenli kiçelýär.

Fotorezistorlar ýokary kuwwatly elektrik zynjrlarynda kommutasiýa işlerini geçirmek üçin ulanylýar (meselem, gijelerine köçeleriň çyralaryny ýakmak ýa-da öçürmek).

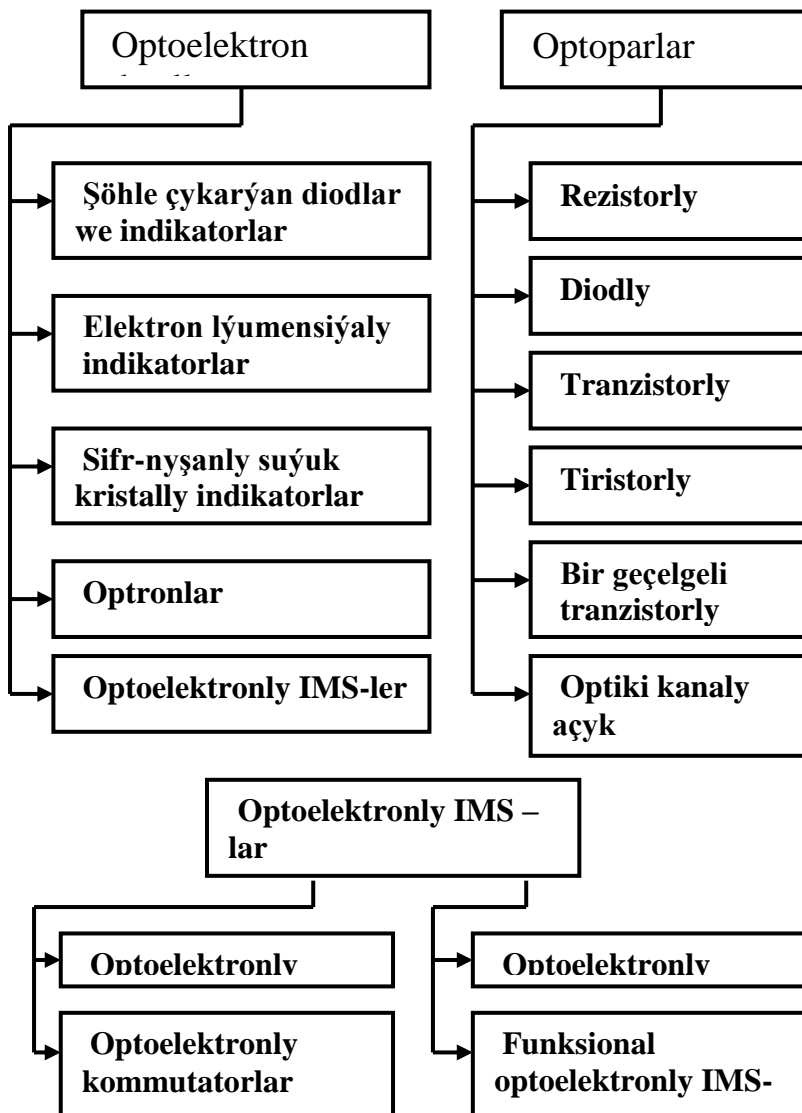
1.12. Optoelektron abzallary we optronlar.

1.12.1. Optoelektron abzallary.

Kesgitlemesi. Optoelektron abzallary diýlip, elektrik signallaryny optiki signallara we tersine özgerdip bilýän ýarymgeçirijiden ýasalan abzallara aýdylýar. Optoelektron abzallarda ýagtylygyň şöhlesi bilen onuň iş düzgüni geregiçe dolandyrylýar. Ýagtylyk şöhlesiniň bitirýän işi edil üçelektrodly çyranýň torunyň, tranzistorlaryň bolsa bazasynyň bitirýän işlerine meňzeşdir.

Optoelektron abzallaryny öz bitirýän işlerine laýyklykda şu aşakdaky toparlara bölýärler : 1) optoelektron abzallary ; 2) optoparlar (optojübütler) ;

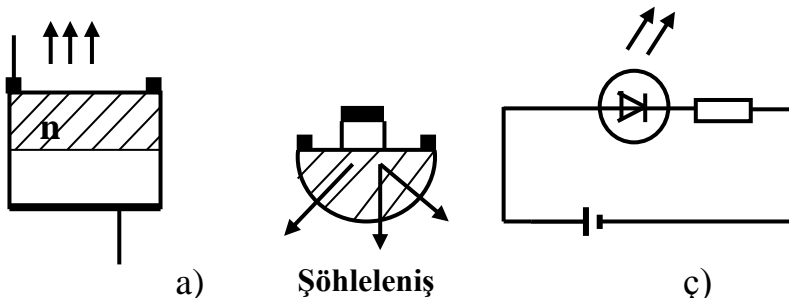
oproelektronly integral mikroshemalary (IMS).



Mysal hökmünde ýagtylyga duýgur diodlara (şöhledioda) seredeliň. Şöhlediod elektrik energiýany şöhleledýän

ýagtylygyň energiýasyna göni özgerdýän bir sany **p-n** geçişli ýarymgeçirijili abzaldyr.

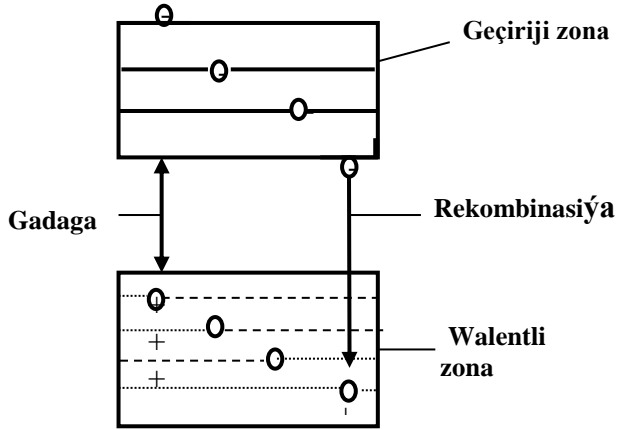
Şöhlediodlaryň ýasalýşynyň iki görnüşi 8.20-nji çyzgyda görkezildi.



1-nji çyzgy. **a** – konstruksiýasy tekiz; **b** konstruksiýasv ýarvmsfera; **c** – shemalara catvlsv.

Eger-de şöhlediodlaryň polýarlaryny iýmitlendiriji çeşmäniň polýarlary bilen biratly çatyşdyrsak, onda **p-n** geçelgeden göni ugur boýunça tok akyp başlar. Öz gezeginde deşikler bilen elektronlaryň **p-n** geçelgede özara gapma-garşy hereket edenlerinde rekombinasiýa hadysasy döräp, elektronlaryň geçirijilik zonasından walentli zona geçýärkän ýol ugruna gadagan zonanyň giňişliginde şöhle görnüşde özünden energiýany bölüp çykarýar. (1-nji çyzga seret).

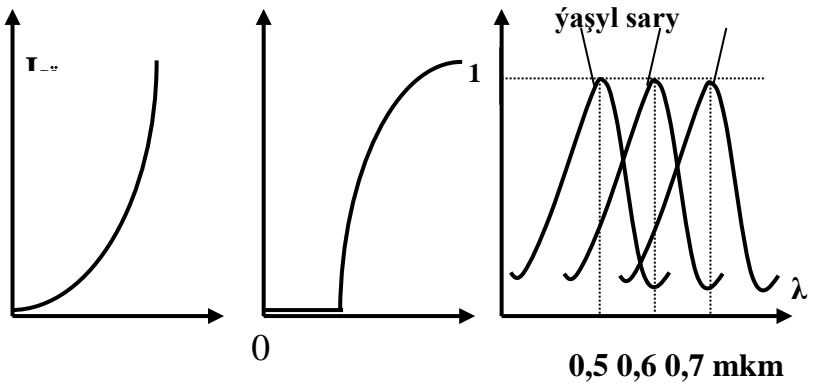
Energiýanyň şöhlä öwrülýändigini diňe gadagan zonasy giň bolan (arsenid galliýde – **1,5 eW**, fosforid galliýde – **2,2 eW**, karbid kremniýde – **2,5 – 3 eW**) ýarymgeçirijilerde görmek bolýar. Meselem ýöne germaniýde ýa-da kremniýde gadagan zonalarynyň örän (dar) kiçidikleri sebäpli, şöhleler spektoryň görünmeýän bölegine ýylylyk görnüşde bölünüp çykyar (2-nji çyzga seret).



2-nji çyzgy. Şöhliodlarda rekombinasiýanyň düşündirişi.

Şöhliodlaryň esasy häsiýetnamalary hökmünde Wolt-Amper, ýagtylyk we spektral baglanşyklary kabul edilendir. Bu baglanşyklar 3-nji çyzgyda ýerleşdirildi.

B



a)

b)

3-nji çyzgy. Şöhliodlaryň esasy häsiýetnamalary : **a** – Wolt- Amper, **b** ýagtylygyň şöhlenişiniň tokdan baglanşygy, **ç** – spektral baglaşyklary.

Çyzgyda **B** – ýagtylygyň ýitiligi, B/B_{\max} – ýagtylyk şöhesiniň ýitiligini aňladýan düýgurlyk, λ – ýagtylygyň tolkun uzynlygy.

Şöhlediodlaryň esasy parametrleri hökmünde onuň iş wagty berilýän

U – naprýaženiýä, üstünden akýan , **I** – toga, bölünip çykýan ýagtylyk şöhesiniň **B** – ýitiligine hem-de ýagtylygyň λ – tolkun yzynlygyna düşünilýär.

Şöhlediodlaryň işleýän wagty üstünden akýan togy **3 – 4 mA**, naprýaženiýesi

2 – 5 – 5,5 w töweregidir. Şöhlediodlaryň in ýagty şöhesi üstünden **3 mA** tok akanda **120 kd/m²** deň bolan ýaşyl şöhledir. Beýleki şöhlediodlaryň ýagtylygy **20 – 50 kd/m²** (**kd/m² – 1 metr** kwadrat meýdana düşýän şöhläniň ölçeg birligi, kendel – Inl. – şöhle).Şöhlediodyň peýdaly täsir koeffisiýenti (**PTK**-sy) **1 – 3%** töweregidir. Täsirediş tizligi **10⁻⁷ – 10⁻⁹ sek.**

Şöhlediodlaryň ýagtylyga bolan duýgurlygy – diýlip ýagtylyk şöhesiniň ýitiliginiň sähelçe ΔB üýtgemeginiň , üstünden akýan tok birliginiň sähelçe ΔI üýtgemegine bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$\Delta I \quad B_0 = \frac{\Delta B}{\quad}$$

Şöhlediodlaryň harplar we sifrler bilen şertli belgilenişleri.

Birinji element – **A** harpy, galliý birleşmäni aňladýar.

Ikinji element **II** – şöhlelenýän dioddygyny aňladýar.

Üçünji element – **sifr** – işleýşini ýa-da nirede ulanylmagyny aňladýar.

Dördünji element – **sifr** – haýsy tapgyrdaky tertip nomeri.

Bäşinji element – **harp** – birtipli abzallaryň haýsy topara degişlidigini aňladýar.

Belgilenişine mysal : **AJ307 Б** – Galliý birleşmäniň esasynda, ýagtylygy öndüriji diod, informasiýany wizual aňlaýar (3), **07** – ýygnalandaky tertip nomeri, **Б** – topary.

1.12.2. Optronlar.

Kesgitlemesi. Optronlar optoelektronly ýarymgeçiriji abzal bolup, düzüminde ýagtylygyň şöhlesini öndüriji çeşmesi we şöhläni kabul ediji ýüki bolup, olar özara ýa optiki ýa-da elektrikleşdirilen optiki birleşdirmeleri bilen üpjün edilen abzaldyr.

Optronlaryň gurluşy (düzümi). Optronyň girelgesindäki we çykalgasyndaky simjagazlara daşky çatymlar diýilse, içindäkilere içki çatymlary diýilýär. Daşky we içki çatymlarynyň görnüşlerine görä oprtonlary iki topara bölýärler.

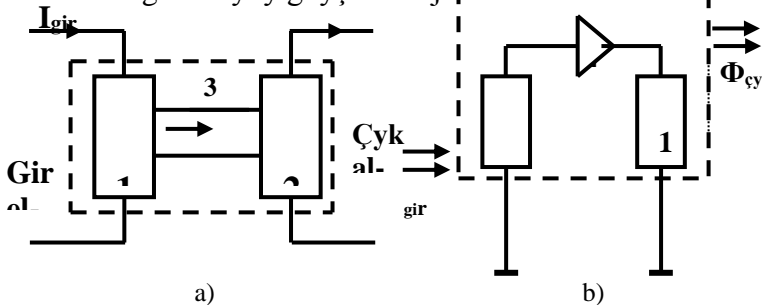
1. Içi foton baglansykly, daşy bilen elektrik baglansykly (4-nji **a** çyzgy).

2. Daşy bilen foton baglansykly, içi elektrik baglansykly (4-nji **b** çyzgy).

4-nji **a,b** çyzgylardaky belgileriň beýany :

1 – şöhläni dörediji, **2** – şöhläni kabul ediji, **3** – şöhläni geçiriji,

4 – elektrik signallaryny güýçlendiriji.



4-nji çyzgy. Optoelektronly elektronlar. **a** – içi foton daşy elektrik baglansykly, **b** – içi elektrik daşy foton baglansykly.

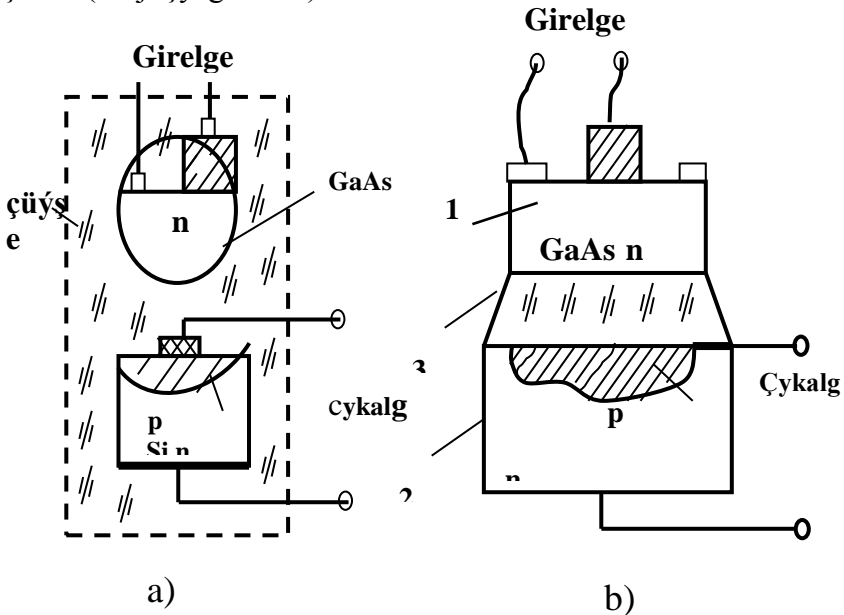
İçi foton, daşy elektrik baglansykly optronlar elektrik signalyny – optiki signal – soňra ýene-de elektrik signalyna öwüriji bolsa, içi elektrik, daşy foton baglansykly optronlar optiki signaly elektrik signalyna, soňra ýene-de optiki signala öwürüjidir.

Optron abzallarynyň gurluşynda iki görnüşi tapawutlandyryýarlar :

a) diskretli korpussyz elementlerden , **b) integral** mikroelektronly optron.

Diskret elementleri korpussyz optronlar, hemme elementleri bilen metaldan ýasalan germetik umumy korpussyň içinde ýerleşdirilýär.

Optronyň içine şöhlegeçiriji bolar ýaly ýörite aýna böleklerini eredip guý- ýarlar. Şular ýaly optronlaryň dört sany çykalga simi bolup, olaryň ikisi girelge, ikisi bolsa çykalga üçindir (5-nji çyzga seret).



5-nji çyzgy. Optronlaryň gurluşlary : **a** – diskretli korpussyz elementlerden , **b** – integral mikroelektronly.

Mikroelektronikada optron abzallary integral tehnologiýasynyň usuly bilen taýýarlanylýar. Integral tehnologiýasynyň usuly bilen taýýarlanylýan IMS-optronyň gurluşy 5-nji **b** – çyzyda görkezildi. Şeýle mikroelektronly optronlaryň esasy **n** – tipli kremniýden bolup, onuň ýokarsynda **p** – gatlak emele gelenden soň planlaşdyrýan – diffuziýa boýunça şöhle kabulediji formalanylýar (kemala gelýär).

Emele gelen **p-n** geçelgeli gurluşa fotodiod diýilýär. Onuň-da ýokarsyndan şöhle geçiriji **3** – Selenli-aýna ýerlesdirilýär. Şol Selenli-aýna böleginiň üstünden **n** – tipli **GaAs** – Arsenid galliý berkidilýär. Arsenid galliýniň ýokarsynda bolsa diffuzirlenen **p** – gatlak formalanylýar (kemala gelýär). Her bir gatlakda-da daşky shema bilen birleşdirmek üçin Om garsylykly sim çykalgalary bilen üpjün edilýär.

Şeýlelikde, biz diodly optron abzala seretdik. Bu abzallarda ýagtylygyň çeşmesi şöhlediod bolup, kabuledijisi fotodioddyr. Şular ýaly diodly optronlaryň garşylygy örän uly ($10^2 - 10^4$ M Ω) töweregi bolup, daşky shemalar üçin (optronyň girelgesinde-de, çykalgasynda-da) ýapyk ýagdaýy emele getirýär. Optronda şöhläniň döremegi bilen onuň girelgesindäki we çykalgasyndaky garşylyklar $10^2 - 10^4$ Ω çenli kiçelýär. Şeýle çalt kiçelmek ýa-da ulalmak toguň $10^6 - 10^7$ Gs töweregi ýyglykda amala aşýar. Şeýle optronlar shemalary açmak – ýapmak üçin açar hökmünde giňden ulanylýar.

Tranzistorly optronlar. Bu abzallarda kabulediji hökmünde fototranzistorlar ulanylýar. Tranzistorly optronlaryň ýagtylyga bolan duýgurlygy fotodiodlara garaňda has ýokarydyr. Şonuň üçin-de, tranzistorly optronlar ykdysady tarapdan has tygşytly hasap edilýär. Daşky shemalary açyp – ýapmak mümkinçiligi 10^5 Gs töweregi ýyglykda amala aşýar.

Tiristorly optronlar. Bu abzallarda kabulediji hökmünde fototiristorlar ulanylýar. Tiristorly optronlaryň girelgesinde kiçijik (10 mA töweregi) impulsly tokda, onuň

çykalgasynda örän ullakan (**5 A** töweregi) toguñ impulsyny işletmäge mümkinçilik döredýär. Şular ýaly tiristorly optronlar uly kuwwatly daşky shemalar üçin giňden ulanylýar.

Ýokarda seredilen üç sany optronlaryň üçüsi-de gözaçyp-ýumasy salymda, tiztäsirli hem-de çylşyrymly shemalary açmak we ýapmak üçin, ýagny iki ýagdaýly açar hökmünde giňden ulanylýar.

Dürli häsiýetli elektrik zynjyrlaryny kontaktsyz awtomatiki usulda dolandyrmak gerek bolsa rezistorly optronlar (ýagtylygy kabul ediji fotorezistorlar) ulanylýar. Bu optronlaryň tiz-täsirligi beýle bir ýokary bolmasa-da, girelge signallary üçin giň diapazony we girelgedäki toklaryň tempiniň kiçiligi bilen tapawutlanýar.

Has çylşyrymly optronlar, ýagtylygy ýuwutmakdan ýa-da şöhlelendirmekden başga-da çykalgasy güýçlendiriji abzal hökmünde-de ulanylýar. Şeýle çylşyrymly optronlaryň elementleriniň hemmesi integral tehnologiýanyň usuly bilen bir bitewi korpusda ýerleşdirilýär.

Optronlaryň harplar, sifrler bilen şertli belgilenişleri :

Birinji element **A** – harpy, Arsenid-Galliý ýa-da başga ýarymgeçiriji materialy aňladýar, **K** – harpy, Karbid-Kremniý we başga birleşmeler.

Ikinji element – **O** – harpy, Optrondygyny aňladýar.

Üçünji element – **harp, P** – rezistorly, **Д** – diodly, **T** – tranzistorly,
Y – tiristorly.

Dördünji element – sifr – nähili işe niýetlenendigini ýa-da abzalyň işlediliş prinsipini aňladýar.

1 – şöhle çykarýan diodlar (infrogyzyl).

2 – moduly şöhlelendiriji (infrogyzyl şöhle).

3 – maglumatlara (informasiýalara) wizual garaýan .

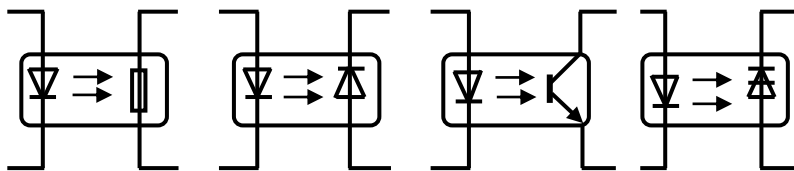
4 – nyşanly (belgili) indikatorlar.

Bäşinji element – **sifr**, abzal taýýarlanylanda onuň tertip nomeri.

Altynjy – element – **harp**, birtipli optron abzallaryň haýsy (nähili) topara degişlidigini aňladýar.

Meselem, **AOD101** – diodly optron-Arsenid-Galliýden ýasalandygyny, kiçi kuwwatlydygyny, tertip nomeriniň **01**-digini aňladýar.

Optronlaryň shemalarda grafiki görnüşde şertli belgilenişleri 6-nji çyzgyda görkezildi.



a)

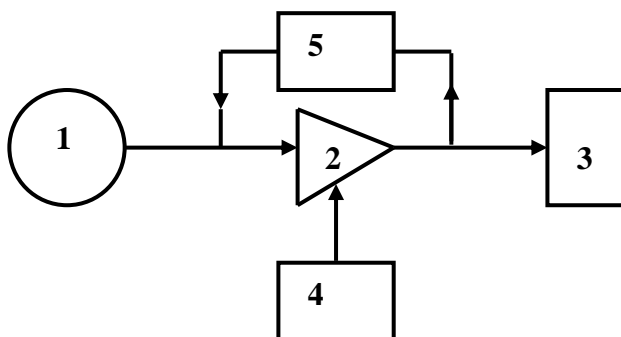
6-nji çyzgy. Optronlaryň shemalarda grafiki görnüşde şertli belgilenişi: **a** rezistorly optron, **b** – diodly optron, **ç** tranzistorly optron, **d** – tiristorly optron.

II-nji BÖLÜM AWTOMATIKI ULGAMLARDA OPERASION ENJAMLAR

2.1. Mikroelektron güýçlendirijiler.

2.1.1. Umumy maglumatlar.

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



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

aýdylýär.

Güýçlendirijileriň düzümi – 1-nji çyzgyda görkezildi

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

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

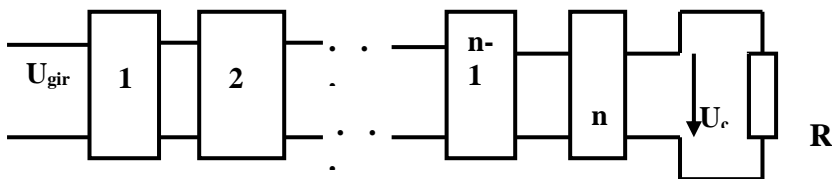
Shemasy çylşyrymly hasap edilýän güýçlendirijiler zygyderli birikdirilen birnäçe basgançakly, signaly güýçlendirijilerden ýygnaýarlar. Bular ýaly güýçlendirijilere köpkaskadly diýilýär. Güýçlendirijiniň bir basgançagyny emele getirýän bölegine kaskad diýilýär.

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

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

Birinji kaskada girelge kaskady, n – 1-nji kaskada çykalganyn öňündäki n-nji – kaskada bolsa ahyrky kaskad diýilýär.

Islendik güýçlendirijiniň esasy wezipesi (meselesi) signalyň kuwwatyny ýokarlandyrmakdyr.



Surat 9. Köpkaskadly güýçlendirijileriň düzülişi.

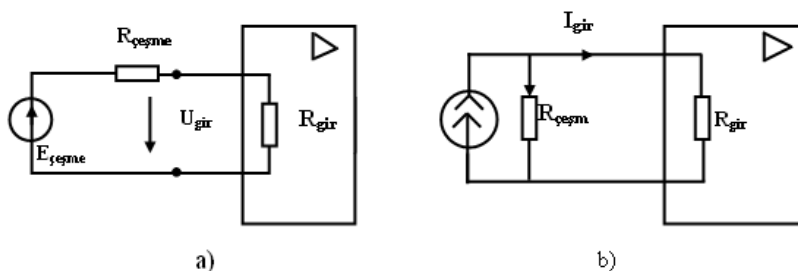
Eger-de, kaskadyň çykalgasyndaky signal girelgesindäki signaldan köp bolmasa, onda ol kaskada (abzala) güýçlendiriji diýilmeyär. Meselem, naprýaženiýeni ýokarlandyryjy transformatorlara güýçlendiriji diýip bolmaýar, sebäbi, eger-de güýçlendirmek naprýaženiýe boýunça bolsa, onda toguň peselmegi bolup geçýär, hem-de transformatorlarda çykalga kuwwaty girelgesindäki kuwwatyndan ($S_2 < S_1$) hemişe kiçi bolýar, bu bolsa

« Güýçlendiriji » diýilýän düşüňjä tersdir.

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

2.1.2. Çüýçlendirijileriň girelgesi we çykalgasy üçin hödürülenilýän ekwiwalent shemalar.

1. Güýçlendirijileriň girelgesi üçin hödürülenilýän ekwiwalent elektrik shema 3-nji çyzgyda görkezildi.



Surat 11. Güýçlendirijileriň çykalgasy üçin ekwiwalent shemalar
a – naprýaženiye çeşmeli we **b** – tok çeşmeli.

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

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

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

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

$$I_{gir} = \frac{J}{2} = \frac{E_{cesm}}{2R_{cesh}} = \frac{E_{cesm}}{2R_{gir}}$$

Garşylyklaryň şular ýaly gatnaşyklarynda tok boýunça güýçleniş bolup geçýär.

Eger-de, $R_{gir} \approx R_{çeşme}$ bolsa, onda güýçlendirilýän ululyk P_{gir} – kuwwat bolar. Degişli formulalary :

$$U_{gir} \approx \frac{E_{gir}}{2} P_{gir} \approx \frac{E_{cesm}^2}{4R_{cesh}} = \frac{J^2 * R_{cesm}}{4} = \frac{E_{cesm}^2}{4R_{cesm}}$$

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 4-nji çyzgyda görkezildi.

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

Çyzgyda : $R_{\dot{y}}$ – güýçlendirijä birikdirilen elektrik yüküniň garşylygy ;

$E_{\dot{y}k}$ – çykalgadaky signalyň EHG-si ;

y_k – güýçlendirijiniň çykalgasyndaky garşylyk ;

$I_{\dot{y}k}$ – çykalgasyndaky tok ;

J – çykalgadaky tok çeşmesiniň togy.

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

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

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

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

2.1.3. Güýçlendirijilerde güýçlendiriş koeffisiýentleri we olaryň tapylyşlary.

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

$$K_u = \frac{U_{\dot{y}}}{U_g} \approx \frac{E_{\dot{y}}}{E_g} \quad \text{- Naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýent.}$$

$$K_i = \frac{I_{\dot{y}}}{I_g} \approx \frac{J_{\dot{y}}}{J_g} \quad \text{- Tok boýunça güýçlendiriş koeffisiýent.}$$

$$K_p = \frac{P_{\dot{y}}}{P_g} = \frac{E_{\dot{y}}^2 \cdot R_g}{E_{\dot{y}}^2 \cdot R_{\dot{y}}} \left(\frac{E_{\dot{y}}^2}{E_g^2} \right) \quad \begin{array}{l} R_{\dot{y}} \approx R_{\dot{y}} \text{ bolanda,} \\ \text{kuwwat boýunça} \\ \text{güýçlendiriş} \\ \text{koeffisiýent.} \end{array}$$

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 çözülide güýçlendiriş koeffisiýentleri logorifmiki birlikleriň üsti bilen aňladylsa has amatly bolýar. Logorifmiki birlikler diýilip Bell we desiBell birliklerine düşünilýär.

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

1 desibel = 10^{-1} Bell. 1 desibell 1 bellden 10 esse kiçidir

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

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

Meselem, kuwwatlaryň gatnaşygy logarifm birliğinde bir desibelle deň bolanda hasaplanylşy.

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

ýagny, ilkibaşdaky kuwwatyň 26% artandygyny aňladýar.

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

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

ýagny, signalyň 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.

Kuwwatyň analitiki (deňlemeler arkaly) tapylyşy :

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

Güýçlendiriş koeffisiýentini naprýaženiýeleriň we garşylyklaryň kömegi bilen tapylyşy.

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

Güýçlendiriş koeffisiýenti toklaryň we garşylyklaryň kömegi bilen tapylyşy.

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

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

$$K_u = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ ýa-da } K_i = 20 \lg \frac{I_2}{I_1} \quad 10 \lg \frac{R_2}{R_1} = 0$$

görnüşe eýe bolar.

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

$k_u=20 \lg$	$\frac{U_{\text{çyk}}}{U_g}$	- napryaženiýeleriň gatnaşyklary - boýunça güýçlendiriş - koeffisiýentiň tapylyşy.
$k_i=20 \lg$	$\frac{I_{\text{çyk}}}{I_{\text{gir}}}$	- toklaryň gatnaşyklary boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiň tapylyşy. -
$k_p=10 \lg$	$\frac{P_{\text{çyk}}}{P_{\text{gir}}}$	- kuwwatlaryň gatnaşyklary boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiň tapylyşy.

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

$k_u = k_{u1} \cdot k_{u2} \cdot \dots \cdot k_{un}$ – napryaženiýeleriň 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.

2.1.4. 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

bilmelidir. Olar : f – ýgylyk , k – güýçlendiriş koeffisiýent, φ – 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 baglansyklary-da güýçlendirijileriň häsiýetnamalarydyr. Meselem, güýçlendiriş k_u – koeffisiýent bilen f – ýgylygyň özara $k_u(f)$ baglansygy, φ – faza bilen f – ýgylygyň özara $\varphi(f)$ baglansygy, ýa bolmasa Amplitudalaryň $U_{çyk}(U)$ – baglansygy we ş.m.

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

Meselem :

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

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

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

Araçäk ýgylyklary diýlip açyk (dury) zologyň iki çetindäki ýgylyklara aýdylýar. Açyk zolagyň başlangyç ýgylygyny f_1 bilen, ahyrky ýgylygyny bolsa f_2 bilen belgileýärler. Şu iki ýgylygyň dury zolagyna degişlidäl ýgylyklarda berilen signallar bolmaly bahalaryndan daşlaşýarlar we ýoýulýarlar.

Köplenç ýagdaýlarda araçäk ýgylyklary anyklanylanda f_1 bilen f_2 ýgylyklaryň bahalary signalyň maksimal bahasyndan

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

Maksimal bahasy bilen deňeşdirilende naprýaženiýe bilen toguň peselmegi 0,707-ä çenli , kuwwatyň peselmegi bolsa 0,5-e çenli bolýar, ýa-da iki ýagdaýda-da 3 dB-e deňdir.

Güýçlendiriji koeffisiýentiň maksimal bahasynyň haýsy tarapynda ýerleşendigine görä, araçäk ýygylklary ýokarky f_{yok} – ýygylk ýa-da aşaky $f_{\text{aşaky}}$ - ýygylk bolup biler. Bu ýerde $f_{\text{yok}} = f_2$, $f_{\text{aşaky}} = f_1$ diýlip hem ulanylýar.

Araçäk ýygylklaryň aralaryndaky ýygylk giňişligine diapazon ýygylklary ($\Delta f = f_1 - f_2$) 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 ýygylga bagly RC – zynjrlaryň kömegi bilen amala aşyrýarlar.

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

2.2.Operasion güýçlendirijiler mikroelektronikanyň baza elementi

2.2.1. Umumy maglumatlar.

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

Hemişelik togy üçin niýetlenilen elektronly çyralardan ýygynalan güýçlendirijiler yzy bilen aragatnaşygy ylalaşykly gurnalyp: köpeltmegi, bölmegi, aýyrmagy, goşmagy,

differensirlemegi, int ŞHDÝKHYD egrirlemegi, logoriflemegi, derejä göstermegi, 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 ýygnalyp durky bilen düýpgöter tüzelenýär.

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

Kesgitlemesi : Operasion güýçlendiriş (OG) tranzistorlardan ýygnalan güýçlendiriji bolup, örän uly güýçlendiriş koeffisiýenti ($k_u = 10^4 \dots 10^5$) bolup, örän ullağan girelge ($R_{gir} = 10^5 \dots 10^6 \text{ Om}$) garşylykly, çykalgasynda örän kiçi ($R_{ç} = 10 \dots 100 \text{ Om}$) garşylygy, girelgesinde örän kiçi ($10^{-6} \dots 10^{-7} \text{ A}$) togy, ýygylyk diapazony O-dan $10^5 \dots 10^6 \text{ Gs}$ aralykda bolup, gohy örän kiçi hem-de kiçi dreýfli gurnamadyr.

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

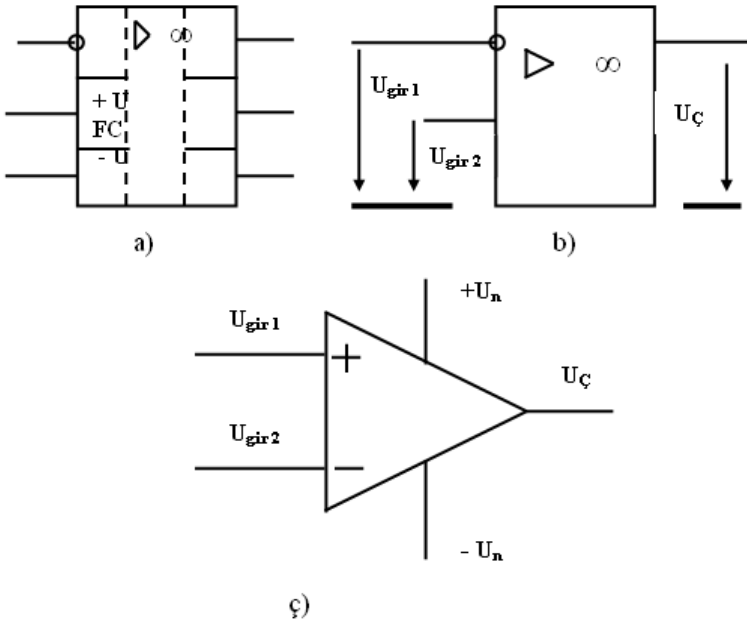
1. Göni baglanşykly iş düzgüninde, we
2. Açylyp, ýapylyp bilýän açar iş düzgüninde.

Göni baglanşykly iş düzgüninde OG-niň çykalgasyndaky we girelgesindäki naprýaženiýeler özara takyk we üznüksiz baglanşykdadylar. OG-ni göni baglanşykly iş düzgüninde işletmek üçin adaty shemalardaky zzy 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-ha zzy bilen baglanşyksyz ýa-da zzy bilen ylalaşyksyz aragatnaşykdan peýdalanýarlar.

2.2.2. OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri.

Operasion güýçlendirijileriň grafiki-şertli belgilenişleri dörtburçlyk görnüşde ýerine ýetirilýär. Bu şertli dörtburçlyk belgi OG-niň esasy bolup, onuň her gapdalynda bir ýa-da iki sany goşmaça dörtburçly meýdany-da bolup biler (1-nji a çyzga seret).



Surat 12. OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri : **a** bilen **b** – täze standart, **ç** – köne standart.

OG-niň esasy meýdany hasap edilýän dörtburçlygyň içinde

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

OG-niň esasy meýdany hasap edilýän dörtburçlygyň içinde

b) üçburçlyk görnüşli belgi goýulýar. Bu belgi « Güýçlendiriji » diýen manyny berýär.

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

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

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

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° süýşme burçuň döreýänligi üçindir.

Operasion güýçlendirijileriň girelge we çykalga gysgyçlaryndan başgalaryny FC, NC, OV, ýaly harplar ýa-da belgiler bilen tapawutlandyryýarlar. Meselem, FC – operasion güýçlendirijiniň amplituda – ýygylýan 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 düşündirlişlerini sadalaşdyrmak maksady bilen OG-leriň şertli – grafiki belgilenişlerini ýönekeýlesdirmäge ygtyýar berilýär. Meselem, 9.13-nji b – çyzgyda, diňe OG-niň tutýan esasy meýdany we signallar üçin degişli çykalgalar görkezildi.

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

2.2.3. Operasion güýçlendirijileriň parametrleri.

OG-leriň parametrleri diýlip :

- Differensirlenen (tapawutlandyrlan) signallaryň naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş k_u – koeffisiýentine [dB] ;
- Sinfazaly signallary gowşadyş $k_{u(s.f)}$ – koeffisiýentine [dB] ;
- Girelgä berilýän naprýaženiýeniň maksimal amplitudasyna $\pm U_m$ [W] ;
- Girelgesindäki R_{gir} – garşylygyna [kOm ; MOm] ;
- Çykalgasyndaky R_ζ – garşylygyna [Om] ;
- Ýüke ygtyýar berilýän maksimal R_γ – garşylygyna [kOm] ;
- Signallary süşüriji U_s – naprýaženiýesine [mW] ;
- Girelgedäki I_{gir} – toguna [nA] ;
- Girelgä berilýän ΔI_{gir} toklaryň tapawudyna [nA] ;
- Çykalgadaky U_ζ – naprýaženiýeniň $v_{u(\zeta)}$ – ösüş tizligine [W/mks]
- Çeşmeden kabul edýän $I_{\zeta sm}$ – toguna [mA] düşünilýär.

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

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

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

Sinfazly signalyň naprýaženiýe boýunça güýçlendiriş koeffisiýentiniň tapylyşy :

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

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 $v_{u(\zeta)}$ – tizligi OG-leriň girelgesine böküp durýan naprýaženiýe berilende özüniň maksimal bahasyna ýetýär.

2.2.4. Operasion güýçlendirijileriň ulanylýan ýerleri

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

- Güýçlendiriş koeffisiýenti tükeniksiz ($k_{u.g} \rightarrow \infty$) bolanda ;

- Girelgesindäki garşylyk tükeniksiz ($R_{gir} \rightarrow \infty$) bolanda ;

- Çykalgasyndaky garşylyk nul ($R_{ç} \rightarrow 0$) bolanda ;

- Girelgesindäki tok nula ($I_{gir} \rightarrow 0$) golaýlaşanda ;

- Girelgesindäki gysgyçlarynyň potensiallarynyň tapawudy nula

($\Delta U_{gir} \approx 0$) ýakynlaşanda ;

- Signallary geçiriş ýygylyk zologynyň giňligi tükeniksiz ymtylsa ($\Delta f \rightarrow \infty$).

OG-ler, has çuň yzy bilen baglansyklar gerek bolanda ulanylýanlygy üçin, OG-lerden ýygnalan gurnamalaryň parametrleri, esasan hem yzy bilen baglansygyň 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 kiçijik süýşiriji naprýaženiýesi, differensial signallar üçin ýokary güýçlendiriş koeffisiýenti, sinfazaly signallar üçin-de biçak ýokary koeffisiýenti hem-de goh derejesiniň örän kiçiligi bilen tapawutlanýarlar .

3. Elektrometri OG-ler (140YД6, 140YД14, 544YД1 markalar) özleriniň girelgesinde biçak uly garşylygy, girelgesindäki togunyň ujypsyzlygy hem-de gohunyň kiçiligi bilen tapawutlanýarlar.

4. Tiztäsi rediji (140YД11 markaly) OG-ler impulsly signallary we ýokary ýygylykly signallar üçin niýetlenilip, üstünden signallary geçiriş ýygylyk zolagynyň giňligi we çykalgasyndaky $U_{çyk}$ – naprýaženiýesiniň ösüş tizliginiň aşa ýokarylygy bilen tapawutlanýarlar.

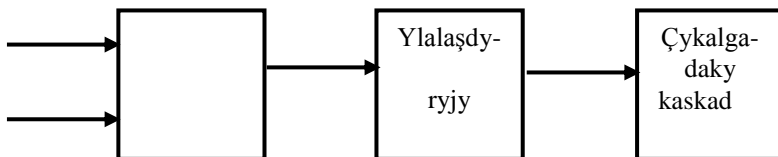
5. Mikrokuwwatly OG-ler (140УД12, 153УД4 markaly) örän kiçi (dynçlyk düzgüninde 10^{-6} Вт) kuwwaty kabul edýänligi bilen tapawutlanýarlar.

OG-leriň düzümini üç bölege bölýärler, olaryň :

Birinjisi differensial kaskadlardan düzülip , girelge kaskad üçin ulanylýsa ;

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

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



Surat 13. Operasion güýçlendirijiniň düzümi.

2.2.5. 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 – ýygylyk $k_u(f)$ häsiýetnamasy ;

- Faza – ýygylyk $\varphi(f)$ häsiýetnamasy.

Bu baglansyklaryň her birine aýratynlykda seredeliň.

1. Üstünden geçiriş (amplituda) häsiýetnamasy.

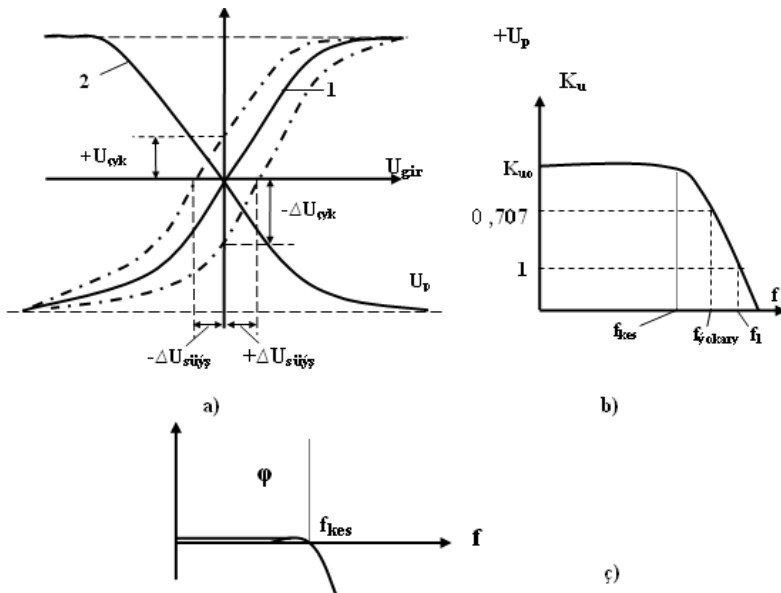
OG-niň bu häsiýetnamasy girelgedäki we çykalgadaky naprýaženiýeleriň özara $U_{\text{çyk}}(U_{\text{gir}})$ baglansyklaryny aňladýar (9.15-nji a çyzygy). Çyzygydaky 1-nji egri çyzyk inwertirlemeýän, 2-nji egri inwertirleýän OG-ler üçindir.

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

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

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

Balansyň bozulmagyna girelgedäki differensial kaskadyň parametrleriniň dargaýanlygy we olaryň temperaturadan hem baglydygy sebäp bolýandygy bilen düşündirilýär. 3-nji a çyzygyda keltejik çyzyklar bilen OG-niň balansynyň bozulan ýagdaýyny aňladýan-üstünden geçiriş koeffisiýentiniň häsiýetnamasy görkezildi.



Surat 14. Operasion güýçlendirijileriň häsiýetnamalary :

- a** – Amplituda, **b** – Amplituda-ýygylyk,
ç – faza – ýygylyk häsiýetnamalary.

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

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

OG-leriň amplituda ýygylyk $k_u(f)$ häsiýetnamasy 3-nji b çyzgyda görkezildi. Bu baglanyşykda OG-niň güýçlendiriji

koefisiýentiniň ýgylykdan baglanşygy görkezilip, onda şu aşakdaky parametrler hem görkezildi :

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

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

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

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

OG-leriň faza-ýgylyk $\varphi(f)$ häsiýetnamasy 3-nji çyzygyda görkezildi. Bu baglanşyk OG-lerde güýçlendirilen signallaryň φ – faza burçy boýunça süýşmegiň f – ýgylykdan baglydygyny aňladýar.

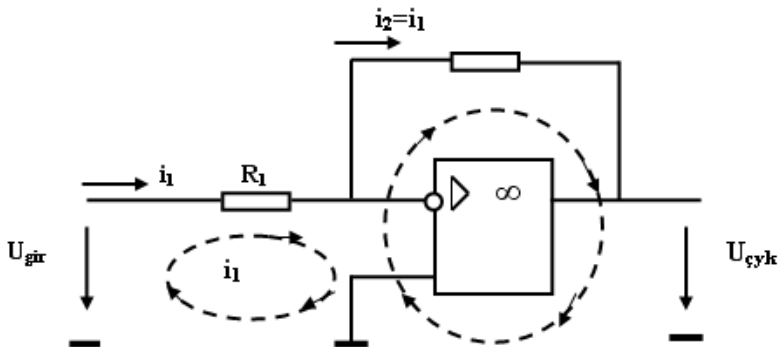
2.3. Operasion güýçlendirijileriň esasy shemalary.

2.3.1. Inwertirleýän we invertirlemeýän güýçlendirijiler.

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

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

Inwertirleýji OG-niň shemasy 1-njy çyzygyda görkezildi.



Surat 15. Inwertirleýji OG-niň shemalara birleşdirlişi.

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

OG-leriň iş düzgünini ýeňil özleşdirmek üçin OG-ni ideal görnüşde diýip kabul etmek maslahat berilýär. Şeýle edilende, « Ideal » OG-ler üçin düzülmeli deňlemeler-de sadalaşýar, sebäbi OG-niň girelgesiniň garşylygy $R_{gir} = \infty$ diýip kabul edilýär şonuň üçin-de girelgesindäki gysgyçlarynyň aralaryndaky ($\Delta U_{gir} = 0$) naprýażeniýe 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 çyzgyklar) degişli deňleme düzeliň.

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

OG-niň çykalgasyndaky uly kontur üçin-de deňleme düzeliň

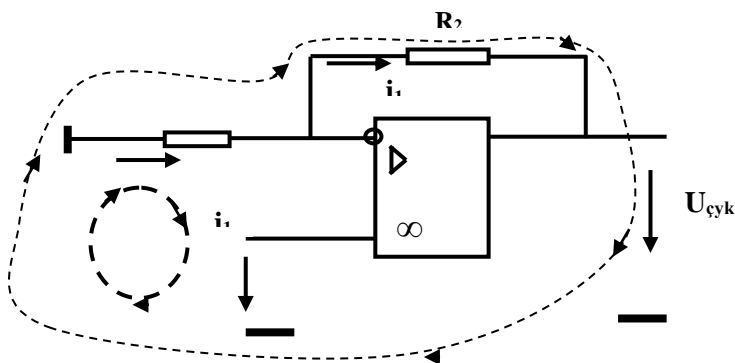
$$U_{çyk} + R_2 i_2 = 0 \quad \text{ýa-da} \quad U_{çyk} = - R_2 i_1$$

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

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

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

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



Surat 16. Inwertirlemeýän OG-niň shemalara birleşdirlişi

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

Kiçi kontur üçin $\mathbf{R}_1 \mathbf{i}_1 + \mathbf{U}_{gir} = 0$ ýa-da $\mathbf{i}_1 = -\mathbf{R}_1$

Uly kontur üçin $(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2) \mathbf{i}_1 + \mathbf{U}_{cyk} = 0$ ýa-da

$$\mathbf{U}_{cyk} = -(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2) \mathbf{i}_1$$

Birinji deňlemeden \mathbf{i}_1 – toguň bahasyny ikinji deňlemä goýsak, onda

$$U_{cyk} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_{gir} \quad \text{ýa-da} \quad U_{cyk} = 1 + \frac{R_2}{R_1} U_{gir}$$

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

2.3.2. Summirleýän güýçlendiriji (Summator).

Summatorlaryň girelgesinde signallar goşulanlaryndan soň, olaryň çykalgasyndan alynýan signallary inwertirleýän ýa-da inwertirlemeýän görnüşde alyp bolýar. Olara degişli shemalar 3-nji a, b çyzgyda görkezildi.

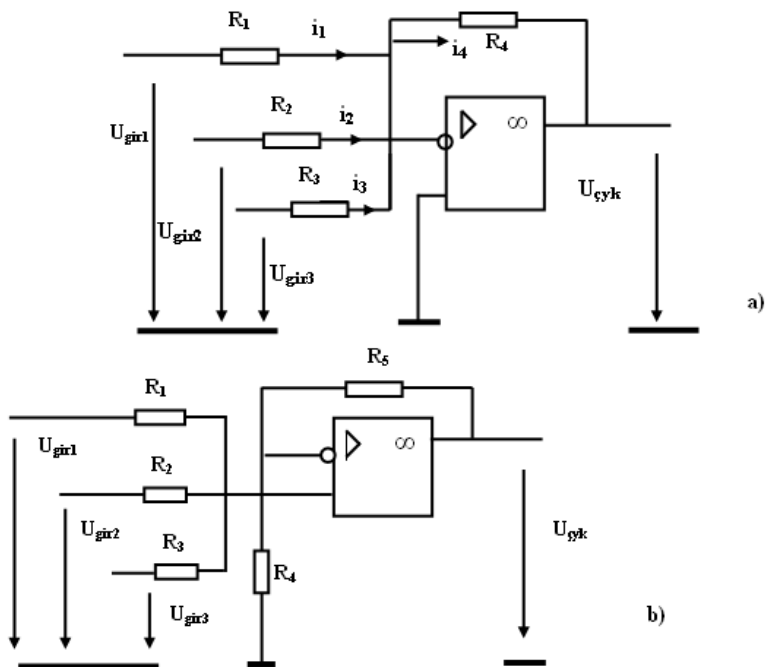
$$i_4 = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{U_{gir1}}{R_1} + \frac{U_{gir2}}{R_2} + \frac{U_{gir3}}{R_3}; \quad U_{cyk} = -R_4 i_4$$

ýa-da

$$U_{cyk} = -\left(\frac{R_4}{R_1} U_{gir1} + \frac{R_4}{R_1} U_{gir2} + \frac{R_4}{R_1} U_{gir3} \right)$$

Umumy görnüşde, şu aşakdaky ýaly ýazyp biliris.

$$U_{cyk} = -\sum_{k=1}^n U_{girk} \frac{R_4}{R_k}$$



Surat 17. Summatorlaryň a – inwertirleýän ,
b – inwertirlemeýän shemalary.

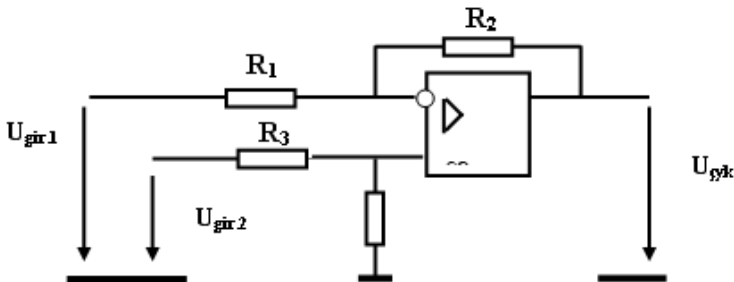
Bu ýerde - $\frac{R_4}{R_k}$ berilen $U_{gir\ k}$ – naprýaženiýeniň tutýan ornuny aňladýan koeffisiýent.

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

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

Deňlemäniň oňündäki (-) – minus alamatynyň manysy çykalgadaky $U_{çyk}$ – naprýaženiýe, girelgedäki $U_{gir.k}$ – naprýaženiýeleriň goşulmaklarynyň inwertlenýändigini aňladýar.

3. Differensial (tapawudyny berýän) güýçlendiriji.



Surat 18. Differensial (tapawudyny berýän) güýçlendiriji.

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

$$U_{cyk} = U_{cyk1} = -U_{gir1} R_1$$

Eger-de, OG-niň birinji girelgesindäki signalyň naprýaženiýesi

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

$$U_{cyk} = U_{cyk2} = U_{gir2} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Bu ýerde $U_{gir2} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ inwertirlemeýän güýçlendirijiniň çykalgasyndaky naprýaženiýedir.

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

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

onda

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

netijäni alarys.

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

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

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

2.4. Elektron generatorlary

2.4.1. Umumy maglumatlar.

Kesgitlemesi. Elektron generatorlary diýlip, elektronly çyralary ýa-da ýarymgeçirijilerden ýasalan abzallaryň kömegi bilen, hemişelik togunyň elektrik energiýasyny yrgyldyly elektrik energiýasyna öwüriji (kesgitli ýygylkda we formada) gurnamalara aýdylýar.

Generatorlaryň klasslara (toparlara) bölünişi. Elektron generatorlary özleriniň birnäçe nyşanalary (aýratynlyklary) boýunça klasslara bölünýärler :

1. Generirlenen yrgyldylaryň ýygylk diapazony (giňligi) boýunça bölünişi : a) ýygylkly generatorlar (1-Gers böleginden tä 100 KGS-e çenli) ; b) ýokary ýygylkly

generatorlar (100 KGS-den 100 MGS-e çenli) ; ç) aşa ýokary ýygyllykly generatorlar (AÝÝ) (100 MGS-den ýokary).

2. Generirlenen ýygyllyklary formalary boýunça sinus we sinus däl yrgyldylara-da bölýärler.

Sinus görnüşli yrgyldylary öndürýän generatorlary almak üçin olarda ulanylan güýçlendirijileriň shemalarynda görkezilen zyy bilen baglansyklaryň hemmesi plýus alamatly bolmalydyr (YBPB-zyy bilen plýus baglansyk).

Yrgyldysy sinus görnüşli ýokary ýygyllykly generatorlar adaty rezonansly LC – konturlar bilen döredilýär, şonuň üçin-de bular ýaly konturlara LC – generatorlar diýilýär.

Pes ýygyllykly generatorlar bolsa – ýygyllykdan bagly hem-de zyy bilen baglansykly RC – zynjyrlar ulanylýar. Yrgyldysy sinus görnüşli generatorlarda ulanylýan zyy bilen baglansyk yrgyldyly generatoryň ýitgileriniň öwezini dolandurýar diýäýmeseň, tutýan orny beýle bir uly dälidir.

Yrgyldyly generatorlardaky ýitgileri diňe bir zyy bilen plýus baglansykly elementler bilen däl-de, garşylyklaýyn minus baglansykly elementler bilen-de kompensirlemek bolýar.

Islendik, hatda hil tarapdan aşa ýokary ýygyllykly yrgyldyly konturlarda-da ýitgi bardyr, şonuň üçin-de döreyän islendik ýygyllykdaky yrgyldylar (hiç hili şübhesiz) ýuwaş-ýuwaşdan sönäýmelidirler. Eger-de, yrgyldylar sönmeýän bolsalar, onda şol generatordaky ýitgileri haýsy-da bolsa bir energiýa çesmesi bilen dynuwsyz kompensirlenip durulýar diýildigidir.

Islendik yrgyldyly sistemada döreyän 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 döreyän ýitgileri

kompinsirleýji (öwezini doldyryp durýan) energiýa çeşmesiniň sistemada ulanylýandygyny aňladýar.

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

Bu elementleriň Wolt-Amper häsiýetnamalarynda (WAH-larynda),

aşak düşýän böleginiň bar ýerinde $= \frac{\Delta U}{\Delta I} \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$

minus alamatly garşylygy berýär (mysal üçin 2.6 -nny a – çyzgyda 0 – 1 we 2 – 3 aralyklarda garşylyklar plýus alamatly bolsalar, onda 1 – 2 aralykda, WAH-yn ýykylyan ýerinde, garşylyk minus alamata eýe bolýar).

Eger-de, sinusdäl yrgyldylar (impulslar) bar bolsa, onda 100% zyy 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 impulslaryň ýygylyklary 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 açylyan (oýanýan) generatorlaryň girelgesine berilýän naprýaženiýe, garaşsyz naprýaženiýe çeşmesinden takyk ýygylgy bilen üpjün edilýär (üpjün ediji generatordan).

Öz-özünden açylyan (oýanýan) generatorlarda sönmeýän yrgyldylary almak üçin, generatoryň çykalgasyndaky signallary girelgesi bilen birleşdirýän, zzy bilen plýus baglanşykly zynjryň üsti (kömegi) bilen amala aşyrylýar.

Awtogeneratorlarda öz-özünden oýanmagyň ýörite şertleri bardyr. Olaryň girelge signallary bolmaýar. Şonuň

üçin-de, döreyän durnukly yrgyldylar takyk şertler bilen baglansykdadyrlar. Meselem, güýçlendirijilerdäki yzy bilen plýus alamatly baglansyklaryň netijelerinden generatorlarda öz-özünden oýanmak hadysasy bolup geçýär.

Generatorlarda öz-özünden oýanmak hadysany güýçlendirmegi amala aşyrmak üçin şu aşakdaky şertleriň ýerine ýetirilmegi hökmanydyr.

$$\kappa \cdot \beta \geq 1 \qquad \text{we} \qquad \varphi + \psi = 2\pi \cdot n$$

Bu ýerde : κ – güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýenti

;

β – yzy bilen arabaglanyş koeffisiýenti ;

φ – güýçlendirijiniň naprýaženiýesiniň süýşme burçy;

ψ – yzy bilen arabaglanyş naprýaženiýesiniň süýşme burçy ;

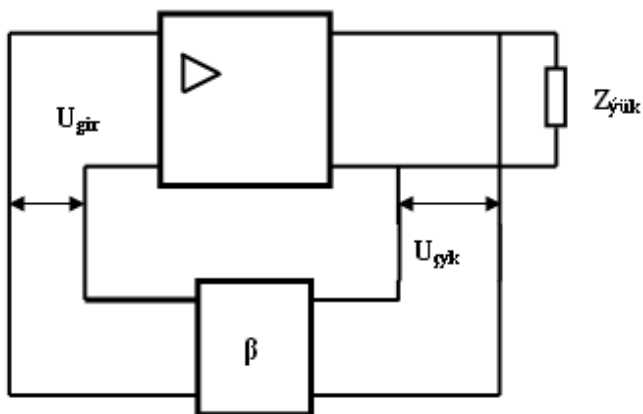
$n = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$ islendik san.

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

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 arabaglansygy emele getirýän zynjyryň çykalgasyndaky naprýaženiýeniň fazasy bilen gabat gelmelidigini aňladýar.

Güýçlendirijidäki yzy bilen baglansygy emele getirýän β – elementiň, hem-de - güýçlendirijiniň girelge we çykalga naprýaženiýeleri öz güýçlendiriji koeffisiýentleri bilen aňladylýarlar. (Ähli ululyklar kompleks görnüşde ýazyldy).



Surat 19. Awtoşeneratoryň gurluşynyň shemasy.

Ikinji aňlatma ($\varphi + \psi = 2\pi \cdot n$) aňlatma fazalaryň balans şertini aňladýar. Bu aňlatma, güýçlendirijiniň girelgesindäki U_{gir} – naprýaženiýeniň fazasy, yzy bilen arabaglansygy emele getirýän zynjyryň çykalgasyndaky naprýaženiýeniň fazasy bilen gabat gelmelidirini aňladýar.

Güýçlendirijidäki yzy bilen baglansygy emele getirýän β – elementiň, hem-de - güýçlendirijiniň girelge we çykalga naprýaženiýeleri öz güýçlendiriji koeffisiýentleri bilen aňladylýarlar. (Ähli ululyklar kompleks görnüşde ýazyldy).

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

Soňky deňlemede

$\underline{k} \cdot \underline{\beta} = 1$ bolanda dogrudyr. Bu ýerde \underline{k} bilen $\underline{\beta}$ – güýçlendiriji bilen yzyna baglansygyň degişlilikde güýçlendiriji koeffisiýentleriniň modullary φ bilen, ψ – bolsa, \underline{k} bilen $\underline{\beta}$ kompleks sanlaryň argumentleridir.

Bu argumentler güýçlendiriji bilen yzyna baglansygy emele getirýän zynjyryň girelgeleri bilen çykalgalaryndaky

naprýaženiýeleriň fazalarynyň özara süýşme burçlaryny kesgitleýär.

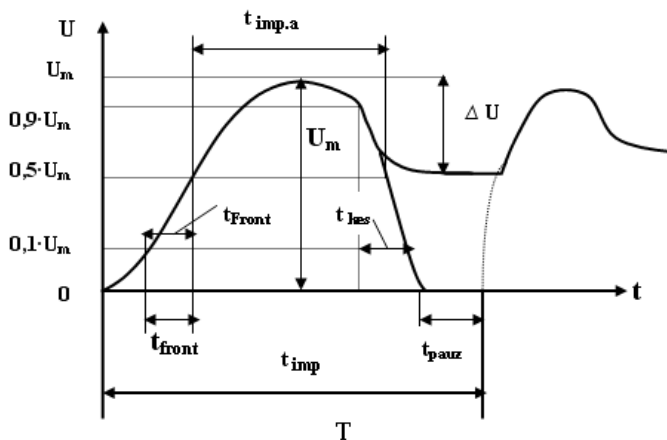
Eger-de $\underline{k} \cdot \underline{\beta} = 1$ şert ýerine ýetse, onda awtogeneratorda sönmeyän yrgyldylar döreýär. Köplenç ýagdaýlarda k bilen β – koeffisiýentleriň köpeltmek hasyly $k \cdot \beta \geq 1$ kanagatlanar ýaly edip gurnaýarlar.

Umuman \underline{k} bilen $\underline{\beta}$ koeffisiýentler ýygylýga baglydyrlar, şonuň üçin-de kompleks görnüşde aňladyýarlar.

Eger-de, öz-özünden oýandyrylýan prosesleriň şerti hiç bolmanda bir ýygylýk üçin kanagatlandyrylan bolsa, onda garmoniki ýygylýklar döreýär. Eger-de, öz-özünden oýandyrylmagyň şerti birnäçe ýygylýklary kanagatlandyrylan bolsa, onda çylşyrymly formalaryň yrgyldylary döreýär. Bu çylşyrymly formalar birnäçe garmoniki yrgyldylaryň goşulmalarýndan (düzüminden) emele gelýär.

2.4.2. Impulsalaryň parametrleri.

Mysal hökmünde, gönüburçly real impulsyň esasy parametrleri hakda düşüňjeleri özleşdireliň



Surat 20. 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_{impuls} – dowamlylygy bilen kesgitlenilýär.

Impulsyň aktiw $t_{imp.a}$ – uzynlygy diýlip, impulsyň amplitudasynyň ýarym ($0,5U_m$) bahasyndaky derejesini görkezýän wagt aralygyna aýdylýar.

Käwagtlar impulsyň dowamlylygy amplitudanyň $0,1 \cdot U_m$ – derejesinde-de kesgitlenilýär.

Pauzanyň uzynlygy t_p – iki sany goňsy impulsyň gutarýan we başlanýan ýerlerini aňladýan wagt aralygyna pauza diýilýär.

Gaýtalanýan period – Impulsyň gaýtalanýan periody diýlip, iki sany birpolýarly impulslaryň başlanýan nokatlarynyň aralygyny görkezýän wagta aýdylýar. Period T – harpy bilen belgilenýär. Islendik T – period bir impulsyň t_{imp} – wagty bilen bir pauzanyň t_{pauz} – wagtyň jemlerine deňdir.

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

Doldurylýan koeffisiýent bilen skwažnost (çuňlugy).

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

Dolandurylan koeffisiýentiň ters ululygyna impulsyň skwažnosti diýilýär.

$$Q = \frac{1}{\gamma} = \frac{T}{t_{imp}}$$

Impulsyň uzynlygy we onuň frontynyň ýapgytlygy (krutiznasy) .

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

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

Impulsyň frontlarynyň aralygyna impulsyň tekiz üsti (depesi) diýilýär. 2-nji çyzgyda impulsyň tekiz üstüniň pese gaçyşy görkezildi.

Impulsyň kuwwaty. Impulsyň W_{imp} – energiýasynyň şol impulsyň uzynlygynyň t_i – wagtyna bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$P_{imp} = \frac{W_{imp}}{t_{imp}}$$

Impulsyň ortaça kuwwaty. Impulsyň W – energiýasynyň şol impulsyň T – perioda bolan gatnaşygyna aýdylýar.

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

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

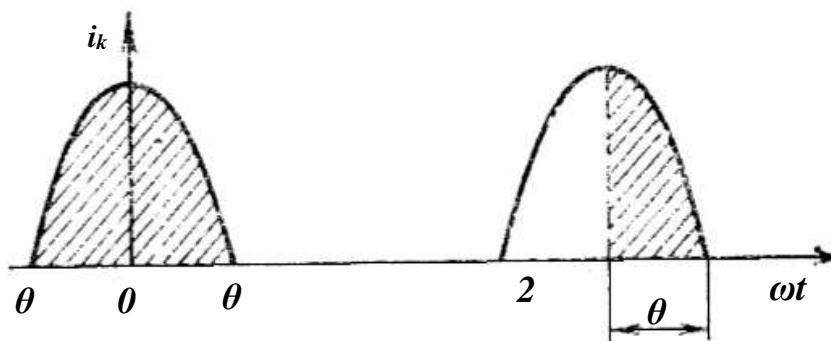
$$P_{imp} \cdot t_{imp} = P_{ort} \cdot T \text{ onda } P_{imp} = P_{ort} \cdot \frac{T}{t_{imp}} \cdot q$$

Görüşimiz ýaly impulsdaky kuwwat generatoryň ortaça kuwwatyndan q esse artykdyr.

2.5. Garmoniki yrgyldylaryň generatorlary.

2.5.1. Generatorlaryň klassifikasiýasy.

Öz-özünden we daşdan oýandyrylýan generatorlar bolýar. Öz-özünden oýandyrylýan generatorlara şeýle hem awtogeneratorlar diýilýär. Olarda yrgyldyny oýarmak üçin položitel ters baglanyşyk ýa-da häsiýetnamasynyň otrisatel gyşarmaly bölegi bolan aktiw enjam ulanylýar. Şeýle hem yrgyldylaryň parametrik oýarmasy ulanylýar.

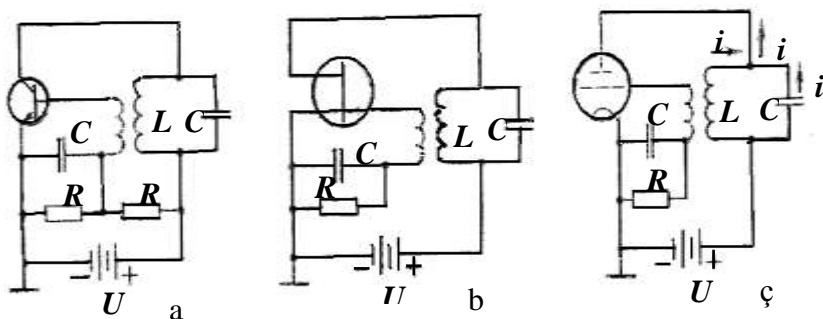


1-nji surat. Generatoryň kollektor togunyň sinusoidal

Daşdan oýandyrylýan generatorlar düýp manysy boýunça uly amplituda režiminde işleýän rezonans güýçlendirijileridirler. Düzgün bolşy ýaly, daşdan oýandyrylýan generatorlar toguň bölmesi (çapmasy) bilen işleýärler. Başgaça aýdylanda, generatordaky tok sinusoidal impulslaryň periodik zygiderligini emele getirýär (1-nji surat).

2.5.2. Induktiv baglanyşykly awtogenerator.

Induktiv baglanyşykly awtogeneratorlaryň çyzgylary 2-nji suratda görkezilen. Awtogeneratorlarda dürli aktiw enjamlar: bipolar we meýdan tranzistorlary hem-de elektron lampasy ulanylan bolsalar-da, bu üç çyzgy biri-birine örän ýakyndyr. Bipolýar tranzistordaky çyzgynyň beýleki ikisinden tapawudy baza R_1R_2 bölüjiniň kömegi bilen položitel naprýaženiýäniň berilmegidir. Bu awtogeneratoryň işiniň diňe başlangyç peridynda zerurdyr. Ähli üç çyzgylarda generasiýa ýüze çykandan soňra, dolandyryjy elektroddaky (bazadaky, zatwordaky ýa-da tordaky) naprýaženiýäniň hemişelik düzüjisi bazanyň, zatworyň ýa-da toruň togunyň göneldilen üýtgeýän düzüjisiniň hasabyna otrisatel bolup biler.



2-nji surat. Induktiv baglanyşykly awtogeneratorlaryň çyzgylary:

2.5.3. RC-generatorlar.

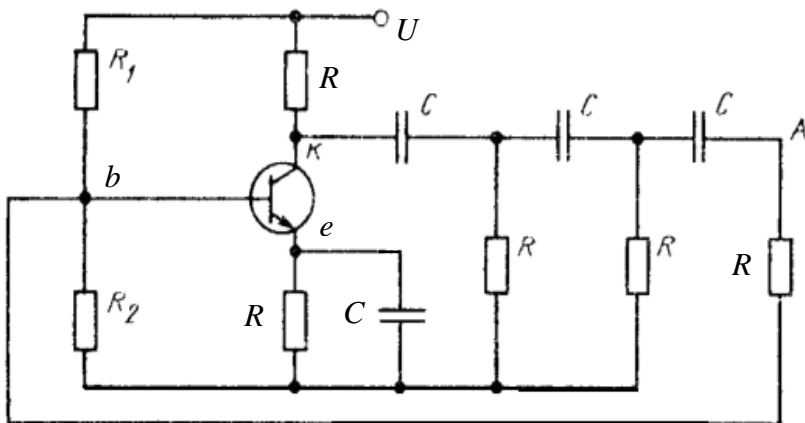
Pes ýygylgyň yrgyldylaryny generirlemek üçin RC-generatorlary ulanylýar.

Fazany süýşürýän zynjyrlary bolan generatorda (3-nji surat) üç zynjyrlar kollektordaky we bazadaky naprýaženiýeleriň arasynda 180° deň bolan faza süýşmesini döredýärler. R_3 garşylygy $R' = R_1 // R_2 // h_{11e}$ garşylyk bilen bile R

garşylyga deň diýip alyp bolar. Bu ýagdaýda 180° faza süşmesi aşakdaky ýyglykda alynýar:

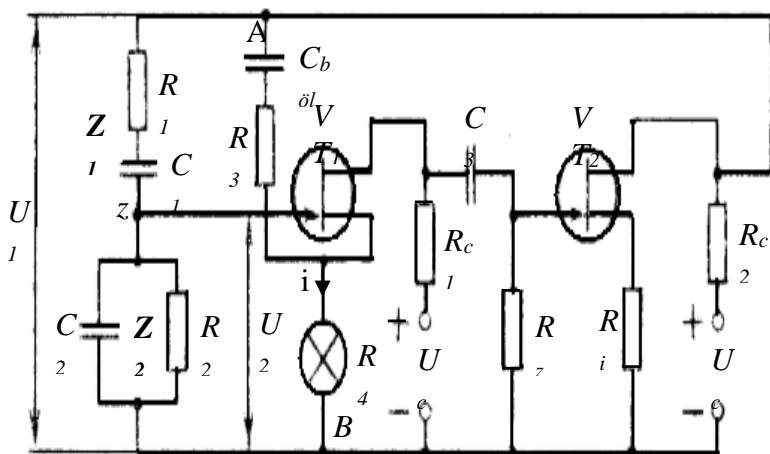
$$\omega = 1/RC \sqrt{6 + 4(R_k/R)}.$$

Fazany süşürýän zynjyrlar bilen K we A nokatlaryň arasyndaky naprýaženiýäni geçiriş koeffisienti $1/29$, kollektor we bazanyň arasyndaky bolsa $-R'/29(R'+R_3)$. Generasiýanyň döremegi üçin tranzistoryň naprýaženiýäni güýçlendiriş koeffisienti $29(R'+R_3)/R'$ -den uly bolmalydyr.



3-nji surat. Üç sany fazany süşürýän zynjyrlary bolan

Winiň köprüsi bolan RC -generator 4-nji suratda görkezilen. Winiň köprüsi Z_1 , Z_2 , R_3 we R_4 garşylyklardan durýar. Z_1 garşylyk R_1 we C_1 yzygider birleşdirmek bilen, Z_2 garşylyk R_2 we C_2 parallel birleşdirmek bilen döredilen. R_3 garşylyk generasiýa ýyglygynda R_3 garşylyk bilen deňşirilende ujypsyz kiçi garşylygy bolan $C_{böl}$ bölüji kondensator bilen yzygider birleşdirilen. R_4 garşylyk hökmünde üstünden tok akyp geçende öz garşylygyny ulaldýan metallik nakal sapakly kiçijek ýagtylandyryjy lampajyk ulanylýar.

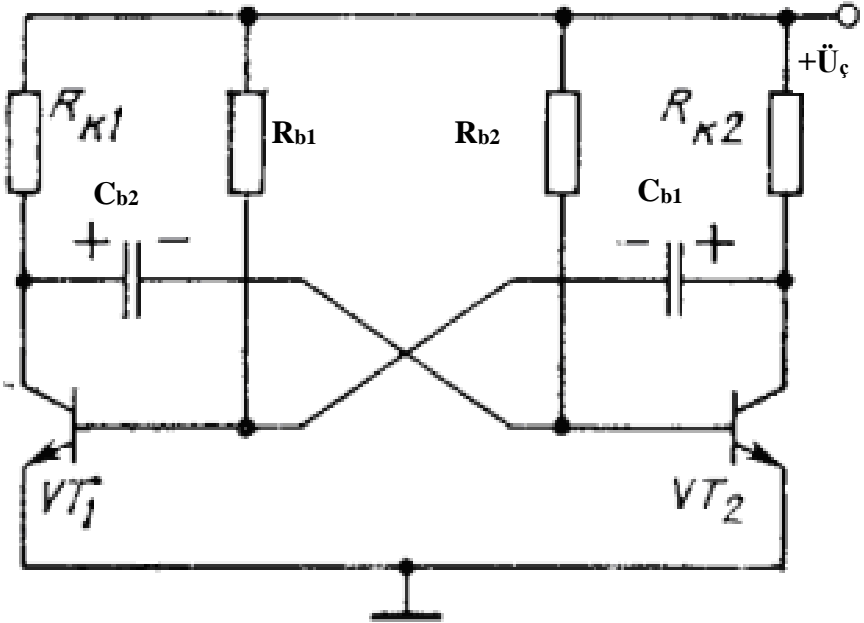


4-nji surat. Meýdan tranzistorlarynda Winiň köprüsi bolan RC-generator.

Winiň köprüsi bolan RC-generatorda ýygylýyklaryň giň diapazonynda hemişelik güýçlendirijä köffisienti bolan we giriş we çykyş naprýaženiýeleriniň arasynda 360° faza süýşmesini üpjün edýän iki kaskadly rezistor güýçlendirijisi ulanylýar.

2.5.4. Multiwibratorlar. Bloking-generator.

5-nji suratda tranzistorlarda multiwibratoryň çyzgysy görkezilen. Her tranzistoryň kollektory beýleki tranzistoryň bazasy bilen baglanyşykly, ýöne multiwibratorda baglanyşyk gönüden göni däl-de, kondensatorlaryň üstündendir.



5-nji surat. Tranzistorlarda multiwibrator.

Triggerden tapawutlylykda multiwibrator gönüburçlylara ýakyn yrgyldylary özbaşdak generirläp bilmäge ukyplydyr. Diýmek, ol gönüburçly görnüşli yrgyldylaryň awtogenatorydyr.

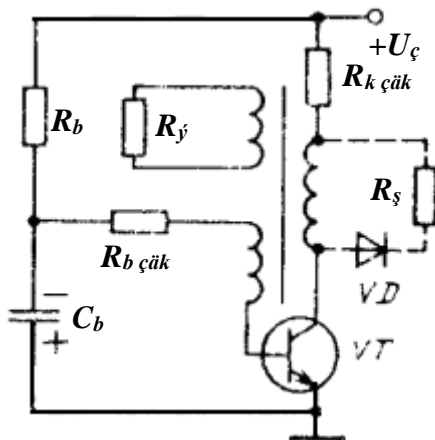
Sinusoidal yrgyldylaryň RC-generatorlaryndan tapawutlylykda multiwibratorda örän güýçli položitel ters baglanyşyk ulanylýar, onuň netijesinde tranzistorlar gezekli gezegine bir doýgunlyk režimine, bir bölünme režimine çykýarlar. Şeýle hem uzak durnukly ýagdaýda, ýagny iki tranzistoryň hem doýgunlykda bolmagy mümkin. Bu ýagdaýda yrgyldyny ýüze çykarmak üçin bir tranzistory ýapýan impuls

gerek bolýar. Hakykatdan-da, multiwibratorda yrgyldylaryň ýüze çykmagynyň berk režimi mümkin.

Simmetrik we simmetrik däl multiwibratolar bolýar. Simmetrik multiwibratorda iki egindäki kollektor garşylyklary, şeýle hem baza garşylyklary we sygymlary birmeňzeşdirler.

Bir durnukly ýagdaýy bolan multiwibratora garaşýan diýilýär. Ol birinji tranzistoryň bazasyna kondensatoryň üstünden berilýän položitel impuls bilen işledilip goýberilýär. Multiwibrator işlemezinden öň işledip goýberýän impulsa "garaşýar".

Impuls yrgyldylarynyň impuls transformatorynyň kömegi bilen položitel ters baglanyşyk döredilýän relaksasion generatara bloking-generator diýilýär. Impuls transformatorynyň ferritden goýulan ýa-da ferromagnit materialynyň ýuka lentasyndan saralan ýapyk serdeçnigi bolýar. Impuls transformatoryna esasy talap pytramagyň az induktivligidir.



6-njy surat. Bloking-generator.

Bloking-generatoryň kömegi bilen birnäçe onlarça nanosekundan birnäçe mikrosekunda çenli dowamlylygy bolan impulslar döredilýär, üstesine-de generirlenýän

impulslaryň frontynyň we kesiginiň dowamlylygy impulslaryň öz dowamlylygyndan takmynan bir dereje kiçi bolýar.

Öz-özünden oýandyrylýan we garaşýan bloking-generatorlar bolýar. Öz-özünden oýandyrylýan bloking-generatoryň çyzgysyny (6-njy surat) garaşýan bloking-generatoryň çyzgysyna öwürmek üçin R_b rezistoryň ýokarky ujuny iýmit çeşmesiniň plýus gysajyndan aýyrmaly we bu uja garşylykly belgili uly bolmadyk naprýaženiýe bermeli. Garaşýan bloking-generator adaty kondensatoryň üstünden tranzistoryň bazasyna berilýän položitel impulslar bilen işledip goýberilýär.

Köp ýagdaýlarda naprýaženiýäniň ýa-da toguň çyzykly üýtgemegi, ýagny çyzykly kanun boýunça wagt birliginde ulalmagy ýa-da kiçelmegi, soňra bolsa başky bahasyna dolanyp gelmegi talap edilýär.

Meselem, ossillografyň elektron-şöhle trubkasynda proseslere gözegçilik etmek üçin elektron şöhlesini gorizontala gysardýan plastinalara byçgy görnüşli naprýaženiýe bermeli bolýar. Telewizorlaryň kineskoplarynda şöhläniň gyşarmasy gyşardyjy tegekleriň magnit meýdanlary bilen döredilýär, şonuň üçin çyzykly üýtgeýän tok talap edilýär. Bu ýagdaýlarda byçgy görnüşli naprýaženiýäniň ýa-da toguň generatorlary ulanylýar.

2.6. Triggerler hakda.

2.6.1. Umumy maglumatlar.

Kesgitlemesi : Triggerler iki sany durnukly ýagdaýy bilen häsiýetlenýän sifrlil gurnamalaryň elementidir.

Signallaryň esasy we kömekçi maglumat signallaryna bölünişleri 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 öň ýanynda- onuň ýagdaýyny **sinhron** saklamak üçin hyzmat edýär.

Triggerler –özlerine mahsus bolan birnäçe alamatlary boýunça dürli-dürli toparlara (klassifikasiýalara) bölünýärler:

1. Triggerleriň funksional mümkinçiliklerine görä bölünişleri:

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); **Delay** (iňlis)- saklanmak. Başgaça görnüşi **DV**-triggerdir, onuň kömekçi **V**-girelgesi bolup, girelgesine gelýän maglumatlar boýunça ýazgylar geçirmek üçin ýörite ygtyýarly signallar berilýär **Valve**- klapan (iňlis).

ç) Girelgesini 0 we 1 görnüşde towlap sanaýan trigger (**T**-trigger) **Toggel**- (iňlis sözi – towlandy diýmek). Başga görnüşli hasap edilýän **TV**- triggerler hem ulanylýar. Bu triggeriň-de kömekçi **V**- girelgesi bolup, girelgesine gelýän maglumatlar boýunça ýazgylar geçirmek üçin ýörite ygtyýarly signallar berilýär.

d) Uniwersal trigger (**JK**- trigger). Bu **JK** – triggerde gadagan edilen

ýagdaý ýokdur. Diýmek, ýokarda agzalan islendik triggeriň deregine

ulanmak bolýar. (**JK**)- **Jump+ Keep**. (iňlis) – üstünden zyňmak –

saklamak.

b) Maglumatlary (informasiýalary) kabul etmek usuly boýunça triggerler **asinhron** we **sinhron** diýilýän iki topara bölünýärler.

Asinhron triggerler – girelgesinde maglumatlaryň signallary dörän wagty işläp başlaýar.

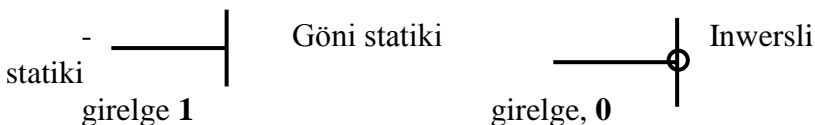
Sinhron triggerler - bolsa diňe ýöriteleşdirilen girelgelerinde sinhronlanan C maglumatlaryň signallary berilende duýýar we işläp başlaýar.

Clock- wagt, sagat (iňlis).

Sinhron triggerleri dolandyrmak usuly boýunça **statiki** we **dinamiki** dolandyryşlara bölýärler.

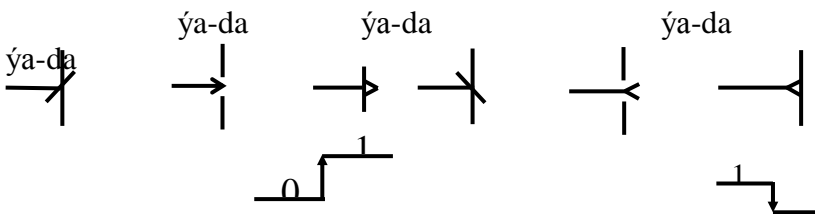
Statiki dolandyrylýan triggerler, haçanda olaryň C-girelgesine berilýän maglumatlaryň signallary **1**-derejeli signal bolanda duýýar.

Shemalarda triggerleriň C- girelgesi şu aşakdaky ýaly şertli belgilenýärler **1** (C- girelgesi göni) ýa-da **0** (C- girelgesi inwersli).



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.



Göni dinamiki girelge
0

Inwersiýaly dinamiki girelge

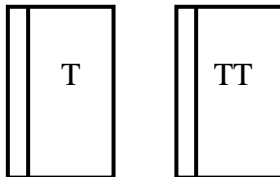
3. Triggerler özleriniň gurluş çylşyrymlyklaryna görä **birbasgançakla we ikibasgançakla bölünýärler.**

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

Bular ýaly triggerlerde maglumatlaryň ýazylyşy-wagt boýunça üznüksiz üýtgeýän prosesiniň ýagdaýyny durnukly saklamak üçin maglumatlaryň signallarynyň üsti bilen amala aşyrylýar.

Ikibasgançakly triggerlerde maglumatlaryň signallary bilen iki basgançagy-da doldurylýar. Olar **Sinhron** (taktly) impulslar bilen dolandyrylanda ilki bilen birinji basgançagyň maglumatlary ýazylýar, soňra ikinji basgançagyň maglumatlary ýazylýar, olaryň netijeleri bolsa triggeriň çykalgasyndan 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, İňlisçe) diýilýär.

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

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

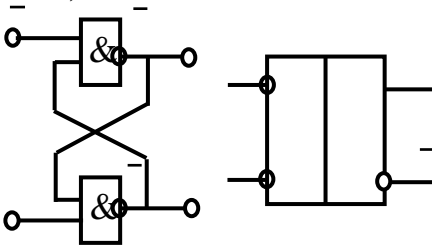
Bu trigger öz ýagdaýyny diňe **C** – girelgesinde signalyň kesmeginde üýtgedip bilýär.

MS- triggeriň kiltli triggerlerden tapawudy dury-däldigidir ýagny $C=0$ we $C=1$ bolanda-da **R** we **C** girelgeriniň dury (açyk) däldigidir.

2.6.2. Asinhron RS triggerler.

Iki görnüşine seredeliň :

1) I-NE elementli asinhron RS- triggerler.



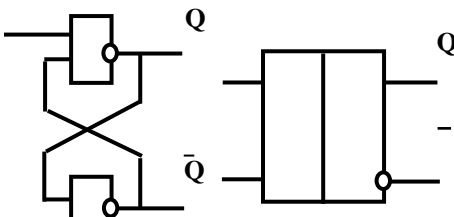
Logiki I-NE elementli RS – triggeriň düzülişi.

RS – triggeriň shemalarda belgilenişi

S	R	Q	Q	Düzgüni
0	0	-	-	Gadagan
0	1	1	0	Ýatda saklanýar
1	0	0	1	Ýatda saklanýar
1	1	-	-	Gadagan

RS – triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş tablisasy. (Ýagdaýy – ustanowka manysynda).

2) ILI-NE elementli asinhron RS-triggerler



Logiki I-NE elementli RS – triggeriň düzülişi.

Shemalarda belgilenişi

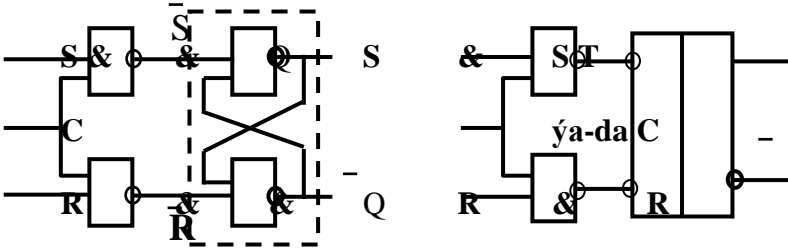
S	R	Q	Q	Düzgüni
0	0	Q*	Q*	Ýatda saklanýar
0	1	0	1	Ýatda saklanýar
1	0	1	0	Ýatda saklanýar
1	1	-	-	Gadagan

RS – triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş tablisasy

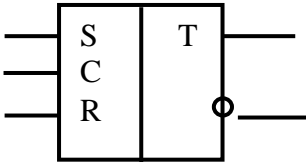
2.6.3. Sinhron RS-triggerler.

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

1) I-NE elementlerden gurnalnan sinhron RS-triggerler



I-NE logiki elementlerden ýygналan birbasgançakly sinhron RS-triggeriň düzülişi



Sinhron RS- triggeriň

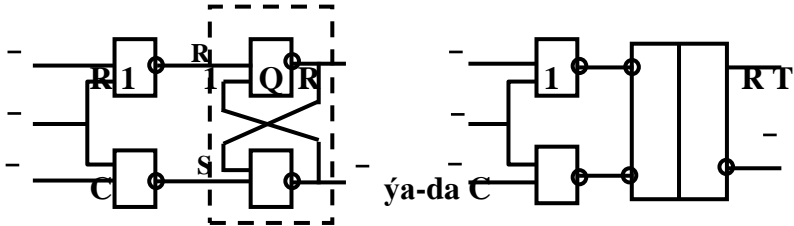
Sinhron RS- triggeriň Shemalarda belgilenşi

C	S	R	Q	Q	Düzgüni
1	0	0	Q*	Q	Ýatda saklaýar
RS-triggeriň iki ýanlaýyn					
RS-triggeriň iki ýanlaýyn					
1	1	1	-	-	Gadagan

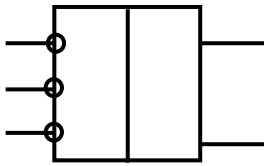
RS-triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş tablisasy.

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

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



ILI-NE logiki elementlerden ýgналan birbasgançakly sinhron **RS-** triggeriň düzüliş

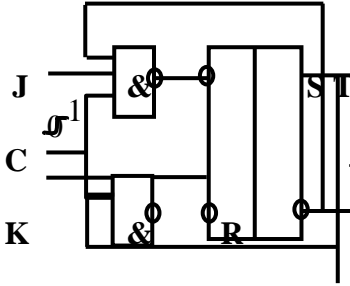


Sinhron **RS-** triggeriň

hemalarda
ýanlaýyn
belgilenşi

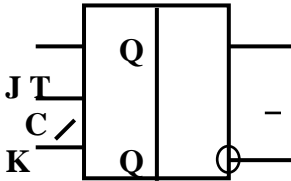
C	S	R	Q	Q	Düzgüni
0	0	0	-	-	Gadagan
0	0	1	1	0	Ýagdaýy-1
0	1	0	0	1	Ýagdaýy-0
0	1	1	0	0	RS-triggeriň iki ýanlaýyn
0	1	1	1	1	Sinhron RS- triggeriň iki ýanlaýyn geçiş tablisasy. saklaýar

2.6.4. Birbasgançakly sinhron JK-triggerler.



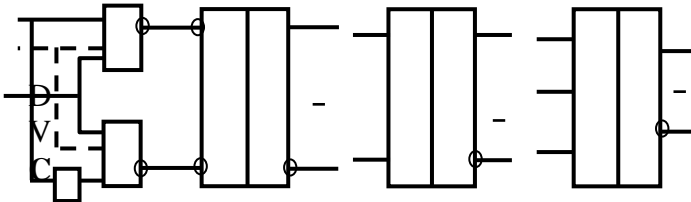
C	J	K	Q	Q'	Düzgünü
	0	0	Q	Q'	Yatda saklaýar
	0	1	0	1	Ýagdaýy-0
	1	0	1	0	Ýagdaýy-1
	1	1	Q	Q'	0-dan 1-e ýa-da 1-den 0-a geçiş

I-NE logiki elementlerden ýygynalan bir basgançakly sinhron JK-triggeriň düzülüşi



Göni dinamiki geçelgeli JK-triggeriň shemalarda belgilenşi

2.6.5. D-triggerler.



D we **DV**-triggerler

Göni statiki girelgeli **D**

we **DV** triggerleriň

shemalarda belgilenişleri

C	1 1	0 0
D	0 1	0 1
Q	0 1	Q* Q*

V	1 1	1 1	0 0	0 0
C	1 1	0 0	1 1	0 0
D	0 1	0 1	0 1	0 1
Q	0 1	Q* Q*	Q* Q*	Q* Q*

Göni statiki girelgeli **D**

triggeriň iki ýanlaýyn

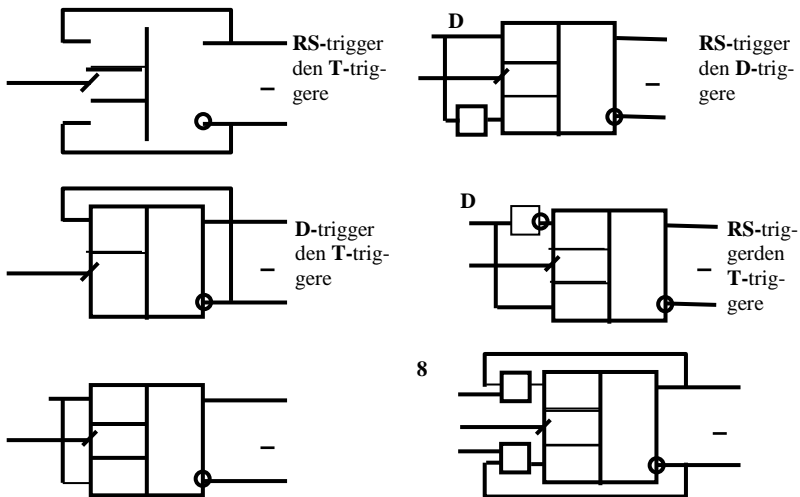
geçiriş tablisasy

Göni statiki girelgeli **DV**-

triggeriň iki ýanlaýyn geçiriş

tablisasy.

2.6.6. Triggerleriň özara özgerdiş shemalary.



2.7. Multiwibratorlar barada umumy maglumat we olaryň tranzistorlardan gurnalan görnüşi.

2.7.1. Multiwibratorlar.

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

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

Multiwibratorlar iki sany güýçlendiriji kaskaddan we yzy bilen çuňňur we plýus arabaglansygy emele getirýän zynjyrdan gurnalýar.

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

Regenerativ prosesi göniburçly impulsyň parametrleri hasap edilýän frontuň we kesilişiň formasyny kämilleşdirmek üçin peýdalanýarlar. Regenerativ proses diýlip, zýy 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, zynjrlaryň signal berýän wagtyndaky döreýän geçiş prosesine aýdylýar (köplenç ýagdaýda bu RC – zynjyrdan gurnalýar).

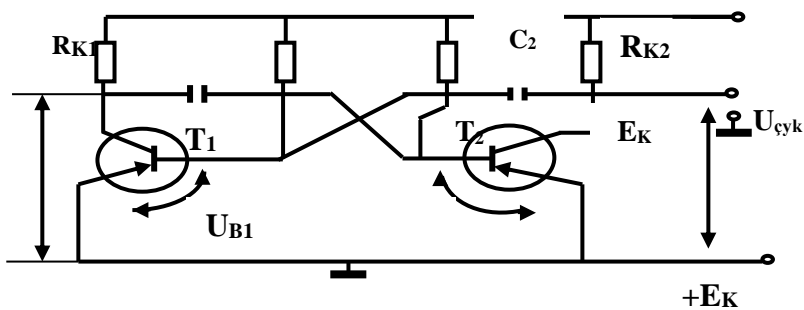
* **Regenerasiýa** – Latyn sözi – Täzeden döremek, täzeden dikeltmek,

** **Relaksasiýa** – **Latyn sözi** – **Gowşamak, pese gaçmak, prosesini gutarmagy ýaly manylary berýär.**

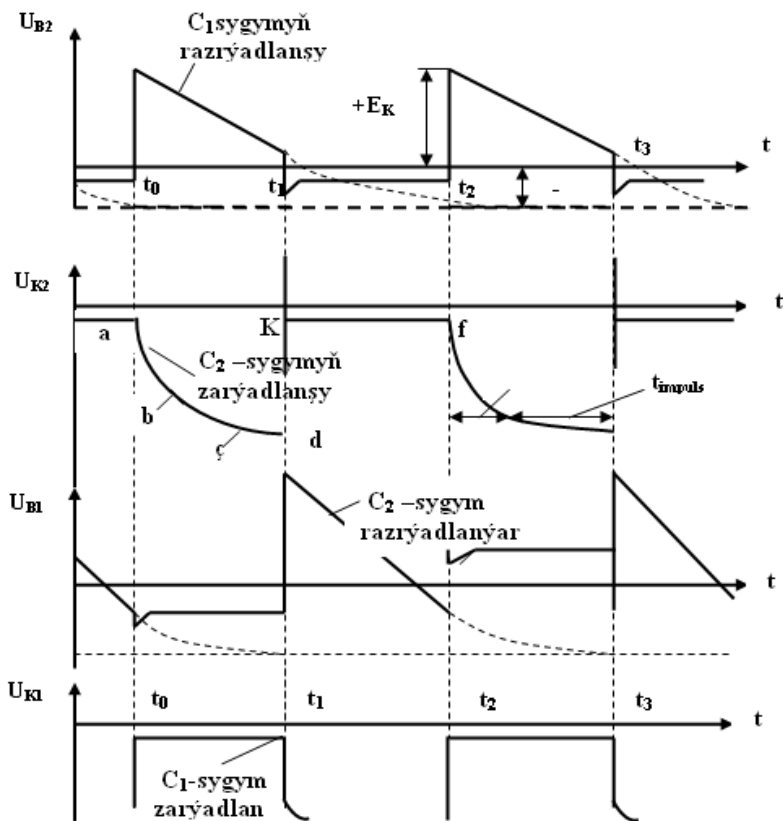
2.7.2. Tranzistorlardan guralan awtoyrgyldyly multiwibrator.

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

Eger-de 1-nji çyzgyda tranzistordan guralan multiwibratoryň shemasy görkezilen bolsa, onda 2-nji çyzgyda multiwibratorda bolup geçýän prosesleriň **t** – wagta görä diagrammalary guruldy.



Surat 29. Tranzistordan gurnalan multiwibratoryň shemasy.



Tranzistoryň kollektoryndan alynýan göniburçly impulsar birnäçe bölejik impulslaryň goşulmaklaryndan kemala gelýändiglerini 2-nji çyzgydan görmek bolýar, meselem a b ç –frontyndan ç d – üst tekizliginden, d k – kesilişden we k f –pauzadan ýaly böleklere bölmek ýeterlidir.

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 $+E_K - \dot{Y}_{er} - T_1 - C_1 - R_{B2} - (-E_K)$ 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 $+E_K - \dot{Y}_{er} - T_2 - C_2 - R_{B1} - (-E_K)$ ýapyk zynjyryň üsti bilen 0 – bahasyna deňleşýänçe dowam edýär. Shemada görkezilen C_2 – kondensatoryň zarýadsyzlanmagy bilen bir wagtyň özünde $+E_2 - \dot{Y}_{er} - T_2 - C_1 - R_{K1} - (-E_K)$ 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 täzedan gaýtalanýar.

Açylan tranzistorlaryň bazasyndan böküşiň 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 – sygymyň üsti bilen (–) alamatly inýän signalyň akymynyň kesilişi sebäp bolýar.

Eger-de C_1 bilen C_2 – kondensatorlaryň zarýadsyzlanmaklaryna gezekli – gezegine ýapylýan

tranzistorlaryň kollektoryndan sygymalaryň 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 (2-nji çyzygyda - - - çyzyklar). Kondensatorlaryň zarýadlanmagy we zarýadsyzlanmaklary eksponentiň kanuny esasynda bolup geçýär. Bu proses (-E_K) – baha ýetýänçe dowan edýär.

2.7.3. Logiki elementlerden gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.

Awtoyrgyldyly multiwibratorlary И – HE hem-de ИЛИ – HE logiki elementlerden-de gurnap bolýar, sebäbi sifrlil kaskadlaryň çykalgasyndaky güýçlendirijiniň shemasy inwertordyr.

Mysal hökmünde 1-nji çyzygyda logiki elementlerden gurnalan multiwibratoryň shemasy, 2-njy çyzygyda bolsa multiwibratora 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 baglanşykdaýrlar (C₁R₂ we C₂ R₁) şonuň üçin-de zyy bilen (+) – plýus arabaglanşyk döreyär.

3. Shemadaky D₁ we D₂ – diodlar gorajyy bolup hyzmat edýärler, sebäbi olardaky naprýaženiýe (-0,7W) – dan aşak düşmeýärler. Eger-de diodlar ýok bolsa (meselem köýse), onda kondensatorlardan gelýän ummasyz minus naprýaženiýe mikroshemanyň hatardan çykmagyna sebäp bolýar.

4. Shemadaky DD3 bilen DD4 elementler И – logiki elementi emele getirýärler. Bu logiki И – element, haçanda

DD1 bilen DD2 elementlerin girelgelerine birwagtyň özünde ýokary derejeli signal berilende multiwibrator tötänden açylan 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 $R_{\text{ÇYК}}$ – garşylygyň juda kiçiligi sebäpli, shemanyň sag tarapyndaky R_1 – garşylygyň hem-de açylgy duran DD4 elementiň üsti bilen Ýere – birikdirilgi zynjyry emele getirýär.

Shemanyň işleýşi. Goý, DD1 elementiň çykalgasyndaky naprýaženiýe ΔU_1 – ululykda böküp ulaldy, DD2 elementiň çykalgasynda bolsa şonça naprýaženiýe böküp aşak düşdi diýeliň. Şeýle bolanda C_1 – kondensator $R_{\text{ÇYК}}$ – garşylygyň, DD1 – elementiň we R_2 – garşylygyň üsti bilen zarýadlanyp başlanýar. Zarýadlanmagyň dowamy.

Shemada görkezilen R_2 – garşylyga C_1 – kondensatordan düşýän U – naprýaženiýe DD2 – elementiň girelgesinde (+) – plýus polýarlygy üpjün edip, bu DD2 – elementiň açyk ýagdaýynda ($U_{\text{ÇYК2}}=U^0$) saklanmagyna ýardam edýär. Şol bir wagtyň özünde C_2 – kondensator ujypsyz $R_{\text{ÇYК}}$ – 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 ($U_{\text{ÇYК1}}=U$) şeýlelikde, C_1 – kondensatoryň zarýadlanyp başlamagy bilen ondaky tok kiçelip başlaýar. Şonuň üçin-de $R_{\text{ÇYК1}}$ – garşylyga düşýän naprýaženiýeniň DD1 – elementde peselmegine, $U_{\text{ÇYК1}}$ – naprýaženiýeniň ulalmagyna, DD2 – elementiň girelgesindäki U_{gir2} – naprýaženiýeniň kiçelmegine getirýär.

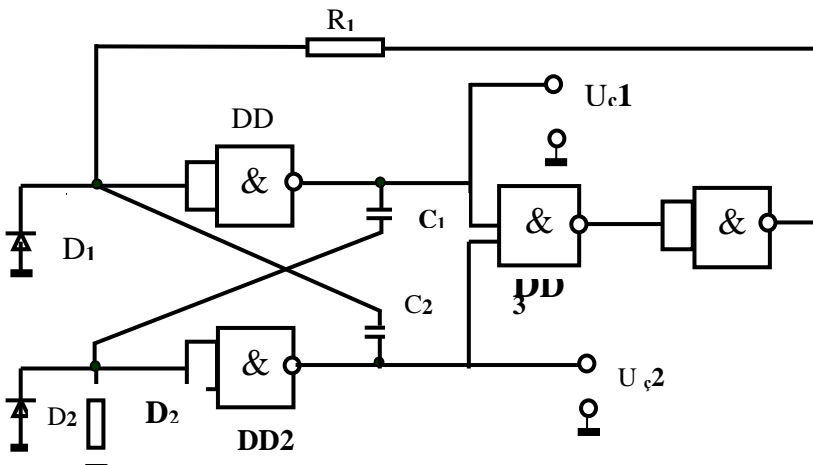
$\tau = C_1 (R_2 + R_{\text{ÇYК}})$ formula bilen anyklanylýar.

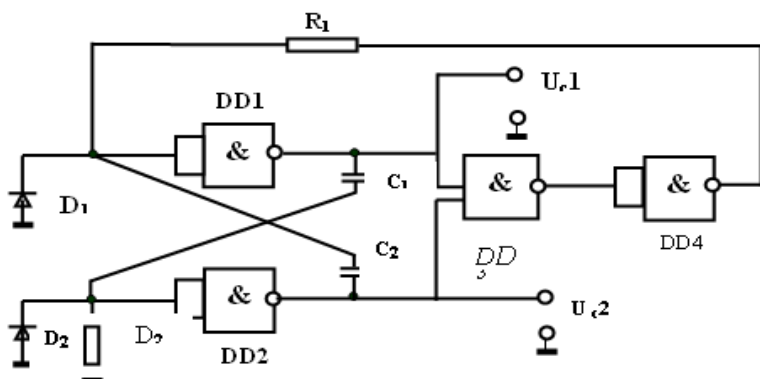
Kä wagtlar U_{gir2} – peselip DD2 – elementiň işleýän nokady öňki ýagdaýynda geçiş häsiýetnamanyň aktiw bölegine geçýär, şonuň üçin-de U_{gir2} – naprýaženiýeniň kesilmegi $U_{\text{ÇYК2}}$ – naprýaženiýeniň ösmegine getirýär. Bu bolsa C_2 –

kondensatoryň üsti bilen DD1 – elementiň girelgesine täsir edýär.

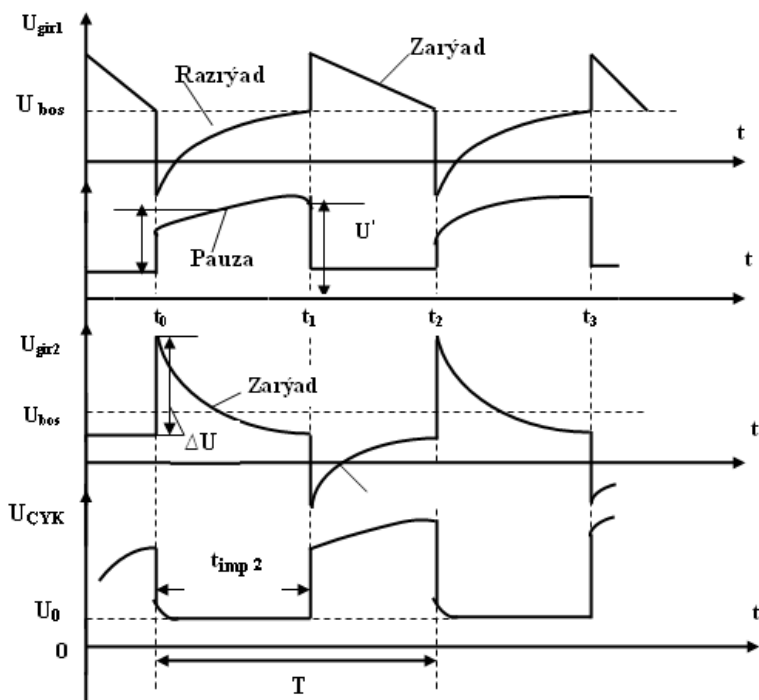
Haçanda U_{gir1} – naprýaženiýe ösüp öz ýetmeli derejesine ýetenden soň, DD1 – elementinde işläp duran nokady öňki iş nokadyndan geçiş häsiýetnamasynyň aktiw bölegine geçýär. Şeýlelikde iki elementiň-de işçi nokatlary aktiw (güýçlendiriji) düzgünde işläp başlaýarlar we yzy bilen (+) – plýus arabaglanşygy güýje girýär, şol sebäpli-de $U_{ÇYK2}$ – naprýaženiýe duýdansyz ulalýar, $U_{ÇYK1}$ – naprýaženiýe bolsa tersine duýdansyz kiçelýär. Netijede DD1 – element açylýar ($U_{ÇYK1}=U^0$), DD2 – element bolsa ýapylýar ($U_{ÇYK2}\approx U$).

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





Surat 31. Logiki elementlerden gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.



Surat 32. Logiki multiwibratordaky signallaryň diagrammalary.

2.8. Bloking generatorlary

2.8.1. Umumy maglumatlar.

Bloking generatory diýip – göniburçly forma boýunça ýakyn, gysga impulsary generirlemek üçin hyzmat edýän güýçli induktiw garşylykly baglanyşykly bolan birkoskadly relaksasion generatora aýdylýar. Bloking generatorynda garşylykly baglanyşyk ýörite impulsly transformatoryň kömegi bilen alynýar. Tejribede başga usul bilen alyp bolmaýan uly generirlenýän impulsalarynyň bolmagy bloking – generatorynyň esasy tapawutlanýan aýratynlyklarynyň biridir. Adatça bloking generatorynyň impulsalarynyň dowamlylygy mikrosekundyň ondan bir böleginden tä millisekundyň ondan bir bölegine çenli ýerleşip biler. Ýygylýgy bolsa on gersden tä ýüz kilogerse çenli bolup biler

Generirlenýän impulsaryň amplidudasy bolsa iýmit çeşmesiniň naprãženiýasyna çenli ýakynlaşyp biler.

Bloking generatory edil awtoyrgyldyly multiwibrator ýaly bolup awtoyrgyldyly režimde işläp biler.

2.8.2. Awtoyrgyldyly bloking generator

Tranzistorda awtoyrgyldyly bloking generatorynyň çyzygydy $p - n - p$ görnüşdedir we wagtlaýyn diagrammalardyr. Tranzistoryň kollektorynda emele gelýän zynjyrda W_k impulsly transformator çatylandyr, bazalar zynjyrynda bolsa bazaly kollektor bilen W_b bazanyň arasyndaky garşylykly baglanyşyk saklanýar. Agram bolsa W_n çykyşa birleşdirilýär, bu hem çykyş impulsyň amplitudasyny we talap edilýän polýarlylygy almaga mümkinçilik berýär, kollektorly we bazaly obmetkalar garşylykly baglanyşygy üpjün etmek üçin birleşdirilendir. Impulsaryň ýygylýgy RC – zynjyr boýunça kesgitlenýär, ol bolsa tranzistoryň bazasyna berkidilýär. Awtoyrgyldyly režimiň çyzygydynda üpjünçilik bolmagy üçin

öz – özünü oýandyryjy şert ýerine ýeter. Loking generaty şu aşakdaky görnüşe eýedir:

$$\begin{aligned} \varphi_k + \varphi_n &= 2\pi; \\ k\gamma/n &\geq 1; \end{aligned}$$

Bu ýerde φ_k - fazaly burç, ol tranzistorly açarda döredilýär. – fazaly burç bolsa impulsly transistor arkaly döreýär. $\varphi_n = W_b/W_k$ transformasiýanyň W_k we W_b impulsly transformatoryň arasyndaky koeffisiýentdir.

Bloking – generatorynyň çyzgydynda fazaly balans şertiniň ýerine ýetirmegi adatydyr.

Tranzistorly açaryň güýçlendirijisiniň koeffisienti aktiw režimiň çäginde aşakdaky görnüşe eýedir:

$$K_{\gamma} / n = h_{21} R' H [n/Rbx + RH'],$$

Yokarda getirilen deňsizligi ulanyp tranzistora toguň geçmeginiň koeffisienti amplidudanyň balansynyň şertiniň ýerine ýetmekligi üpjün edýär we alarys:

$$h_{21} \geq n [1 + (R'bx/RH')],$$

bu ýerde $R'bx = Rbx/n^2$ – kollektorly obmotka üçin giriş garşylygyň açarydyr. Bloking generatorynyň işleýiş mehanizmine seredeliň . Berlen ýagdaýy hökmünde tranzistorlyň ýapyk ýagdaýynda, C kondensator bolsa işiň öňündäki siklinde maksimal naprãženiýa çenli zaryadlanandyr. Ol R rezistor arkaly zaryadlanýar we transistor ýapyk ýagdaýda saklanýar. Haçanda bazada naprãženiýanyň zaryadly döwründe kondensatoryň naprãženiýasyna deň bolan ýagdaýynda nula ýakynlaşýart. Tranzistorlyň kömegi bilen bazaly we kollektorly tok ýuze çykýar. Kollektorly togyň öndirilmegi W_k –ň emele gelmegine getirýär. I1 öz-özüne induksiýa w_b obmatkada özara I2 induksiýa bolsa polýarly baza degişlidir.

Napřaženiýanyň kemelmek prosesinde bolsa we degişli kollektorly hem-de bazaly boguň artmagynda lawinogörnüşli häsiýet we soňunda transistor bilen gutarýar. Sol bir wagtda generirlenýän impuls kesgitlenýär, onuň dowamlylygy bolsa azdyr, bu ýagdaýda kondensatorda napřaženiýe galşyp ýetişmeýär.

Impulsyň dowamlylygy regeneratiw prosesin tizligine baglydyr we şu aşakdaky aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$t\phi = 3n \cdot \tau_{21b} [1 + (R'_{bx}/R_{H'})]$$

Eger $n = n_0 = \omega_b/\omega_k = \sqrt{R'_{bx}/R_{H'}}$ we giriş garşylygyň razylk ýagdaýynda agramyň garşylygy bolen ($R_{bx} = R'_{H}$) regeneratiw tizligi maksimaldyr, frontyň dowamlylygy şu aşakdaky boýunça kesgitlenýär:

$$t\phi \approx 6n_0 \cdot \tau_{21b}$$

Adatça n_0 bahaly 0,1...0,8 predelden saýlaýarlar.

Soňundan impulsyň depesini formirmek başlanýar. Şol bir wagtda toguň bazasy kollektoryň togy bilen dolandyrylmaýar, onuň tizligi bolsa üýtgemegi boýunça nula deň bolýar we ω_b obmatkada l2 gaçyp başlaýar, we ol öz gezeginde bazaly toguň kemelmegine getirýar. Netijede ω_b obmatkada öz-özüne induksiýa ýuze çykýar, ol bolsa bazaly Gogyň kemelmegine päsgel berýar, we şol bir polýarlylyga eýe bolýar, ýagny l2 özara induksiýa bolup çykyş eder. Bu bolsa C kondensatoryň çalt žarýadlanmagyna getirýar. Bazaly toguň az garşylykly emmitter geçişden tranzistoryň we ω_b obmatkanyň napřaženiýasy $U_{cmax} \approx n E_k$ bolar. Şeýlelikde, bu ebapda bir wagtda bazaly toguň ösmegi bilen transformatoryň merkezinde ýuze çykýar. Impulsyň depesini kesgitlemek tranzistoryň geçiş wagtynda gutarýar.

Bu bolsa impulsyň formirlemek prosesiniň gutarmagyna getirýar. Onuň dowamlylygy şu aşakdaky formula boýunça kesgitleňýär:

$$T_i \approx L_k [(n h 21 \div Rbx) - nH2 / RH]$$

bu ýerde L_k – kollektorly obmetkanyň induktiwligi; $nH = wH/wk$ – koeffisiýent wH we wk inpluls transformator bilen obmatkanyň arasyndaky kofisiýentdir. Impulsyň üzülmegi formirlenende kollektor toguň azalmagy $I_{1,2}$ döremegine getirýar. Olaryň polýarlylygy bolsa impulsyň frontynyň kesgitlenmegine getirýar. Garşylykly baglynyşyk hereketine baglylykda garşylykly regeneratiw prosesi ýüze çykýar. Ol bolsa kollektoryň togunyň we bazanyň birden kemelmegine getirýar. Frontyň formirlenmek prosesi we impulsyň üzülmegi adatydyr. Olaryň dowamlylygy bolsa takmynan birmeňzeşdir. Tranzistorlaryň inersiallygy frontyň käbir uzalmagyna getirýar. Generirlenýän impulsyň bolsa kesi;megi tranzistorlar üçin olaryň dowamlylygy nanosekundyň ondan bir bölegine galmaýar. Kollektorly tok tranzistoryň dykylmagy bilen öz-özüne induksiýa ýüze çykýar, ol hem togyň ýitmegine päsgel berýar, we kollektorda naprãženiýanyň otrisatel saýlawy emele gelýar. Soňra zynjyr boýunça kondensatoryň haýal zarýadlanmagy başlanýar, ýagny korpus-obmatka $wb - c - R (- Ek)$, impulslaryň arasyndaky säginmäni kesgitleýär. Bu proses çyzgytda gaytalanýar.

Säginmäniň dowamlylygy şu aşakdaky aňlatma bilen kesgitleňýär;

$$T_p = CR \ln \{ 1 + [U_{cmax} / (Ek + kBo R)] \}$$

Awtotyrgyldyly bloking – generatorly integral mikrosHEMA görnüşinde taýarlanylmaýar. Diňe analogly 119 tapgyrda garaşýan bloking – generatorly garaşýan elementi bar.

2.8.3. Garaşylýan režimde bloking generatorlar.

Bloking – generatorlaryň awtoyrgyldyly režimden garaşýan režime geçirmek aňsatlyk bilen amala aşyrylýar. Onuň üçin baza položitel naprãženiýany bermek zerurdyr.

Eb çeşmäni R1,R2 otrisatel naprãženiýanyň kömegi bilen üpjün edilýär. Ol bolsa Ek umumy çeşmäniň $U_{\text{э}}$ emmitoryndan alynýar. Şoňky çyzgytda giriş impulsynyň amplitudasy $U_{\text{э}}$ ululyga çenli kemelýar. Ýagny goşmaça çeşmede zerurlyk ýüze çykmaýar. Iki ýagdaýda hem transistor çyzgytda gadagan we bloking – generatory durnukly deňagramlylyk ýagdaýynda saklaýar.

C kondensatorlar degişli naprãženiýe bilen zarýadlanandyr;

$$U_c = E_b - /kbo R; U_c = - /kbo R \approx 0$$

Tranzistoryň bazasynda položitel naprãženiýe üpçünçiligi şu aşakdaky aňlatma bilen kesgitläp bolar:

$$U_{B3} = U_c = E_B - /KBO R > 0$$

$$U_{B3} = U_{\text{э}} - /KBO R > 0$$

Eger her bir aýratyn ýagdaýda giriş impulsyň $U_{\text{з}}$ amplitudasy otrisatel polýarlylygynyň derejesini galdyrýar, onda transistor açylýar we regeneratiw proses bloking – generatorynda emele gelýar. Bu ýagdaýda impulsyň öňündäki fronty formirlenýär. Depäni formirlemek prosesi we impulsyň kesilmeginiň akymy awtoyrgyldyly bloking – generatordaky ýaly amala aşyrylýar, şondan soň çyzgytda deňagramlylyk ýagdaýy gaýtalanyp berilýär. э. d. s. forma kollektorly obmatkada degişli aşaky wagtlaýyn diogrammada aperiodik

häsiýetiň otrisatel başlangysynyň köneleşmegi üçin adaçça obmatkany vD diod bilen berkidilýarlar.

Cəkondensator çyzgytda görnüşü ýaly Uənapräženiýanyň hemişelik bolmagy üçin hyzmat edýar.

Saklanýan bloking – generatoryň işlemegi üçin iki usyl häsiýetlendirilýar:

1. Yzygiderli ýerine ýetiriliş
2. Paralel ýerine ýetiriliş

Yzygiderli göýberilişde, haçanda impulsyň göýberiji çeşme bazaly zynjyrdä üzülmäni alyp, bu çeşmäniň az garşylykly bolmagyna üpjün etmeli. Şonuň üçin hem çyzgydyň giriş kaskady hökmünde goşmaça emmitter gaýtalaýjyny ulanýar.

Parallel göýberilişde bolsa, çeşmäniň çykyş garşylygy impuls göýberiji uly bolmalydyr.

Getirilen çyzgyda görä garaşýan bloking – generatorynyň çyzgydy integrally ýerine ýetirilýär. Bu çyzgytda bloking – generator VT3 tranzistorda ýerine ýetirilýar. VT2 tranzistor bloking – generator bilen impuls göýberýän çeşmäniň ylalaşykly bolmagy üçin hyzmat edýar. Impulsdan soňky zyňylmanyň dikelmegi üçin VT1 tranzistor ulanylýar. Ol bir wagtda diodly birleşmani amala aşyrylýar.

R1 rezistor iýmitlenme zynjyry boýunça filtriň elementleriniň roluny ýerine ýetirýär.

Eger çykyş g mikroçyzgydy U u, p iýmitlenme çeşmesi birleşdirmeli bolýar. 6 we 12 çykyşlary C1 we C2 asylygy kondensatopryň kömegi bilen ammmala aşyrylýar. Bu ýagdaýda R3, R4, R5, R6 napräženiýany bölüjiler emele gelýär. Olar VT2 we VT3 tranzistorlary deňagramly durnuklylyk ýagdaýynda üpjün edýar. Şeýlelikde VT2 tranzistoryň giriş ýagdaýynda onuň emitterine položitel napräženiýany ýapýar. Ol bolsa R3, R4 bölekler bilen alynýar (edil bu ýagdaýda meñzeşlikde otrisatel napräženiýe bilen emittere p – n – p transistor üçin alynýar. Çyzgytda hem bloking – generator üçin

parallel göyberiliş üpjün edilýär. Kollektorly obmatka asylyan impulsly tranzistoryň VT1 diodly birleşmesi transistor bilen amala aşyrylýar we ol 3 we 4 çykyşlaryň arasynda ýerleşýar. Bazaly obmatka RC zynjyr bilen 5 çykyş we korpusyň arasynda ýerleşdirilýar.

2.8.4. Sinhozirasiýa režiminde bloking – geratory.

Bloking – generatoryň sinhozirasiýa režimi generasiýada bolmak bilen $f_{sin} \times$ ýygylýan çykyş impulsalaryny daşky sinhorirlenýan awtogenerator bilen berilýar. Onuň üçin bloking – generatorynyň kesgitli zynjyrynda periodic sinhorirlenýan U_{sinx} signaly periodikli bermeklik ýeterlikli uly amplitudada amala aşyrylýar, ol bolsa sinhorirlenýan awtogenerator bilen emele gelýar. Sinhorirlenýan naprãženiýanyň periodiki zygiderligi dürli formany alyp biler. Wagtlaýyn ylylaşyk režiminiň ýitiçüňki impulsy ulanmak bilen syn edilýar. f_{sinx} ýygylgy fU bloking – generatorynyň hususy ýygylgyndan uly bolmalydyr. Goý, bloking - generatorynyň transistor bazasyna sinhroniasyýa režiminde sinhorirlenýan U_{sinx} impulsar täsir edýar. Olar $T_{sinx} < T_{be}$ periodiki ýerine ýetirilýar, bu ýerde T_{be} – bloking – generatoryň hususy yrgyldyly periodydyr. Sinhorirlenen awtogeneratorynyň birleşdirilen wagtynda sinhorirlenýan impulsalaryň wagtlaýyn ýerleşişotnositellikde bloking – generatorynyň hususy impulsar islendik bolup biler. Ilkinji sinhorirlenýan impuls ($t = t_1$ bolan ýagdaýynda) kemelýan UB naprãžniýe bilen transistor bazasynda wagt berýan kondensatoryň wagt beriji periodda bloking – generator zyňylmaýar, impulsyň berlen amplitudasýnda galan naprãženiýe bazada nuldan uludyr. $T_{sinx} < T_{be}$ ýerine ýetirilýar, onda her bir indiki period impulsly tranzistoryň saýlama wagtynda otnositellikde ýerleşýar, entäk impulsalaryň biri tranzistoryň wagtyndan öň saýlawyna çagyryýar. Şeýlelikde, bloking – generatorynyň zyňylma prosesi regeneratiw öşüşe getirýar. Indiki gelýän sinhorirlenýan

impulslar her gezek bloking - generatory zyňanda öňkä görä ir ýerine ýetirilýär ýa-da R rezistoryň üstünden C kondensator wagt beriji razrýadyndan emele gelmeginden öň ýerine ýetirilýär. Çyzgytda stasionar režim gurnalýar, ýagny Tçykyş bloking – generatorynyň çykyş impulsynyň gaýtalanýan periodynda sinhorizasiýa režimde sinhorizasiýa impulsynyň gaýtalanmak periodyna deňdir. Eger sinhorirlenýan impulsyň ýygylgy $f \sin x = n f_{be}$ bolsa, onda n – berlen bitin san, ýygylgyň bölünme koeffisiýenti diýilýär, onda bloking – generatory ýygylgy bölmek režiminde işleýär, daşky sinhorizasiýa naprãženiýe almak režiminde amala aşyrylýar. Mysal üçin, $n=3$ bolanda uzaga çekýän bloking – generator zyňlmasy her bir üçünji sinhorirlenýän impulsyň her bir üçünji herekedinde ýüze çykýar. Soňky çyzgytdan görnüşi ýaly ýygylgyň bölünme U_m amplituda bagly bolýar. $T \sin x$, T_{be} , U_m parametrleriň dürli bahalaryny bermek bilen ýygylgy bölmekden islendik režimi alyp bolýar.

2.9. Hemişelik we üýtgeýän naprãženiýäniň impuls özgerdijileri, göneldijiler

2.9.1. Umumy maglumatlar.

Iýmitlendiriji elektrik çeşmelerini, umuman iki topara bölmek adaty ýagdaý hasap edilýär:

1) Ilkinji we 2) Ikilenji hasap edilýän elektrik çeşmeleridir:

Ilkinji elektrik çeşmeleri diýlip, elektrik däl energiýalary, elektrik energiýasyna öwürijilere aýdylýar. Meselem : -mehanika, himiýa, ýadro, ýylylyk, Gün ... ýaly energiýalary öwüriji elektrik generatorlaryna ilkinji çeşmeler diýilýar.

Ikilenji elektrik çeşmeleri diýlip, hakyky (ilkinji) elektrik çeşmelerinden gelýän elektrik energiýasyny belli bir derejede hil taýdan gowy saklamak üçin ulanylýan

gurnamalara aýdylýar. Meselem:- stabilizatorlar, transformatorlar, parametrlerini üýtgedip dolandyryp bolýan çeşmeler, diodly, tranzistorly göneldiji çeşmeler we ş.m.

Ikilenji çeşmeleriň çykalgalarynyň sanyna laýyklykda bir çykalgaly ýa-da birnäçe çykalgaly çeşmeler bolup bilýär.

Ikilenji çeşmelerdäki toklaryň görnüşlerine laýyklykda çeşmeleri şu aşakdaky toparlara bölüp bolýar:

- Üýtgeýän tokda (köplenç 50Gs-de) işleýän ikilenji çeşmeler;

- Hemişelik tokda işleýän ikilenji çeşmeler;

-Çykalgasy uniwersal (hemişelik we üýtgeýän naprýażeniýeleri dürli ululykda alyp bolýan) ikilenji çeşmeler.

Diýmek, toklaryň jynslaryna laýyklykda ikilenji iýmitlendiriji çeşmeler

(IIÇ-ler) çykalgasynda hemişelik ýa-da üýtgeýän toklary bilen-de tapawutlanýarlar .

IIÇ-leriň kömegi bilen elektrik energiýasyny dürli görnüşlere özgerdip bolýar, meselem:

c) Elektrik ýüki üçin talap edilýän üýtgeýän toguň san bahalaryny almak maksady bilen IIÇ-leriň çykalgalary takyk kanallar bilen üpjün edilýär.

d) Üýtgeýän toguň naprýażeniýesini hemişelik toguň naprýażeniýesine özgertmek (göneltmek)

e) Hemişelik toguň naprýażeniýesini bir ýa-da köpfazaly üýtgeýän toguň naprýażeniýesine özgertmek (inwertirleýji);

f) Hemişelik toguň naprýażeniýesini başga san bahaly hemişelik toguň naprýażeniýesine özgertmek ýa-da birnäçe dürli-dürli san bahalary berip bilýän (konwertirleýji).

g) Hemişelik we üýtgeýän toklary sazlamak ýa-da hemişelik (stabil) saklamak .

a)Çykalgasyndaky naprýażeniýeleriň san bahalary pesi 100W çenli, ortaragy 100-den 1000 W çenli we ýokary 1000 W-dan uly bolýar;

b) Pulsirlemegiň koeffisiýentiniň bahalarynyň pesi 0.1%-den az, ortaragy 0.1%-den tä 1%-e çenli, 1%-den uly bolsa, ýokary hasaplanýar;

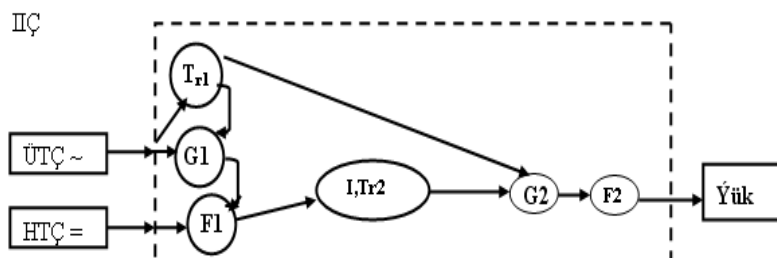
ç) Çykalgasyndaky kuwwaty boýunça- mikrokuwwatly (1Wt-a çenli), (1Wt-dan 10Wt-a çenli) peskuwwatly, (10Wt-dan tä 100Wt-a çenli) ortakuwwatly, 100Wt-dan 1000Wt-a çenli ýokarlandyrlan hem-de has ullaşany 1000Wt-dan ýokary.

d) Stabilizirleýji IİÇ-leriň çykalgasynda naprýaženiýeleriň summirlenişiniň stabsizligi: 5%-den ýokary bolsa pes, 1%-den tä 0.5%-e çenli-ortarak, stabsizligi 0.1%-den tä 1%-e çenli-ýokary hem-de stabsizligi has ýokary 0.1%-den kiçi bolanda aýdylýar.

Mysal hökmünde 1-nji çyzgyda görkezilen çykalgasy diňe hemişelik tok üçin, birkanally stabsiz IİÇ-leriň funksional shemasyna seredeliň.

2.9.2. Çyzgydaky şertli belgileriň okalyşlary.

ÜTÇ- Üýtgeýän toguň çeşmesi; HTÇ-Hemişelik toguň çeşmesi; G1 we G2- göneldijileriň shemasy; I- inwertor; Ý- ýük, IİÇ- ikilenji iýmitlendiriji çeşme; Tr1- Çeşmäniň transformatory, Tr2 -inwertoryň transformatory, F1-hemişelik toguň çeşmesini goraýjy, F2- Düzleýji (filtr) süzgüç.



Surat 33. Ikilenji iýmitlendiriji çeşmäniň funksional shemasy.

2.9.3. Göneldijileriň görnüşleri we olaryň parametrleri.

Göneldijileriň nyşanlaryna laýyklykda şu aşakdaky görnüşlere bölmek bolýar:

a) Göneldiji elementleriň görnüşlerine görä:- elektronly, ionly, ýarymgeçirijili, dolandyryp bolýan we dolandyryp bolmaýan;

b) Göneldilmeli naprýaženiýeniň ululygyna görä: -pes 1000 W –a çenli, we ýokary 1000 W –dan ylu naprýaženiýeler üçin;

ç) Çykalgasyndaky kuwwatyna görä: - kiçi kuwwatly (1kWt- a çenli), uly kuwwatly (1kWt-dan ýokary) göneldijiler;

d) Iş düzgünleri boýunça görnüşleri: -uzak wagtlaýyn, gysga wagtlaýyn, impulsly, gaýtalanyp-gysgawagtdan işläp bilýän göneldijiler;

k) Ýüküň häsiýetlerine görä:- aktiw, induktiw, sygym we aktiw-induktiw ýa-da aktiw-sygym häsiýetli;

m) Göneldiji shemalaryň ýygnaýşyna görä:- birtazaly, köpfazaly, birtaktly, ikitaktly, naprýaženiýeni köpeldijiler;

Göneldijileriň shemalary dürli-dürli görnüşde bolup bilerler:

a) Her ýarymperiodda elektrik ýükünden akyp geçýän toguň häsiýetlerine görä;- şular ýaly göneldijiler birýarymperiodly (birtaktly) we ikiýarymperiodly (ikitaktly) shemalara bölünýärler.

Birýarymperiodly göneldiji çeşmelerde transformatoryň ikinji sargysyndaky togunyň diňe ýarym periody akyp geçýär, ikiýarymperiodly göneldijilerde bolsa ýarymperiodlaryň ikisinde yüküň garşylygynda belli (takyk) bir tarapa akdyrylýar.

b) Göneldijilere berilýän üýtgeýän toguň fazalarynyň sanyna görä bölünýärler.

Çeşmeleriň ýa-da transformatorlaryň gurluşlaryna we görnüşlerine laýyklykda göneldijiler birlazaly, üçfazaly, altyfazaly we köpfazaly ýaly görnüşlere bölünýärler.

ç) Göneldilýän fazalaryň m -sanyna görä shemalary $m = p \cdot q$ formula bilen düşündirip bolýar.

Bu ýerde: p – üýtgeýän naprýaženiýelerde göneldilýän fazalaryň sany,

q – işleýän göneldiji elementlerdäki üýtgeýän naprýaženiýeniň ýarymperiodlarynyň sany.

Göneldiji gurnamalary (ikilenji çeşmeleri diýseň-de bolýar) şu aşakdaky parametrleri bilen häsiýetlendirýärler:

1.Çykalgasyndaky parametrleri bilen;

2.Göneldiji elementleriň parametrleri bilen;

3.Çeşmedäki transformatoryň parametrleri bilen.

Bu parametrlere aýratynlykda seredip geçeliň.

1.Çykalgasyndaky parametrleri:

a) U_d – göneldilen naprýaženiýeniň ortaça bahasy;

b) I_d – göneldilen toguň ortaça bahasy;

ç) $P_d = U_d \cdot I_d$ – göneldilen toguň zynjyryndaky kuwwaty;

c) f_{p1} – göneldilen (pulsirlenen diýseňde ýalňyş bolmaz) naprýaženiýeniň esasy (birinji) gormonikasynyň ýyglylygy;

$k_p = \frac{U_{1m}}{U_d}$ pulsýň ululygyny anyklaýan koeffisiýent.

2.Göneldiji elementleriň parametrleri:

a) I_{ort} , $I_{täş}$, I_{max} –göneldilen toguň ortaça, täsir we maksimal bahalary;

c) $U_{ters, max}$ –dioda düşýän ters naprýaženiýeniň maksimal bahasy.

3.Çeşmä birikdirilen transformatoryň parametrleri:

I_1 , I_2 ; U_1 , U_2 – birinji we ikinji sargylardaky toklaryň we naprýaženiýeleriň täsir bahalary ;

b) $S_1 = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1$ – birinji sargynyň doly kuwwaty;

$S_2 = m_2 \cdot U_2 \cdot I_2$ – ikinji sargynyň doly kuwwaty;

m_1 - birinji sargydaky fazalaryň sany;
 m_2 – ikinji sargydaky fazalaryň sany;

$$S_{tr} = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

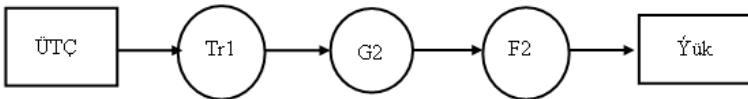
ç) Transformatoryň birinji we ikinji sargylarynda ulanylýan koeffisiýentler.

$$\mathbf{k}_1 = \frac{P_d}{S_1}; \mathbf{k}_2 = \frac{P_d}{S_2}; \mathbf{k}_{Tr} = \frac{P_d}{S_{Tr}}$$

2.9.4. Göneldijileriň birfazaly shemalary.

Kesgitlemesi: Göneldijiler diýlip, üýtgeýän toguň naprýaženiýesini hemişelik toguň naprýaženiýesine talabalaýyk göneldip bilýän gurnamalara aýdylýar.

Göneldijileriň düzümi (gurluşlary) Mysal hökmünde 2-nji çyzgyda üýtgeýän naprýaženiýe bilen togy hemişelik toga we naprýaženiýä öwürýän göneldijiniň funksional shemasy görkezildi.



Surat 33. Göneldijiniň funksional shemasy.

Görkezilen shema, dolandyryp bolmaýan birfazaly transformatorly göneldijileriň içinde iň köp ýaýranydyr. Muňa garamazdan bular ýaly göneldijileriň kem tarapy-da bardyr, ol hem 50Gs işleýän birfazaly transformatorlaryň aşa uly görümi bilen massasy umumy görüminiň we massasynyň 50% -nden-de köpdügidir. Düzleýji F2-süzgüç (filtr) hem özüniň induktiw tegegi bilen ullaňan görümi we massasy bilen tapawutlanýarlar.

Häzirki döwürde şu aşakdaky funksional shema has giňişleýin ulanyň başlady.



Surat 34. Inwertorly, tranzistorly göneldijiniň funksional shemasy

Bu hödürülenilýän funksional shemanyň gowy diýlip hasap edilýänliginiň sebäpleri:

a) Shemasyňa hiç hili üýtgeşmeler girizmezden bu shemalary 50, 400 we 1000Gs ýyglyklarda işledip bolýanlygyndadyr;

b) Şeýle shemalarda ulanylýan iki sany transformatoryň kuwwatларыnyň özära deňliklerine garamazdan, inwertli T_{r2} – transformator çeşmaniň

T_{r1} – transformatoryň massasyndan we görüminden $10 \div 100$ esse kiçidir we onlarça kilogerslerde-de işläp bilýänligindedir.

3-nji çyzgydaky F_1 we F_2 süzgüçler (filtrler) göneldilen impulsalaryň örküçlerini düzleýji süzgüçleriň funksiýalaryny ýerine ýetirýärler. G_1 we G_2 – göneldiji elementler.

2.10. Bir- we iki ýarymperiodly göneldijileriň shemalary.

Birfazaly göneldijileriň iş düzgünlerine düşünmek üçin transformatorly çeşmä birikdirilen göneldijileriň in ýönekeyine seredeliň. Göneldijilerde bolup geçýän fiziki hadysalar özleşdirlende transformator bilen diodlary ideal diýlip kabul edýärler. Şonuň üçin-de, ideal transformatorlaryň sargylaryndaky aktiw we reaktiw garşylyklary nula deňdir, ýagny $R_{Tr} \approx 0$; $X_{Tr} \approx 0$.

Ideal diodlaryň hem göni (geçirýän) tarapyna garşylyklary nula deň diýlip, ters (geçirmeýän) tarapynda bolsa garşylyklary tükeniksizlige ymtylýar diýlip kabul edilýär.

1-nji çyzgyda birfazaly, birýarymperiodly göneldijiniň shemasy hem-de onuň t-wagt boýunça iş diagrammasy 2-nji çyzgyda görkezildi.

1-nji we 2-nji çyzgylarda ulanylan şertli belgiler:

U_1 – transformatoryň birinji sarymyndaky naprýaženiýe;

U_2 – transformatoryň ikinji sarymyndaky naprýaženiýe;

i_d we U_d – diodyň degişlilikde togy we naprýaženiýesi;

i_2 – transformatoryň ikinji sargysyndaky tok;

$U_{tres,max}$ – dioda düşýän ikinji ters naprýaženiýeniň maksimal bahasy;

D – ýarymgeçiriji diod;

T – elektrik çeşmesine birikdirilýän transformator ;

Eger-de göneldijiniň T_r – transformatoryny sinus görnüşli üýtgeýän (1-nji çyzgy) U_1 – naprýaženiýe bilen ýymitlendirsek, onda transformatoryň ikinji sargysynda sinus görnüşli e_2 -EHG döreyär. Bu e_2 -EHG ululygy we formasy boýunça U_2 – naprýaženiýä deňdir. (2-nji a-çyzgy)

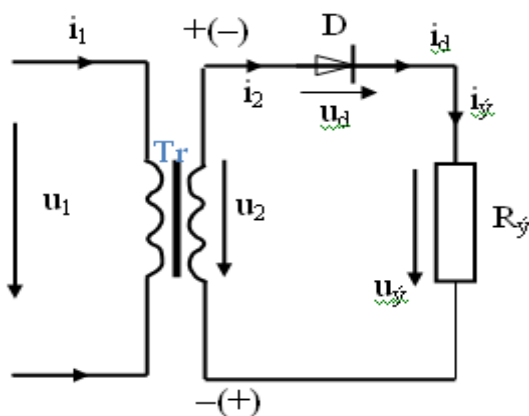
Diagrammadan we shemadan görnüşi ýaly 0-dan π - aralykda diodyň anody (+)-plýus alamatly naprýaženiýä duçar bolýar, D-diod açylýar we U_2 – naprýaženiýäniň täsirinden transformatoryň ikinji sargysynda i_2 – dioddan i_d , elektrik yükünden i_y toklar akar. Diýmek, D-diod 0-dan tä π çenli

naprýaženiýeniň plýus potensialynda açyklygyna galýar we beýleki (+)-plýus ýarymperiodlarda-da bu proses gaýtalanýar (2-nji b-çyzgy).

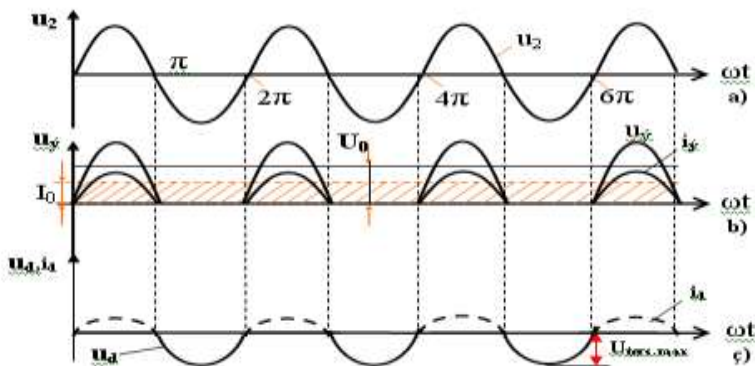
Şeýle polýarlyk 1-nji çyzgyda (+) we (-) alamatlar ýaý içine alynmady. Polýarnostyň üýtgeýän pursatlaryny bolsa ýaý içine (+) we (-) alyndy. Şeýle ýagdaýda diodyň anodyna (-), katodyna bolsa (+) alamatly potenciallar düşýär. Bu aralyk π - den tä 2π çenli dowam edýär. Diýmek, dioda ters alamatly naprýaženiýe berilýär. Ters polýarnostda dioddan, ýüküň R_{γ} -garşylygyndan we transformatoryň ikinji sargysyndan tok akmaýar.

Şeýlelikde, R_{γ} – garşylykdan akýan tok puls görnüşi bolar. Bu impulslaryň dowamy (+) ýarymperioda deň bolup, formasy we ugry diňe birtaraplaýyndyr hem-de (+) plýus alamatlydyr (2-nji b-çyzga seret).

Diýmek göneldilen U_1 – naprýaženiýeniň-de formasy 2-nji b-çyzgyda görkezilen diagramma meňzeşdir.



Surat 35. Birýarymperiodly birtaktly göneldijiniň shemasy.



Surat 36. Birýarymperiodly göneldijiniň t -wagta görä diagrammasy :
a-ikilenji çesmäň diagrammasy, **b**-göneldilen tok we naprýaženiýe,
ç-dioda düşýän ters naprýaženiýe.

Göneldiji naprýaženiýe öz düzüminde hemişelik U_0 – düzüjisinden hem-de birnäçe garmoniki düzüjilerinden emele gelip, olaryň özära garylmaklarynyň netijesinde pulsirleýji formanyň döremegine sebäp bolýarlar. Ýokarda seredilen göneldijiniň shemasy üçin (1-nji çyzgy seret) fazanyň sany $m=1$, sebäbi bir periodyň dowamynda elektrik ýüküniň R_{γ} – garşylygynyň üstünden bir impuls geçýär. Toguň I_0 – hemişelik düzüjisi transformatoryň ikinji sargysyndan akyp geçende transformatoryň poladyny magnitlendirýär. Magnitleniş hadysa transformatoryň parametrleriniň hiliniň peselmegine getirýär hem-de polat-demirdäki ýitginiň artmagyna, transformatoryň boş iş düzgünindäki toguň ulalmagyna getirýär. Bu ýitgileri azaltmak üçin polat-demiriň kese-kesiginiň meýdanyny ulaltmaly bolýar, bu bolsa transformatoryň göwrüminiň we massasynyň artmagyna getirýär. Seredilýän shema üçin, göneldilen naprýaženiýeniň impulsynyň ýygylgy 50Gs (senagatlarda ulanylýan ýygylk) diýlip alyndy, hemişelik düzüjisi bolsa

$$\frac{U_{0=U_m}}{\pi} = 0,318 \cdot U_m \text{ deňdir}$$

Ikiýarymperiodly göneldijileriň shemalaryna seredeliň.

Ikiýarymperiodly göneldijileriň iki görnüşli shemalary bardyr.

Birinji transformatoryň ikinji sargysy ýörite neýtrallaşdyrlyp, bary-ýogy iki sany ýarymgeçiriji diod bilen (3-nji çyzgy) amala aşyrylýar. Degişli diagrammalary 4-nji çyzgyda görkezildi.

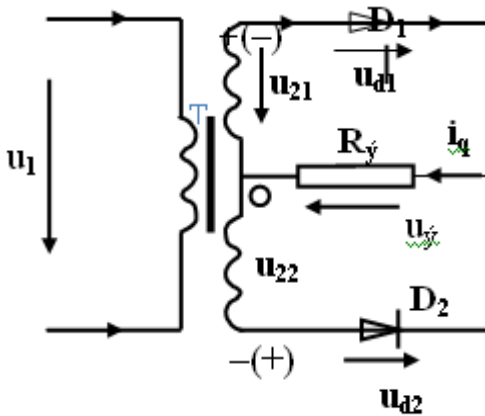
Ikinji köprüli shemadyr (5-nji çyzga seret). Bu shemada transformatoryň ikinji sargysynda dört sany diodly-ýörite shema bilen birleşdirlip, olaryň bir dioganylyna transformatoryň ikinji sargysy, beýleki dioganylyna bolsa R_{γ} – garşylyk birleşdirýärler. Şeýle shema köprüni ýada salýar, şonuň üçin-de köprüli shema diýilýär.

Degişli diagrammalary 6-njy çyzgyda görkezildi. Bu iki shemalaryň işleýiş düzgünlerine aýratynlykda seredeliň. 3-nji çyzgyda çeşmä birikdirilen T – transformatoryň birinji sargysy bir sany tegekden gurnalan bolsa, onda ikinji sargysynyň ortarasyndan 0 – potensialy sim çykarýanlygy üçin, bu transformatoryň ikinji sargysy iki tegekden gurnalan diýseňde kän bir ýalňyş bolmaz. Şonuň üçin-de, transformatoryň ikinji sargylary özara ylala ykly hem-de zygiderli birikdirilen tegekler diýip-de bileris.

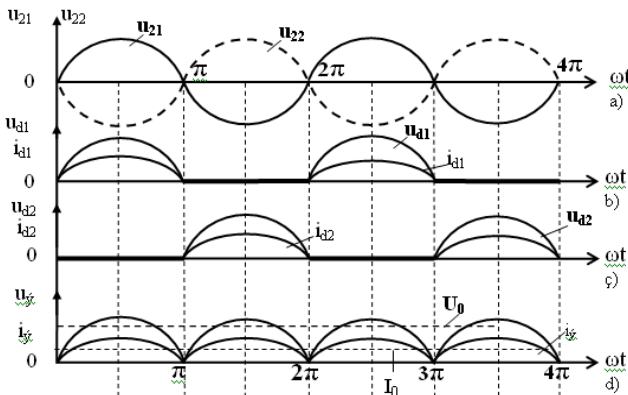
Transformatoryň ikinji sargysyny emele getirýan her bir tegek öz diody hemde O-nokada birleşdirilen ýükiň R_{γ} – garşylygy bilen birleşdirýär. Diodlar yüke göre anody ýa-da katody bilen birleşdirilip bilner. Berilen shema iki sany birýarymperiodly göneldijileriň gezekli-gezegine goşulyp işlemekleriniň netijesidir diýip bileris. Shemanyň işleýiş düzgünini şu aşakdaky tertipde düşündirip bileris:

Eger-de, birinji ýarymperiodda (O - π aralyk) ýokarky tegegiň çykalgasy O-nokada göre (+), aşaky tegegiň çykalgasy (-) minus potensial diýip kabul etsek (3-nji çyzgyda ýaý içine salynmadyk „+“ we „-“ alamatlar), onda

D_1 – diod açık bolar,sebäbi onuñ anody (+), katody bolsa (-) potentsiallara eýe bolarlar. Netijede, D_1 – diod bilen $R_{\dot{y}}$ – ýükiñ üstlerinden $i_{d1}=i_{\dot{y}}$ tok akar (6-njy b çyzga seret).Emma, diod D_2 – ýapyk bolar we oña ters naprýażeniýeniñ iki esse ($U_{ters}=2U_{2maks}$) maksimal bahasy düşer. Bu ýerde U_{2m} – transformatoryñ ikinji sargysy hasap edilýän tegekleriñ ikinjisiniñ maksimal naprýażeniýesiniñ san bahasydyr, munuñ sebäbi D_1 – diodyñ açık wagty D_2 – diodyñ katodyna (+) potensial, anodyna bolsa (-) potensial düşýär.



Surat 37. Iki dioddan gumalan ikiýarymperiodly birtakly göneldijiniñ shemasy.



Ikinji ýarymperiodda bolsa D_2 – diod açylýar, çünki ikinji D_2 – diodyň anodyna (+), katodyna bolsa (-) potensial düşýär, sebäbi transformatoryň ikinji sargysyny emele getirýän tegekleriň birinjisiniň çykalgasy (-) minus potensiala öwrülýänligi üçindir.

Şeýlelikde ikinji D_2 – diod bilen R_y – ýüküň üstlerinden $i_2 = i_y$ tok akar (4-nji ç- çyzga seret). Diýmek, D_1 we D_2 diodlar gezekli-gezegine işleýärler. Şonuň üçin-de bir periodyň dowamynda R_y – garşylykdan akýan i_y -tok i_{d1} -bilen

i_{21} – toklaryň jemine deň bolar, ýagny $i_y = i_{d1} + i_{d2}$ bolar. Impulsyň sany bolsa $m=2$ bolar, ýagny iýmitlendiriji EHG-niň ýygylgy 50Gs bolsa, onda impulslaryň ýygylgy iki esse köp bolar. ($f_{puls} = 2f_{çeşme} = 2 \cdot 50 = 100Gs$ bolar).

Ikiýarymperiodly göneldijilerde transformatoryň ferromagnit demiri magnitlenmeýär, sebäbi göneldilen toguň hemişelik düzüljileri özara tersdirler. Bu shemalarda göneldilen naprýaženiýeniň we toguň hemişelik düzüljisi birýarymperiodly bilen deňeşdirilende iki esse köpdür. $U_0 = 0,634 \cdot U_m$;

$$I_0 = 0,634 \cdot I_m$$

Ikiýarymperiodly göneldijiniň köprüli shemasy 5-nji çyzgyda, onuň iş düzgüniň diagrammalary 10.9-njy çyzgyda görkezildi.

Çeşmä birikdirilen transformatoryň ikinji sargysynda bary-ýogy bir sany tegek bolup, köprini emele getirýän diodlaryň sany dörde deňdir. (D_1, D_2, D_3 we D_4).

Köprüli shemanyň bir dioganaly transformatora birleşdirilse, ikinji dioganaly ýüküň R_y – garşylygyna birleşdirilýär.

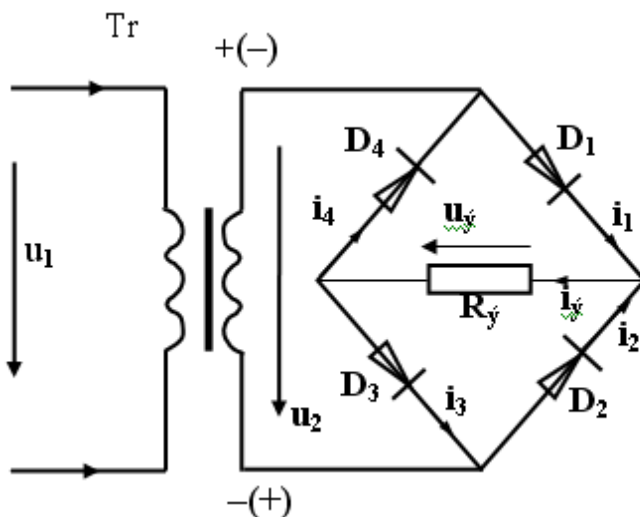
Köprüli shemany emele getirýän diodlar özära birleşdirilende naprýaženiýeniň her bir ýarymperiodyna iki sany zygider birleşdirilen diod düşýär. Shema üns berip seretseniz D_1 -bilen D_2 diodlaryň umumy nokady emele getirýän katodlary (+) – plýus potensiala eýe bolsa, onda D_3 bilen D_4 diodlaryň

umумы nokady emele getirýan anodlary (-) – minus potentsiala eýe bolýarlar.

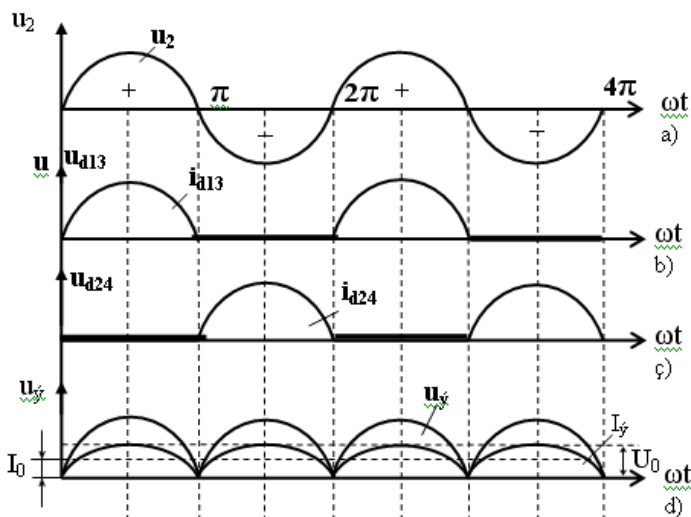
Eger-de, transformatoryň ikinji sargysynyň ýokarky çykalgasynyň potentsialyny (+) – plýus, aşaky çykalgasyny bolsa (-) – minus diýip kabul etsek, onda sinus boýunça üýtgeýän U_2 – naprýaženiýeniň birinji ýarymperiodyna gabat gelýär diýiligidir (6-njy a hem-de b – çyzgylardaky diagrammalara serediň)

.Netijede, D_1 , D_3 – diodlardan akýan göni i_{d1} we i_{d3} – toklar $R_{\dot{y}}$ - garşylygyň üstünden akýan tok sagdan – çep tarapa bolar (5-nji çyzgydaky shemany yzarla!). Diýmek U_2 – naprýaženiýeniň birinji ýarymperiodynda D_2 bilen D_4 – diodlardan tok akmaz, sebäbi olaryň anodlary bilen katodlaryna düşýän naprýaženiýe alamatlary boýunça tersdirler. Şonuň üçin-de birinji ýarymperiodyda bu diodlar ýapykdyrlar. Sinus grafiğiň ikinji ýarymperiodynda D_1 bilen D_3 - diodlar ýapyk bolup, D_2 bilen D_4 – diodlar açylýar. Sebäbi bu diodlaryň anodlaryna (+) – plýus, katodlaryna bolsa (-) – minus potentsiallar düşýär (5-nji çyzgyda transformatoryň ikinji sarymynda görkezilen ýaýiçindäki (+) we (-) alamatlary serediň)

Diýmek $R_{\dot{y}}$ – garşylykdan akýan $i_{\dot{y}}$ tok $i_{\dot{y}} = i_{d13} + i_{d24}$ bolar. Bu toklaryň ikisi-de $R_{\dot{y}}$ – garşylykda ugurlary boýunça bir tarapa akarlar (meselem, biziň seredýän shemamyzda sag tarapdan çep bolar).



Surat 39. Köprüli ikiýarymperodly göneldijiniň shemasy



Surat 40. Ikiýarymperodly köprüli göneldijiniň t - wagta görä diagrammasy

Köprüli shemada hem, impulsyň sany $m=2$ bolar, sebäbi bir perodlyň dowamynda R_y – garşylykdan

naprýaženiýeniň (ýa-da toguň) iki sany impulsy geçýär. Diýmek, elektrik ýükdäki ýygylygyň pulsý çesmäniň ýygylygynyň pulsundan iki esse köp bolar ($f = 2 f_c = 2 \cdot 50 = 100$ Gs).

Diýmek, her ýarymperiodda iki sany diod açyk bolsa, beýleki ikisi ýapyk bolýarlar. Şonuň üçin-de (diodlaryň açyk wagtlary olaryň içki garşylyklary nula deň bolýandyklary, ýapyk wagtlary bolsa içki garşylyklary tükeniksizlige deň bolýandyklary sebäpli) D_1 bilen D_3 – diodlardan göneldilen tok aksa, beýleki D_2 bilen D_4 – diodlardan tok akmaýar we tersine.

Diodlara düşýän ters naprýaženiýeniň maksimal $U_{\text{ters.m}}$ – bahasy transformatoryň ikinji sargysyndaky $U_{2\text{max}}$ – naprýaženiýesiniň maksimal bahasyna deňdir, ýagny $U_{\text{ters,max.}} = U_{2\text{max}}$ bolar.

2.11. Signallaryň örküçlerini düzleýji elektrik süzgüçleri (filtrleri).

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

∞

$$u = U_0 + \sum U_{mk} \cdot \sin(k\omega t + \psi_k), k=1$$

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 – garmonikalý düzüjileri- de bardyr. (Bu ýerde $k= 0,1,2,3$).

Eger-de k – garmonikalý 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_{plgir}) – puls koeffisiýentiniň, süzgüjiniň çykalgasyndan elektrik ýüküne berilýän şol garmonikadaky (k_{plcyk}) – puls koeffisiýentine bolan gatnaşygy bilen häsiýetlendirilýär.

$$q = \frac{k_{plgir}}{k_{plcyk}}$$

Öz gezeginde puls koeffisiýentleriniň taplyşlary:

$$k_{plgir} = \frac{E_{ml}}{E_0} \quad k_{plcyk} = \frac{U_{ml}}{U_0}$$

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

E_0 – süzgüjiň girelgesine berilýän göneldilen naprýaženiýeniň ortaça bahasy;

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

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

$$q = \frac{k_{plgir}}{k_{plcyk}} = \left(\frac{E_{ml}}{E_0} \right) : \left(\frac{U_{ml}}{U_0} \right) = \left(\frac{E_{ml}}{U_{ml}} \right) * \left(\frac{U_0}{E_0} \right) = k_f * \lambda$$

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

$\lambda = -$ süzgüjiň girelgesinden çykalgasyna iberilýän hemişelik naprýaženiýe boýunça geçiriş koeffisiýenti.

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

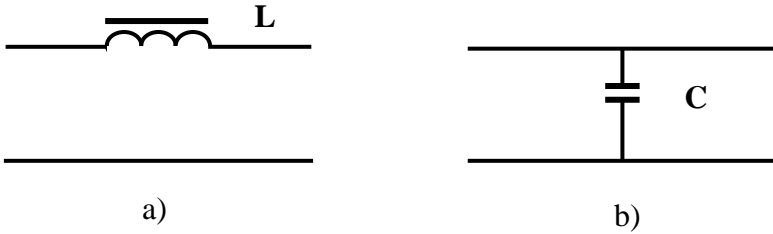
Köplenç ýagdaýlarda elektrik ýükünde puls koeffisiýentiniň bolaýjak bahasyny nirede we nähili şertde ulanyljakdygyny zawodlarda öndürilende göz önünde tutýarlar. Emma, süzgüjiň girelgesindäki puls koeffisiýenti bolsa, göneldiji gurnamanyň shemasy bilen kesgitlenilýär.

Signallaryň örküçlerini düzleýji süzgüçleri iki topara bölýärler:

a)Reaktiw elementlerden gurnalan süzgüçler (passiw süzgüçler);

b)Elektron elementlerden gurnalan süzgüçler (aktiw süzgüçler).

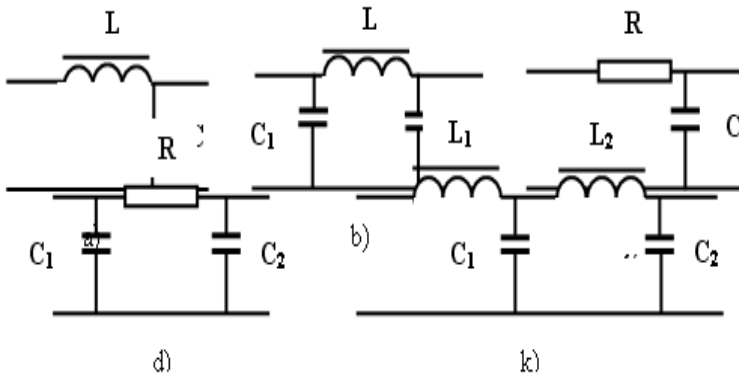
Öz gezeginde, passiw süzgüçleri yönekey we çylşyrymly toparlara bölýärler. Ýönekey süzgüçler bir sany sygyndan ýada bir sany induktiw tegekden durýar (27-nji a, b çyzgylara seret). Induktiw tegeklere halkara möçberinde **drossel** hem diýilýär (**Drossel** – nemes sözi – içi ferromaterially induktiw tegek – diýmekdir). 27 – nji çyzgyda yönekey süzgüçleriň shemalara birleşdirilişleri görkezildi.



Surat 27. Yönekeý süzgüçleriň shemalara birleşdirlişi.

Çylşyrymly süzgüçler birhalkaly we köphalkaly bolup bilerler. Süzgüçleriň her bir halkasy Γ – ýa-da Π – görnüşde ýygnalýar. Ýygnalan süzgüçler drossel – kondensator (**LC** – tipli süzgüçler) ýa-da Rezistor – kondensator (**RC** – tipli süzgüçler) görnüşli bolup bilerler. 28 – nji çyzygyda passiw süzgüçleriň dürli görnüşlerinden birnäçe mysallar getirildi:

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



Surat 28. Passiw süzgüçleriň dürli görnüşlerinden birnäçe mysallar.

Reaktiw elementlerden ýygnaýan süzgüçleriň iş düzgünleri, olaryň reaktiw garşylyklarynyň f – ýygnylykdan baglanyşygy bilen kesgitlenilýär.

$$X_L = 2\pi fL; \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Bu formulalardan görnüşi ýaly, f – ýygnylyk näçe köp bolsa, şonça-da X_L – uludyr, X_C – bolsa şonça-da kiçidir. Diýmek, göneldilen napryaženiýeniň impulsynda bar bolan ýygnylyklara görä L bilen C – niň ululyklary saýlanyp seçilýär.

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

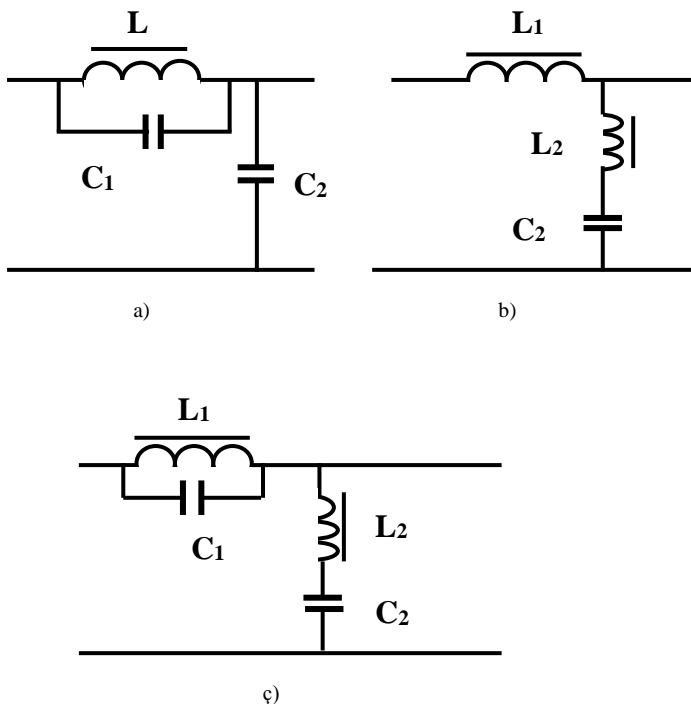
RC – süzgüçleriň iş düzgüni bolsa geçiş prosesiniň wagt hemişeligi $\tau=RC$ görnüşde anyklanylýar, hem-de göneldilen napryaženiýeniň düzümindäki garmonikalaryň periodlaryna-da baglydyr. Impulslaryň ýumşamak şerti $\tau \ll T_k$ bolanda amala aşýar (Bu ýerde T_k – garmonikanyň peridy).

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

Gurluşlary boýunça has çylşyrymly passiw süzgüçlerde duş gelinýär, meselem: – napryaženiýeniň rezonansyndan peýdalanmak (režektorly süzgüçler)ýa-da toguň rezonansyndan peýdalanmak (toga böwet döredýän süzgüçler), ýa bolmasa iki rezonansy-da bilelikde peýdalanmak.

Çylşyrymly süzgüçleriň birnäçe shemalary 28- nji çyzgyda görkezildi:

- a) Γ – görnüşli rezonansly süzgüç (garmonikalary böwet döredýär),
- b) Režektorly süzgüç,
- c) Iki rezonansly süzgüç (napryáženíýeleriň we toklaryň rezonanslary bilelikde)



Surat 28. Reaktiv elementlerden guralan çylşyrymly süzgüçleriň shemalary.

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

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

EDEBIÝATLAR

1. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň 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 ruhobelentligiň 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-ýaşayyş 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» gazetiniň, 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. Арестов К.А., Яковенко Б.С. Основы электроники: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с., ил.
12. Быстродействующие интегральные микросхем ЦАП и АЦП и измерение их параметров. А.К. Марцинкявичес, Э.К. Багнанскис, Р.Л. Пошюнанс и др.- М.: Радио и связь, 1988.

13. В.С.Руденко, В.И.Сенько, В.В.Трифонюк. Основы промышленной электроники. Киев «Вища школа» 1985г.
14. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 495 с., ил.
15. Н.А.Авайев, Ю.Е.Наумов, В.Т.Фролкин. Основы микроэлектроники. Москва «Радио и связь» 1991г.

MAZMUN

I-nji BÖLÜM AWTOMATIKANYŇ SERIŞDELERINDE ÝARYMGEÇIRIJI ENJAMLAR.....	1
1.1. Awtomatika we mikroelektronika umumy maglumatlar.	2
1.2. Mikroelektronika hakda umumy maglumatlar.	3
1.2.1. Mikroelektronikanyň predmeti.	7
1.3. Ýarymgeçiriji diodlar.	13
1.3.1. Ýarymgeçiriji diodlar. Olaryň alnyşy.	13
1.3.2. p-n-geçişiň alnyşy.	13
1.3.3. Diffuziýa usuly.	14
1.3.4. Epitaksiýa usuly.	15
1.3.5. p-n-geçişiň deňagramlykdaky ýagdaýy.	15
1.4. p-n-geçiş barada umumy maglumatlar.	18
1.4.1. Deňagramlykda däl p-n-geçiş. p-n-geçişiň barýer sygymy.	18
1.4.2. P-n- geçişde göni we ters toklar.	21
1.4.3. P-n-geçişiň impuls we ýygylyk häsiýetleri.	24
1.4.4 P-n-geçişiň böwsülmegi.	25
1.4.5. Ýylylyk böwsülmesi.	26
1.4.6. Lawina boýunça böwsülme.	27
1.4.7. Tunnel böwsülmesi.	28
1.5. Ýarymgeçiriji diodlaryň görnüşleri.	31
1.5.1. Ýarymgeçiriji diodlarda geterogeçiş.	31
1.5.2. S-görnüşli wolt-amper häsiýetnamaly priborlar ..	38
1.5.3. Tunnel diodlary.	40
1.5.4. Dinistorlar.	41
1.6. Tranzistorlar.	46
1.6.1. Tranzistorlaryň işleýşiniň fiziki prinsipi. Alnyşy.	46
1.6.2. Bipolýar tranzistorlaryň işleýşi. Umumy baza boýunça birleşdirilişi.	47
1.6.3. Tranzistorlaryň parametleri we çykyş häsiýetnamalary.	49
1.6.4. Meýdan tranzistorlary we olaryň ulanylyşy.	54

1.6.5. Meýdan tranzistorynda güýçlendirijiler.....	56
1.7. Ýagtylyga duýgur abzallar hakda umumy maglumatlar.....	57
1.7.1.Ýagtylyga duýgur abzallar.....	57
1.7.2. Ýagtylyga duýgur abzallarda bolup geçýän esasy fiziki hadysalar.....	59
1.7.3. Daşky we içki fotoeffektleriň aýratynlyklary.	60
1.7.4. İçki fotoeffektiň aýratynlyklary.	61
1.7.5. Ýagtylyga duýgur abzallaryň esasy häsiýetnamalary we esasy parametrleri.....	64
1.7.6. Ýagtylyga duýgur abzallaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişleri (markirowka).....	66
1.8. Fotoelementlerde daşky fotoeffekt.	67
1.8.1. Daşky fotoeffektli fotoelementler.....	67
1.8.2. Fotoelektronly köpeldijiler (FEK).	70
1.8.3. Köpkaskadly FEK-leriň gurluşy we işleýiş prinsipi.	72
1.9. Fotorezistorlar.....	75
1.9.1. Umumy maglumatlar.....	75
1.9.2. Fotorezistorlaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişleri.....	77
1.9.3. Fotogalwaniki elementler.	79
1.10. Fotodiodlar.....	82
1.10.1. Umumy maglumatlar.	82
1.10.2. Fotodiodlaryň fotodiod we fotogalwanik düzgünlerinde işledilişleri.	83
1.11. Fototranzistorlar we fototiristorlar.....	86
1.11.1. Fototranzistorlar.....	86
1.11.2. Fototiristorlar.	90
1.12. Optoelektron abzallary we optronlar.	92
1.12.1. Optoelektron abzallary.....	92
1.12.2. Optronlar.....	97
II-nji BÖLÜM AWTOMATIKA ULGAMLARDA	
OPERASION ENJAMLAR.....	102
2.1. Mikroelektron güýçlendirijiler.....	102

2.1.1. Umumy maglumatlar.....	102
2.1.2. Çüýçlendirijileriň girelgesi we çykalgasy üçin hodürlenilýän ekwiwalent shemalar.	104
2.1.3. Güýçlendirijilerde güýçlendiriş koeffisiýentleri we olaryň tapylyşlary.	106
2.1.4. Güýçlendirijileriň häsiýetnamalary.	109
2.2. Operasion güýçlendirijiler mikroelektronikanyň baza elementi.....	111
2.2.1. Umumy maglumatlar.....	111
2.2.2. OG-leriň grafiki-şertli belgilenişleri.....	113
2.2.3. Operasion güýçlendirijileriň parametrleri.	115
2.2.4. Operasion güýçlendirijileriň ulanylýan ýerleri..	116
2.2.5. OG-leriň iýmitlendirilişi we olaryň häsiýetnamalary.	118
2.3. Operasion güýçlendirijileriň esasy shemalary.....	121
2.3.1. Inwertirleýän we inwertirlemeýän güýçlendirijiler.	121
2.3.2. Summirleýän güýçlendiriji (Summator).....	124
2.4. Elektron generatorlary	127
2.4.1. Umumy maglumatlar.....	127
2.4.2. Impulslaryň parametrleri.	133
2.5. Garmoniki yrgyldylaryň generatorlary.....	136
2.5.1. Generatorlaryň klassifikasiýasy.	136
2.5.2. Induktiv baglanyşykly awtogenerator.	136
2.5.3. RC-generatorlar.	137
2.5.4. Multiwibratorlar. Bloking-generator.	139
2.6. Triggerler hakda.	142
2.6.1. Umumy maglumatlar.....	142
2.6.2. Asinhron RS triggerler.	146
2.6.3. Sinhron RS-triggerler.	147
2.6.4. Birbasgançakly sinhron JK-triggerler.	149
2.6.5. D-triggerler.....	149
2.6.6. Triggerleriň özara özgerdiş shemalary.....	150
2.7. Multiwibratorlar barada umumy maglumat we olaryň tranzistorlardan gurnalan görnüşi.	151

2.7.1. Multiwibratorlar.....	151
2.7.2. Tranzistorlardan gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.....	152
2.7.3. Logiki elementlerden gurnalan awtoyrgyldyly multiwibrator.....	156
2.8. Bloking generatorlary	159
2.8.1. Umumy maglumatlar.	160
2.8.2. Awtoyrgyldyly bloking generator.....	160
2.8.3. Garaşylýan režimde bloking generatorlar.....	164
2.8.4. Sinhozirasiýa režiminde bloking – geratory.	166
2.9. Hemişelik we üýtgeýän napryáženiyäniň impuls özgerdijileri, göneldijiler.....	167
2.9.1. Umumy maglumatlar.	167
2.9.2. Çyzgydaky şertli belgileriň okalyşlary.	169
2.9.3. Göneldijileriň görnüşleri we olaryň parametrleri.	170
2.9.4. Göneldijileriň birfazaly shemalary.	172
2.10. Bir- we iki ýarymperiodly göneldijileriň shemalary.	174
2.11. Signallaryň örküçlerini düzleýji elektrik süzgüçleri (filtrleri).....	182
EDEBIÝATLAR	188