

TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRIGI

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

Baýram Annamyadow

**MIKROELEKTRON
GURLUŞLARYNY, ULGAMLARYNY
BEJERMEK WE SAZLAMAK**

Mikroelektronika we ýarym geçirijili enjamlar hünäri üçin

Aşgabat – 2010 ý.

~ 6 ~

GIRIŞ

Täze Galkynyşlar we beýik özgertmeler eýýamyna gadam basan häzirkä döwrümüzde Türkmenistanda ylym jemgyýetimiziň düýpli täzelenişiniň esasy düzmelidir, halkymyzyň bähbitlerine gulluk etmelidir. Bu wezepe ylmyň belent borjy we baş maksady bolmalydyr. Milli ylym ulgamyna degip geçmek bilen, özgertmeler ugry biziň alymlarymyzyň işiniň janlanmagyna, ylym-barlag işleriniň ýaýrawynyň giňelmegine we mazmunynyň has-da çuňlaşmagyna şert döretmelidir. Türkmen alymlarynyň çöli özleşdirmek, gün energiýasyny peýdalanmak, ýertitremesini çaklamak, seýsmologiýa we binlaryň seýsmiki taýdan berk bolmagyny üpjün etmek, lukmançylygy, oba hojalygyny ösdürmek ýaly möhüm ugurlara degişli düýpli işleri ylym dünýäsinde giň meşgurlyga eýe bolup, doly ykrar edildi.

Bu gün biziň alymlarymyz ylmy barlaglary dowam etdirmekde, ylmy işleri çaltlandyrmak uly mümkinçiliklere eýe boldular. Bir söz bilen aýdylanda, alymlaryň işi şu gün Watanymyza örän zerur bolup durýar hem-de olaryň döredijilikli zähmeti Garaşsyz, Bitarap Türkmenistanyň halkynyň abadançylygyna gulluk etmelidir, alymlar täze ylmy üstünliklere, täze açyşlara ruhlanmalydyr.

Dünýä standartlaryny nazarlamak bilen, ýurdumyzyň aýratynlyklaryny we zerurlyklaryny hasaba alyp, olar öz işlerinde esasy ugurlary kesgitlemelidirler hem-de innowasion mümkinçiligi berkitmek işine önjeýli goşant goşmalydyr.

Mälim bolşy ýaly, döwlet diňe bir ylmy ösdürmek syýasatyny alyp barmak ýa-da ýurdyň aýratynlyklaryny we zerurlyklaryny hasaba almak, ylmy ösdürmegiň esasy ugurlaryny, ýokary aň-düşünjeli hünärmenleri taýýarlamagy utgaşdyrmak bilen çäklenmän, eýsem, ylmy edaralary maliýe,

maddy- tehniki taýdan üpjün etmek boýunça hem iş alyp barmalydyr.

Biz ylmy hemme taraplaýyn ösdürmek üçin, aýratyn hem çalt we oňat netije berýän, geljegi uly bolan ýöriteleşdirilen ylmy-tehniki döredijilik, tejribe-konstruktorçylyk hem-de synag merkezlerine, barlaghanalary döretmek we netijeli işletmek üçin seriçdeleri ön hem gaýgyrmandyk, mundan beýläk hem gaýgyrmarys. Döwletimiziň ylym baradaky syýasatyndaky özgertmeler hakynda gürrüň etmek bilen, täze Ylymlar akademiýasynyň, ylmy edaralaryň we ýokary okuw mekdepleriniň ýolbaşçylarynyň hem-de işgärleriniň önünde işlerini çaltlandyrmak barada anyk wezipeleri goýýarys.

Häzirki döwür, ylym ulgamyndaky täze syýasat ýurdumyzda ylmyň netijeliligini ýokarlandyrmagy, düýpli we amaly ylmy barlag işlerini giňden ýaýbaňlandyrmagy, alymlaryň ünsini hem-de ähli tagallalaryny ylmyň in möhüm wee geljegi uly ugurlaryna jemlemegi hem-de goşmaça çäreleriň tizden-tiz geçirilmegini talap edýär.

Öni bilen ylmy edaralaryň, barlaghanalaryň ulgamyny kämilleşdirmeli, olaryň işgärler düzüminiň, ylmy işgärleriniň her biriň işjeňliginiň gazanmaly, ylmy toparlaryň öz içki durmuşyna degişli meseleleri özbaşdak çözmekleri üçin mümkinçilik döretmeli.

Biz ýokary okuw mekdeplerini hakyky ylym ojaklara öwürmelidiris, akademiki, ýokary okuw mekdep we pudak ylymynyň özara baglanşygyny berkitmelidiris. Ýurdumyzyň ylmy edaralarynda we ýokary okuw mekdeplerinde alnyp barylýan ylmy barlaglary utgaşdyrmak işleri hem düýpli gowlandyrylmagyny talap edýär.

Ylmy edaralarda we ýokary okuw mekdeplerinde alnyp barylýan ylmy-barlag işleriniň ylmy ösdürmeginiň ileri tutulýan ugurlaryna laýyk gelýändigini anyklamak üçin ýörite seljerme işlerini geçirmeli. Has möhüm meseleleriň mysaly-tematikasyny düzmek we olary işläp taýýarlamaga ukyply

alymlaryň toparyny kesgitlemek, şonuň ýaly ylmy taslamalary ýerine ýetirmek üçin döwlet tarapyndan ýörite serişdeleri göýbermek maksadalaýyk bolar.

Ylym we tehnika milli ykdysadyýetiň ganatydyr. Öz intellektual, ylmy-tehniki mümkinçiliklerimizi artdyrmak we netijeli peýdalanmak ýurdumyzy durnukly ösdürmegiň esasy şertidir. Bu bolsa bize ylmy ösdürmegiň häzirki zaman nusgalaryna çalt depginler bilen geçmäge, düýpli we amaly ylmlaryň, ylmy taýdan tutumly tehnologiýalaryň gazananlaryny önümçilige giňden ornaşdyrmaga, ýokary derejeli ylmy işgärleriň we hünärmenleriň sanyny üzl-kesil artdyrmaga mümkinçilik berer. Täze Galkynyşlar we beýik özgertmeler eýýamyna gadam basan häzirki döwrümüzde Türkmenistanda ylym jemgyýetimizň düýpli täzelenişiniň esasy düzmelidir, halkymyzyň bähbitlerine gulluk etmelidir. Bu wezipe ylmyň belent borjy we baş maksady bolmalydyr.

Milli ylym ulgamyna degip geçmek bilen, özgertmeler ugry biziň alymlarymyzyň işiniň janlanmagyna, ylym-barlag işleriniň ýaýrawynyň giňelmegine we mazmunynyň has-da çuňlaşmagyna şert döretmelidir.

Türkmen alymlarynyň çöli özleşdirmek, gün energiýasyny peýdalanmak, ýertitremesini çaklamak, seýsmologiýa we binlaryň seýsmiki taýdan berk bolmagyny üpjün etmek, lukmançylygy, oba hojalygyny ösdürmek ýaly möhüm ugurlara degişli düýpli işleri ylym dünýäsinde giň meşgurlyga eýe bolup, doly ykrar edildi.

Bu gün biziň alymlarymyz ylmy barlaglary dowam etdirmekde, ylmy işleri çaltlandyrmak uly mümkinçiliklere eýe boldular. Bir söz bilen aýdylanda, alymlaryň işi şu gün Watanymyza örän zerur bolup durýar hem-de olaryň döredijilikli zähmeti Garaşsyz, Bitarap Türkmenistanyň halkynyň abadançylygyna gulluk etmelidir, alymlar täze ylmy üstünliklere, täze açýşlara ruhlanmalydyr.

Dünýä standartlaryny nazarlamak bilen, ýurdumyzyň aýratynlyklaryny we zerurlyklaryny hasaba alyp, olar öz

işlerinde esasy ugurlary kesgitlemelidirler hem-de innowasion mümkinçiligi berkitmek işine önjeýli goşant goşmalydyr.

Mälim bolşy ýaly, döwlet diňe bir ylmy ösdürmek syýasatyny alyp barmak ýa-da ýurdyň aýratynlyklaryny we zerurlyklaryny hasaba almak, ylmy ösdürmegiň esasy ugurlaryny, ýokary aň-düşinjeli hünärmenleri taýýarlamagy utgaşdyrmak bilen çäklenmän, eýsem, ylmy edaralary maliýe, maddy- tehniki taýdan üpjün etmek boýunça hem iş alyp barmalydyr.

Biz ylmy hemme taraplaýyn ösdürmek üçin, aýratyn hem çalt we oňat netije berýän, geljegi uly bolan ýöriteleşdirilen ylmy-tehniki döredijilik, tejribe-konstruktorçylyk hem-de synag merkezlerine, barlaghanalary döretmek we netijeli işletmek üçin seriçdeleri ön hem gaýgyrmandyk, mundan beýläk hem gaýgyrmarys.

Döwletimiziň ylym baradaky syýasatyndaky özgerlmeler hakynda gürrüň etmek bilen, täze Ylymlar akademiýasynyň, ylmy edaralaryň we ýokary okuw mekdepleriniň ýolbaşçylarynyň hem-de işgärleriniň önünde işlerini çaltlandyrmak barada anyk wezipeleri goýýarys.

Häzirki döwür, ylym ulgamyndaky täze syýasat ýurdumyzda ylmyň netijeliligini ýokarlandyrmagy, düýpli we amaly ylmy barlag işlerini giňden ýaýbaňlandyrmagy, alymlaryň ünsini hem-de ähli tagallalaryny ylmyň in möhüm wee geljegi uly ugurlaryna jemlemegi hem-de goşmaça çäreleriň tizden-tiz geçirilmegini talap edýär. Öni bilen ylmy edaralaryň, barlaghanalaryň ulgamyny kämilleşdirmeli, olaryň işgärler düzüminiň, ylmy işgärleriniň her biriň işjeňliginiň gazanmaly, ylmy toparlaryň öz içki durmuşyna degişli meseleleri özbaşdak çözmekleri üçin mümkinçilik döretmeli.

Biz ýokary okuw mekdeplerini hakyky ylym ojaklara öwürmelidiris, akademiki, ýokary okuw mekdep we pudak ylymynyň özara baglanşygyny berkitmelidiris. Ýurdumyzyň ylmy edaralarynda we ýokary okjuw mekdeplerinde alnyp

barylýan ylmy barlaglary utgaşdyrmak işleri hem düýpli gowlandyrylmagyny talap edýär.

Ylmy edaralarda we ýokary okuw mekdeplerinde alnyp barylýan ylmy-barlag işleriniň ylmy ösdürmeginiň ileri tutulýan ugurlaryna laýyk gelýändigini anyklamak üçin ýörite seljerme işlerini geçirmeli. Has möhüm meseleleriň mysalytematikasyny düzmek we olary işläp taýýarlamaga ukyply alymlaryň toparyny kesgitlemek, şonuň ýaly ylmy taslamalary ýerine ýetirmek üçin döwlet tarapyndan ýörite serişdeleri göýbermek maksadalaýyk bolar.

Ylym we tehnika milli ykdysadyýetiň ganatydyr. Öz intellektual, ylmy-tehniki mümkinçiliklerimizi artdyrmak we netijeli peýdalanmak ýurdumyzy durnukly ösdürmegiň esasy şertidir. Bu bolsa bize ylmy ösdürmegiň häzirki zaman nusgalaryna çalt depginler bilen geçmäge, düýpli we amaly ylymlaryň, ylmy taýdan tutumly tehnologiýalaryň gazananlaryny önümçilige giňden ornaşdyrmaga, ýokary derejeli ylmy işgärleriň we hünärmenleriň sanyny üzül-kesil artdyrmaga mümkinçilik berer.

I. TRANZISTORYŇ STATIKI HÄSIÝETNAMASYNY ÖWRENMEK.

1.1. Tranzistoryň işleýiş prinsipi.

Tranzistor – ýarymgeçirijiniň bir monokristalynda iki **p-n**-geçişi bolan ýarymgeçiriji enjam bolýar (**I**-nji surat). Mysal üçin, eger daşky gatlaklar **p**-görnüşli geçişe eýe bolsa, onda ony **p-n-p** görnüşli tranzistor diýip atlandyrylýar. Häzirki wagt has giňişleýin ýaýran **p-n-p** görnüşli tranzistorlar bolýarlar, şonuň üçin tranzistorlaryň diňe şol görnüşine seredilýär. Ýöne hemme görkezmeler **n-p-n** görnüşli tranzistorlar üçin hem adalatlydyr.

Göni ugurda süýşen geçişe emitter geçiş diýilýär, şoňa deňişli bolen **p**-meýdana emitter diýilýär. Ters ugura süýşen ikinji geçişe kollektor geçişi diýilýär, şoňa deňişli bolen **p**-meýdana kollektor diýilýär. Ortadaky **n**-meýdana baza diýilýär.

Deňölçegli ýagdaý we normal süýşme üçin tranzistoryň strukturasynyň energediki diagrammasy **2-nji, a** we **b** suratlarda görkezilen.

Emitter geçişe göni U_e naprýaženiýe berlende, emitterden baza deşikleriň we bazadan emittere elektronlaryň inžeksiýasy bolup geçýär. Ýöne baza görä emitter has güýçli legirlenendigi üçin, inžektirlenen deşikleriňž akymy elektronlaryň akymyndan has ýokary bolýar. Emitter geçişiň serhedinde, bazanyş p_{n1} meýdanynda deşikleriň we emitteriň n_{p1} meýdanynda elektronlaryň ýokarlanan konsentrasiýasy gurnalýar. Bu konsentrasiýalar şu deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$p_{n1} = p_{n0} e^{\frac{eU_e}{kT}}, \quad (1)$$

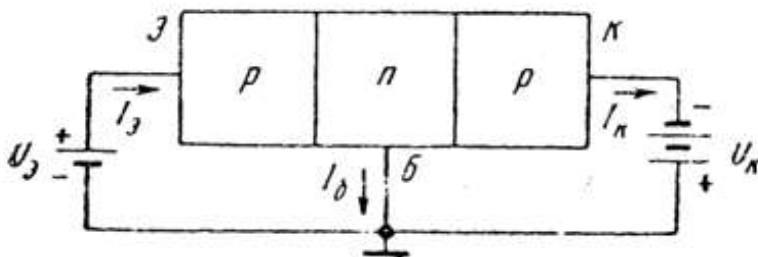
$$n_{p1} = n_{pe0} e^{\frac{eU_e}{kT}}, \quad (2)$$

bu ýerde, p_{n0} – bazada deşikleriň deňölçegli konsentrasiýasy;
 n_{pe0} – bazada deşikleriň deňölçegli konsentrasiýasy.

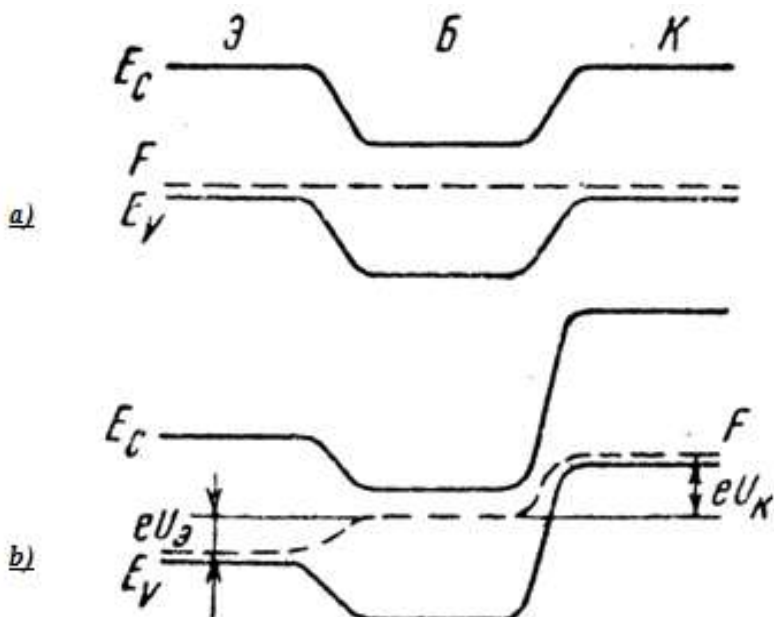
Baza içžektirlenen deşikler diffuziýanyň netijesinde kollektor geçişe süýşerler, eger bazanyň W giňligi diffusion L_p uzynlygyndan has pes bolsa, deşikleriň hemmesi diýen ýaly kollektora çenli ýeterler we ýapyjy gatlagyň meýdany bilen kollektoryň p -meýdanyna geçiriler. Şunuň netijesinde döreyän kollektor togy emitter bilen inžektirlenen deşikleriň togyndan sähelçe pes bolýar. Sebäbi kollektor geçiş ters ugurda süýşen, onda onuň garşylygy emitter geçişiň garşylygyndan bir näçe tertipde ýokary. Kollektoryň zynjyrynda ýüküň örän uly garşylygy çatylyp bilner. Şeýlelikde emitterde naprýaženiýanyň çalaja üýtgemesi, ýüküň garşylygynda naprýaženiýanyň uly üýtgemesine getirer. Giriş we çykyş garşylyklaryň tapawudynyň netijesinde transistor kuwwat boýunça güýçlenme berýär. Görnüşi ýaly kuwwat boýunça güýçlenme, emitterden geçýän togyň kollektora çenli näçe köp bölegi ýetse, şonçada ýokarlanýar. Kollektorda hemişelik naprýaženiýe bolanda, kollektoryň togynyň artdyrylmagynyň emitteriň togynyň artdyrylmasyna gatnaşygyna emitteriň tok geçirijilik α koeffisienti diýilýär: $U_k = \text{const}$ bolanda,

$$\alpha = \frac{dI_k}{dI_e}. \quad (3)$$

Tranzistoryň kollektor togy hemme emitter togy bilen dälde, onuň deşikli düzüjisi bilen şertlendirilendigini görmek kyn däl. Şonuň üçin geçirijiniň koeffisienti emitteriň togynyň nähili bölegini onuň deşikli komponenti düzýändigine baglydyr.



1-nji surat



2-nji surat

Emitter geçişin häsiýetnamasy üçin inžeksiýanyň γ koeffisientini girizilýär. Inžeksiýanyň koeffisienti dI_{pe} togyň deşikli düzüjisiniň artdyrylmasynyň emitter geçişin doly dI_e togyň artdyrylmasyna gatnaşygy bolýar:

$$\gamma = \frac{dI_{\kappa}}{dI_e} = \frac{dI_{pe}}{d(I_{ne} + I_{pe})}. \quad (4)$$

Öň bellenilşi ýaly, emitter bilen inžektirlenen deşikleriň bazada rekombinasiýanyň netijesinde hemmesi kollektora çenli ýetmeýärler. Ony görkezmek üçin, geçiriş koeffisientiniň ýa-da rekombinasiýanyň κ koeffisientiniň düşünjesi girizilýär. Kesgitleme boýunça:

$$\kappa = \frac{dI_{pk}}{dI_{pe}}, \quad (5)$$

bu ýerde, dI_{pk} – kollektora çenli ýetýän, emitter bilen inžektirlenen deşikleriň togyň artdyrylmasy.

Eger kollektoryň togyny arassa deşikli hasap edilse, onda tok geçirijilik α koeffisienti, inžeksiýa koeffisientiniň geçiriş koeffisientine köpeldilmegine deň bolýar:

$$\alpha = \gamma \kappa. \quad (6)$$

Geçirijilik koeffisienti, p - we n -meýdanlaryň ýarymgeçiriji materiallarynyň fiziki häsiýetleri bilen baglanyşdyrýan analitik görkezmesini tapalyň. Şonuň üçin deşikleriň bazanyň n -meýdanyna we elektronlaryň emitteriň p -meýdanynda özüni alyp barşyny beýan edýän diffuziýanyň deňlemesini işläliň. Tranzistoryň modeli bir ölçegli, bazadaky elektrik meýdan nola deň, p - n -geçişlerde generasiýa we rekombinasiýa ýok we emitteriň inžeksiýasynyňderejesi az diýip hasap etmek bilen işi geçireris.

Stasionar režimde, bazanyň meýdanynda deşikleriň diffuziýasynyň deňlemesi şu görnüşde bolýar:

$$D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{p - p_{n0}}{\tau_p} = 0, \quad (7)$$

bu ýerde D_p – bazada deşikleriň diffuziýasynyň koeffisienti; τ_p – bazada deşikleriň ýaşayyş wagty.

(7) deňlemäni işlemek üçin serhet şertleri, bazadaky emitter we kollektor geçişleriň serhedinde deşikleriň konsentrasiýasynyň ululygyny kesgitleýän özara gatnaşyklary bolýar:

$$p_{n1} = p|_{x=0} = p_{n0} e^{\frac{eU_e}{kT}}, \quad (8)$$

$$p_{n2} = p|_{x=W} = p_{n0} e^{\frac{eU_K}{kT}} = 0. \quad (9)$$

Kollektor geçişiň ýakynynda deşikleriň konsentrasiýasy nola deň, sebäbi normal süýşmede $|U_K| \gg \frac{kT}{e}$ bolýar.

(7) deňlemäniň çözüdini şu görnüşde gözläliň:

$$p - p_{n0} = A e^{\frac{x}{L_p}} + B e^{-\frac{x}{L_p}}. \quad (10)$$

Serhet şertlerini hasaba almak bilen bazadaky deşiklerini konsentrasiýasynyň x koordinata baglylygyny alarys:

$$p - p_{n0} = p_{n0} \csc h \frac{W}{L_p} \left[\left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) sh \frac{W-x}{L_p} - sh \frac{x}{L_p} \right]. \quad (11)$$

Deşikli togyň dykzlygyny, (11) görkezmäni x boýunça differensirläp taparys:

$$I_p(x) = -eD_p \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \csc h \frac{W}{L_p} \left[\left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) ch \frac{W-x}{L_p} + ch \frac{x}{L_p} \right] \quad (12)$$

Bu ýerde $x=0$ we $x=W$ hasap edip, emitter I_{pe} we kollektor I_{pk} geçişleriniň toklarynyň deşikli düzüjilerini taparys:

$$I_{pe} = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \csc h \frac{W}{L_p} \left[\left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) ch \frac{W}{L_p} + 1 \right], \quad (13)$$

$$I_{pk} = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \csc h \frac{W}{L_p} \left[\left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) + ch \frac{W}{L_p} \right]. \quad (14)$$

Emitteriň $dI_{pe} = (dI_{pe}/dU_e) dU_e$ we kollektoryň $dI_{pk} = (dI_{pk}/dU_e) dU_e$ toklarynyň artdyrylmasyny kesgitläp, geçiş κ koeffisienti taparys:

$$\kappa = \frac{dI_{pk}}{dI_{pe}} = \frac{1}{ch \frac{W}{L_p}}. \quad (15)$$

Inžeksiýa koeffisienti tapmak üçin emitteriň doly togy bilmek gerek. Emitteriň togynyň elektron düzüjisini, emitteriň p -meýdanyna elektronlaryň diffuziýasyny işlemek bilen taparys:

$$D_{ne} \frac{\partial^2 n_{pe}}{\partial x^2} - \frac{n_{pe} - n_{pe0}}{\tau_{pe}} = 0, \quad (16)$$

bu ýerde D_{ne} – emitterde elektronlaryň diffuziýasynyň koeffisienti; n_{pe} – koordinatanyň funksiýasy bolýan emitteriň

meýdanynda elektronlaryň konsentrasiýasy; τ_{ne} – emitteriň meýdanynda elektronlaryň ýaşaýşynyň wagty.

Emitteriň meýdanyň dowamlylygy elektronlaryň L_{ne} diffuzion uzynlygyndan has ulydygyny hasaba alyp, serhet şertlerini alarys:

$$n_{p1} = n|_{x=0} = n_{pe0} e^{\frac{eU_e}{kT}}, \quad (17)$$

$$n|_{x=-\infty} = n_{pe0}. \quad (18)$$

(16) deňlemäniň işlenilşinden, (17) we (18) serhet şertlerini hasaba almak bilen indiki bolýar:

$$n_{pe} - n_{pe0} = n_{pe0} \left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) e^{\frac{x}{L_{ne}}}. \quad (19)$$

Emitteriň meýdanyndaky elektron tok:

$$I_n(x) = eD_{ne} \frac{\partial n_{pe}}{\partial x} = \frac{eD_{ne}n_{pe0}}{L_{ne}} \left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) e^{\frac{x}{L_{ne}}}. \quad (20)$$

(20) görkezmede $x=0$ hasap edip emitter geçişiniň I_{ne} togynyň elektron komponentasyny alarys:

$$I_{ne} = \frac{eD_{ne}n_{pe0}}{L_{ne}} \left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right). \quad (21)$$

Emitter geçişiniň togynyň deşikli we elektronly düzüjilerini summirläp, emitter geçişiniň üstünden geçýän doly togy tapýarys:

$$I_e = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \csc h \frac{W}{L_p} \left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) + \frac{eD_{ne}n_{pe0}}{L_{ne}} \left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) + \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \csc h \frac{W}{L_p} \quad (22)$$

Inžeksiýanyň gözlenilýän koeffisienti emitter geçişiniň togynyň deşikli düzüjisiniň artdyrylmasynyň, onuň doly togynyň artdyrylmasyna deň:

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{D_{ne}n_{pe0}L_p}{D_p p_{n0}L_{ne}} \csc h \frac{W}{L_p}}. \quad (23)$$

Emitteriň tok geçiriji α koeffisientini kesgitlemek üçin, ýenede kollektoryň togynyň elektron düzüjini tapýarys. Kollektoryň p -meýdanyndaky elektronlar üçin diffuziýanyň deňlemesiniň çözülişi:

$$D_{nk} \frac{\partial^2 n_{pk}}{\partial x^2} - \frac{n_{pk} - n_{pk0}}{\tau_{nk}} = 0. \quad (24)$$

Serhet şertleri bilen:

$$n_{pk} \Big|_{x=W} = n_{pk0} e^{-\frac{eU_e}{kT}} = 0, \quad (25)$$

$$n_{pk} \Big|_{x=\infty} = n_{pk0}, \quad (26)$$

bu indiki görnüşe geçýär:

$$n_{pk} - n_{pk0} = -n_{pk0} e^{-\frac{x-W}{L_{nk}}}. \quad (27)$$

Kollektoryň elektron togy:

$$I_{nk}(x) = -\frac{eD_{nk}n_{pk0}}{L_{nk}} e^{-\frac{x-W}{L_{nk}}} \quad (28)$$

bu ýerde, n_{pk} , D_{nk} we τ_{nk} – laýyklykda kollektoryň meýdanynda konsentrasiýa, diffuziýanyň koeffisienti we deşikleriň ýaşaýyş wagty; n_{pk0} – kollektoryň meýdanynda elektronlaryň deňölçegli konsentrasiýasy.

Kollektoryň togynyň elektron (28) we deşikli (14) komponentasyny ulanyp, kollektor geçişiniň üstünden geçýän doly togy alýarys:

$$I_k = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \csc h \frac{W}{L_p} \left[\left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) - ch \frac{W}{L_p} \right] + \frac{eD_{nk} n_{pk0}}{L_{nk}}. \quad (29)$$

Kollektor togyň $dI_k = (dI_k / dU_e) dU_e$ artdyrylmasyny kesgitläp, geçiriji α koeffisientini taparys:

$$\alpha = \frac{dI_k}{dI_e} = \frac{1}{1 + \frac{D_{ne} n_{pe0} L_p}{D_p p_{n0} L_{ne}} th \frac{W}{L_p}} \cdot \frac{1}{ch \frac{W}{L_p}} \quad (30)$$

(15) we (23) deňlemeleri hasaba alyp, $\alpha=\gamma\kappa$ alýarys.

(11), (15), (23) deňlemeler, eger olara degişli giperbolik funksiýalary Teyloryň hataryna paýlansa, onda ýönekeý görnüşe geçýär. $\frac{W}{L_p} \ll 1$ hasap edip, paýlamanyň birinji agzalary bilen çäkleneris:

$$\left. \begin{aligned} sh \frac{W}{L_p} &\approx \frac{W}{L_p}; \\ ch \frac{W}{L_p} &\approx 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_p} \right)^2; \\ th \frac{W}{L_p} &\approx \frac{W}{L_p}. \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Netijede indikini alýarys:

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{D_{ne} n_{pe0}}{D_p p_{n0}} \cdot \frac{W}{L_{ne}}} \cong 1 - \frac{D_{ne} n_{pe0}}{D_p p_{n0}} \cdot \frac{W}{L_{ne}} = 1 - \frac{\sigma_b}{\sigma_e} \cdot \frac{W}{L_{ne}} \quad (32)$$

bu ýerde, σ_b we σ_e – laýyklykda, bazanyň we emitteriň meýdanlarynyň geçirijiligi.

(31) formulany hasaba almak bilen geçişniň koeffisienti:

$$\kappa = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_p} \right)^2} \cong 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_p} \right)^2 \quad (33)$$

Bazadaky deşikleriň konsentrasiýalarynyň paýlanyşyny şu gatnaşyk bilen kesgitlemek bolýar:

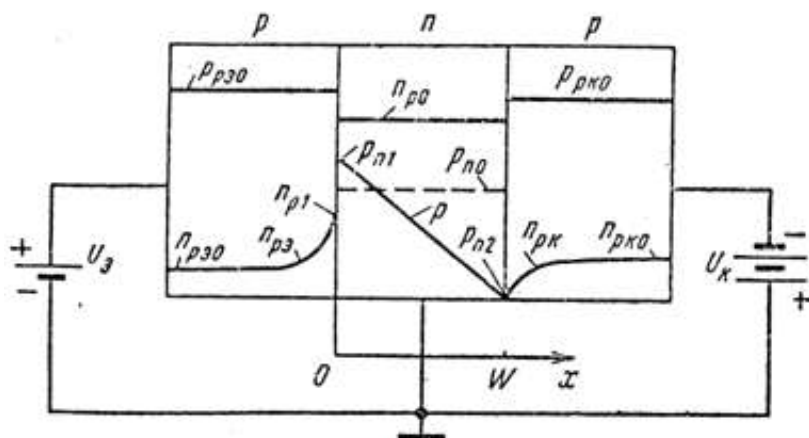
$$p - p_{n0} = p_{n0} \left[\left(e^{\frac{eU_e}{kT}} - 1 \right) \frac{W - x}{W} - \frac{x}{W} \right] \quad (34)$$

(34) görkezmeden görnüşini ýaly, bazadaky deşikleriň konsentrasiýasy aralyk bilen gönümel ýýtgeýär.

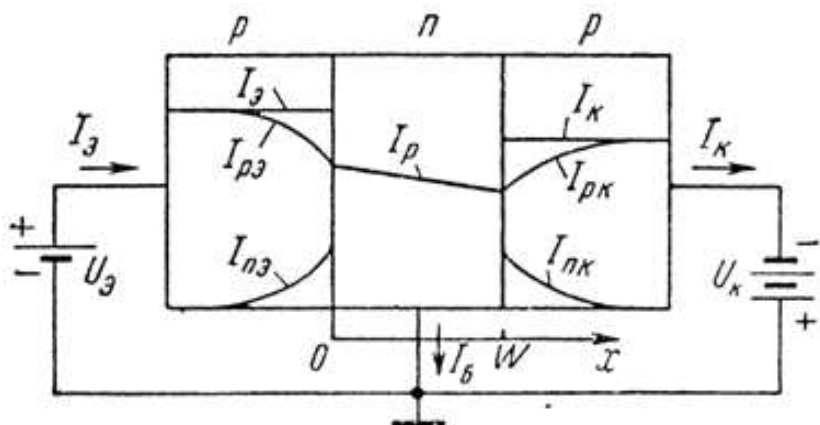
3-nji suratda, (11), (19) we (27) görkezmeleriň esasynda alnan, tranzistordaky esasy we esasy dalgöterijileriň konsentrasiýalarynyň paýlanylşy görkezilen. Esasy göterijileriň konsentrasiýalarynyň üýtgemesi, olaryň deňölçegli bahasyndan has pes, şonuň üçin esasy göterijileriň konsentrasiýasy tranzistoryň her bir meýdanynda hemişelik diýip hasap etmek bolýar.

(12), (20) we (28) deňlemelerden tapylan esasy däl we esasy göterijileriň toklarynyň paýlanylmasy 4-nji suratda görkezilen. Esasy göterijileriň toklary indiki pikirleriň esasyndagurlan. Emitteriň meýdanynda koordinata bagly bolmadyk, esasy we esasy däl göterijileriň toklarynyň jemine deň bolan I_e tok akýar. Esasy däl göterijileriň $I_{ne}(x)$ togy geçişden daşlaşýandygynyň ölçegi boýunça (20) azalýandygy üçin, onda doly tok hemişelik bolup galar ýaly esasy göterijileriň $I_{pe}(x)$ togy ýokarlanmaly.

Şolar ýaly işleri kollektoryň p -meýdany üçin hem geçirmek bolýar, onda uzynlygy boýunça kollektoryň hemişelik I_k togy akýar. Bu ýerde tapawut diňe I_k togyň emitteriň togyndan azlygynda bolýar.



3-nji surat



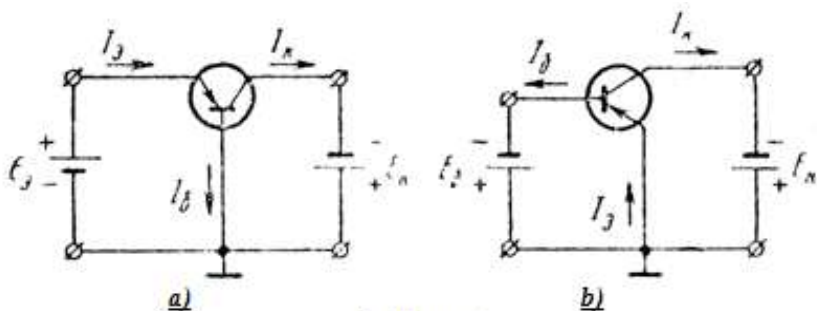
4-nji surat

1.2. Umumy bazaly shemada tranzistoryň statiki häsiýetnamalary

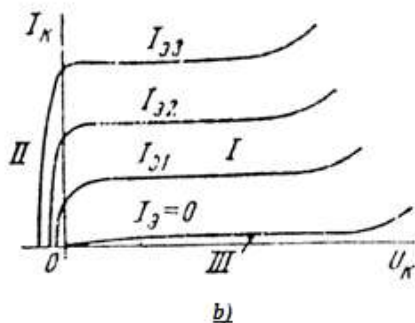
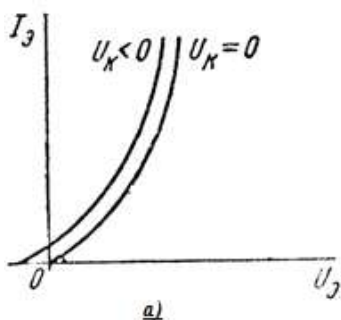
Tranzistoryň umumy bazaly we umumy emitterli çatylyş shemalary 5-nji, *a* we *b* suratda görkezilen. Iýmitlendiriji çeşmeleriň polýarlygy we toklaryň ugury tranzistoryň işiniň aktiw meýdanyna laýyk gelýär.

Tranzistor, dürli çatylyşda, giriş we çykyş häsiýetnamalaryň toparlary bilen häsiýetlendirilýär. Umumy bazaly shemada giriş häsiýetnamalaryň topary (6-njy surat, *a*) emmitteriň I_e togynyň emitterdäki U_e naprýaženiýa baglylygy (kollektoryň hemişelik naprýaženiýasynda ($I_e = f(U_e)$, $U_k = \text{const}$ bolanda)) bolýar; çykyş häsiýetnamalaryň topary (6-njy surat, *b*) kollektoryň I_k togynyň kollektordaky U_k naprýaženiýa baglylygy (emitteriň hemişelik togynnda ($I_k = f(U_k)$, $I_e = \text{const}$ bolanda)) bolýar. $U_k = 0$ naprýaženiýadaa tranzistoryň giriş häsiýetnamasy *p-n*-geçişiň woltamper häsiýetnamasynyň göni şahasyna meňzeş. Ýöne, kollektorda otrisatel naprýaženiýe bolan ýagdaýynda häsiýetnamalaryň käbir süýşmesi bolýar, we emitter geçişden geçýän tok nola deň bolýar (onda naprýaženiýanyň ýok wagty) (6-njy surat, *a*).

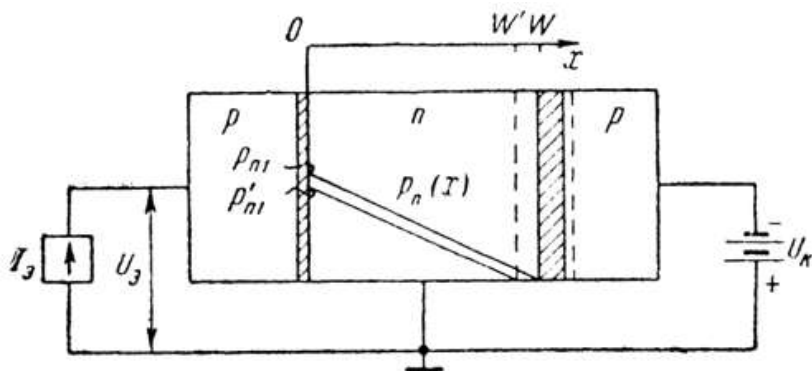
Bu hadysa has giňişräk seredeliň. Tranzistorda normal süýşme bolanda, onuň bazasyndaky esasy däl görterijileriň konsentrasiýasynyň paýlanylmasy, 7-nji suratda görkezilşi ýaly, gönümel diýip hasaplamak bolýar. Bu ýagdaýda emitteriň hemişelik togynda bazadaky esasy däl görterijileriň konsentrasiýasynyň gradienti hemişelik bolup galmaly. Kollektorda otrisatel naprýaženiýanyň ýokarlanmagy bilen ýapyjy gatlak giňelýär (7-nji suratda punktir çyzyklar bilen görkezilen), bazanyň giňligi kiçelýär we W' deň bolýar. Suratdan görnüşi ýaly, konsentrasiónyň gradienti bu ýagdaýda, emitter geçişiniň ýanyndaky esasy däl görterijileriň konsentrasiýasy p'_{nl} ululyga çenli kiçelende hemişelik bolup galyp biler. Bu emitterde naprýaženiýanyň peselmegine we häsiýetnamalaryň çepe süýşmesine laýyk gelýär. Ondan başga, eger emitter geçişdäki naprýaženiýa nola deň bolsa, onda kollektorda otrisatel naprýaženiýanyň barlygynda ondan geçýän tok nola deň däl. Kollektordaky otrisatel naprýaženiýe bazadaky deşikleriň konsentrasiýasynyň kiçelmegine getirýär we emitter geçiş üçin termodinamiki deňagramlygyň ýagdaýy bozulýar.



5-nji surat



6-njy surat



7-nji surat

Emitterden baza deşikleriň akymy, bazadan emittere deşikleriň akymyndan ýokary diýmek bolýar. Emitter geçişden geçýän tok, onda diňe käbir otrisatel süýşmede nola deň bolar.

Çykyş häsiýetnamalaryň tarapynda üç häsiýetli meýdanlary çykarylýar (6-njy surat, b). **I**-nji meýdan kollektordaky otrisatel naprýaženiýa we emitter geçişiniň göni süýşmesine laýyk gelýär, oňa tranzistoryň güýçlenmesiniň aktiw meýdany diýilýär. **II**-nji meýdana doýgunlaşma meýdany diýilýär: bu ýerde tranzistoryň iki geçişiniň göni ugurda süýşen. **III**-nji meýdana bölme meýdany diýilýär; emitter we kollektor geçişler bu ýerde ters ugurda süýşen.

Emitteriň nola deň bolan togynda tranzistoryň çykyş häsiýetnamasy, ters ugura süýşen ýekelik ***p-n***-geçişiň woltamper häsiýetnamasy bilen gabat gelýär. Öçürilen emitterde kollektoryň togyna kollektor geçişiň ters togy diýilýär we I_{k0} belgilenýär. Naprýaženiýa sähelçe bagly bolan I_{k0} ululyk tranzistoryň wajyp parametrleriniň biri bolýar. Kollektorda naprýaženiýanyň ýokarlanmagy bilen kollektoryň togy ösýär. $I_k(U_k)$ egrileriň ýapgyt ululygyny kollektor

$r_k = \left. \frac{dU_k}{dI_k} \right|_{I_c = const}$ garşylygy bilen häsiýetlendirilýär. Bu soragda

has çuňňur saklanman, diňe indikini belläliň: kollektorda naprýaženiýanyň ýokarlanmagy bilen, ýokarda görkezilşi ýaly, bazanyň giňligi kiçelýär, onuň netijesinde emitterden kollektora çenli aralykda deşikleriň rekombinasiýasynyň ähtimallygy azalýar. Şeýlelikde emitteriň hemişelik togynda, kollektora çenli ýetýän deşikleriň togy geçişdäki naprýaženiýanyň ýokarlanmagy bilen ýokarlanmaly. Bu effekt bilen esasan hem tranzistoryň kollektorynyň, ideal ***p-n***-geçişde hem şonsuz uly bolup bilmeýän garşylygy şertlendirilen.

Kollektorda naprýaženiýe ýok bolanda ($U_k=0$) kollektoryň togynyň barlygy bazanyň meýdanyna emitter bilen deşikleriň inžeksiýasy bilen şertlendirilýän kollektor geçişiň üstünden geçýän deşikli toklaryň aralygynda deň agramlylygyň bozulmagy bilen getirilýär. Bazadan kollektora deşikleriň artykmaç akymyny kompensirlemek üçin, hökmany kollektor geçişe göni naprýaženiýe bermeli.

1.3. Umumy emitterli shemada tranzistoryň statiki häsiýetnamalary

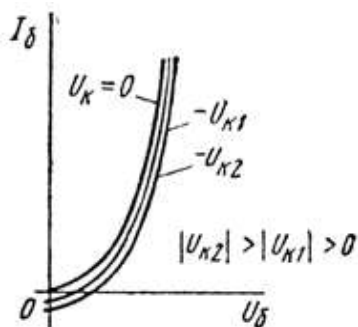
Umumy emitterli shemada tranzistoryň häsiýetnamalary (8-nji surat, ***a*** we ***b***) hil taýdan umumy bazaly shemadaky häsiýetnamalara meňzeş.

Kollektor naprýaženiýe $U_k=0$ bolanda giriş häsiýetnama (8-nji surat, ***a***) koordinatlaryň başyndan geçýän we ýeke ***p-n***-

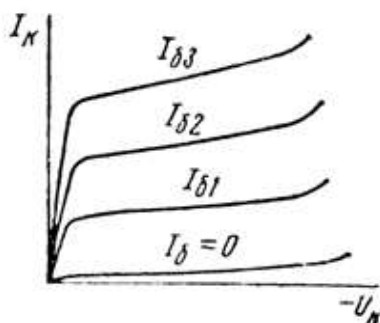
geçişiň woltamper häsiýetnamasyndan, toklaryň okynyň masştaby bilen tapawutlanýar, sebäbi bazanyň togy geçişden geçýän I_e tokdan kiçi. Kollektoryň otrisatel naprýaženiýalarynda häsiýetnamalar saga we aşak süýşýärler. Bu süýşmäni hil taýdan indiki görnüşde düýündirmek bolar. Goý emitter geçişde naprýaženiýe hemişelik ($U_e=const$) bolsun. Onda emittere ýakyn bazanyň meýdanyndaky deşikleriň konsentrasiýasy hem hemişelik bolýar. Otrisatel U_k naprýaženiýanyň ulalmagy bazanyň giňliginiň kiçelmegi, şeýlelikde bazada bar bolan deşikleriň umumy mukdarynyň azalmagy bilen alyp barylýar. Şonuň üçin bazadaky elektronlaryň we deşikleriň rekombinasiýalarynyň sany wagt birliginde azalýar. Bu bolsa häsiýetnamalaryň saga süýşmesini aňladýar (8-nji surat,*a*).

Giriş häsiýetnamalaryň aşak süýşmesini düşündireliň. $U_{eb}=0$ we kollektorda otrisatel naprýaženiýe bolanda, tranzistoryň bazasynda deşikleriň konsentrasiýasy deňagramlydan az, sebäbi kollektor geçişiň ýanynda bu konsentrasiýa nola deň, emitter geçişiň ýanynda bolsa onuň ululygy deňagramly baha bilen kesgitlenilýär. Şonuň üçin bazanyň meýdanynda ýylylyk generasiýanyň prosesi rekombinasiýa prosesinden has ähmiýetlidir. Generirlenýän elektronlar bazadan baza çykyşyň üsti bilen çykyp gidýärler, ol bolsa tranzistoryň bazasynda ugurykdyrylan elektrik togynyň barlygyny aňladýar.

Umumy emitterli shema (8-nji surat,*b*) we umumy bazaly shema (6-njy surat,*b*) boýonça çatylan tranzistorlaryň çykyş häsiýetnamalaryny deňeşdirip iki sany has görnükli aýratynlyklaryny görmek bolýar: birinjisi, umumy emitterli shemada häsiýetnamalar ulyýapgyda eýedirler, ol bolsa tranzistoryň çykyş garçylygynyň kiçelendigi barada şaýatlyk edýär; ikinjisi bolsa, doýgunlaşma režimine geçişi kollektoryň otrisatel naprýaženiýalarynda görmek bolýar.



a)



b)

8-nji surat

U_k naprýaženiýanyň ulalmagy bilen kollektoryň togynyň ösmegi bazanyň giňliginiň kiçelmegi bilen kesgitlenilýär. Tranzistoryň geçiş κ koeffisienti, şeýlelikde emitteriň tok geçirijilik α koeffisienti hem ösýär. Umumy emitterli shemada bazanyň tok geçirijilik koeffisienti $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$ emitteriň α koeffisientden çalt ösýär. Şonuň üçin bazanyň hemişelik togynda kollektoryň togy umumy bazaly shemasyndakydan has güýçli ösýär.

Kollektor geçişdäki naprýaženiýanyň nola deň bolan kriteriýa bilen tranzistoryň doýgunlaşmasy, kollektoryň we emitteriň aralygynda uly bolmadyk otrisatel naprýaženiýalarda başlaýar. Bu, umumy emitterli shemada U_k naprýaženiýe iki geçişdäki naprýaženiýalaryň jemine deňligi bilen düşündirilýär. Şeýlelikde kollektor geçişde naprýaženiýe, haçanda U_k ululyk emitter geçişdäki naprýaženiýa deň bolanda nola deň bolýar, ol bolsa U_k naprýaženiýanyň otrisatel bahasyna deň bolýar.

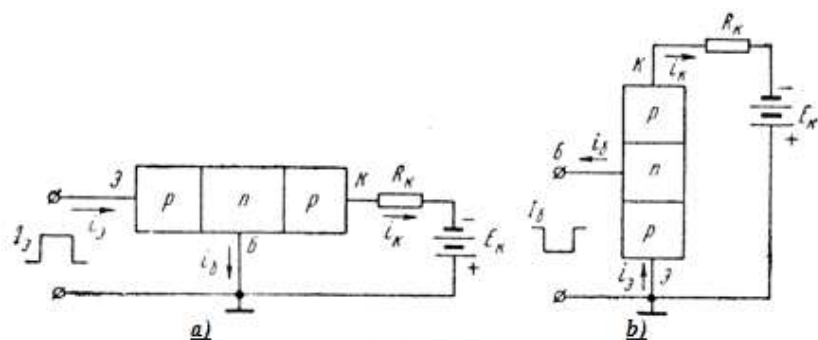
II. TRANZISTORLARYŇ IMPULS HÄSIÝETNAMALARYNY ÖWRENMEK.

2.1. Tranzistoryň aktiw meýdanda işleýşiniň hil derňewi.

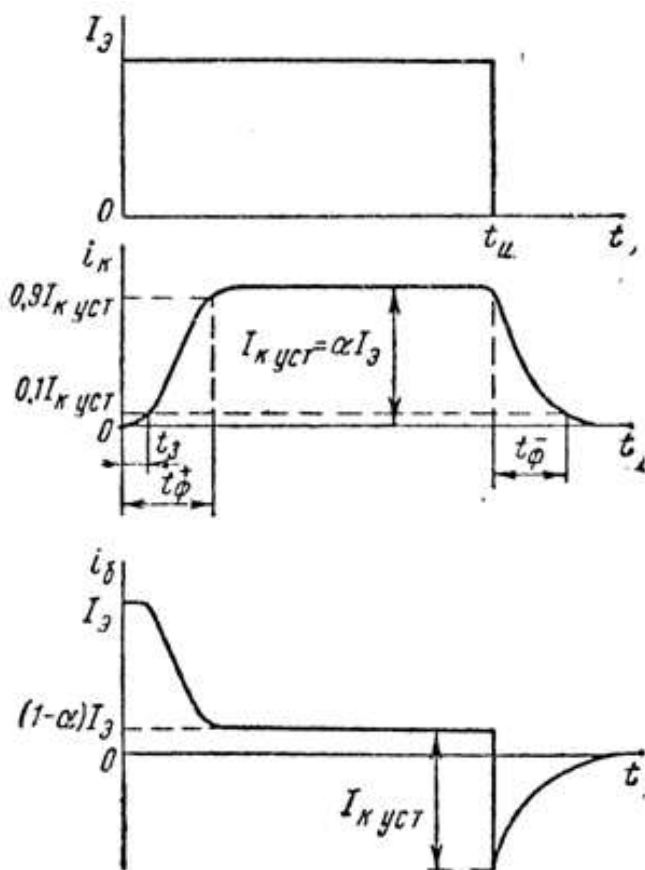
Geçiş prosesleriň häsiýeti transiztoryň çatylyş shemasyna we signalyň çeşmesiniň içki garşylygynyň ululygyna baglydyr. Umumy bazaly we umumy emitterli shema boýunça çatylan tranzistoryň girişine togyň we naprýaženiýanyň gönüburçly impulsyny girişine berlende işleýşini barlamaly.

Goý umumy bazaly shema boýunça çatylan tranzistoryň girişinde wagtyň $t=0$ pursatynda I_e togyň impulsy berilsin (**1,a** surat). Egerde bazada deşikleriň traýektoriyalary we tizlikleri meňzeş bolan bolsa, onda deşikleriň bazadan geçiş wagtyna deň bolan käbir saklanma wagtdan soň tranzistoryň kollektorynda giriş signalyň ideal çykyşy bolardy. Ýöne, bazada deşikleriň traýektoriyasy we tizlikleri dürli, şonuň üçin emitter bilen birlikde inžektirlenen deşikler kollektora çenli wagtyň dürli pursatlarynda ýetýärler, ýagny kollektoryň togynyň impulsynyň ön frontynyň bulaşmasy bolýar (**2-nji** surat). Bazanyň elektroneýtrallylygy, deşikleriň inžeksiýasy bilen bilelikde baza çykyşyň üstünden deşikler bilen bilelikde kollektor geçişe hereket edýän elektronlar barýandygy sebäpli saklanýar. Deşikler kollektora çenli ýetmänkäler (t_3 pursat), bazanyň togy emitteriň togyna deň. We saklanma t_3 wagtdan soň, bazanyň togy peselip başlaýar we gurnalan baha ymtylýarlar.

Gurnalan baza togy göterijileriň rekombinasiýasy bilen kesgitlenilýär. Şeýlelikde, tranzistoryň bazasynda gurnalan režimde deňölçegli bilen deňeşdirilende deşikleriň we elektronlaryň käbir artykmaç konsentrasiýasy bolýar.



1-nji surat



2-nji surat

Giriş togyň impulsy gutaran pursaty bazada deşikleriň konsentrasiýasy iki sebäp boýunça kiçelýärler: birinjisi, deşikler kollektor geçişden gityärler we kollektor togy döredýärler; ikinjisi, elektronlar bilen rekombinirlenýärler. Tranzistoryň bazasyny wagtyň dürli pursatynda elektroneýtral hasap etmek bolýar. Şeýlelikde, rekombinirlenen we wagt birliginde bazadan gidýän deşikleriň we elektronlaryň mukdary meňzeş, ýagny kollektor we baza toklary giriş signaly gutarandan soň deň bolýar (2-nji surat).

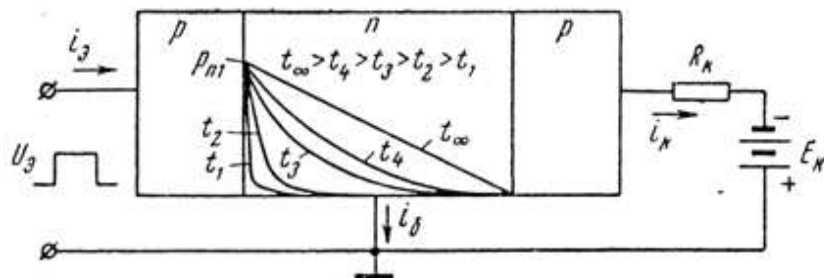
Umumy bazaly shema boýunça çatylan tranzistorda geçiş prosesiniň şekili, eger girişe naprýaženiýanyň göniburçly impulsyny berilse başgaça bolýar. Impulsy berlen pursaty ($t=0$) bazada emitter geçişiniň çäginde şol pursat deşiklerini

konsentrasiýasy gurnalýar (3-nji surat) $p_{n1} = p_{n0} e^{-\frac{eU_e}{kT}}$; bu ýerde p_{n0} – bazada deşikleriniň deňölçepli konsentrasiýasy. Başda deşiklerini konsentrasiýasynyň gradienti soňsuz uly, sebäbi deşikler bazanyň içine diffundirlenip ýetişmeýärler. Şonuň üçin emitterini we bazanyň toklary soňsuz uly bolmaly (4-nji surat). Hakykatda ol toklar çäkli, sebäbi emitter geçişde naprýaženiýany, emitterini barýer C_e sygymynyň we bazanyň r_b garşylygynyň soňky bahasynyň barlygy üçin bökjekleýin üýtgedip bolmaýar.

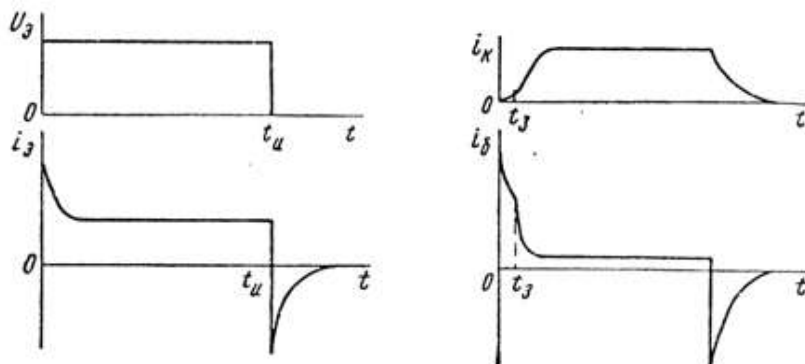
Deşiklerini emitterden kollektora diffuzion geçişi boýunça konsentrasiýanyň gradienti, şeýlelikde hem, emitterini we bazanyň toklary guralan baha ymtylmak bilen peselerler. Öňki ýagdaýda bolşy ýaly kollektoryň togynyň ýokarlanmagy käbir gijikme t_3 wagtdan soňra başlanar. Bazanyň togy t_3 wagt pursatyna çenli emitterini togyna deň, soňra ol emitterini togundan çalt peselýär, sebäbi deşikler kollektoryň meýdanyna geçip başlarlar. Bazanyň togynyň guralan bahasy bazanyň meýdanynynda deşiklerini rekombinasiýa prosesi bilen kesgitlenilýär.

U_e naprýaženiýanyň impulsynyň gutaran pursaty bazada emitter geçişiniň çäginde deşiklerini konsentrasiýasy şol pursat

deýölçepli ýagdaýa çenli peselýär, deşikleriň konsentrasiýasynyň ters gradiendi emele gelýär, onuň netijesinde emitteriň togy ululygy boýunça öz uguryny üýtgedýär we soňsyzlyga ymtylýar. Hakykatda emitteriň togynyň ululygy çäkli, sebäbi bazanyň r_b garşylygy we



3-nji surat



4-nji surat

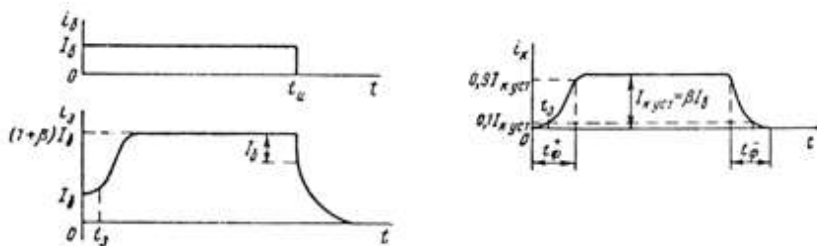
emitteriň C_e sygymy bar. Kollektoryň togy $t=t_i$ wagt pursatynda bökjekleýin üýtgäp bilmeyär, sebäbi emitterde deşikleriň konsentrasiýasynyň üýtgemesi kollektora çalt ýaýramaýar. Şonuň üçin bazanyň togynyň t_i wagt pursatynda üýtgemesi emitteriň togynyň üýtgemesine deň. Bazada deşikleriň konsentrasiýasynyň gradientiniň kiçelmegine

getirýär, ol hem bazanyň, emitteriň we kollektoryň toklarynyň pese düşmegini kesgitleýär.

Tranzistory umumy emitterli shema boýunça çatylanda we onuň girişine naprýaženiýanyň impulsy berlende geçiş proses umumy bazaly shemadaky ýaly geçýär.

Umumy emitterli shema boýunça çatylan tranzistorda we onuň girişine togyň göni burçly impulsy berlende geçiş proseslere seredeliň (**1,b** surat). Bu ýerde hil analizi has çylşyrymly, sebäbi bazada emitter geçişiniň ýakynynda deşikleriň özüni alypbaryşlary belli däl. Öňki ýagdaýlarda, deşikleriň konsentrasiýasynyň ululygy ýa-da konsentrasiýasynyň gradienti emitteriň ýakynynda özüniň geçiş prosesiniň dowamynda hemişelik bolup galýarlar. Bu ýagdaýda bolsa, tranzistoryň bazasynda deşikleriň mukdary ulaljakdygyny tassyklamak bolýar, ýagny deşikleriň üýşmesi bolar.

Goý tranzistoryň bazasynda $t=0$ wagt pursatynda I_b togyň göniburçly impulsy berilsin (**5-nji** surat). Baza çykyşyň üstünden berilýän elektron akym bilen bilelikde, onuň ululygy boýunça deň, emitterden deşikleriň inžeksion akymy emel gelýär. Elektronlar we deşikler kollektora diffundirlenýär we käbir saklanma t_3 wagt geçenden soň kollektor geçişe ýetýärler. Şol pursatdan deňe kollektoryň togy dälde, ýöne emitteriň togy hem ýokarlanyp başlanýar. Emitteriň deşikleriň togynyň ýokarlanmagyny emitter geçişiniň potensial barýeriniň peselmegi bilen şertlendirilýär, bazanyň meýdanynda elektronlaryň kompensirlenmedik otrisater zarýadyň peýda bolmagy netijesinde bolýar. Soňkysy **p-n**-geçişiniň potensial barýeri elektronlaryň bazadan erkin ýagdaýda gitmegine päsgel berýändigini bilen bolýar. Emitter geçişden deşikleriň togynyň ýokarlanmagy we şoňa laýyklykda kollektoryň togynyň ösmegi, bazada deşikleriň (we laýyklykda elektronlaryň) konsentrasiýasy, şeýlelikde rekombinasiýanyň tizligi hem, bazanyň togy diňe



5-nji surat

rekombinasiýa girmegini aňlatmaýar. Bazanyň I_b togyň impulsy gutarandan soň bazada deşikleriň konsentrasiýasy rekombinasiýanyň we kollektora gidişiniň hasabyna pese düşýär. Onuň netijesinde emittor we kollektor geçişleriň çäklerinde deşikleriň konsentrasiýasynyň gradienti peselýär, şeýlelikde emitteriň we kollektoryň toklary peselýär.

2.2. Pes signalda tranzistorlarda geçiş prosesleriniň mukdarlaýyn bahalandyrmasy.

Geçiş prosesleriň mukdarlaýyn bahalandyrylmasy üçin giriş signalyň üýtgemesine tranzistoryň reaksiýasyny kesgitleýän geçiş häsiýetnamasyny hökman bilmelidir.

Tranzistorda geçiş prosesleri anyklamak üçin, esasyna bazanyň elektroýtrallylygy goýlan deňlemäni ulanallyň, ýagny stasionar režimde bolşy ýaly hem geçiş režimde položitel we otrisatel zarýadlaryň nola deňligi bolýar.

p-n-p tranzistoryň bazasynda donorlaryň doly zarýadyny Q_d bilen deşikleriň we elektronlaryň zarýadlaryny, laýyklykda Q_p we Q_n , bilen belgiläp $Q_d + Q_p = Q_n$ alýarys.

Stasionar režimde, bellenilişi ýaly, deşikleriň we elektronlaryň zarýadlary üýtgeýärler. Eger tranzistoryň kollektorynyň zynjyrynda ýüküň R_k garşylygy çatylan bolsa, onda kollektoryň togynyň üýtgemesi kollektoryň U_k naprýaženiýanyň we W bazanyň giýliginiň üýtgemesi bilen alyp barylýar. Ol tranzistoryň bazasynda Q_d donorlaryň doly

zarýadynyň üýtgemegine getirýär. Öňki görkezmäni differensirläp indikini alýarys:

$$\frac{dQ_d}{dt} + \frac{dQ_p}{dt} = \frac{dQ_n}{dt} \quad (1)$$

(1) deňlemede, emitter we kollektor geçişleriň giňliginiň üýtgemesi bilen şertlendirilen dQ_d/dt ululyk, emitteriň C_e we kollektoryň C_k barýer sygymlarynyň zarýadkasyna barýan toklaryň algebraik jemine deň:

$$\frac{dQ_d}{dt} = C_e \frac{dU_e}{dt} - C_k \frac{dU_k}{dt} \quad (2)$$

bu ýerde U_e we U_k – emitter we kollektor geçişlerdäki naprýaženiýe (2) görkezmede minus belgisi kollektorda naprýaženiýanyň peselmegine (ýagny, kollektor geçişiň giňliginiň kiçelmegine) bazada donorlaryň zarýadynyň ulalmagyna laýyk gelýändigini hasaba almak bilen goýulýar.

Emitteriň effektiwliginde ($\gamma=1$ we $I_{ko}=0$) bazada deňölçeşsiz elektronlaryň otrisatel zarýadynyň üýtgemesi rekombinasiýanyň we baza I_b togyň hasabyna bolýar; ol üýtgame indiki deňleme bilen beýan edilýär.

$$\frac{dQ_n}{dt} = -\frac{\Delta Q_n}{\tau_p} + I_b \quad (3)$$

$\frac{\Delta Q_n}{\tau_p}$ ululyk tranzistoryň bazasynda deňölçeşsiz ΔQ_n

elektronlaryň rekombinasiýasyny häsiýetlendirýär. Sebäbi baza n -görnüşli, onda elektronlaryň ýaşaýyş wagty (τ_n) deşikleriň ýaşaýyş (τ_p) wagtyna deň. Şonuň üçin (3) görkezmede τ_n ýerine τ_p ululyk ulanylýar.

(2) we (3) görkezmeleri hasaba almak bilen (1) deňleme şu görnüşde ýazmak bolýar.

$$C_e \frac{dU_e}{dt} - C_k \frac{dU_k}{dt} + \frac{dQ_p}{dt} = -\frac{\Delta Q}{\tau_p} + I_b \quad (4)$$

Q_n ululyk deňölçeşsiz deşikleriň Q_p zaryada deňligini anyklap, bazada deňölçeşsiz deşikleriň zaryady üçin differensial deňleme alarys:

$$C_e \frac{dU_e}{dt} - C_k \frac{dU_k}{dt} + \frac{d\Delta Q_p}{dt} + \frac{\Delta Q_p}{\tau_p} = I_b$$

Indikilerde üç burç belgini we p indeksi aýyryp, Q zaryady diňe deňölçeşsiz deşikleriň zaryady hasap edeliň.

Erginži tranzistorlarda emitter geçişiň sygymy emitter geçişiň pes we garşylygy bilen şantirlenýär, şonuň üçin onuň täsiri ýok Şeýlelikde bazarda deňölçeşsiz deşikleriň zaryady üçin deňlemäni şu görnüşde ýazarys:

$$-C_k \frac{dU_k}{dt} + \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{\tau_p} = I_b \quad (5)$$

Kollektoryň toguny kesgitlemek üçin onuň tranzistoryň bazasynda deňölçeşsiz deşikleriň zaryady bilen baglanyşygyny gurnalyň. Bazarda deşikleriň konsentrasiýalaryny paýlanylmagy gönümel hasaplap deşikleriň zaryadyny görkezeliň:

$$Q = \frac{1}{2} e p_{n1} W \quad (6)$$

Emitteriň togy $I_e = -e D_p \frac{dp}{dx}$, deşikleriň gönümel paýlanylmagynda konsentrasiýanyň ýapyk konsentrasiýasy $\left| \frac{dp}{dx} \right| = \frac{p_{n1}}{W}$ görkezme bilen kesgitlenilýär, hasap edip, (6)

gatnaşygy indiki görnüşde ýazmak bolýar:

$$Q = \frac{W^2}{2D_p} I_e = \tau_\alpha I_e \quad (7)$$

Emitteriň togunda

$$\tau_{\alpha} = \frac{W^2}{2D_p} \quad (8)$$

koeffisient ϕ geçiriji koeffisientiň wagt hemişeligi bolýar. τ_{α} wagt hemişeligi bazadaky deşikleriň ýaşayyş wagty bilen bagly:

$$\tau_{\alpha} = \tau_p (1 - \alpha_0) \quad (9)$$

(9) görkezmäni we emitteriň we kollektoryň toklarynyň arasyndaky ($I_k = I_e - I_c$) gatnaşygy hasaba almak bilen, (4179) görkezmäni şu görnüşde görkezmek bolar

$$Q = \frac{\tau_p}{\beta_0} I_k \quad (10)$$

bu ýerde $\beta_0 = \frac{\alpha_0}{1 - \alpha_0}$ – umumy emitterli shemada tranzistoryň geçiriji koeffisienti.

Stasionar režimde uly takyklyk derejesi bilen adalatly, bazada deşikleriň konsentresiýasynyň gönümel paýlanyşygy barada tassyklama gysga geçiş proseslerde (haçanda geçiş prosesiniň wagty bazada deşikleriň diffuziýanyň ortaça wagty bilen deň bolanda) bozulýandygyny bellemek hökmandyr. Şonuň üçin, (5) deňlemäniň çözüdinden çykýan geçiş häsiýetnamalary, kollektor toguň saklanma wagtyňy hasaba almaýarlar.

Eger-de bazanyň zynjyryna toguň göniburçly impulsy berlende (surat 4,47 b we 5), tranzistoryň kollektor togunyň üýtgeме kanunyňy tapalyň.

$$dU_k = -R_k dI_k \quad (\text{sebäbi } U_k = E_k - R_k I_k) \quad Q = \frac{\tau_p}{\beta_0} I_k$$

hasaba almak bilen zarýadlandyryjy deňleme şu görnüşde bolýar:

$$(\tau_p + \beta_0 C_k R_k) \frac{dI_k}{dt} + I_k = \beta_0 I_b \quad (11)$$

Ony başlangyç nol ýagdaýlarda işlemek bilen kollektoryň togunyň üýtgeме kanunynyn alarys:

$$I_k(t) = \beta_0 I_b \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_p + \beta C_k R_k}} \right) \quad (12)$$

Kollektoryň togunyň impulsynyň ön frontynyň t_f^+ dowamlylygy, kollektoryň togy 0 -dan $I_{k,gurn}=0,9\beta_0 I_b$ çenli ösýän wagt bilen kesgitlenilýär:

$$t_f^+ = (\tau_p + \beta C_k R_k) \ln \frac{\beta_0 I_b}{\beta_0 I_b - 0,9 I_{k,gurn}} = 2,3(\tau_p + \beta_0 C_k R_k) \quad (13)$$

Umumy bazaly shemada giriş tok emitteriň I_e togy bolýar, Şonuň üçin geçiş prosesleriň analizi üçin (5) deňlemäni ulanmak amatly däl. $I_b = I_e - I_k$ we bazadaky deşikleriň zarýady

$$Q = \tau_\alpha I_e = \frac{\tau_\alpha}{\alpha_0} I_k \quad (14)$$

deňlik bilen kollektoryň togunyň üsti bilen görkezilýändigini hasaba almak bilen, (5) deňlemäni şu görnüşde ýazarys:

$$-C_k \frac{dU_k}{dt} + \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{\tau_\alpha} \left(\alpha_0 + \frac{\tau_\alpha}{\tau_p} \right) = I_e$$

(9) deňlemäni peýdalanyp, umumy bazaly shemada geçiş prosesleriň analizi üçin zarýadlandyryjy (15) deňlemäni indiki görnüşde ýazmak bolýar:

$$-C_k \frac{dU_k}{dt} + \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{\tau_\alpha} = I_e \quad (15)$$

$$dU_k = -R_k dI_k \text{ we } Q = \frac{\tau_\alpha}{\alpha_0} I_k \text{ hasap edip, toklar üçin}$$

zarýadlandyryjy (15) deňlemäni indiki görnüşde ýazmak bolýar:

$$C_k R_k \frac{dI_k}{dt} + \frac{\tau_\alpha}{\alpha_0} \frac{dI_k}{dt} + \frac{1}{\alpha_0} I_k = I_e \quad (16)$$

Ony başlangyç nol ýagdaýlarda işlemek bilen, umumy bazaly shema boýunça çatylan tranzistoryň kollektortynyň togunyň üýtgeме kanunyny (onuň girişine pes amplitudaly emitteriň togunyň I_e impulsy berlende (1,a we 2-nji surat)) taparys:

$$I_k(t) = I_e \alpha_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_\alpha + \alpha R_k C_k}} \right) \quad (17)$$

Bu ýerden kollektoryň impulsynyň ön frontynyň dowamlylygyny kesgitleýäris:

$$t_f^+ = 2,3(\tau_\alpha + \alpha_0 R_k C_k) \quad (18)$$

(13)we (18) aňlatmalardan kollektoryň togunyň impulsynyň öndäki frontynyň dowamlylygynyň diňe bir abzalyň parametrlerine bagly bolman, eýsem ýüklenme garşylygyna hem baglydygyny görüňär. Şunlukda umumy emmitterli shemada geçiş prosesi, umumy bazaly shema garanda, has uzagrak dowamlylygy eýedir.

Alnan (11) we (16) deňlemeleri tranzistoryň tutuş işjeň obhlastynda geçiş prosesiniň hasaplamalarynda ulanylsa bolýar. Munuň üçin togy geçirmegiň koeffisientiniň ortalaşdyrylan α bahasyny α_0 -yň ýerine (degişlilikde β_0 -yň ýerine B) we kollektoryň geçişiniň barýerleýin sygymynyň ortalaşdyrylan \bar{C}_k bahasyny C_k -nyň ýerine girizmeli. Munuň özi togy geçirmegiň α_0 koeffisientiniň (degişlilikde β_0 -yň hem) süýşme režimine baglydygy, işçi nokadyň bolsa, uly giriş signalynda ähli işjeň oblasty geçýändigini bilen şertlendirilýär.

Toguň geçmeginiň umumy bazaly shemadaky α we umumy emitterli shemadaky B koeffisientlerini işjeň oblastda doýgunlaşma režiminiň araçäginde kesgitlenilýär. Kesgitleme boýunça

$$a = \frac{I_k - I_{k0}}{I_e}$$

we

$$B = \frac{I_k - I_{k0}}{I_b + I_{k0}}.$$

Kollektorlaýyn geçişin ortalaşdyrylan sygymy diýlip, bahasy (5) ýa-da (16) deňlemelere goýlanda, bu deňlemeleri liniýalaýyn däl $C_k(Uk)$ sygym bilen çözlendäki geçiş prosesiniň dowamlylygynyňky ýaly baha alynýan käbir hemişelik $\overline{C_k}$ sygyma düşünilýär. Hasaplamalaryň görkeziji ýaly, splawlaýyn tranzistorlar üçin $\overline{C_k} = 2C_{kE}$, bu ýerde $C_{kE} - E_k$ naprýaženiýede kollektor geçişin sygymynyň bahasy. Dreýf tranzistorlar üçin $\overline{C_k} = 1,5C_{kE}$.

Ähli seredilip geçilenler kiçi amplitudaly gönüburçly impulsalaryň güýçlendiriji hökmünde işleýän tranzistorlardaky geçiş proseslerine degişlidir. Impulslaýyn tehnikada tromzistor, köplenç, iki ýagdaýy: “ýakylan”, haçanda işçi nokat doýgunlaşma oblastynda ýerleşendäli (6-njy suratdaky **B** nokat) we “öçürilen” haçanda işçi nokat kesip zyňma oblastynda (**A** nokat) ýerleşendäki tranzistory bir ýagdaýdan başga ýagdaýa geçirilmegi uly amplitudaly giriş signaly arkaly amala aşyrylýar.

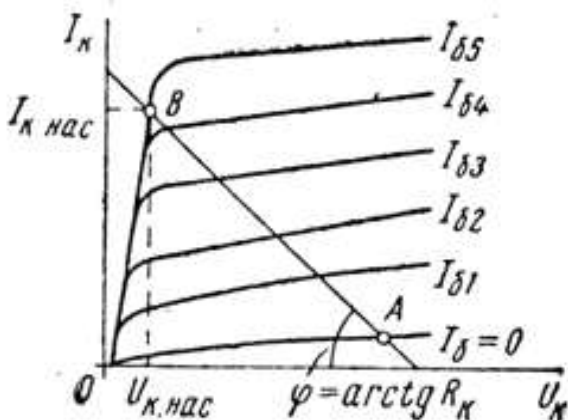
Goý, umumy emitterli shema boýunça çatylan tranzistoryň girilýän ýerine işçinokady kesip zyňma režiminden doýgunlaşma režimine geçirmek üçin ýeterlik bolan I_b (7-nji surat) toguň açyýjy impulsy berlen diýeliň.

Tranzistoryň açylma wagty iki basgançaga bölse bolar: položitel frontyň formirlenme basgançagy we agdyklyk edýän zarýadyň toplanma basgançagy. Kiçi signalyň ýagdaýyndaky ýaly, kollektor togy wagtyny t_3 geçirip, durnuklaşan BI_b baha ymtylyp, artyp başlaýar. Ýöne tranzistor doýgunlaşma režimine düşen badyna (6-nji suratda **B** nokat), kollektor togunyň

artmagy togtaýar. Bu pursatda kollektor togunyň impulsynyň öňdäki frontynyň formirlenmegi tamamlanýar we deşikleriň bazadaky agdyklyk edýän zarýadynyň toplanma basgançagy başlanýar.

Adatça, iýmitlenme çeşmesiniň E_k naprýaženiýesi doýgun tranzistoryň kollektor-emitter naprýaženiýesine garaňda has köp bolan soň, doýgunlaşma režiminde kollektor togy diňe daşky zynjyr arkaly kesgitlenilýär

$$I_{k.doý} = E_k / R_k \quad (19)$$



6-njy surat

Tranzistoryň işjeň režiminden doýgunlaşma režimine geçmeginiň şerti aşadaky deňlikdir:

$$I_b = I_{b.doý} = I_{k.doý} / B \quad (20)$$

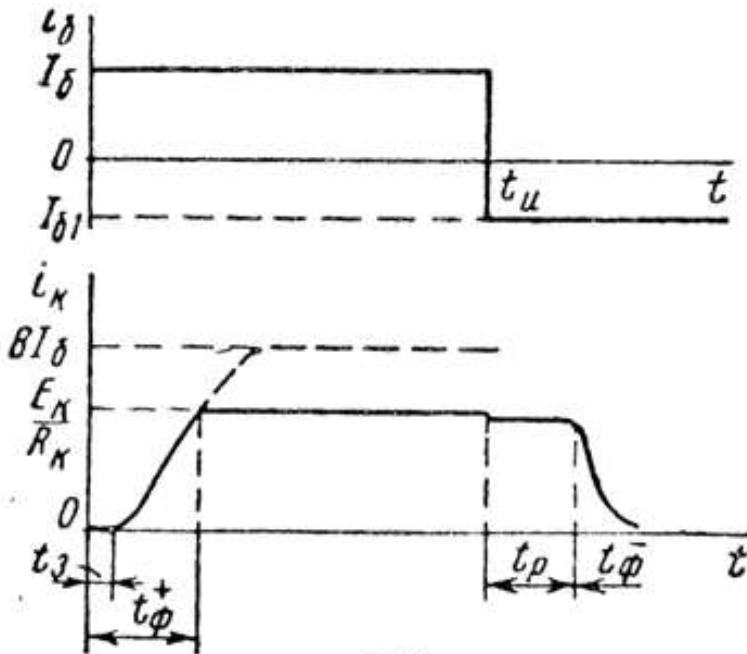
bu ýerde $I_{b.doý}$ doýgunlaşmagyň işjeň oblastynyň araçägene laýyk gelýän baza togy.

Kollektor togunyň üýygemeginiň kanunyny (12) deňlemäni çözüp tapsa bolýar

$$I_k(t) = I_b B \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_p + B C_k R_k}} \right) \quad (21)$$

Kollektoryň togunyň öňdäki frontynyň dowamlylygyny (21) aňlatmadan, onda $t=t_f$ bolanda tok $i_k=I_{k.do}$ g. Bolýar diýip hasaplap aşakdaky ýaly kesgitleýäris:

$$t_f^+ = \left(\tau_p + B \overline{C_k} R_k \right) \ln \frac{I_b}{I_b - \frac{I_{k.do}}{B}} \quad (22)$$



7-nji surat

Eger-de I_δ togunyň a,yjy impulsy $I_b \gg I_{k.do}$ g şert ýerine ýetirer ýaly, şonça uly bolsa, onda öňdäki frontuň dowamlylygynyň aňlatmasyny aşakdaky ýaly ýönekeýleşdirse bolýar:

$$t_f^+ = \frac{\tau_p + B \overline{C_k} R_k}{B} \cdot \frac{I_{k.do}}{I_b} \quad (23)$$

(11), (16) differensial deňlemeleri hem tranzistory ýapma prosesiniň dowamlylygyny hasaplamak üçin hem ulanyp bolýar.

2.3. Tranzistoryň doýgunlaşma režimi

Tranzistoryň doýgunlaşmagy bilen baglanyşykly geçiş proseslerine garap geçeliň. Eger-de giriş signalynyň ululygy tranzistory doýgunlaşma režimine geçirmek üçin ýeterlik bolsa, onda formirlenmesi kollektoryň togunyň öňdäki fronyunyň tamamlanandan soňra deşikleriň bazadaky zaryady artmagyny dowam etdirýär. Şunlukda bazanyň, emitteriň we kollektoryň toklary hemişelik bolup galýarlar, şonuň üçin hem deşikleriň konsentrasiýasynyň paýlanma konsentrasiýasy, t_f^+ wagt pursadyndan başlan özi özüne parallel ýagdaýda süýşýär (8-nji surat). Ahyrky netijede, bazada deşikleriň konsentrasiýasynyň $Q > Q_{ar}$ araçäk ululyk bilen kesgitlenýän käbir paýlanmasy durnuklaşar. Deşikleriň toplanma basgançagynyň ahyryndaky

Q zaryadynyň we $Q_{ar} = \frac{\tau_p I_{k.do}}{B}$ araçäkleýin zaryadynyň

tapawudyna agdyklyk edýän zaryad diýlip atlandyrylýar:

$$Q_{agdyk} = Q - Q_{ar}$$

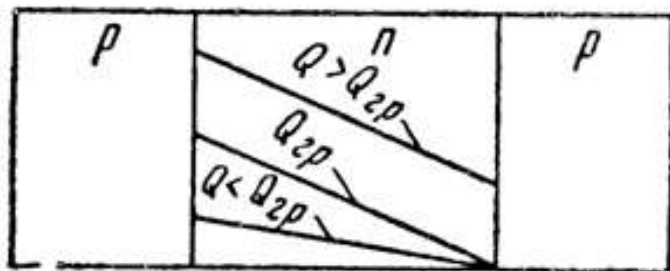
Doýgunlaşma režiminde bazadaky deşikleriň agdyklyk edýän zaryady üçin deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazsa bolar:

$$I_{b.agdyk} = \frac{dQ_{agdyk}}{dt} + \frac{Q_{agdyk}}{\tau_{do}} \quad (24)$$

bu ýerde $I_{b.agdyk} = I_b - I_{b.do}$; τ_{doyg} – deşikleriň doýgunlaşma režiminde netijeli (effektiw) ýaşama wagty.

Üstesine-de, $\tau_{doyg} < \tau_p$, çünki doýgunlaşma režiminde kollektorlaýyn geçişiň golaýynda deşikleriň konsentrasiýasy nola deň däldir. Munuň äzi üst-ýüzleýin rekombinasiýa bolup geçýän üst-ýüz meýdany ulkalýandygyny, ýagny deşikleriň

netijeli (effektiw) bolma (ýaşayyş) wagty azalýar. Adatça, sapwlaýyn tranzistorlarda kollektoryň diametri emitteriň diametrinden uly bolýar, şonuň üçin hem Q_{agdyk} zarýadyny şertlendirýän üst-ýüzleýin rekombinasiýa, esasan, kollektoryň ýanynda bolup geçýär we ýaşayan $\tau_{doýg}$ wagty bazardaky deşikleriň inwersleýin çatylandaky ýaşayyş τ_i wagtyna golaýdyr.



8-nji surat

(24) deňlemäniň deşikleriň nollaýyn başlangyç [$Q_{agd}(0)=0$] şertinde toplanma prosesi üçin çözgüdi aşakdaky görnüşe geler:

$$Q_{agdyk}(t) = I_{b.agdyk} \tau_{do} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{do}}} \right) \quad (25)$$

Bu ýerden toplanma basgançagynyň $t_{doýg}$ dowamlylygyny, ony agdyklyk edýän zarýad $0,9 I_{b.agdyk} \cdot \tau_{do} : t_{do} = 2,3 \tau_{do}$ ýetilýän wagt hökmünde kesgitlep taparys:

Goý, tranzistor uly bazalaýyn togyň täsiri astynda $I_b > I_{b.doýg}$ doýgunlaşma režiminde saklanýar (7-nji surat). $t = t_{agdyk}$ wagt pursadynda bazanyň togy I_{b1} -e deň bolýar. Tranzistora geçilýän ýere toguň $I_{b2} = |I_b| + |I_{b1}|$ bökmesi berildi diýip, hasaplasa bolar.

7-nji suratdan görnüşi ýaly, kollektoryň togunyň üýtgemegi diňe bazanyň t_p togunyň ýapyjy impulsy berlenden käbir wagt geçenden soň bolup geçýär. Bu sorulma wagty diýilip atlandyrylýan wagt deşikleriň bazadaky agdyklyk edýän zaryadynyň bökme tarapyndan ütgedilip bolmaýandygy bilen şertlendirilýär. Diýmek, kollektorlaýyn we emmitterleýin geçişler käbir wagt göni ugrda süýşen ýagdaýda bolýar we kollektoryň togy iş ýüzünde hemişelikligine galar. Sorulma prosesi bazadaky deşikleriň zaryady araçäkleýin *Qaraçäk* zaryada deň bolanda tamamlanýar. Şol wagt pursadyndan kollektorlaýyn geçişin garşylygy birden ýokarlanýar, artýar we yzky frontyň formirlenme basgançagy başlanýar.

Sorulma basgaçaklarynyň dowamlylygyny hasaplamak üçin deşikleriň doýgunlaşma režimindäki agdyklyk edýän zaryady üçin (24) deňleme-den peýdalanarys:

$$\frac{dQ_{agdyk}}{dt} + \frac{Q_{agdyk}}{\tau_{do}} = I_{b2} \quad (26)$$

(26) deňlemäni çözmek üçin başlangyç şert bolup, aşakdaky gatnaşyk hyzmat edýär:

$$Q_{agdyk}(0) = I_{b.agdyk} \tau_{do} \quad (27)$$

Zaryadlaýyn deňlemäniň çözgüdini deşikleriň bazadaky agdyklyk edýän zaryadynyň azalma kanuny berýär:

$$Q_{agdyk}(t) = \tau_{do} I_{b.agdyk} e^{-\frac{t}{\tau_{do}}} + I_{b2} \tau_{do} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{do}}} \right) \quad (28)$$

Sorulma basgançagyynyň ahyrynda deşikleriň bazadaky agdyklyk edýän zaryady nola deňdir. Şonuň üçin hem, (28) aňlaimanyň sag tarapky bölegini nola deňläp sorulma dowamlylygyny aňsatlyk bilen tapyp bolýar:

$$t_p = \tau_{do} \ln \frac{I_b - I_{b1}}{I_{b.do} - I_{b1}} = \tau_{do} \ln \frac{I_b - I_{b1}}{\frac{E_k}{BR_k} - I_{b1}} \quad (29)$$

Hususy ýagdaýda, haçanda, deşikleriň agdyklyk edýän zarýad diňe rekombinasiýanyň hasabyna ýitýär. Şunlukda sorulma wagtyny aşakdaky görnüşde ýazsa bolar:

$$t_p = \tau_{do} \ln \frac{I_b}{I_{b.do}} = \tau_{do} \ln \frac{BR_k I_b}{E_k} \quad (30)$$

Bu ýerden, tranzistoryň doýgunlaşma režiminden çykma wagty bazanyň açyjy togunyň artmagy bilen köpeliýär.

III. ÝAGTYLYGY DUÝGUR ABZALLAR

3.1. Ýagtylygy duýgur abzallar hakda umumy maglumatlar.

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

Ýagtylyga duýgur abzallar – elektromagnit energiýalaryň şöhleneniş 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 **daşky** 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** effektlere

(**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, zarýadlary 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 zarýadlarynyň toplanýanlygy sebäpli garşylygynyň üýtgeýiş duýgurlygyna esaslanýar.

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

Ýagtylyga duýgur abzallarda bolup geçýän 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 $A_{çyk}$ – işi ýerine ýetirýär we v – başlangyç tizligine eýe bolýar.

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

$$h\nu = A_{çyk} + \frac{m_e \cdot v^2}{2}$$

Bu ýerde :

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Joul · sekunt– Plankyň hemişeligi ,
 V – elektromagnit şöhlelenmegiň ýygylgy.

3.2. Daşky we içki fotoeffektleriň aýratynlyklary.

Daşky fotoeffektiň aýratynlyklary :

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

$$I_F = s \cdot \Phi$$

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

s – fotokatodyň ýagtylyga duýgurlygy.

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.

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

3. 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 (yşyklandyrynyňda-da) görmek bolýar.

Içki fotoeffektin aýratynlyklary. Içki fotoeffekt diýilip, kristalyň 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 baryjlaryň-da mukdary üýtgeýär ýa-da olaryň çakgan gozganmaklary netijesinde kristalyň göwrüminiň içindäki zarýadlaryň täzeden paýlanmaklary bolup geçýär.

Içki fotoeffekt hadysasy diňe ýarymgeçirijilerde we dielektriklerde bolup geçýär.

Içki fotoeffektler diýlip hasap edilýänler :

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

w) fotoelektromagnit effekti ; ç) ýarymgeçirijiler deňölçegsiz şöhlelendirlende döreýän efektler.

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

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

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

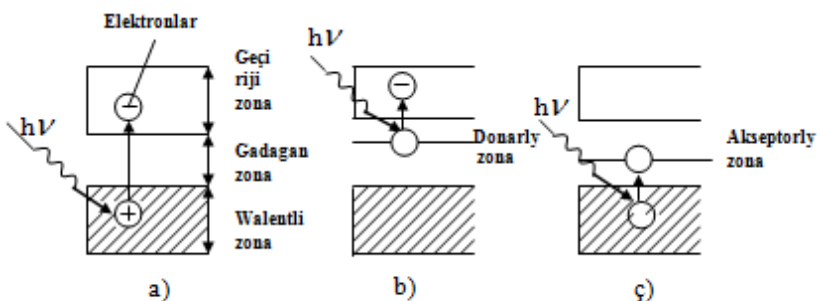
Ýarymgeçirijilere ugrukdyrлан şöhlelän bir bölegi arassa ýarymgeçirijä zerurlyk üçin harçlanýan (ýuwdulýan) bolsa, beýleki bölegi ýarymgeçirijiniň düzümine goşulan garyndylar tarapyndan ýuwdulmagy mümkindir.

Arassa ýarymgeçirijide ýagtylygynyň ýuwdulmagy diýlip, ýagtylygynyň **sorulyp** ýuwdulýanlygy netijesinde erkin toklary

döredýänleriň (elektronlar bilen deşikleriň) jübütleşmeklerine aýdylýar.

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

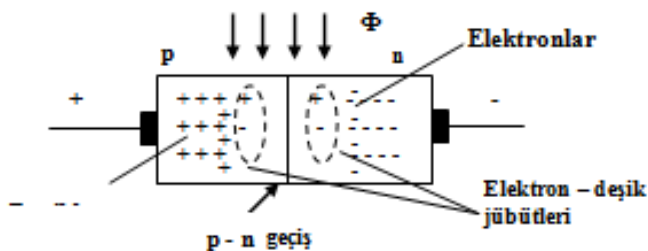
1-nji çyzgyda – arassa we garyndyly ýarymgeçirijilerde ilkinji togy alyp barýanlar : **a** – hususy bolanda we **b** ; **ç** – garyndyly bolanda şöhleler zerarly döredýän geçirijiligiň emele gelişleri görkezildi (çyzgyda **$h\nu$** – fotonlaryň energiýasy)



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

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 taýýarlanylýan 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.

3.3. Ýagtylygy duýgur abzallaryň esasy häsiýetnamalary we esasy parametrleri.

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

Φ = hemişelik saklananda I_F – fototok bilen elektrodларыň arasyndaky

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

Aslynda I_F – fototok ýagtylyk we tümlük tokларыnyň tapawutларыna 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 baglansyklaryna aýdylýar.

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

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

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

4. Ýagtylyk häsiýetnama – fototoguň I_F - üýtgeýän böleginiň (goşulmasynyň) hemişelik spektr düzüminde (λ =**hemişelik**) şertde, ýagtylyk akymynyň f – ýygylgy bilen baglansygna aýdylýar $I_F \sim f(f) ; \lambda$ =**hemişelik**

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

1. Tümlükdäki şertde R_T – garşylyk – ýagtylygyň ýok wagty (tümlükde) şöhlelendirilmeýän 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 görä şöhlelendirilýän ýüküň duýgurlygy

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

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

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

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

3.4. Fotorezistorlar.

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.

Häzirki döwürde fotorezistoriň 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 tehnologiýa) wariantlarda taýýarlanyp bilner :

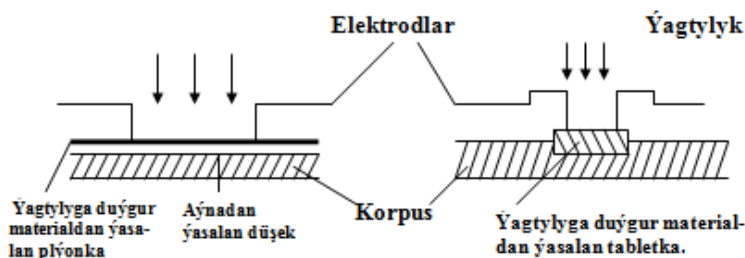
- a) ýagtylyga duýgur ýarymkristal materiallary ýasy çüýşe bölegine plýonka görnüşde çaýýarlar;
- b) Disk ýa-da bölejik plastinka görnüşde gysdyrylyp (presslenip) ýokardaky materiallardan ýasaýarlar;
- c) Ýarymgeçirijileriň arassasyndan ýagny monokristall görnüşinden-de taýýarlaýarlar.

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 oýuklaryndan ýasaýarlar.

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

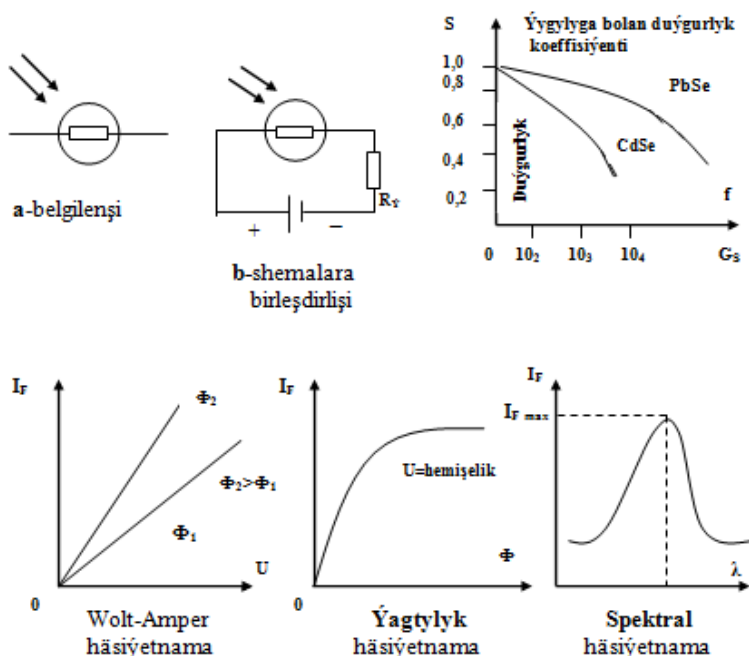
Fotorezistorlaryň aglabasynda tok geçiriji element dury aýnaly deşik bilen üpjün edilen metall-korpusyň (gutynyň) ýa-da plastmassa-korpusyň (gutynyň) içinde dury plýonka bilen ýapylyp berkidilýär. Bular ýaly fotorezistorlary elektrik zynjyrlaryna birleşdirmek üçin ýumşak ýa-da gaty simuçlary fotorezistorlar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

Ýagtylygy duýgyr elementleriň gurluşynyň ýönekeý görnüşi 3-nji çyzgyda şertli görkezildi



3-nji çyzgy. Ýadtylygy duýgur elementleriň gurluşlarynyň şertli düşündirişi.

shemalaryna çatylyşy hem-de olaryň dürli elementler üçin häsiýetnamalary 4-njy çyzgyda görkezildi.



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

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

3.5. Fotorezistorlaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişleri.

Köne markalaňsy : Birinji ýazgy **ΦC** – 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. **Γ** – harp sifriň ön ýanynda goýulýar we germetikdigini aňladýar, **Π** – ýa-da **M** – harp ýazylan bolsa, onda **Π** – plýonkadygyny, **M** – monokristaldygyny aňladýarlar.

Täze markalaňsy. 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 : ΦCΓ – Γ1, ΦCD-1, ΦC3 – 1, ΦCA – 6, ΦCB – 16AH, CΦ4-2D.

3.6. Fotogalwaniki elementler.

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

Olaryň işleýşi fotogalwaniki effekte esaslanýar. (Bu effekt 7-nji bapda giňişleýin seredilipdi).

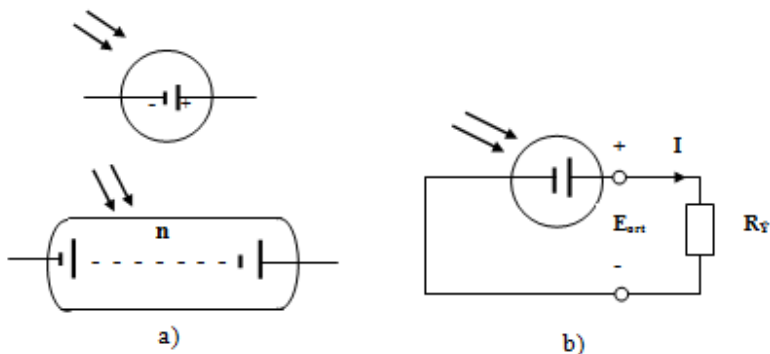
Fotogalwaniki elementler, başgaça-da dürli-dürli atlandyrylýar : Wentilli (diodly), fotoelement, ýarymgeçiriji fotoelement, Gün elementleri we ş.m.

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

Meselem fotometriýada, awtomatikada, ýagtylygy ölçeyji abzallarda (Lýuksmetrlerde), suratlar alynanda we kinolara düşürilende 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 belläp geçişimiz ýaly, ähli p-n geçişler şol elementlerden döredilýär).

5-njy çyzgyda Gün elementleriniň (Gün batareýleriniň) şertli belgilenişleri we elektrik shemalaryna birleşdirilişleri görkezildi.



5-njy çyzgy. Gün elementleriniň (batareýleriniň) :

a – şertli belgilenişleri we b – elektrik shemalaryna çatlyşýy.

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

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

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

$$U_T = \frac{kT}{q} \text{ temperaturanyň döredýän potensialy ,}$$

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

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ [Kl]} - \text{elektronyň zarýady ,}$

T – temperatura (Kelwiniň absalýut 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 edilişini şu aşakdaky formula kanagatlандырýar.

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

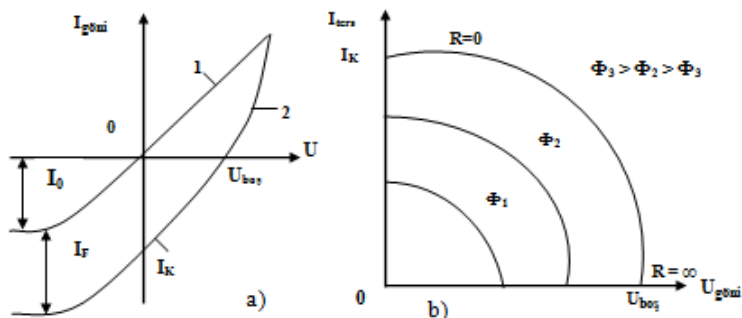
Bu ýerde I_F – fototok (fotogalwaniki effektiň esasynda döreýär).

6-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 ýagtylygyň,

Φ – akymyna göni baglanşykdadygyny aňladýar.



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

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

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

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

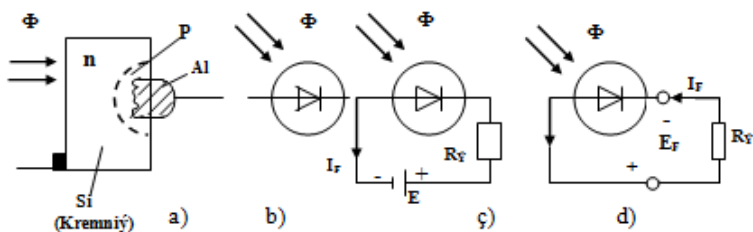
3.7. Fotodiodlar.

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

Fotodiodyň düzümi iki gatlakdan ýygналan bir sany p-n – geçelgeli abzaldyr (7-nji a çyzga seret). Elektrik shemalarynda fotodiodlaryň grafiki görnüşde şertli belgilenişi 7-nji b çyzgyda görkezildi.

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

Fotodiodyň işleýiş düzgünini iki hilli ýagdaýda düşündirip bolýar.



7-nji çyzgy. Fotodiodlaryň şertli belgilenişleri we elektrik shemalaryna çatylyşlary : a – düzümi; b – belgileniş; ç, d – shemalara birleşdirilişi.

1) Fotodiodly we 2) Fotogalwaniki düzgünler.

Fotodiodly düzgün bolanda daşky iýmitlendiriji çeşmäniň E – EHG-si bilen fotodiodyň polýarlary özära ters birleşdirilýärler (7-nji ç çyzga seret). Bu düzgünde fotoeffekti ulanmak bilen, fotodiodda döreýän I_F – tok bilen belgilenen ters togy, ýagtylygyň akymy bilen dolandyrylýar.

Fotogalwaniki düzgün bolanda daşky iýmitlendiriji çeşme bolmaýar (7-nji d çyzga seret) . Bu düzgünde fotogalwaniki effekti ulanmak bilen, fotodiodda döreýän E_F – EHG-ni ýagtylygyň akymy bilen dolandyrylýar.

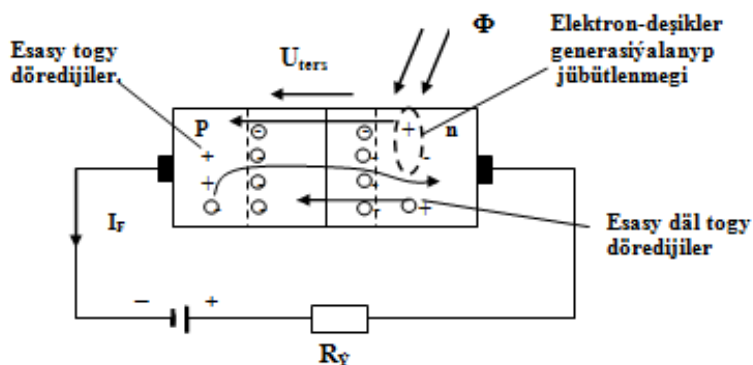
3.8. Fotodiodlaryň fotodiod we fotogalwanik düzgünlerinde işledilişleri.

Fotodiodyň iş düzgüni. Fotodiodyň fotodiod düzgüninde işleýşiniň shemasy 8-nji çyzgyda görkezildi.

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 döreýän tok diýilýär we I_r – 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

generasiýalanmaktaky bolup geçýär. Şeýlelikde, n – tipli ýarymgeçirijide esasydäl zaryad hasap edilýän deşikleriň sany n – bölekde köpeliپ başlaýarlar, bu bolsa $p-n$ – geçelgeden geçýän I_{ters} – toguň köpelmegine getirýär.

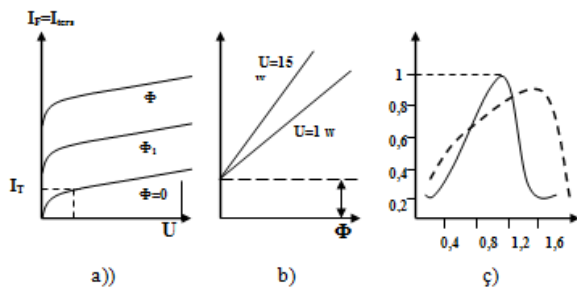


8-nji çyzgy. Fotodiodyň iş düzgüniniň shemasy.

Ýagtylyk akymynyň täsirinden döreýän fotodioddaky toga fototok diýilýär we I_f – harpy bilen belgilenýär.

Fotodiodda döreýän fototoguň ululygy ýa-da kiçiligi fotodioda berilýän ters U_{ters} – naprýaženiýe bilen ýagtylyk akymynyň (Φ -niň) ululyklaryna baglydyr.

Fotodioda degişli esasy häsiýetnamalar 9-nji çyzgyda görkezildi.



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

Napryáženiýeden kánbir bagly bolmadyk **n** – bölekdäki esasydäl hasaplanýan zarýadlary alyp barýanlaryň mukdary diňe ýagtylygyň şöhesiniň ýitiligine baglydyr, sebäbi napryáženiýeni köpeldenini bilen fotodiodyň togy artmaýar diýsek-de ýalňyş bolmaz (9-njy **b** çyzga seret).

Napryáženiýeni köpeldenini bilen fotodiodda toguň kánbir ulalmaýanlygynyň sebäbini ters **U_{ters}** – napryáženiýe 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 döreýän tümlük **I_T** – toguň ululygy **Φ=0** we **U=1w** ýagdaýda kesgitlenilýär. Meselem ýagtylygyň ýok wagty fotodioddaky tümlük **I_T** – tok germaniý diodda **15 – 30 mkA** toweregi, kremniýde **1 mkA** toweregidir. Fotodiod **1 w** bilen iýmitlendirlende integrallanmak duýgurlygy kremniý üçin **3 – 7 mkA/Lm**, germaniý üçin bolsa **10 – 20 mkA/Lm** töweregidir.

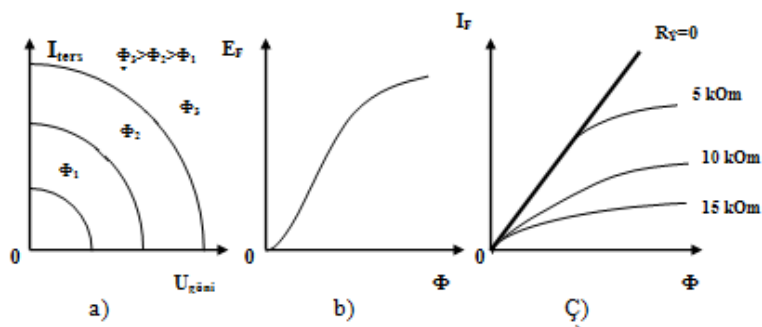
a) Fotodiodyň fotogalwaniki iş düzgüni. Fotogalwaniki düzgünde fotodiodlar daşyndan hiç hili iýmitlendiriji çeşme talap etmän işläp bilýärler. Fotodiodyň zynjyryna diňe elektrik ýüküniň **R_y** – garşylygy birleşdirilýär (7-nji d – çyzga seret).

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

Kontakt sebäpli döreýän potensiallaryň 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 potensiallaryň tapawudy döräp, oňa foto EHG diýilýär we **E_F** – harpy bilen belgilenýär.

Fotogalwaniki düzgünde işleýän fotodioda degişli esasy häsiýetnamalar 10-nji çyzgyda görkezildi.



10-nji çyzgy. Fotogalwaniki elementiň esasy häsiýetnamalary :

a – Wolt-Amper, b – ýagtylyk EHG boýunça,
ç – ýagtylyk tok boýunça häsiýetleri.

Ýagtylyk akymynyň artmagy bilen E_F – foto EHG ilki-başda çalt ösýär, soňra haýallanýar. (10-nji **b** çyzgy).

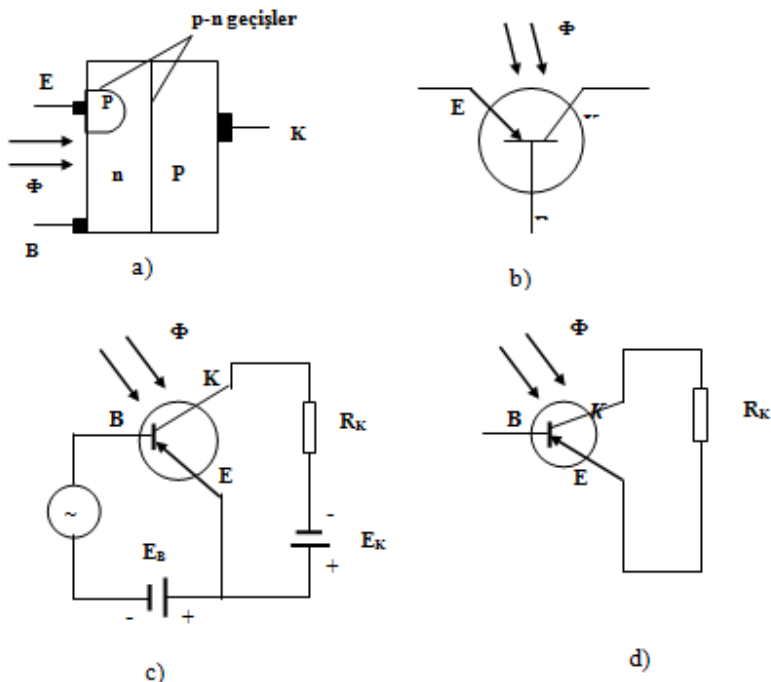
Elektrik ýüküniň R_Y – garşylygyny ulaltdygyňça $I_F(\Phi)$ baglanşygyň häsiýeti egrelmek (**doýmak**) bilen bolýar (29.10-nji **ç** çyzga seret), bu bolsa fototoguň kiçelmegine getirýär. Çyzgydan görnüşine esaslansak, onda elektrik ýüküniň R_Y – uly bahalarynda ýagtylygyň Φ – akymyny ýitelden (ösdüreniň) bilen I_F – fototok känbir ösmeyär.

3.9. 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 ýygnaýlarlar. Bazasy hasap edilýän gatlagy örän ýuka taýýarlanylýar.

Düzümi ýarymgeçiriji kristallardan ýasalan fototranzistorlar ýöriteleşdirilen korpusyň içinde ýerleşdirilýär.

Oňa ýagtylygynň şöhlesi düşüp durar ýaly korpusynň oňaýly ýerinde aýna böleginden ýasalan durý penjire berkidilýär. Fototranzistoryň gurluşy, şertli belgilenişi we shemalara çatylyşy 11-njy çyzgyda ýerleşdirildi.

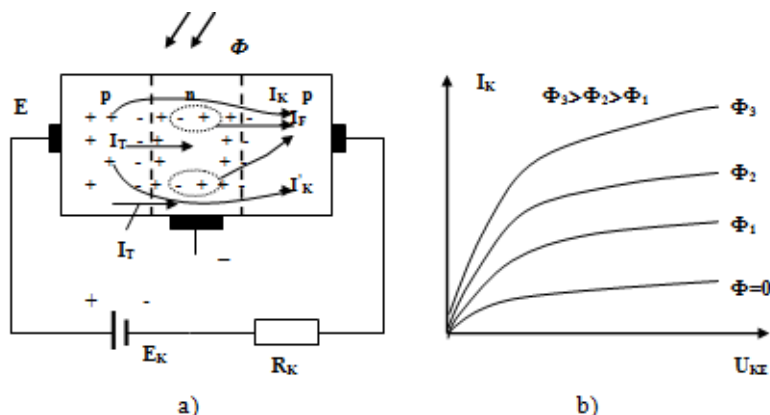


11-njy çyzgy. Fototranzistorlaryň şertli belgilenişleri we elektrik shemalaryna çatylyşlary : a – düzümi, b – belgilenişi, ç we d – shemalara birleşdirilişi.

Iýmitlendiriji çeşmäniň zynjyryna fototranzistoryň çatylyşy adaty ikipolýarly tranzistorlaryň birleşdirilişlerine meňzeşdir, sebäbi emitterli geçelgesine göni naprýaženiýe, kollektorly geçelgesine bolsa polýary ters naprýaženiýe berilýär. Köplenç ýagdaýlarda emitteri umumylaşdyrýan shema ulanylýar (11-njy ç çyzga seret).

Köp ulanylýan shemalaryň ýene-de bir görnüşi, ol hem bazasy umumylaşdyrýan shemadyr (11-njy d çyzga seret). Çyzgyda görkezilişi ýaly bazanyň çykalga simi çatylyman boş

durmary, hatda käbirlerinde simçykalga bazadan asla çykarylmaýar. Mysal hökmünde **p-n-p** tipli umumylaşdyrılan bazaly fototranzistoryň işleýiş düzgüni 12-nji **a** – çyzgyda ýerleşdirildi.



12-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 birleşdiren 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 düzüminde 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

düşündürilýär. 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) köpelyänligi bilen düşündürilýär. Şeýlelikde, kollektordan akýan ähli toklaryň jemini şu aşakdaky ýaly düşündürilýär.

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

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.

3.10. Fototiristorlar.

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

Fototiristorlaryň gurluşy, belgilenişi, Wolt-Amper häsiýetnamalary 29.13-njy çyzgyda görkezildi.

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

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

Eger-de, adaty tiristorlarda açylýan naprýaženiýe dolandyryjy tokdan

U_{ac} (I_{dol}) bagly bolsa, onda fototiristorlarda açylýan naprýaženiýe ýagtylygyň akymyndan U_{ac} (Φ) baglydyr.

Fototiristorlary ýasanlarynda onuň içki gatlaklary hasap edilýän n_1 we

p_2 –niň üstlerine ýagtylyk şöhleleri düşer ýaly durý aýnadan penjire goýýarlar. Sebäbi şeýle edilende elektron-deşiklik jübütleri döreýär. 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.

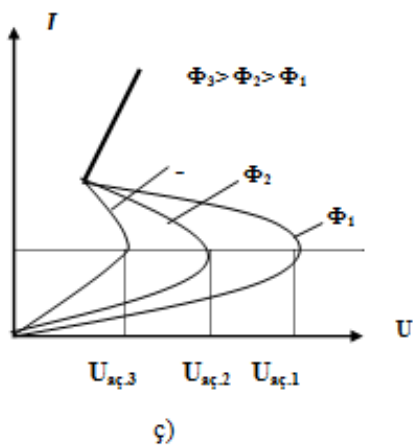
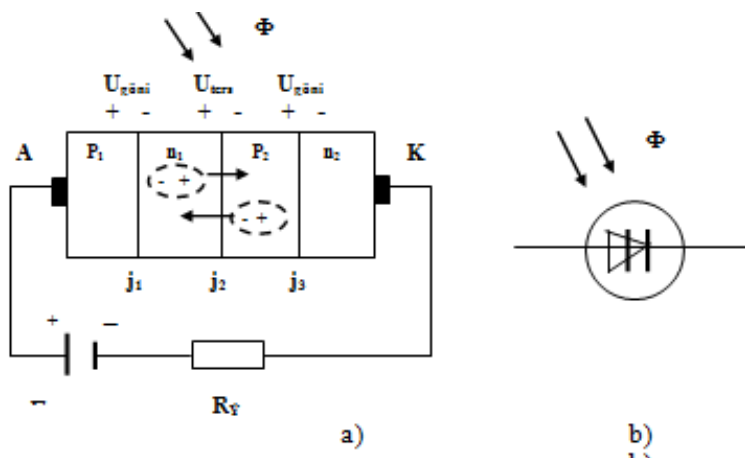
Elektron bilen deşikleriň j_2 -nji geçelgeden yzly-yzyna geçip durmaklary netijesinde, şol ýerde potensialyň päsgelçiligi azalýar we elektrik böwsülmegi (fototiristoryň açylmagy) bolup geçýär.

Ýagtylygyň Φ – akymynyň ýitiligi näçe köp bolsa, şonça-da fototiristorlar kiçi U_{ac} naprýaženiýelerde işläp başlaýarlar. Munuň şeýledigini 13-nji ç çyzgyda 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 zynjyrlarynda kommutasiýa işlerini geçirmek üçin ulanylýar (meselem, gijelerine köçeleriň çyralaryny ýakmak ýa-da öçürmek).



13-njy çyzgy. Fototristorlaryň a – düzümi, b – şertli belgilenişi, ç – Wolt-Amper häsiýetnamalary.

3.11. Ýagtylygy duýgur abzallaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişleri (markirowka).

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

1. **Fotoelektrik** abzallaryň şertli belgilenişleri.

Birinji element-harp-fotokatodyň tipini görkezýär ; **СІ** – surmaly we kükürtli , **ІІ** – 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 ІІВ-3**, wakuumly element, surmaly we sezili, tertip nomeri üçünji. **ІІГ-4** – gazy zarýadsyzlanýan fotoelement kislorod – sezili, tertip nomeri dördünji.

Fotoelektron köpeldijiler iki elementli belgilenýärler : şertli belgilenişin birinji elementi – harplar – köpeldiji fotoelektrondygyny aňladýar.

Ikinji elementi – sifrlar – nirede işlenilip taýýarlanylsa şol ýerini 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-р-п** geçelgeli abzallardyr, onda **ФУ-р-п** 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 :

B – iki polýarly (bipolýar) tranzistorlar, **Y** – birpolýarly (unipolýarly) fototranzistorlar, **T** – tranzistorlar.

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

Birinji element – harp – tapgyryň haýsy klassifikasiýa (topara) degişlidigini aňladýar : **ΦP** – fotorezistorlar, **ΦD** – fotodiodlar, **ΦЭ** – ýarymgeçiriji fotoelementler, **Φ** – elektrowakuumly fotoelementler, **ΦT** – fototranzistorlar, **ΦЭY** (**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.

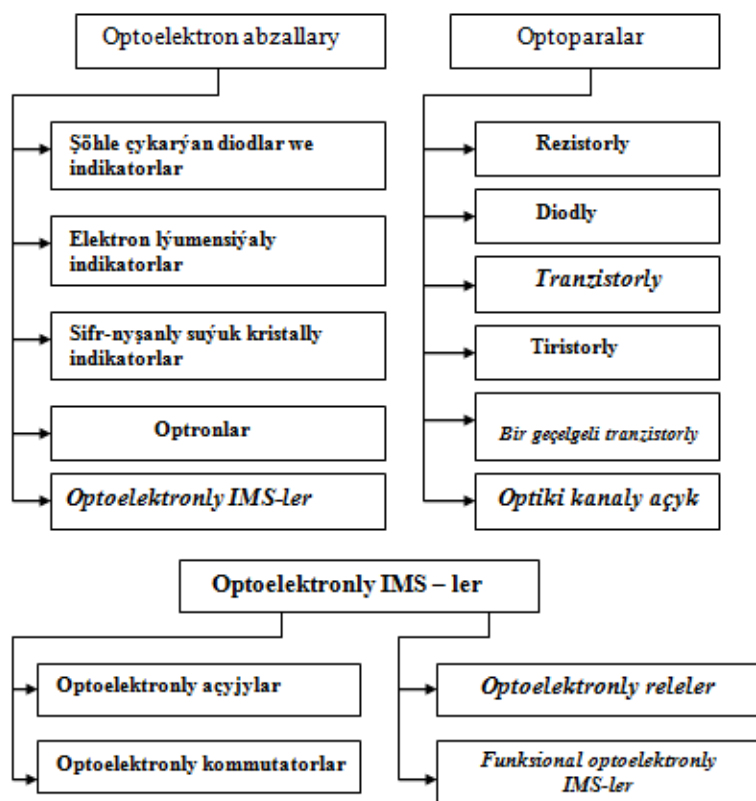
Konstruksiýasynyň (gurluşynyň) özboluşly taýýarlanyşyny ýa-da haýsy-da bolsa bir parametrinde aýratyn üýtgeşikligiň bardygyny aňladýar.

3.12. Optoelektron abzallary.

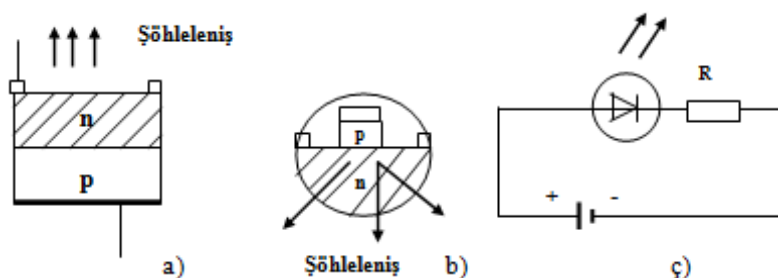
Kesgitlemesi. Optoelektron abzallary diýlip, elektrik signallaryny optiki signallara we tersine özgerdip bilýän ýarymgeçirijiden ýasalan abzallara aýdylýar. Optoelektron abzallarda ýagtylygyň şöhlesi bilen onuň iş düzgüni geregiçe dolandyrylýar. Ýagtylyk şöhlesiniň bitirýän işi edil üçelektrodly çyranyň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



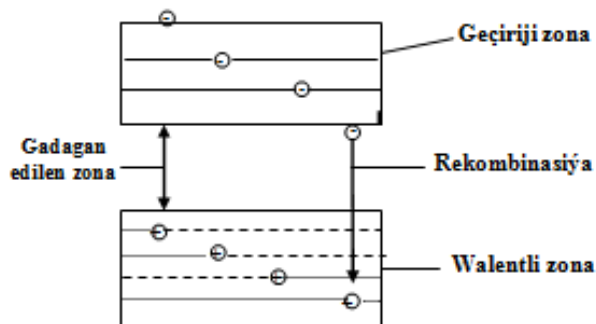
Şöhlediodlaryň ýasalýşynyň iki görnüşi 14-nji çyzgyda görkezildi.



14-nji çyzgy. a – konstruksiýasy tekiz; b – konstruksiýasy ýarymsfera; ç – shemalara çatylşy.

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. (14-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) kiçdikleri sebäpli, şöhleler spektoryň görünmeýän bölegine ýylylyk görnüşde bölünüp çykýar (15-nji çyzga seret).

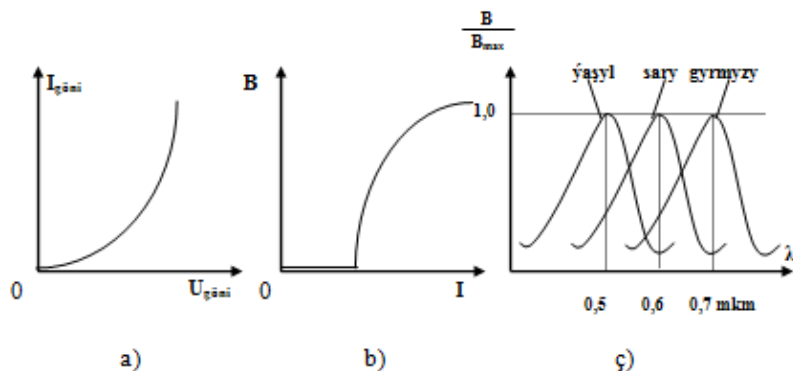


15-nji çyzgy. Şöhlediodlarda rekombinasiýanyň düşündirişi.

Şöhlediodlaryň esasy häsiýetnamalary hökmünde Wolt-Amper, ýagtylyk we spektral baglanşyklary kabul edilendir. Bu baglanşyklar 16-nji çyzgyda ýerleşdirildi.

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

Şöhlediodlaryň esasy parametrleri hökmünde onuň iş wagty berilýän



16-nji çyzgy. Şöhlediodlaryň esasy häsiýetnamalary : a – Volt
Amper, b – ýagtylygyň şöhlenişiniň tokdan baglansygy, ç – spektral
baglaşyklary.

U – naprýaženiýä, üstünden akýan , I – toga, bölünip çykýan ýagtylyk şöhlesiniň 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 şöhlesi 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 şöhlesiniň ýitiliginiň sähelçe ΔB üýtgemeginiň , üstünden akýan tok birliginiň sähelçe ΔI üýtgemegine bolan gatnaşygyna aýdylýar.

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

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 niredе ulanylmagyny aňladýar.

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

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

Belgilenişine mysal : **AII307 B** – Galliý birleşmäniň esasynda, ýagtylygy öndüriji diod, informasiýany wizual aňlaýar (3), **07** – ýygnalandaky tertip nomeri, **B** – topary.

3.13. Optronlar.

Kesgitlemesi. Optronlar optoelektronly ýarymgeçiriji abzal bolup, düzüminde ýagtylygyň şöhlisini 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 optronlary iki topara bölýärler.

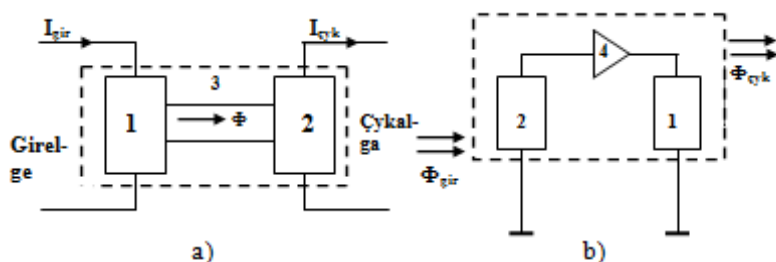
1. Içi foton baglanşykly, daşy bilen elektrik baglanşykly (17-nji **a** çyzgy).
2. Daşy bilen foton baglanşykly, içi elektrik baglanşykly (17-nji **b** çyzgy).

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

1 – şöhläni dörediji, **2** – şöhläni kabul ediji, **3** – şöhläni geçiriji, **4** – elektrik signallaryny güýçlendiriji.

Içi foton, daşy elektrik baglanşykly optronlar elektrik signalyny – optiki signal – soňra ýene-de elektrik signalyna öwüriji bolsa, içi elektrik, daşy foton baglanşykly optronlar

optiki signaly elektrik signalyna, soňra ýene-de optiki signala öwürüjidir.



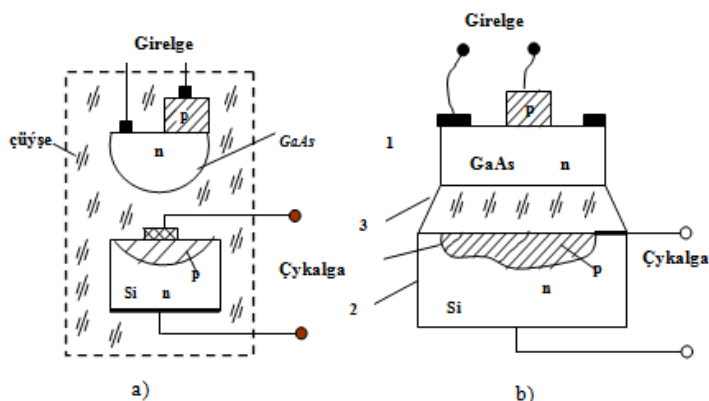
17-nji çyzgy. Optoelektronly elektronlar. a – içi foton daşy elektrik baglansyky, b – içi elektrik daşy foton baglansyky.

Optron abzallarynyň gurluşynda iki görnüşi tapawutlandyryrlar :

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

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

Optronyň içine şölegeçiriji bolar ýaly ýörite aýna böleklerini eredip guý- ýarlar. Şular ýaly optronlaryň dört sany çykalga simi bolup, olaryň ikisi girelge, ikisi bolsa çykalga üçindir (18-nji çyzga seret).



18-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 18-nji **b** – çyzgyda 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 şöhlegeçiriji **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 ($10^2 - 10^4$ MΩ) töweregi bolup, daşky shemalar üçin (optronyň girelgesinde-de, çykalgasynda-da) ýapyk ýagdaýy emele getirýär. Optronda şöhläniň döremegi bilen onuň girelgesindäki we çykalgasyndaky garşylyklar $10^2 - 10^4$ Ωaça çenli kiçelýär. Şeýle çalt kiçelmek ýa-da ulalmak toguň $10^6 - 10^7$ Gs töweregi ýygýlykda 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 ýygýlykda 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) toguň 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 şöhlendirmekden 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 şöhlendiriji (infrogyzyl şöhle).

3 – maglumatlara (informasiýalara) wizual garaýan .

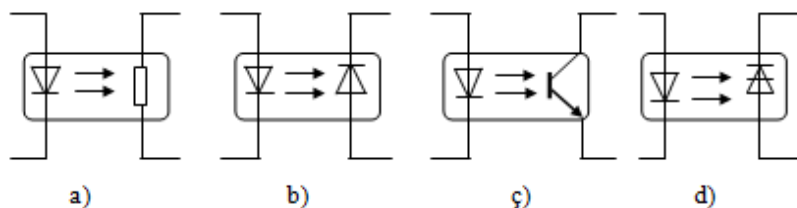
4 – nyşanly (belgili) indikatorlar.

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 19-njy çyzgyda görkezildi.



19-nji çyzgy. Optronlaryň shemalarda grafiki gömüşi şertli belgileniş: **a** – rezistorly optron, **b** – diodly optron, **c** – tranzistorly optron, **d** – tiristorly optron.

IV. ÝARYM GEÇIRIJILI FOTODIODLARYŇ WE FOTOREZISTORLARYŇ HÄSIÝETLERINIŇ ÖWRENILIŞI.

4.1. Fotodiodlar

Fotodiod ýagtylyk tarapyndan döredilýän deňagramlylykly däl görnüşleriň elektron-deşikli geçişiniň araçägindäki bölünme effektini ulanýan ýarymgeçiriji abzaldyr. Shema görnüşde fotodiod 1-nji a suratda şekillendirildi.

Fotodiod, adatça germaniýniň ýa-da kremniýniň monokristalynda ýerine ýetirilip ýasalýar. Ýagtylandylyan oblast (1-nji a suratda n -oblast), adatça gowşak legirlenendir, onuň uzak durnuklylyk τ_p wagty we, diýmek, uly diffuziýalaýyn uzynlygy L_p bolýar. Eger-de n -oblastyň W giňligi (ini) bu oblastyň deşikleriniň diffuziýalaýyn L_p uzynlygyndan has köp kiçi bolsa, onda bu görnüşleriň köp bölegi rekombinirleşip ýetişmezler we p - n -geçişiniň serhedine (araçägene) baryp ýeterler.

Fotodiodyň işleýşine jikme-jik seredip geçeliň. Ýagtylandyryma ýok wagty görnüşleriň n -oblastdan we garşylyklaýyn ugurdaky geçişleriň üstünden geçýän ýylylyk akymalaryň arasynda deňagramlylykly ýagdaý bardyr. n -oblast ýagtyrylanda, onda deňagramlylykly däl elektronlar we deşikler emele gelýärler. n -oblastdaky elektronlaryň konsentrasiýasynyň üýtgemegini hasaba almasa hem bolýar, çünki bu üýtgame, adatça, deňagramlylykly konsentrasiýa bilen deňeşdirilende odýýen uly däl we olaryň diňe ujypsyz paýy potensial barýeri (päsgeçiligi-böwedi) ýeňip geçip, ýarymgeçirijiniň p -oblastyna ýetip biler. Deşikleriň konsentrasiýasynyň ýokarlanmagy geçiş üsti bilen p -oblast

tarapa ugrukdyrylan deşikleýin tok ýüze çykýar. Deşikleýin, ýagtylandyrma bilen şertlendirilen toguň ululygyny I_f arkaly belgiläliň. I_f toguň bar bolmagy ýylylyk deňagramlylygyny bozýar we ýarymgeçirijiniň p -oblasty n -oblasta görä položitel zarýadlanmagyna getirýär. Şeýlelikde ýüze çykan potenciallaryň ϕ tapawudy potensial barýer kiçeldýär, bu bolsa p - n -geçişiniň göni ugrunyň süýşmegine laýyk gelýär. Potensiallaryň bu tapawudy esasy däl görterijileriň diffuziýalaýyn I_g toguna garşylykly täsir edýän deşikleriň göni toguna ýüze çykarýar. Eger-de p - n -geçişde potenciallaryň tapawudy ϕ bolsa, onda inzeksiýalaýyn tok

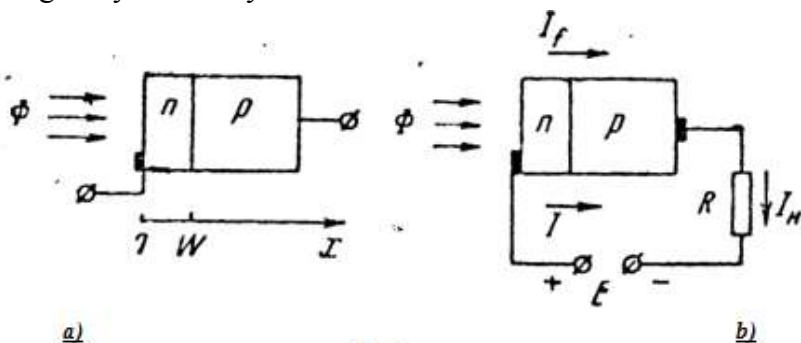
$$I = I_s (e^{\phi/\phi_T} - 1) = 0 \quad (1)$$

bu ýerde I_s – p - n - geçişň doýgunlaşma togy; $\phi_T = \frac{kT}{e}$ – temperatura potensialy.

Netijede, I_f tok bilen inzektirlenen görterijileriň I togunyň arasynda dinamiki deňagramlylyk aralaşar:

$$I_f - I_s (e^{\phi/\phi_T} - 1) = 0 \quad (2)$$

Eger-de fotodiodyň çykarylmalaryna naprýazeniýe U çeşmesi çatylsa, onda zynjyr boýunça ululygy p - n -geçişň üstünden geçýäm garşylyklaýyn akýan toklaryň tapawudy bilen kesgitlenýän tok akýar:



1-nji surat

$$I = I_f(\Phi) - I_s(e^{U/\varphi_r} - 1) \quad (3)$$

Oblastlaryň omiki garşylygyny inkär edýäris, şonuň üçinem hem geçişin süýşmegi diňe U naprýaženiýanyň daşky çeşmesiniň täsiri arkaly kesgitlenilýär.

(3) deňleme fotodiodyň woltamperleýin häsiýetnamalaryň maşgalasyny teswirleýär (2-nji surat).

Häsiýetnamalaryň maşgalasynyň parametri – ýagtylyk akymynyň Φ ululygydyr. Goý, fotodiod bilen bilelikde naprýaženiýanyň E çeşmesi we daşky garşylyk R yzygider dakylan diýeliň (1-nji b surat). Bu ýagdaýda geçişin üstünden geçýän tok aşakdaky deňleme arkaly kesgitlener:

$$I = I_f - I_s(e^{U/\varphi_r} - 1) \quad (4)$$

Geçişdäki U naprýaženiýanyň ululygy Φ ýagtylyk akymynyň we daşky naprýaženiýanyň E bilelikdäki täsiriniň netijesi bolýar. Ýüküň R garşylygynyň üstünden geçýän I toguň ululygy

$$I = \frac{U + E}{R} \quad (5)$$

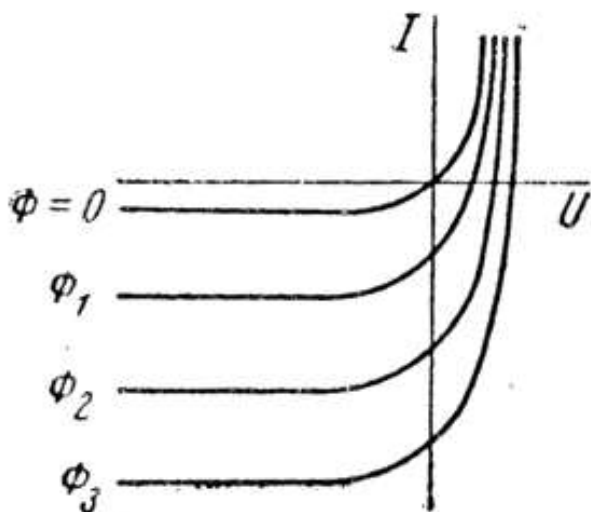
bu ýerde E – fotodiodyň zynjyrynda üpjün ediş çeşmesiniň naprýaženiýasy.

I üçin bolan (5) aňlatmany (4) deňlemä goýup, fotodiodyň daşky süýşme bar bolandaky esasy deňlemesini alarys:

$$I_f - I_s(e^{U/\varphi_r} - 1) = \frac{U + E}{R} = I \quad (6)$$

Fotodiodyň işleýşiniň iki sany wentilleýin we fotodiodlaýyn režimleri bolýar.

Wentilleýin režim fotodiodyň zynjyrynda daşky naprýaženiýasynyň çeşmesiniň ýoklugy bilen häsiýetlendirilýär. Şunlukda daşky R garşylyk, umumy ýagdaýda daşky zynjyra çatylan bolup biler.



2-nji surat

Fotodiodyň wentilleýin režimdäki işleýşi üçin (6) deňleme aşadaky görnüşe geler:

$$I_f - I_s(e^{\varphi/\varphi_T} - 1) = \frac{U}{R} = I \quad (7)$$

Daşky zynjyryň açyk ýagsaýynda ($R=\infty$)geçişdäki naprýaženiýasynyň φ ululygyna wentilleýin foto-e.h.g. diýlip atlandyrylýar we φ_w bilen belgilenýär. (7) deňlemenden alarys:

$$\varphi_w = \varphi_T \ln \left(\frac{I_f}{I_s} + 1 \right) \quad (8)$$

Gysga utgaşma režimde ($R=0$) fotodiodyň çykarylmalaryndaky naprýaženiýe $U=0$ we daşky zynjyrdaky tok $I=I_f$, bu (7) deňlemenden gelip çykýar. Bu ýagdaýda gysga utgaşmanyň I togy diňe ýagtylyk tarapyndan ýüze çykarylan deňagramlylykly däl deşikleriň akymy arkaly döredilýär.

Gysga utgaşma togunyň I_f fotodiodyň üst-ýüzüne düşýän Φ ýagtylyk akymy bilen baglanyşygyna seredip geçeliň. Ýagtylyk akymy Φ – munuň özi ýarymgeçirijiniň n -

oblastynyň ähli üst-ýüzüne gelyän şöhlelenmäniň kuwwatydyr. Şonuň üçin hem ýagtylygyň wagt birliginde n -oblastyň ähli üst-ýüzüne düşýän kwantlaryň sany $\Phi/h\nu$ deňdir, bu ýerde $h\nu$ – bir kwantyň energiýasy. Ýgtylyklaýyn toguň I_f ululygy ýarym geçirijide wagt birliginde siňdirilýän ýagtylygyň kwantlarynyň sanyna göni proporsional boljakdygy aýdyň görnüp dur. Şeýle ýagdaýda tok

$$I_f = e\beta\kappa \frac{\Phi}{h\nu} \quad (9)$$

bu ýerde β – kwantlaýyn çykym, ýagny ýagtylygyň bir kwantynyň emele getiren elektron-deşikleýin jübütleriň sany; κ – ýagtylyk akymynyň täsiri astynda ýüze çykýan göterijileriň umumy mukdaryndan zarýadynyň rekombunurlenmedik göterijileriň paýyny hasaba alýan geçirme koeffisiýenti.

Şeýlelikde, I_f toguň ululygy ýagtylyk Φ akymyna göni proporsionaldyr.

Abzalyň işleýşiniň fotodiodlaýyn režimi geçişdäki ters naprýaženiýanyň barlygy bilen häsiýetlendirilýär. Bu režimde potensial barýeriň ululygy artýar, diýmek, geçişden geçýän tok esasy däl göterijileriň akymlyry bilen kesgitlenerler. Fotodiotdan geçýän tok doýgunlaşma togy bolup durýar. Hakykatdan hem, ýetrlik derejede otrisatel naprýaženiýelerde (6) deňlemeden

$$I = I_f + I_s \quad (10)$$

bolýandygy gelip çykýar.

Geçilmede ($U \ll \varphi_T$) kiçi naprýaženiýelerde (6) aňlatmany hatara dargadylandan soň, alarys:

$$I = I_f + I_s \frac{U}{\varphi_T} = I_f + \frac{U}{R_0} \quad (11)$$

bu ýerde $R_0 = \frac{\varphi_T}{I_s}$ ululyk nol süýşmedäki p - n -geçişiň içki garşylygyna laýyk gelýär.

Diýmek, kiçi U bolanda daşky zynjyrdaky tok takmynan gysga utgaşdyrma toguna deňdir ($I \cong I_f$).

Fotodiodyň ýagtylyklaýyn häsiýetnamasyna garap geçeliň. Ol fototoguň fotodiodyň üstüne düşýän ýagtylyk Φ akymynyň ululygyna baglylykdan ybaratdyr. Fotodiodlaýyn režimde (9) aňlatma bilen teswirlenýän ýagtylyklaýyn häsiýetnama ýagtylyk akymalarynyň ululyklarynyň uly diapozomynda göni liniýalaýyndyr (3-nji surat), bu bolsa fotodiodyň wajyp artykmaçlygy bolup durýar. Gysga utgaşma režiminde fotodiodyň ýagtylyklaýyn häsiýetnamasy bu režimiň ýarymgeçirijiniň galyňlygyndaky hasaba alynmaklyk garşylyk tarapyndan bozulmagynyň hasabyna liniýalaýyn däl bolýar (3-nji suratdaky 2 egri çyzyk)

Fotodiodyň in wajyp häsiýetnamalary onuň spektrlaýyn we integrallaýöyn duýgurlygydyr. Fotodiodyň duýgurlygy diýlip, fototoguň ýagtylyk akymynyň ululygyna bolan gatnaşyga aýdylýar:

$$K = \frac{I_f}{\Phi} \quad (12)$$

Adatça fotodiodlaryň K duýgurlygyny lýmene milliamperlerde (ma/lm) ölçenilýär. Fotodiodyň duýgurlygy hemişelik, fotodioda goýlan ýagtylyk Φ akymynyň we naprýaženiýasynyň ululygyna bagly bolmadyk ululykdyr.

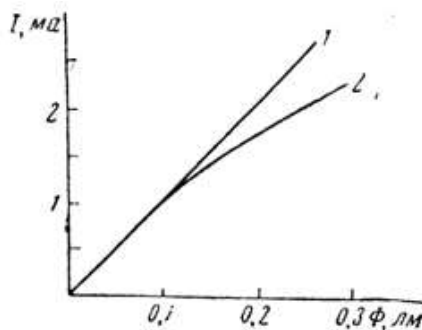
Fotodiody ýagtylandyrmak üçin ulanylýan ýagtylyk hem monohromatiki hem-de çylşyrymly spektrlar düzümlü bolup biler. Fotodiodyň monohromatiki ýagtylyga bolan duýgurlygy dürli uzynlykdaky tolkunlar üçin dürlidir. Diodyň tolkunynyň uzynlygyna bolan baglylygyna fotodiodyň spektral häsiýetnamasy diýilýär. Bu germanili we kremnili fotodiodlar üçin egri çyzyklar 4-nji suratda getirildi.

Belli $\nu=c/\lambda$ gatnaşykdan peýdalanyň, (9) aňlatmadan K spektrlar duýgurlygynyň λ tolkunynyň uzynlygyna baglylygyny alsa bolýar:

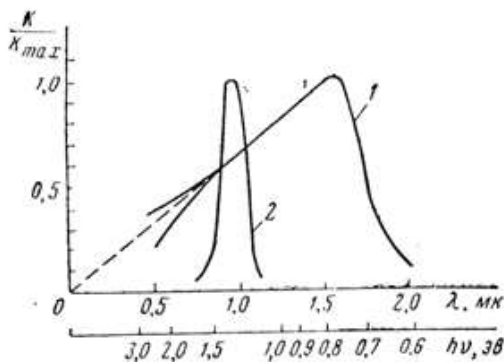
$$K = \frac{I_f}{\Phi} = \frac{e\beta\kappa\lambda}{hc} \quad (13)$$

bu ýerde c – ýagtylygyň ýaýrama tizligi.

(13) aňlatmadan spektral duýgurlygyň tolkun uzynlygyna liniýalaýyn bagly bolmalydygy we koordinatalaryň başlangyjyndan geçmelidigi (4-nji surat) gelip çykýar. Duýgurlygyň gysaga tolkun uzynlyklar oblastynda (13) formuladan alnan bahalar bilen deňeşdirilende kiçelmegi tolkunynyň uzynlygynyň kiçelmegi ýagtylyk energiýasynyň has ýuka üst-ýüze golaý üst-ýüzleýin gatlakda siňdirilmegi bilen baglanşyklydyr. Bu gatlakda deň agramlylyk däl göterijileriň rekombinasiýa-larynyň tizligi, materialyň çuňlugyndaka garanda, tutup alyp galyjlaryň hasabyna has uludyr.



3-nji surat



4-nji surat

Fotoduýgurlygyň tolkunlary uly uzynlygyndaky oblastda aşaklamagy materialyň, haçan-da kwantyň $h\nu$ energiýasy takmynan gadagan edilen zolagyň ininiň (giňliginiň) ΔE energiýasyna deň bolanda, materialyň hususy siňdirilmesiniň gyrasyna laýyk gelýär. Fotodiodyň çylşyrymly spektral düzümlü ýagtylyga bolan duýgurlygyna integrallaýyn duýgurlyk diýilýär. Abzalyň integrallaýyn durnuklylygy kesgitlenende ýagtylygyň çepmesi hökmünde reňk temperaturasy $2850^\circ K$ bolan Wolfram sapakly aş gyzdyryjy lampa ulanylýar.

Fotodioddaky ýagtylyk ýakylanda we öçürilende bolup geçýän inersiýalaýyn proseslere seredip geçeliň. Gemiş prosesleriň tebigaty we dowamlylygy fotodiodyň işleýiş režimine düýpli baglydyr.

Abzalyň fotodiodlaýyn režimine durup geçeliň. Fotodiodyň ýüklenme togunyň wagtyň geçmegi bilen üýtgemeginiň kanununy tapmak üçin deşikler üçin n -oblastdaky üznüksizligiň aşadaky bir ölçegli stasionar däl deňlemesini çözmeli:

$$D_p \frac{d^2 \Delta p}{dx^2} - \frac{\Delta p}{\tau_p} = \frac{\partial \Delta p}{\partial t} \quad (14)$$

bu ýerde $\Delta p = p - p_{n0}$ – bazadaky deşikleriň deňagramlykly däl kopsentraziýasy.

$t=0$ wagt pursadynda agdyklyk edýän deşikleriň tutuş n -oblastyndaky konsentraziýasy $\Delta p=0$ diýip, hasaplalyň. (14) deňlemäni Laplas boýunça özgerdiň:

$$D_p \frac{d^2 \Delta p}{dx^2} - \frac{\Delta p}{\tau_p} = s \Delta p \quad (15)$$

bu ýerde s – Laplasyň operatory.

(15) deňlemäni aşadaky görnüşde berse bolar:

$$\frac{d^2 \Delta p}{dx^2} - \frac{\Delta p}{L_p(s)} = 0 \quad (16)$$

bu $L_p(s) = \frac{L_p}{\sqrt{1 + s\tau_p}}$ – operatorlaýyn diffuziýalaýyn

uzynlyk.

Fotodiodyň n -oblastyny ýukajyk üst ýüze golaý, gatlakda p - n -geçişden W uzaklykda ýagtylandyrylanda I -nji a surat deňagramlylykly däl deşikler ýüze çykýar. Bu deşikler arkaly döredilen togyň ululy (9) aňlatma arkaly kesgitlenýär. Şonuň üçin hem $x=0$ bolanda araçäkleýin şerti aşakdaky görnüşde ýazsa bolýar:

$$\left. \frac{d\Delta p}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{I_f}{eD_p} \quad (17)$$

Fotodioda ters naprýaženia goýlan, şonuň üçin hem $x=W$ bolandaky ilkinji araçäkleýin şerti ýaly ýazarys:

$$\Delta p|_{x=W} = 0 \quad (18)$$

Bu araçäkleýin şert takyk däl. Fotodioda ters naprýaženiýe goýlanda $\Delta p|_{x=W} \cong -p_{n0}$ gatnaşyk bolýar. Ýöne, abzal ýagtylandyrylanda n -oblastdaky deşikleriň konsentrasiýasy deňagramlylykly p_{n0} konsentrasiýadan has uly bolýar we degişli düzedişler ujypsyz bolar.

Berlen araçäkleýin (17) we (18) şertlerde fotodiodyň ýüklenme togunyň artmagy üçin üzniksizlik (16) deňlemesiniň çözgüdi aşakdaky görnüşe geler:

$$i(t) = I_f (1 - e^{-t/t_0}) \quad (19)$$

bu ýerde $t_0 = W^2 / 2D_p$ – bu prosesiň artma hemişeligi ýa-da esasy däl göterijileriň n -oblastynda uçup geçme wagty.

(19) aňlatma n -oblastyň kiçi ininiň (giňliginiň) şertinde ($W \ll L_p$) alyndy.

Ýagtylyk öçürilende fotodiodyň n -oblastyndaky esasy däl deňagramlylykly däl göterijileriň ýitme prosesi göterijileriň

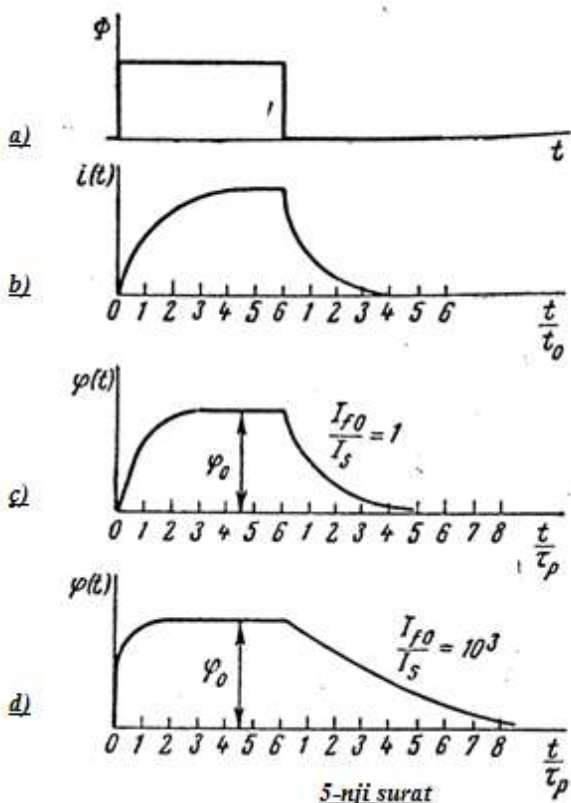
ýitme prosesi görerijilerin rekombinasiýasy ýa-da p - n -geçişiň üsti bilen gitmegi arkaly kesgilenýär. Bu ýagdaýda

$$i(t) = I_f e^{-t/t_0} \quad (20)$$

kanun boýunça nola çenli aşak düşer.

Fotodiodyň ýagtylygyň gönüburçly Φ impulsy bilen ýagtylandyrylandaky $i(t)$ toguň reaksiýasynyň ossilogrammany 5-nji b suratda getirildi.

Abzalyň çatylma shemasy fotodiodlaýyn režimde, adatça, (1-nji b surat) düzüminde ýüklenme R garşylygyny saklaýar. p - n -geçişiň barýer sygymy C bu R garşylyk bilen bilelikde RC -zynjyrjagazy emele getirýärler. Eger-de RC -nyň wagt hemişeliginiň ululygy uçup geçiş t_0 wagt bilen deňeşdirerli bolsa, onda ony hasaba almalydyr.



Açyk daşky zynjyrdaky fotodiodda onuň wentilleýin işleýiş režiminde wentilleýin foto-e.h.g. φ_w relaksasiýasynyň tebigatyny analizläp nseljerip, fotodioddaky inersiýalaýyn proseslere seredip geçeliň.

Goý, $t=0$ wagty pursadynda (momentinde) fotodioda göniburçly ýatylyk impulsy berildi diýeliň. Abzalyň n -oblastynda wagtyň geçmegi bilen konsentrasiýalary ulaljak deňagramlylykly däl göterijiler ýüze çykar. Degişlilikde p - n -geçişden geçýän geşikleyin tok hemç ulalar we diodyň p -oblasty n -oblasta görä položitel zarýadlanýar. Agdyklyk edýän göterijileriň n -oblastyndaky konsentrasiýasy ulalduguça olaryň rekombinasiýa tizligi artar. Konsentrasiýalaryň käbir bahasynda göterijileriň rekombinasiýasy we generasiýasy biri-birlerine deňagramlylaşar. Şunlukda deşikleriň p -oblastyna bolan akymy hemişelik bolar we diodyň durgulaşan foto-e.h.g. (elektrik hereketlendiriji güýji) bilen şertlendirilen abzalyň p -oblastyndan onuň n -oblastyna deşikleriň ters akymyna deň bolar.

Ýagtylyk impulsy tamamlanandan soňra n -oblastynyň agdyklyk edýän göterijileri rekombinirlenýär, olaryň konsentrasiýasy kiçelýär we diýmek, geçişden geçýän I_f tok hem kiçelýär. (1) deňlemä laýyklykda diodyň foto-e.h.g. hem kiçelýär.

Diod ýagtylandyrylanda we ýagtylygyň impulsy ýitenden soňra deňagramlylykly ýagdaýynyň durnuklanmagy rekombinasiýa we generasiýa prosesleri bilen baglanşykly bolanlygy sebäpli, I_f togunyň artmagy we aşaklamagy aşakdaky deňkemelere laýyk gelýär:

$$\left. \begin{aligned} I_f(t) &= I_{f0} \left(1 - e^{-t/\tau_p} \right) \\ I_f(t) &= I_{f0} e^{-t/\tau_p} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

bu ýerde τ_p – deşikleriň diodyň n -oblastyndaky bolma wagty; I_{f0} -fototogyň ýagtylyk Φ akymynyň ululygyna laýyk gelýän durnuklaşan bahasy.

Wentilleýin foto-e.h.g.-niň artmagynyň we aşaklamagynyň kanuny (8) deňlemenden, oňa (21) aňlatmany goýup alarys:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_w(t) &= \varphi_T \ln \left[\frac{I_{f0}}{I_s} (1 - e^{-t/\tau_p}) + 1 \right] \\ \varphi_w(t) &= \varphi_T \ln \left[\frac{I_{f0}}{I_s} e^{-t/\tau_p} + 1 \right] \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

5-nji ζ we d suratda ýagtylandyrmagyň (22) formulalar boýunça gurlan dürli intensiwlikleri üçin (ýagny dürli I_{f0} ululyklar üçin) egri çyzyklary getirildi. Suratdan ýagtylygynyň intensiwliginiň ulalmagy bilen foto-e.h.g.-iň artma wagtynyň azalýandygy we aşaklama wagtynyň uzalýandygy görünýär.

Wentilleýin foto-e.h.g.-iň aşaklamagyna laýyk gelýän egri çyzyk boýunça τ_p bazada deşikleriniň bolma (ýaşama) wagtyny kesgitlemek bolýar. (22) aňlatmadan $I_{f0}/I_s \gg I$ bolanda foto-e. h. g. aşakdaky liniýalaýyn kanun boýunça aşaklaýar:

$$\varphi_w = \varphi_T \frac{I_{f0}}{I_s} - \varphi_T \frac{t}{\tau_p} \quad (23)$$

τ_p ýaşama wagty foto-e.h.g.-iň kiçelme göni çyzygynyň gyşarmagy boýunça kesgitlese bolýar. Δt wagtyň geçmegi bilen foto-e.h.g. Δf_w ululyga üýtgeýär diýip çaklap, (23) gatnaşykdan alarys:

$$\tau_p = \varphi_T \frac{\Delta t}{\Delta \varphi_w} \quad (24)$$

(24) gatnaşyk çykarylanda fotodiodyň barýerleýin sygymy hasaba alynmady. Bu sygymyň bolmagy geçiş prosesleriniň görnüşini çylşyrymlaşdyrýar. Barýer sygymy bar bolanda foto-e.h.g.-iň artma we aşaklama prosesleri uzaga çekýär. Foto-e.h.g.-iň nähili rebaksasiýa şertlerinde fotodiodyň n -oblastynda diňe esasy däl göterijileriň rekombinasiýa

prosesleri tarapyndan kesgitlenýändigini görkezeliň. p - n -geçişiň barýer sygymynyň gaýötadan zarýadlanmagynyň hasabyna, deşikleriň, p - n -geçişden akyp geçýän doly zarýady $C\varphi_0$ -a deň. Eger-de bu zarýad deşikleriň n -oblastdaky doly stasionar zarýady $I_{f0}\tau_p$ bilen deňeşdirilende örän kiçi bolsa ($C\varphi_0 \ll I_{f0}\tau_p$), onda deňagramlylykly däl deşikleriň n -oblastdaky konsentrasıýasynyň üýtgemegi, esasan, rekombinasiýanyň hasabyna bolup geçýär. Stasionar foto-e.h.g.-iň (8) deňlemesini ulanyp, aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$I_{f0}\tau_p \gg C\varphi_T \ln\left(\frac{I_{f0}}{I_s} + 1\right) \quad (25)$$

$I_{f0}/I_s \ll 1$ şertde logarifmi hatara dargadalyň. Şeýle ýagdaýda (25) deňsizligi aşakdaky ýaly ýazsa bolar:

$$\tau_p \gg C\varphi_T \frac{1}{I_s} \quad (26)$$

$\Phi_T/I_s = R_0$ ululyk p - n -geçişiň nollaýyn süýşmedäki garşylygydyr. Gutarnykly görnüşde (26) şerti aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$\tau_p \gg CR_0 \quad (27)$$

Bu deňsizlik, eger-de p - n -geçişiň barýer sygymynyň zarýadynyň hemişeligi n -oblastdaky deňagramlylykly däl deşikleriň bolýan (ýaşaaýyş) wagtyndan kiçi bolsa, onda I_f tok diňe rekombinasiýanyň hasabyna üýtgär, foto-e.h.g.-niň ululygy I_f tok üýtgände iş ýüzünde inersıýasyzlaýyn üýtgär.

Fotodiodyň fotodiodlaýyn we wentilleýin režimlerini deňeşdirip göreliň.

Ýagtylyk signallaryny elektrik signallaryna elektrik signallaryna özgertmede fotodiodlaýyn režimiň wentilleýin režim bilen deňeşdirilende düýpli artykmaçlyklary bardyr.

Birinji artykmaçlygy ýükleýin garşylykda naprýaženiýanyň uly üýtgemeleriniň (aşak düşmeleriniň) alynmagyndan ybaratdyr, çünki I_f toguň ýagtylyk goşulmasy

zynjyrd a uly ýükleýin garşylygyn bolmagynda alnyp bilner. Degişlilikde, bu garşylykdan alynýan signalyň ululygy hem uly bolup biler, şol bir watda wentilleýin režimde I_f toguň doly ýagtylyk goşolmasy diňe gysga utgaşma režiminde alnyp biliner.

Fotodiodlaýyn režimiň ikinji artykmaçlygy fotodiodyň kiçi energiýalylygyndadyr. Fotodiodlaýyn režimde inersiýalylyk uçup geçilýän wagt $t_0 = W^2/2D_p$ arkaly kesgitlenilýär. Bu aňlatmanyň sanawjysyny we maýdalawjysyny τ_p ululyga köpeldip, we belli $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ hasaba alyp indiki bolýar:

$$t_0 = \tau_p \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_p} \right)^2 \quad (28)$$

Wentilleýin režimde aýyk daşky zynjyrd a inersiýalylyk bolunýan (ýaşaýyş) τ_p wagt arkaly kesgitlenilýär. Konstruksiýasy dogry düzülen fotodiodlarda bazanyň ini (giňligi) $W \ll L_p$, şonuň üçin hem $t_0 \ll \tau_p$.

4.2. Fotorezistorlar

Fotorezistorlar diýilip, geçirijiligi ýagtylygyn täsiri astynda üýtgeýän ýarym geçirijili abzallara aýdylýar.

Konstruksiýasy 6-njy *a* suratda görkezilen fotorezistoryň esasy elementi izolirlleýji 1 düşegiň üstünde ýerleşdirilen ýarym geçiriji materialyň ýukajyk gatlagy 2 bolup durýar. Ýarym geüirijiniň gatlagynyň gyralaýyna metalliki kontaktlar 3 tozanladylyp goýulýar.

Eger-de fotorezistor naprýaženiýanyň çeşmesi bilen yzyzgider çatylsa (6-njy *b* surat) we ýagtylandyrylmadyk bolsa, onda onuň zynjyrynda aşakdaky garaňkylaýyn tok akar:

$$I_T = B \sigma_0 U \quad (29)$$

bu ýerde B – diňe fotoduýgur gatlagyň geometriki ölçegleri bilen kkesgitlenilýän hemişelik koeffisiýent;

$\sigma_0 = e\mu_p p_0 + e\mu_n n_0$ – ýarym geçirijiniň garaňkylaýyn elektrik geçirijiligi; μ_n , μ_p – elektronlary we deşikleriň hereketlilikleri.

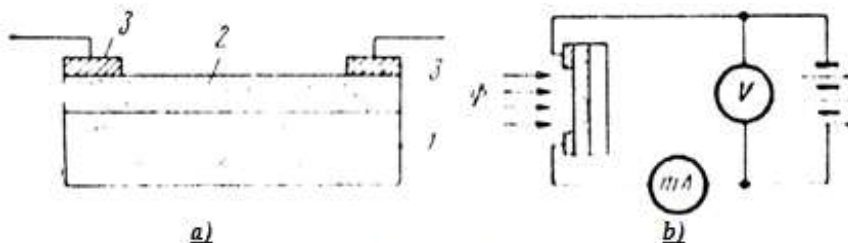
Fotorezistor ýagtylandyrylanda ýagtylyga duýgur gatlagyň geçirijiligi artýar we abzalyň üstünden aşakdaky ýagtylyk togy akyp geçýär:

$$I_C = B\sigma U \quad (30)$$

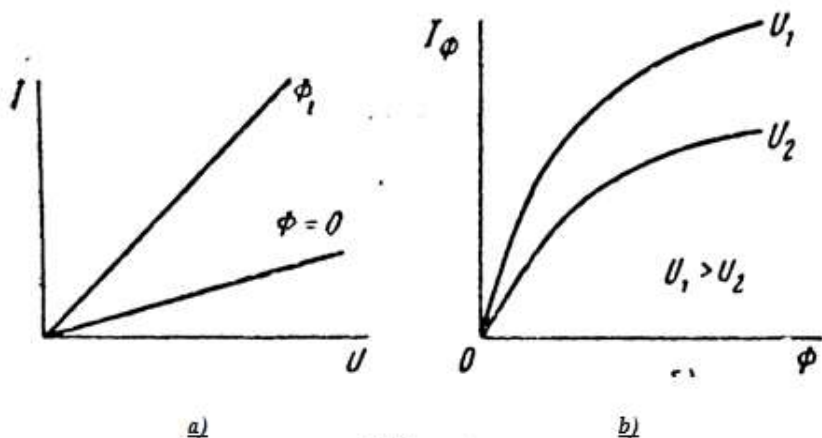
bu ýerde $\sigma = \sigma_0 + (e\mu_n \Delta n + e\mu_p \Delta p)$ – materialyň ýagtylandyrylandaky elektrik geçirijiligi; Δn we Δp – deňagramlylykly däl elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýalary.

Fotorezistoryň (30) aňlatma arkaly kesgitlenilýän woltamper häsiýetnamasynyň liniýalaýyn tebigaty (häsiýeti) bar (7-nji surat). Onuň kanuny köplenç ýagdaýlarda diňe fotorezistorda ýokary naprýaženiýa bolanda bozulýar.

Fotorezistoruň ýagtylyklaýyn häsiýetnamasyna, ýagny I_C ýagty ýagtylyklaýyn toguň ululygynyň abzala düşýän ýagtylyk Φ akymyna baglylygyna seredip geçeliň. Ýagtylyklaýyn I_C ýagty toguň ululygy iki sany düzüjiden: garaňkylaýyn $I_{\text{garaňk}}$ tokdan we ýarym geçirijiniň ony ýagtyrylanda onuň geçirijiliginiň üýtgemegi bilen baglanyşykly I_f fototokdan ybaratdyr:



6-njy surat



7-nji surat

$$I_C = I_T + I_f \quad (31)$$

Ýagtylyk Φ akymyň kiçi ululygynda I_f fototok oňa liniýalaýyn baglydyr:

$$I_f \sim \Phi \quad (32)$$

Ýagtylyk Φ akymynyň uly ululygynda fototok $I_f \sim \sqrt{\Phi}$.

Umumy ýagdaýda fototoguň ýagtylygyň intensiwililigine baglylygyny aşakdaky görnüşde berse bolar:

$$I_f = A\Phi^a U \quad (33)$$

bu ýerde A we a – käbir konstantalar (hemişelikler)

Hemişelik a $0 < a < 1$ çäklerde ýatýar.

Fotorezistoryň ýagtylyklaýyn nusgasy häsiýetnamasy 7-nji b suratda getirildi.

Fotorezistoryň integrallaýyn we spekturalaýyn duýgurlyklary onuň wajyp häsiýetnamalary bolup durýar.

Fotorezistoryň duýgurlygy diýip ýagtylyk Φ akymyň birligine gelýän (düşýän) fototoguň ululygyna aýdylýar.

$$K = \frac{I_f}{\Phi} \quad (34)$$

(33) deňlemeden peýdalanyň, duýgurlyk üçin aňlatmany aşakdaky ýaly ýazsa bolýar:

$$K = A\Phi^{a-1}U \quad (35)$$

(35) aňlatmadan fotorezistoryň duýgurlygynyň hem ýagtylygynyň Φ akymynyň ululygyna, hem-de fotorezistora goýlan naprýaženiýanyň ululygyna baglydygy görünýär. Şonuň üçin hem fotorezistorlaryň häsiýetleri deňeşdirilende ýagtylyk Φ akymynyň ululygy we duýgurlyk ölçenilendäki U naprýaženiýa hökman görkezilmeli. Spektoryň görünýän böleginde duýgurlyk lýmene mikroamperlerde (mkA/lm) ölçenilýär.

Fotorezistoryň duýgurlygynyň tolkunynyň uzynlygyna baglylygyna fotorezistoryň spektrllaýyn häsiýetnamasy diýilýär. Fotorezistoryň dürli görnüşleriniň spektrllaýyn häsiýetnamalary (8-nji surat) köp derejede biri-birinden tapawutlanýarlar.

Fotorezistoryň çylşyrymly spektrallaýyn düzümlü ýagtylyga bolan duýgurlygyna integrallaýyn duýgurlyk diýilýär.

Fotorezistorlaryň dürli ulanylyşynda olaryň ýygylýklaýyn häsiýetnamalary düýpli ähmiýete eýedir. Modulirlenen ýagtylyk bilen şöhlelendirilende moduliýasiýanyň ýygylýgynyň ulalmagy bilen fotorezistoryň duýgurlygy kiçelýär. 9-njy suratda dürli nusgawy görnüşli (tipli) fotorezistorlaryň duýgurlygynyň ýygylýga baglylygy görkezildi, bu ýerde K_0 – abzalyň hemişelik tokdaky duýgurlygy. Ýygylýklaýyn häsiýetnama ýagtylyk ýakylanda we öçürilende bolup geçýän prosesleriň inersiýalylyk bilen düşündirilýär.

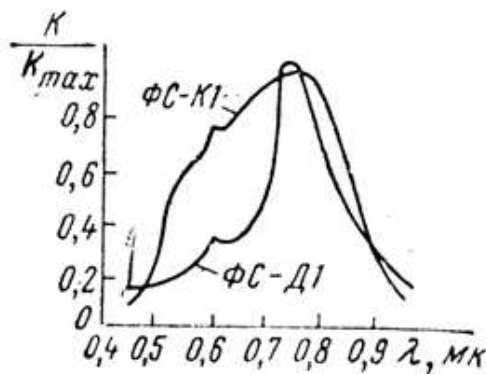
Ýagtylyk ýakylanda we öçürilende fototok maksimuma çenli ýokarlanýar. (10-njysurat) we minimuma çenli bir pursatda (mgnowen) däl ýagdaýda aşaklaýar. Wagtyň geçmegi bilen fototoguň egri çyzyklarynyň artmagynyň (ýokarlanmagynyň) we aşaklamagynyň tebigaty we dowamlylygy berlen materialdaky deňagramlylykda däl

göterijileriň rekombinasiýasynyň mehanizmne, şeýle hem ýagtylygyň intensiwliginiň ululygyna düýpli derejede baglydyr. Inžeksiýanyň kiçi derejesinde wagtyň geçmegi bilen fototoguň ýokarlanmagynyň we aşaklamagyň göterijileriň ýarym geçirijidäki bolýan (ýaşaýyş) wagtynyň deň bolan wagt τ hemişelikli eksponentialar görnüşinde görkezseň bolar. Bu ýagdaýda ýagtylyk ýakylanda we öçürilende fototok i_f aşakdaky kanun boýunça wagtyň geçmegi bilen artar we aşaklar:

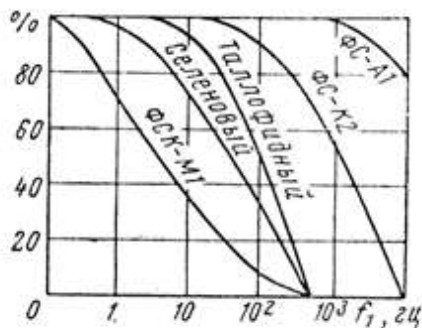
$$i_f = I_f(1 - e^{-t/\tau}) ; i_f = I_f e^{-t/\tau}, \quad (36)$$

bu ýerde I_f – fototoguň ýagtylandyrylandaky stasional bahasy.

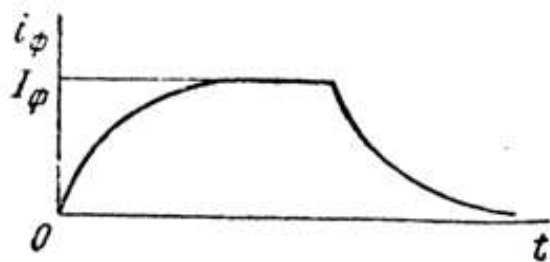
Fototoguň wagtyň geçmegi bilen aşaklama egri çyzyklara boýunça deňagramlylykly däl göterijileriň bolýan (ýaşaýyş) τ wagtyny kesgitlemek bolýar.



8-nji surat



9-nji surat



10-njy surat

V. PES ÝYGYLYGYŇ GÜÝÇLENDIRIJISI.

5.1. Umumy emitterli shema.

Kiçi signally güýçlendirijileri anyklamakda hasplamagy aňsatlaşdyrmak üçin tranzistory köplenç ekwiwalent shema bilen çalyşýarlar. Bu işde has ykjam bolan çalyşy T-görnüşli shemany peýdalanalyň. Umumy bazaly we umumy emitterli shema boýunça çatylan tranzistoryň çalyşy shemalary *1*-nji suratda görkezilen.

Tranzistoryň güýçlendiriji häsiýetleri, umumy bazaly shemada α_i we umumy emitterli shemada β_i togyň generatory bilen häsiýetlendirilýärler. Ýöne hasaplamalarda köplenç $r_{m i_e}$ ýa-da $r_{m i_b}$ naprýaženiýanyň generatory bar bolan shema ulanylýar. (*2*-nji surat).

1-nji we *2*-nji suratlarda görkezilen umumy bazaly shemada boş hereketiň naprýaženiýasyny deňläp indikini alýarys:

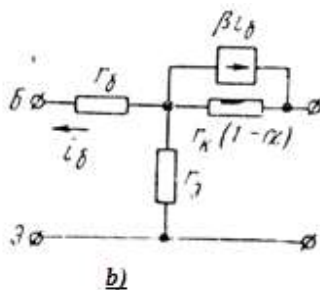
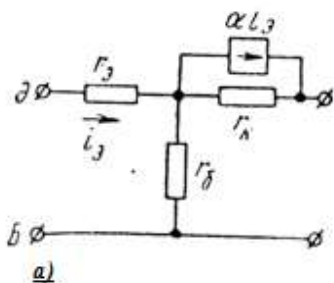
$$r_{m i_e} = \alpha_i r_k ,$$

bu ýerde

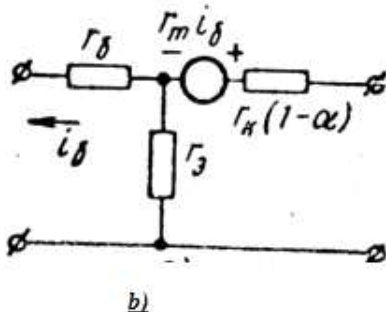
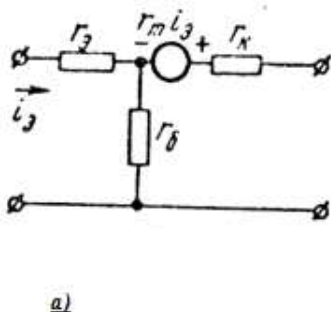
$$r_m = \alpha r_k . \quad (1)$$

Eger umumy emitterli shema üçin hem şolar ýaly operasiýany geçirilse, şol netije alynýar.

Ekwiwalent shemanyň hemme parametrleri, tranzistoryňgeçişlerine berlen süýşmelere baglydyr. Işçi nokadynyň ýagdaýynyň üýtgemegi bilen, olar uly çäkde üýtgap belerler, ol bolsa tutuş kaskadyň güýçlendiriji häsiýetleriniň üýtgemegine getirýär. Şonuň üçin kiçi signally parametrlerdäki çözügüt, diňe şol parametrlere ölçenen işçi nokady üçin kanagatlanarly. Tranzistoryň ektiw meýdany üçin köplenç indiki özara gatnaşyklar ýerine ýetirilýär:



1-nji surat



2-nji surat

$$r_e \ll r_k(1-\alpha) = r_k - r_m; \quad r_b \ll r_k, \quad (2)$$

olar hasaplaýyş formulalary örän aňsatlaşdyrmaga mümkinçilik berýär.

3-nji suratda umumy emitterli shema boýunça çatylan tranzistorda güýçlendiriji kaskadyň shemasy görkezilen. R_1 , R_2 we R_e garşylyklar tranzistoryň süýşmesini we temperatura stabilizasiýasyny bermek üçin hyzmat edýärler. C_e sygym, R_e garşylygyň üsti bilen üýtgeýän tok boýunça ters baglanyşygy aýyrmak üçin ulanylýar. R_k garşylyk ýük bolup hyzmat edýär.

Dürli güýçlendiriji kaskadlaryň derňewinde indiki elementleri görkezmek bolýar: 1) signalyň çeşmesi, 2) ýük, 3) tranzistor, 4) hemişelik süýşmäniň zynjyry, 5) baglanyşyklaryň zynjyrlary.

Üýtgeýän tok boýunça kaskady hasaplananda bu elementleriň her birini ekwiwalent shema bilen çalşylýar. Ekwiwalent shemanyň çylşyrymlygy hasaba edilýän talaplar bilen (takyklyk, işçi ýygylýk we başgalar) kesgitlenilýär.

Orta we ýokary ýygylýklardaky derňewde, baglanyşygyň sygymlyry we emitteriň zynjyrynyň sygymy signaly gowy geçirýärler we olaryň garşylygy şonuň üçin nola deň kabul edilýär diýip hasap etmek bolýar. Üýtgeýän tok boýunça iýmitlendiriji çeşmäniň garşylygy nola deň hasap edilýär we onuň aýaklary utgaşdyrylýar. Orta ýygylýklar üçin güýçlendiriji kaskady 4-nji suratda görkezilen ekwiwalent shema bilen çalşylýar. Ol shemada $R_b = R_1 \parallel R_2$ we $R'_y = R_k \parallel R_y$.

Kaskadyň girişi R_{gir} we çykyş $R_{çyk}$ garşylyklaryny indiki görnüşde ýazýarys:

$$R_{gir} = R_b \parallel r_{gir}; \quad R_{çyk} = R_k \parallel r_{çyk}, \quad (3)$$

bu ýerde r_{gir} we $r_{çyk}$ – tranzistoryň giriş we çykyş garşylyklary.

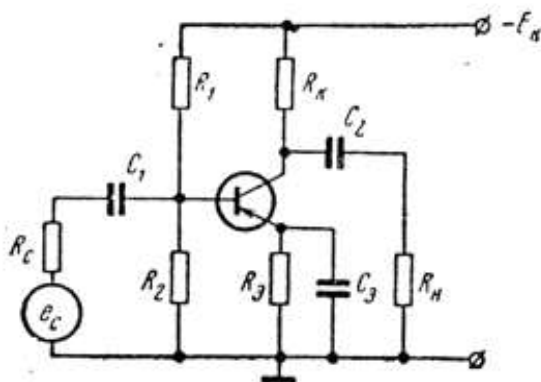
Kaskadyň tok geçiriji koeffisienti:

$$K_i = \frac{i_y}{i_{gir}} = K_{i0} \gamma_1 \gamma_2, \quad (4)$$

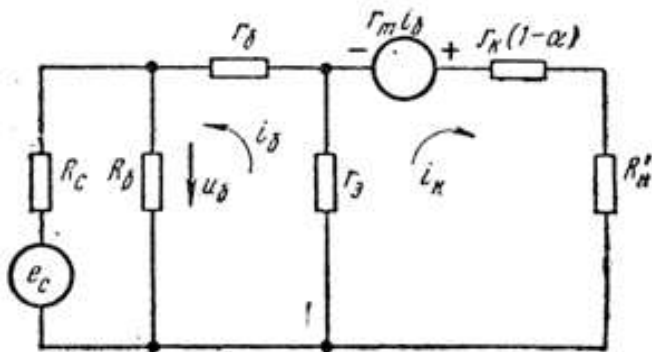
bu ýerde, $K_{i0} = \frac{i_k}{i_b}$ – tranzistoryň tok geçiriji koeffisienti;

$$\gamma_1 = \frac{R_b}{R_b + r_{gir}} - \text{tranzistoryň giriş garşylygynyň we}$$

süýşmäniň ekwiwalent R_b garşylygynyň aralarynda tok paýlaýjy koeffisienti;



3-nji surat



4-nji surat

$$\gamma_2 = \frac{R_k \parallel r_{\text{cyk}}}{R_y + R_k \parallel r_{\text{cyk}}} - \text{kaskadyň ýükiniň we çykyş}$$

garşylygynyň aralarynda tok paýlaýjy koeffisienti.

Napryženiýe geçiriji koeffisient:

$$K_u = \frac{u_{\text{cyk}}}{u_{\text{gir}}} = \frac{i_k R'_y}{i_b r_{\text{gir}}} = K_{i0} \frac{R'_y}{r_{\text{gir}}} \quad (5)$$

Giriş rgir garşylygy we tok geçiriji koeffisienti K_{i0} hasaplalyň. 4-nji suratdaky ekwiwalent shema üçin indiki deňlemeleri düzmek bolýar:

$$\left. \begin{aligned} u_b &= (r_b + r_e)i_b + r_e i_k; \\ 0 &= (r_e - r_m)i_b + [r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y] i_k. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(6) deňlemäni işläp, ib we ik gatnaşykda indikini alýarys:

$$i_b = \frac{\begin{vmatrix} u_b & r_e \\ 0 & [r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y] \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{u_b [r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y]}{\Delta}, \quad (7)$$

$$\text{bu ýerde, } \Delta = \begin{vmatrix} r_b + r_e & r_e \\ r_e - r_m & [r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y] \end{vmatrix} - (6) \text{ ulgamyň}$$

kesgitleýjisi.

Şonuň ýaly kollektoryň togy hasaplanylýar:

$$i_k = \frac{u_b(r_m - r_e)}{\Delta}. \quad (8)$$

(7) deňlemeden peýdalanyň tranzistoryň giriş garşylygyny tapalyň:

$$r_{gir} = \frac{u_b}{i_b} = \frac{\Delta}{r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y} = r_b + \frac{r_e(r_k + R'_y)}{r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y}. \quad (9)$$

Eger (2) ýakynlaşmadan peýdalansak, onda (9) formula ýönekeýleşýär:

$$r_{gir} = r_b + r_e \frac{r_k + R'_y}{r_k(1 - \alpha) + R'_y}. \quad (10)$$

$R'_y \ll r_k(1 - \alpha)$ şert ýerine ýetirilýän kaskadlar üçin bu formula ýenede has ýänekeý görnüşe geçýär:

$$r_{gir} = r_b + \frac{r_e}{1 - \alpha} = r_b + r_e(1 + \beta), \quad (11)$$

bu ýerde, $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ – haçanda $R'_y = 0$ bolanda umumy

emitterli shemada tranzistoryň tok geçiriji koeffisienti.

Ki0 ululygy (7) we (9) deňlemelerde taparys:

$$K_{i0} = \frac{i_k}{i_b} = \frac{r_m - r_e}{r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y} \quad (12)$$

(2) formulany hasaba almak bilen indikini alýarys:

$$K_{i0} = \frac{\alpha}{(1 - \alpha) + \frac{R'_y}{r_k}} \quad (13)$$

Eger $R'_y \ll r_k(1 - \alpha)$ bolsa, onda tok geçiriji koeffisient:

$$K_{i0} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta \quad (14)$$

bolýar, bu bolsa çykyşda gysga utgaşma bolanda tranzistoryň güýçlenmesine laýyk gelýär.

5.2. Umumy bazaly shema

Umumy bazaly kaskadyň shemasy 5-nji suratda görkezilen, bu shemada giriş zynjyryň süýşmesi umumy emitterli shemadaky ýaly, R_e , R_1 we R_2 garşylyklaryň kömegi bilen berilýär. Ýöne, signal emittere berilýändigini üçin C_e sygym aýrylýar, ters baglanyşygy aýyrmak üçin C_b sygym çatylyar. Başga sözler bilen aýdylanda umumy bazaly kaskad umumy emitterli kaskatdan, sygym R_2 garşylyga parallel çatylandygy we giriş signal emittere berilýändigini bilen tapawutlanýar. Umumy bazaly kaskadyň ekwiwalent shemasy 6-njy suratda görkezilen. Kaskadyň esasy parametrleri umumy emitterli ýagdaýa meňzeş formulalar boýunça hasaplanylýar:

$$R_{gir} = R_e \parallel r_{gir}; \quad R_{çyk} = R_k \parallel r_{çyk} \quad (15)$$

by ýerde r_{gir} we $r_{çyk}$ – tranzistoryň giriş we çykyş garşylyklary:

$$K_i = \frac{i_y}{i_s} = \frac{i_k}{i_e} \gamma_1 \gamma_2 = K_{i0} \gamma_1 \gamma_2 \quad (16)$$

bu ýerde, $\gamma_1 = \frac{R_e}{R_e + r_{gir}}$ we $\gamma_2 = \frac{R_k}{R_k + r_{çyk}}$ kaskadyň giriş

we çykyş zynjyrynda tok paýlaýjy koeffisientler.

Napryženiýe geçiriji koeffisienti

$$K_u = \frac{u_y}{u_e} = \frac{i_k R'_y}{i_e r_{gir}} = K_{i0} \frac{R'_y}{r_{gir}} \quad (17)$$

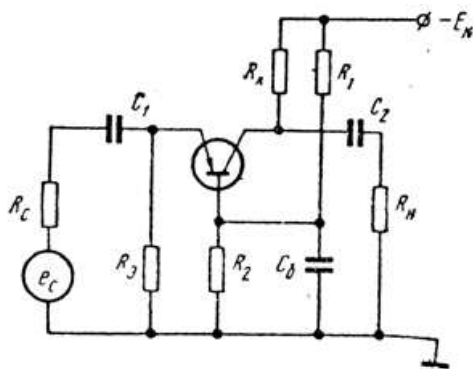
Kaskadyň parametrleriniň kesgitlemek üçin 6-njy suratdaky shema üçin deňlemeleri düzeliň:

$$\left. \begin{aligned} u_e &= (r_b + r_e)i_e - r_b i_k; \\ 0 &= -(r_b + r_m)i_e + [r_b + r_k + R'_y]i_k. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

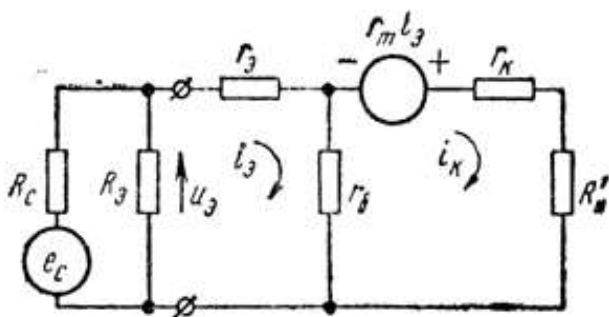
(18) deňlemeleriň ulgamyndan emitteriň togy:

$$i_b = \frac{\begin{vmatrix} u_e & r_b \\ 0 & r_b + r_k + R'_y \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{u_e (r_b + r_k + R'_y)}{\Delta} \quad (19)$$

bu ýerde Δ – (18) deňlemeler ulgamyňyü kesgitleýjisi.



5-nji surat



6-njy surat

(19) deňleme kaskadyň giriş garşylygyny tapmaga mümkinçilik berýär:

$$r_{gir} = \frac{u_e}{i_e} = r_e + r_b \frac{r_k(1-\alpha) + R'_y}{r_b + r_k + R'_y} \quad (20)$$

(2) şerti hasaba alyp, giriş garşylyk üçin görkezmäni ýönekeýleşdireris:

$$r_{gir} = r_e + r_b \frac{r_k(1-\alpha) + R'_y}{r_k + R'_y} \quad (21)$$

Eger $R'_y \ll r_k(1-\alpha)$ bolsa, onda giriş garşylyk:

$$r_{gir} = r_e + r_b(1-\alpha) \quad (22)$$

Tok geçiriji k_{i0} koeffisienti tapmak üçin (18) deňlemelerden kollektoryň togyny tapalyň

$$i_k = \frac{u_e(r_m + r_b)}{\Delta}$$

(19) deňlemäni peýdalanyp indikini alarys:

$$K_{i0} = \frac{i_k}{i_e} = \frac{r_m + r_b}{r_b + r_k + R'_y} \quad (23)$$

(2) deňlemäni hasaba almak bilen ýakynlaşdyrylan hasaplamada emitteriň tok geçiriji koeffisientiniň has ýönekeý görkezmesini alarys:

$$K_{i0} = \frac{r_m}{r_k + R'_y} = \frac{\alpha}{1 + \frac{R'_y}{r_k}} \quad (24)$$

Eger $R'_y \ll r_k$ bolsa, onda tok geçiriji koeffisient $k_{i0} = \alpha$.

5.3. Emitter gaýtalaýjy (umumy kollektorly shema)

Umumy kollektorly kaskadyňshemasy 7-nji suratda görkezilen. Şolar ýaly kaskada emitter gaýtalaýjy diýilýär, sebäbi çykyş naprýaženiýe ululygy boýunça girişden az tapawutlanýar. Bu kaskatda süýşme zynjyrlary, öňki kaskadlardaky ýaly. R_e garşylyk, bu ýerde, iki işi ýerine ýetirýär: süýşmäni kesgitleýär we ýüküň garşylygy bolýar. Kaskadyň ekwiwalent shemasy 8-nji suratda görkezilen. Garşylyk $R_b = R_1 // R_2$. Bu ýerde tranzistoryň süýşme shemasy, umumy emitterli kaskadyň shemasy ýaly.

Kaskadyň esasy parametrlerini (r_{gir} , $r_{çyk}$ we K_i) ekwiwalent shemany beýan edýän deňlemelerden taparys:

$$\left. \begin{aligned} u_b &= (r_b + r_k) i_b - [r_b(1 - \alpha)] i_e; \\ 0 &= -r_k i_b + [r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y] i_e. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

(25) deňlemelerden bazanyň togyny çykaraly:

$$i_b = \frac{\begin{vmatrix} u_b & -[r_k(1 - \alpha)] \\ 0 & r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{u_b(r_e + r_k(1 - \alpha) + R'_y)}{\Delta} \quad (26)$$

bu ýerde Δ – (25) deňlemeler ulgamynyň kesgitleýjisi. Şolar ýaly emitteriň togyny taparys:

$$i_e = \frac{u_b r_k}{\Delta} \quad (27)$$

Giriş garşylygy (26) deňlemeden alarys:

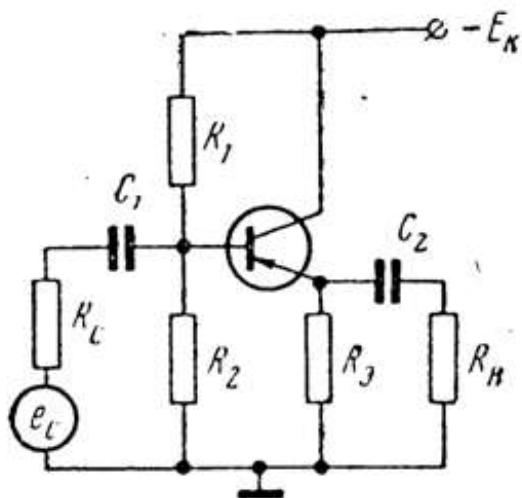
$$r_{gir} = \frac{u_b}{i_b} = r_b + r_k \frac{r_e + R'_y}{r_e + r_k(1-\alpha) + R'_y} \quad (28)$$

(2) formulany hasaba almak bilen (28) formula ýönekeýleşýär:

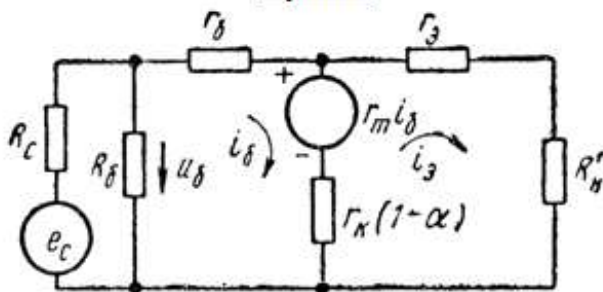
$$r_{gir} = r_b + r_k \frac{r_e + R'_y}{r_k(1-\alpha) + R'_y} \quad (29)$$

$R'_y \ll r_k(1-\alpha)$ ýagdaý üçin giriş garşylyk:

$$r_{gir} = r_b + \frac{R'_y + r_e}{1-\alpha} = r_b + (R'_y + r_e)(\beta + 1) \quad (30)$$



7-nji surat



8-nji surat

Bazanyň zynjyryndaky bölüjini hasaba almak bilen emitter gaýtalaýjynyň giriş garşylygy şu görkezme bilen kesgitlenýär:

$$R_{gir} = r_{gir} \parallel R_b \quad (31)$$

Tranzistoryň tok geçiriji koeffisientini (26) we (27) deňlemeleri peýdalanyp taparys:

$$K_{i0} = \frac{i_e}{i_b} = \frac{r_k}{r_e + r_k(1-\alpha) + R'_y} \quad (32)$$

(2) formulany hasaba almak bilen (32) formula ýönekeýleşýär:

$$K_{i0} = \frac{1}{(1-\alpha) + \frac{R'_y}{r_k}} \quad (33)$$

Eger $R'_y \ll r_k(1-\alpha)$ bolsa, onda tok geçiriji koeffisient:

$$K_{i0} = \frac{1}{1-\alpha} = \beta + 1 \quad (34)$$

Tutuş kaskadyň tok geçiriji koeffisienti şu görkezme bilen kesgitlenilýär:

$$K_i = K_{i0}\gamma_1\gamma_2 \quad (35)$$

bu ýerde $\gamma_1 = \frac{R_b}{R_b + r_{gir}}$, $\gamma_2 = \frac{R_e}{R_e + R'_y}$ – tranzistoryň,

giriş we çykyş zynjyrynyň tok paýlaýjy koeffisientleri.

Umumy emitterli we umumy bazaly kaskadlar üçin bolşy ýaly emitter gaýtalaýjynyň naprýaženiýe geçiriji koeffisienti:

$$K_u = \frac{u_{çyk}}{u_{gir}} = \frac{i_e R'_y}{i_b r_{gir}} = K_{i0} \frac{R'_y}{r_{gir}} \quad (36)$$

Eger, k_{i0} we r_{gir} laýyklykda (34) we (30) formulalar bilen kesgitlenilýän bolsa, onda emitter gaýtalaýjynyň

naprýaženiýe geçiriji koeffisientiniň ýakynlaşdyrylan görkezmesini alarys:

$$K_u = \frac{(\beta + 1)R'_y}{r_b + (R'_y + r_e)(\beta + 1)} \quad (37)$$

Ku ululyk hemişe birlikden pesdigini bellemeli.

Umumy kollektorly shemanyň çykyş garşylygyny tapmak üçin 9-njy suratdaky ekwiwalent shemany peýdalanylýar. Onuň üçin indiki deňlemeleri düzmek bolýar.

$$\left. \begin{aligned} 0 &= (R'_c + r_b + r_k)i_b - [r_k(1 - \alpha)]i_e; \\ u_e &= -r_k i_b + [r_k(1 - \alpha) + r_e]i_e. \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Bu ýerde emitteriň togy:

$$i_e = \frac{u_e(R'_c + r_b + r_k)}{(R'_c + r_b + r_k)[r_k(1 - \alpha) + r_e] - r_k^2(1 - \alpha)} \quad (39)$$

Çykyş garşylygy (39) deňlemeden taparys:

$$r_{\text{çyk}} = \frac{u_e}{i_e} = r_e + r_k(1 - \alpha) \frac{R'_c + r_b}{R'_c + r_b + r_k} \quad (40)$$

(2) formulany hasaba almak bilen (40) deňleme ýönekeýleşýär:

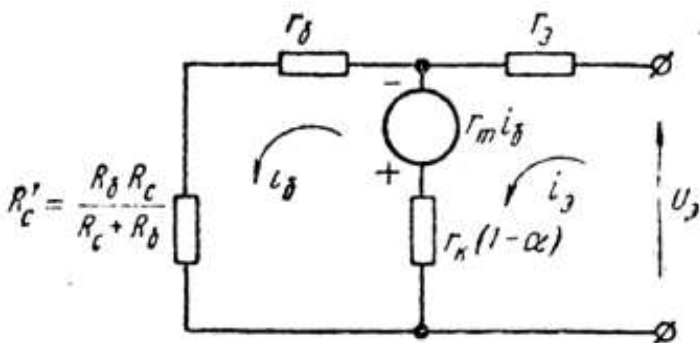
$$r_{\text{çyk}} = r_e + r_k(1 - \alpha) \frac{R'_c + r_b}{R'_c + r_k} \quad (41)$$

$R'_c \ll r_k$ ýagdaý üçin çykyş garşylyk:

$$r_{\text{çyk}} = r_e + (R'_c + r_b)(1 - \alpha) \quad (42)$$

Tutuş kaskadyň çykyş garşylygy $R_{\text{çyk}} = r_{\text{çyk}} // R_e$ özara gatnaşyk bilen kesgitlenilýär.

Şeýlelikde, emitter gaýtalaýjynyň giriş garşylygy esasanda R'_y ýüküň garşylygy bilen kesgitlenilýär, çykyş garşylyk bolsa – generatoryň R'_c garşylygy bilen kesgitlenilýär.



9-njy surat

5.4. Pes ýygylgyň güýçlendirijisiniň ýygylk häsiýetnamalary.

Güýçlendiriji kaskadyň naprýaženiýe geçirijiji koeffisientiniň ýugulyk häsiýetnamalary, tranzistoryň özüniň ýygylk häsiýetlerini kesgitlenilşi ýaly, shemany reaktiw elementleri bilen kesgitlenilýär.

Kaskadyň ýygylk häsiýetnamalarynyň analizinde ekwiwalent shemalaryny peýdalanylýar. Derňewi aňsatlaşdyrmak üçin ýygylklaryň iş diapazonyny üç meýdana bölýärler: pes, orta we ýokary ýygylklar. Bu bolsa her diapazonda reaktiw elementlerini azaltmaga mümkinçilik berýär, ol shemany ýönekeýleşdirýär. Orta ýygylklaryň meýdanynda kaskadyň göýçlenmesi tranzistora gatnaşygy boýunça daşky sygymlara bagly däl. Orta ýygylklar üçin ekwiwalent shema, kaskadyň esasy parametrlerini hasaplanylýan shemanyň görnüşi ýaly.

Bu işde umumy emitterli kaskadyň ýygylk häsiýetnamalaryny öwrenilýär.

Pes ýygylklarda naprýaženiýe geçiriji koeffisientiniň azalmagy bölüji C_1 , C_2 sygymlar we emitter zynjyryndaky C_e sygym bilen kesgitlenilýär. Pes ýygylklaryň meýdany üçin kaskadyň ekwiwalent shemasy 10-njy suratda görkezilen.

C_1, C_2 we C_e sygymlaryň ýygylýk häsiýetnama täsirini başda bölüp hasaba alýarys. Sygymlaryň birini hasaba almak bilen, beýleki ikisini soňsuz uly hasap ederis.

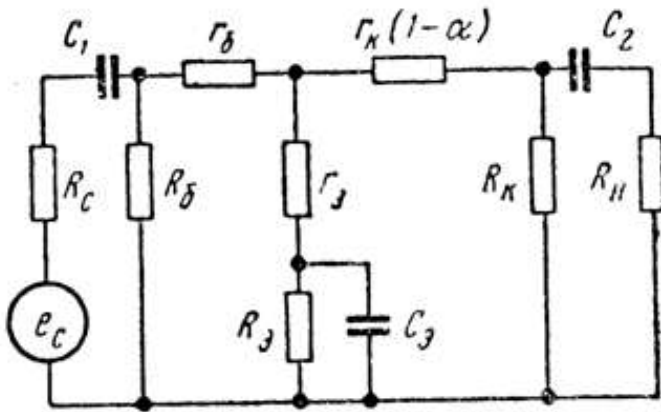
C_1 sygymyň täsirini tapmak üçin naprýaženiýe geçiriji koeffisientini kesgitlemeli:

$$K_u = \frac{u_{cyk}}{e_c} \quad (43)$$

Bu ýagdaýda naprýaženiýe geçiriji koeffisienti orta ýygylýklaryň meýdanynda indiki bolýar:

$$K_u = \frac{\beta R'_y}{R_c + R_{gir}} \cdot \frac{R_b}{R_b + r_{gir}} \quad (44)$$

bu ýerde $R_{gir} = r_{gir} // R_b$ – kaskadyň giriş garşylygy.



10-njy surat

$C_2 = C_3 = \infty$ bolanda baglanyşygyň C_1 sygymyny hasaba alalyň.

Onda (43) kesgitleme boýunça naprýaženiýe geçiriji koeffisienti:

$$K_u(\omega) = \frac{\beta R'_y}{R_c + \frac{1}{j\omega C_1} + R_{gir}} \cdot \frac{R_b}{R_b + r_{gir}} = \frac{\beta R'_y}{(R_c + R_{gir}) \left(1 + \frac{1}{j\omega \tau_1}\right)} \quad (45)$$

bu ýerde, $r_1 = C_1(R_c + R_{gir})$ – C_1 sygymyny zarýadlaşmasynyň-zarýadsyzlaşmasynyň wagtyny kesgitleýär.

(44) formulany hasaba almak bilen (45) görkezme ýönekeý görnüşe geçýär:

$$K_u(\omega) = \frac{K_u}{\left(1 + \frac{1}{j\omega \tau_1}\right)} \quad (46)$$

Bu ýerde napryáženíye geçiriji koeffisienti $\omega_1 = 1/\tau_1$ ýygylkda **3db** (ýa-da $\sqrt{2}$ esse) düşýändigini bolýar.

C_1 we C_e sygymalaryň soňsuz uly bahalarynda C_2 sygymy hasaba almak bilen geçiriji koeffisientiň indiki görkezmesi:

$$K_u(\omega) = \frac{K_u}{\left(1 + \frac{1}{j\omega \tau_2}\right)} \quad (47)$$

bu ýerde $\tau_2 = C_2(R_k + R_y)$.

Bu ýerde öňki ýagdaýdaky ýaly, $\omega_2 = 1/\tau_2$ ýygylkda geçiriji koeffisient **3db** (ýa-da $\sqrt{2}$ esse) düşýär.

Şonuň ýaly, pes ýygylk meýdanynda geçiriji koeffisientiniň ýygylk baglylygyny C_e sygymy hasaba almak bilen tapmak bolýar:

$$K_u(\omega) = \frac{K_u}{\left(1 + \frac{1}{j\omega \tau_3}\right)} \quad (48)$$

bu ýerde, – C_e kondensatoryň zarýadlaşmasynyň-zarýadsyzlaşmasynyň wagt hemişeligi.

$\omega_3=1/\tau_3$ ýygylýkda geçiriji koeffisient **3db** düşýär.

Hemme üç sygymlaryň ýygylýk häsiýetnama täsirini bir wagtda almak üçin wagtyň effekti τ_{ef} hemişeligi diýen düşüňjani peýdalanalyň:

$$\frac{1}{\tau_{ef}} \approx \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3} \quad (49)$$

Onda netijeleriň çäk ω_y ýygylýk ýakynlaşdyrylan özara gatnaşyk bilen kesgitlenilýär:

$$\omega_y \approx \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 \quad (50)$$

Köplenç, wagt hemişelikleriniň biri (τ_1 , τ_2 ýa-da τ_3) beýleki ikisinden az, we şol hem kaskadyň aşaky çäk güýçlenme ýagdaýyny kesgitleýär.

Ýokary ýygylýklarda naprýaženiýe geçiriji koeffisientiniň pese düşmegi, esasanda kollektor geçişiniň ýygylýk häsiýetleriniň we C_k sygymy bilen kesgitlenilýär. Yokary ýygylýklar üçin ekwiwalent shema **II**-nji suratda görkezilen. Derňewi ýönekeýleşdirmek üçin, ýüke gatnaşygy boýunça tranzistory togyň geçmesi diýip hasap edeliň.

Onda naprýaženiýe geçiriji koeffisienti orta ýygylýklar üçin:

$$K'_u \approx \frac{\beta}{1 + \beta\gamma_b} \cdot \frac{R'_y}{R'_c + r_b + r_e} \quad (51)$$

bu ýerde, $\gamma_b = \frac{r_e}{r_e + r_b + R'_c}$ – baza şahasyna

şahalanýan kollektoryň togynyň ululygyny kesgitleýän ters baglanyşygyň koeffisienti.

Tranzistoryň tok geçiriji koeffisientiniň ýygylýga baglylygy şu görkezme bilen kesgitlenilýär:

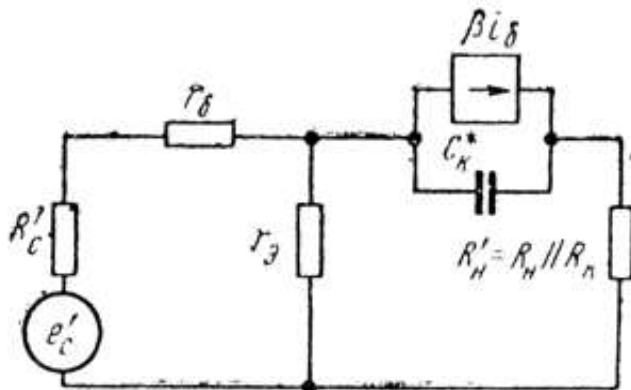
$$\beta = \frac{\beta_0}{1 + j\omega\tau} \quad (52)$$

bu ýerde, β_0 – pes ýygylkda güýçlenme koeffisienti;

$\tau = \tau_\beta + \beta R'_y C_k$ – tranzistoryň kollektor togynyň

ösmeginiň wagt hemişeligi.

$\beta(\omega)$ üçin görkezmäni (51) formula goýmaklyk güýçlendiriji kaskadyň naprýaženiýe geçiriji koeffisientiň ýygylkga baglylygyny berýär:



11-nji surat

$$K_u(\omega) = \frac{K'_u}{1 + j\omega \frac{\tau}{1 + \beta_0 \gamma_b}} \quad (53)$$

Şeýlelikde, naprýaženiýe geçiriji koeffisientiň $\sqrt{2}$ esse düşýän ýokarky çäk ýygylkgy:

$$\omega_b = \frac{1 + \beta_0 \gamma_b}{\tau} \quad (54)$$

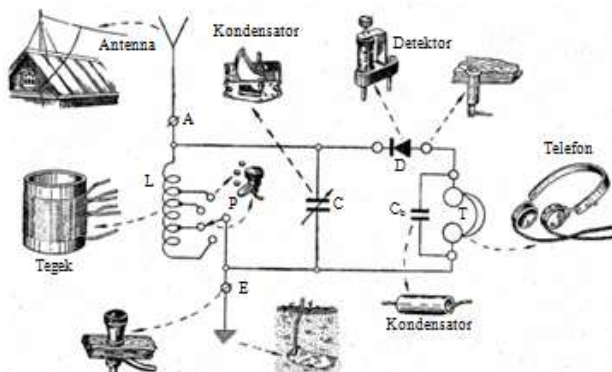
Eger $\beta_0 \gamma_0 \ll 1$ bolsa, onda ýokarky çäk ω_b ýygylk tranzistoryň kollektor togynyň ösmeginiň wagt τ hemişeligine ters bolýar.

VI. ENJAMLARY BEJERMEK WE ULANMAK

6.1. Radioelektroniekanyň esasy usullary we düşüňjeleri.

6.1.1. Detektorly radiokabul ediji.

Detektorly radiokabul ediji iň sada gurluşly kabul edijidir. Onuň prinsipial çyzgysy 1-nji suratda görkezilendir. Ol kabul ediji konturdan: Δ induktiwlik tegegininden we C üýtgeýän sygymly kondensatordan ybaratdyr. Kontur bilen detektor zynjyry baglanyşyklydyr. Bu zynjyry D detektor we T telefon girýär. Telefon hemişelik sygymly C_b kondensator parallel birikdirilýär. Antenna we ýer kabul ediji kontura utgaşdyrylýar.



1.1-nji surat. Detektorly kabul edijiniň prinsipial çyzgysynda radioşaýlaryň belgilenişi.

Tolkun beriji radiostansiýanyň elektromagnit meýdanynyň täsiri bilen antennada belent ýygylkly toklar döredilýär. Olar kabul ediji kontura düşýär.

Bir radiostansiýanyň berýän gepleşigini şol radiostansiýa bilen bir wagtda işleýän beýleki radiostansiýalaryň berýän gepleşikleriniň içinden saýlap almak üçin kabul ediji kontury gerekli radiostansiýanyň ýygylgyna rezonans edip sazlamak zerurdyr. Mälim bolşy ýaly,

konturdaky yrgyldynyň ýygylgy L induktiwlige we C sygyma baglydyr hem-de ony aşakdaky formula boýunça hasaplap çykarmak bolýar:

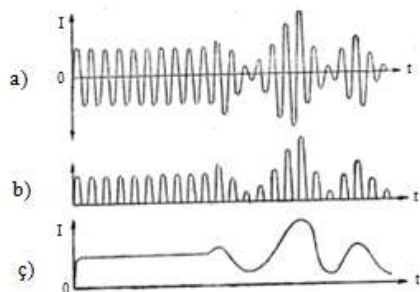
$$F = \frac{1}{2} \pi \sqrt{LC};$$

bu ýerde L – *genri* hasabynda; C – *farada* hasabynda, onda F *gers* hasabynda bolar. Tegegiň L induktiwliginiň ýa-da kondensatoryň C sygymynyň ululygyny üýtgetmek bilen radiostansiýanyň gerekli radiostansiýa rezonans edip sazlamak bolar.

Rezonans wagtynda gerekli radiostansiýanyň yrgyldyly konturda bölünen naprýaženiýe signaly, detektor zynjyrynda tok döreder. Detektoryň bir taraplaýyn geçirijilik häsiýeti bardyr, şoňa görä-de zynjyrdaky tok impuls boýunça bir tarapa akar. Modulirlenen yrgyldylar kabul edilyän wagty impulsalaryň ululyklary dürli bolar. Detektor zynjyrlaryndaky toklaryň bu pulsasiýasyny iki goşulyjydan – belent ýygylkly yrgyldylardan hem-de pes ýygylkly yrgyldylardan emele gelýän pulsasiýa hökmünde seretmek bolar. T telefonda we C_6 bloklaýjy kondensatorda pes ýygylkly goşulyjy belent ýygylkly goşulyjydan bölünip aýrylar. Toguň belent ýygylkly düzüjisi telefonyň elektromagnit sargylarynyň uly induktiv garşylygy bilen deňeşdirilende az garşylygy bolan (şol düzüji üçin) C_6 bloklaýjy kondensator arkaly utgaşdyrylýar. Toguň pes ýygylkly düzüjisi elektromagnit sargylaryndan geçýär, sebäbi C_6 kondensator oňa gaty köp garşylyk görkezýär. Pes (ses) ýygylkly bu toguň täsiri bilen telefonyň membranasy yrgyldaýar we tolkun beriji radiostansiýanyň mikrofona täsir edýän sesleri täzeden döredýär.

Detektorly kabul edijileriň işlemegi tolkun beriji stansiýanyň elektromagnit tolkunlarynyň energiýasynyň hasabyna amala aşyrylýar. Şu hili radiokabul edijiler tok

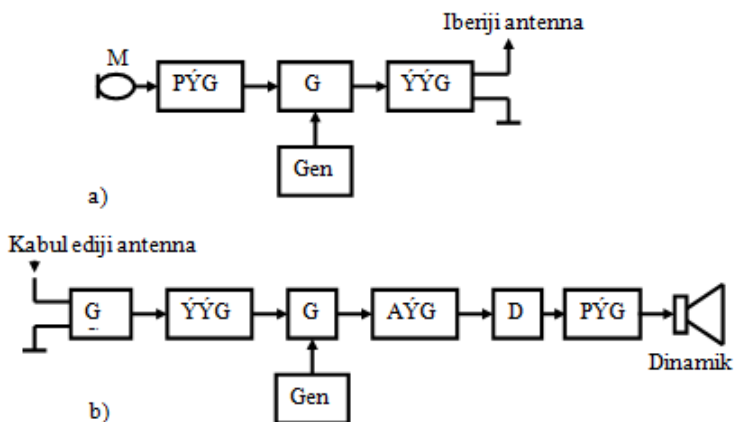
çeşmesine mätäç dälidir, emma olar gaty uzakdan kabul edip bilmeýärler.



1.2-nji surat. Detektorly radiokabul edijiniň zynjyrlaryndaky toklaryň üýtgeýişiniň grafikleri: a – yrgyldyly konturda, b – detektordan soňra, ç – telefonda.

6.1.2. Radioaragatnaşygynyň prinsipi.

Radioaragatnaşyk üçin tolkun beriji stansiýada ýerleşen we tolkun beriji antenna bilen birikdirilen kuwwatly generatorlar tarapyndan döredilýän 100000 gersden birnäçe müň mega gerse çenli bolan belent (ýokary) ýygyllykly yrgyldylar peýdalanylýar. Radiogepleşik stansiýalaryndaky radioiberijileriň kuwwaty köp bolýar. Mikrofon studiýada goýlan we studiýanyň gapdalyndaky apparatly jaýdaky güýçlendiriji bilen birikdirilen. Güýçlendiriji mikrofonyň zynjyrynda döreýän pes (ses) ýygyllykly gowşak toklary güýçlendirýär. Güýçlendirilen toklar garjaşdyryja berilýär, ol ýerde generatordan gelýän ýokary ýygyllykly yrgyldylar bilen goşulyp (amplituda modulýasiýasy), ýokary ýygyllygyň güýçlendirijisine berilýär, soňra iberiji antenna arkaly efire iberilýär. Yrgyldylar goşulanda ýokary ýygyllykly yrgyldylaryň amplitudasy pes ýygyllygyň kanuny boýunça üýtgedilýär.



1.3-nji surat. Radiogepleşik trakty: a) radioiberiji; M – studiýadaky mikrofon, PÝG – pes ýygylygyň güýçlendirijisi, G – garjaşdyryjy, Gen – belent ýygylygy bolan toklaryň generatory, ÝÝG – ýokary ýygylygyň güýçlendirijisi, b) radiokabul ediji; AÝG – aralyk ýygylygyň güýçlendirijisi, D – detektor, Din – dinamik.

Amplitudanyň şu üýtgemegine modulýasiýa diýilýär, diýmek belent ýygylykly modulirlenen yrgyldylar antenna barýar. Antennanyň töweregindäki giňişlikde sekuntda 300000 km tizlik bilen ýaýraýan elektromagnit tolkunlary (radio tolkunlary) döredýär. Elektromagnit tolkunlary öz ýollarynda kabul ediji antennalara düşüp, olarda edil tolkun beriji stansiýadaky ýaly ýygylykly we modulýasiýaly elektrik hereketlendiriji güýjüni (e.h.g.) döredýärler. Bu e.h.g. antennadan radiokabul edijä barýar we radiokabul edijiniň zynjyrlarynda ýokary ýygylykly modulirlenen yrgyldylary döredýär. Soňra güýçlendirilip, garjaşdyryjyda ýörite generatoryň yrgyldylary bilen goşulyp, tapawut alynýar. Bu tapawut 465 kgs aralyk ýygylykdyr, ol aralyk ýygylygyň güýçlendirijisinde güýçlendirilýär we göneldijiniň – detektoryň kömegi bilen kabul edijidäki belent ýygylykly modulirlenen yrgyldylaryndan pes ýygylykly tok bölünip aýrylýar hem-de pes ýygylygyň güýçlendirijisinde güýçlendirilip, dinamikde sese öwürilýär we biz ony eşidýäris.

6.1.3. Radioiberme we radiokabul etme.

Radioteknikada birnäçe gersden ýüzlerçe gigaherse çenli ýygyllykly ýütgeýän toklar ulanylýar. Radiogepeleşik eşitdiriş stansiýalarynyň antenna zynjyrlary, meselem, takmynan 150 kgs-den 60-70 Mgs-e çenli ýygyllykly toklar bilen iýmitlenýärler. Bu çalt üýtgeýän toklar simsiz uly aralyklara sesleri ibermegi amala aşyran serişdelerdir.

Üýtgeýän toklaryň ýygyllyklarynyň ähli uly diapazonyny birnäçe bölümlere – *poddiapazonlara* bölmeklik kabul edilen. 20 gs – 20 kgs çäklerdäki ýygyllykly toklara *pes* ýa-da *ses* ýygyllykly toklar (olaryň ses yrgyldylarynyň ýygyllyklaryna gabat gelýändikleri üçin), 20 kgs-den ýokary ýygyllykly üýtgeýän toklara bolsa *ultrases* ýygyllykly toklar diýilýär. Şol bir wagtyň özünde 100 kgs-den 30 Mgs-e çenli ýygyllykly toklara *ýokary* ýygyllykly toklar, 30 Mgs-den ýokary ýygyllykly toklara bolsa *aşa ýokary* ýa-da *ultra ýokary* ýygyllykly toklar diýilýär.

Howada ýüze çykýan we biziň ses görnüşinde kabul edýän ses tolkunlary özgelere garanda uly bolmadyk tizlik bilen (340 m/sek töweregi) we şeýle bir uly bolmadyk aralyklara (birnäçe kilometre çenli) ýaýraýar. Ýokary ýygyllykly toklaryň eferde oýandyryan radiotolkunlarynyň kömegi bilen olary uly aralyklara we ägirt tizlik bilen (300 000 km/sek) iberip bolar.

Radioiberijiniň generatory ýokary, ýöne berlen radiostansiýa üçin pugta kesgitli ýygyllykly üýtgeýän togy işläp taýýarlaýar. Bu tok iberijiniň ýokary ýygyllykly güýçlendirijisiniň kömegi bilen talap edilýän kuwwada çenli güýçlendirilýär we soňra antenna düşýär hem-de onuň daş-töweregindäki giňişlikde ýokary ýygyllykly *elektromagnit yrgyldylaryny* – *radiotolkunlary* döredýär. Stansiýanyň iberijisiniň radiotolkunlarynyň uzynlygyny bilmek üçin radiotolkunlaryň ýaýramagynyň metrde aňladylan (300 000 m) tizligini iberijiniň antennasyndaky toguň gersde aňladylan

ýgylygyna ýa-da kilometrde aňladylan tizligi kilogersde aňladylan ýgylyga bölmeli. Meselem, eger-de iberijiniň antennasyndaky toguň ýgylygy 750 kgs bolsa, onda berlen radiostansiýanyň tolkunlarynyň uzynlygy 400 m bolýar. Iberijiniň antennasyndaky toguň ýgylygy näçe uly bolsa, bu radiostansiýanyň tolkunlarynyň uzynlygy şonça kiçi bolýar.

Iberijiniň ýokary ýgylykly yrgyldylarynyň amplitudasyny ses ýgylykly yrgyldylaryň täsiri astynda üýtgetmek prosesine *amplituda modulýasiýasy*, radiotolkunlaryň bu ýagdaýda şöhlendirilýän energiýasyna bolsa elektromagnit *amplituda boýunça modulirlenen* (AM) yrgyldylaryň energiýasy diýilýär.

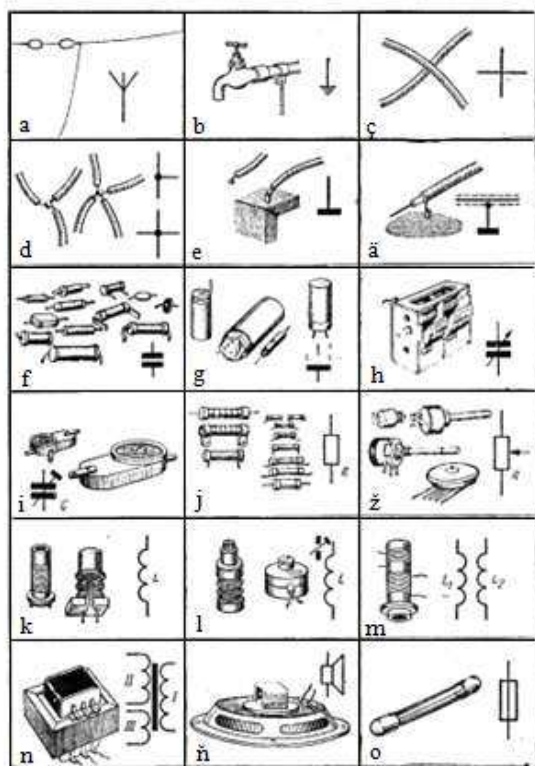
Radiogepleşik eşitdirişde ýgylyk modulýasiýasy diýilýän hem ulanylýar. Modulýasiýanyň şeýle görnüşinde radiostansiýanyň iberijisinde pes ýgylykly yrgyldylaryň täsiri astynda amplituda däl-de, generatoryň togunyň ýgylygy üýtgeýär. Şeýle iberijili stansiýalaryň antennalary giňişlige elektromagnit *ýgylyk boýunça modulirlenen* (ÝM) yrgyldylaryň energiýasyny şöhlelendirýärler.

Radiogepleşik eşitdiriş radiotolkunlaryň dört diapazonynda amala aşyrylýar: *uzyn tolkunly* (UT), *orta tolkunly* (OT), *gysga tolkunly* (GT) we *ultra gysga tolkunly* (UGT). Standarta laýyklykda radiogepleşik eşitdiriş kabul edijilerde UT diapazon 2000–735,3 m (150–408 kgs), OT diapazon 571,4–186,9 m (525 kgs–1,605 Mgs), GT diapazon 75,9–24,8 m (3,95–12,1 Mgs), UGT diapazon 4,56–4,11 m (65,8–73 Mgs) uzynlykly tolkunlary kabul edýär. Radiogepleşik eşitdirişde UT, OT we GT amplituda, UGT bolsa ýgylyk modulýasiýasy ulanylýar.

6.1.4. Radiokabul edijiniň elementleri we bölekleri.

Radioşaýlary we olaryň elektrik çyzgyda grafiki belgilenilişi radiokabul edijiniň esasy tehniki resminamasydyr.

1.4-nji suratda käbir radioşayıalarynyň we gurluşlaryň daşky görnüşleri hem-de olaryň elektriki çyzgyda şertli grafiki şöhlelendirilişi we at bilen belgilenilişi görkezilýär.



1.4-nji surat. Käbir radioşayıalarynyň we gurluşlaryň daşky görnüşleri hem-de şertli grafiki belgilenilişleri: a – antenna; b – ýere birleşdirmе; ç – simler birleşdirilmеýär; d – simler birleşdirilýär; e – sim şassi bilen birleşdirilýär (ýa-da iýmüt çeşmesiniň umumy ýere birleşdirilen geçirijisi bilen); ä – ekranlaşdyrylan sim, ekran şassi bilen birleşdirilýär (iýmüt çeşmesiniň ýere birleşdirilen geçirijisi bilen); f – hemişelik sygymly kondensatorlar; g – elektrolit kondensatorlary; h – üýtgeýän sygymly kondensatorlar; i – sazlanýlýan kondensatorlar; j – hemişelik rezistorlar; ž – üýtgeýän rezistorlar; k – serdeçniksiz induktivlik tegekleri; l – magnitodielektrik serdeçnikli tegekler; m – induktiv bagly tegekler; n – pes ýygylgyň transformatorlary (polatdan serdeçniklen bolan); ñ – elektrodinamik ses çykaryjy; o – eregen goraýjy.

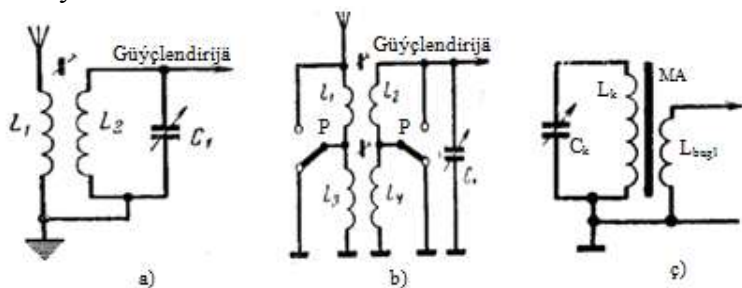
Kesgitli tertipde birleşdirilen kondensatorlar, rezistorlar, sarymlar, induktiwlik tegekleri, transformatorlar, diodlar, tranzistorlar we birnäçe başga şaýlar hem-de gurallar radiokabul edijini düžýän yrgyldyly konturlary, güýçlendiriji kaskadlary, iýmitlendiriji bloklary emele getirýärler.

Yrgyldyly konturlar radiokabul edijileriniň duýujy (izbiratel) elementleridir. Yrgyldyly konturlaryň kömegi bilen kabul edijileri radiostansiýalaryň signallaryna sazlamak, ýokary ýygylýkly yrgyldylary bölüp almak we olary bir zynjyrdan başgaçyna geçirmek amala aşyrylýar.

Göterilýän tranzistorly kabul edijileriniň girişinde *magnit antennasy* bolýar. Radiotolkunlaryň magnit meýdanlary bilen özünde ýokary ýygylýkly yrgyldylaryň oýandyrylýandygy üçin oňa magnit antennasy diýilýär.

Magnit antennasy gönükdirilen häsiýete eýedir: haçanda ferrit sterženiniň tekizligi radiostansiýa perpendikulýar ýerleşdirilende, konturda has güýçli yrgyldylar oýandyrylýar.

1.5-nji suratda radiokabul edijileriniň giriş çyzygylary görkezilýär.



1.5-nji surat. Giriş zynjyrlary: a) antenna bilen induktiw bagly yrgyldyly konturyň çyzygysy; b) iki diapazonly radiokabul edijiniň giriş zynjyrynyň çyzygysy; c) bir diapazonly tranzistorly radiokabul edijiniň giriş zynjyrynyň çyzygysy.

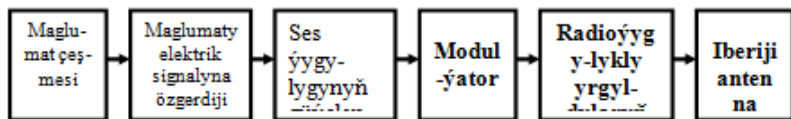
Ýönekeý kabul edijiniň giriş konturynda döreyän modulirlenen ýokary ýygylýkly yrgyldylar güýçlendirilmeli, şondan soň detektoryň kömegi bilen pes ýygylýkly yrgyldylara

özgerdilmeli. Öz gezeginde pes ýgylykly yrgyldydar hem güýçlendirilmeli we güýçli ses berijä (dinamige) berilmeli.

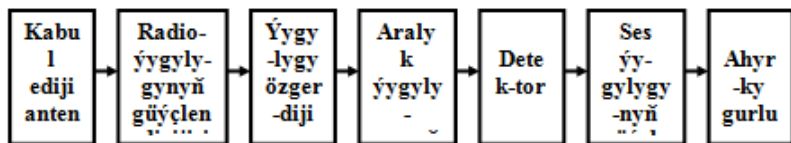
Güýçlendiriji, edil yrgyldyly kontur ýaly, islendik radiokabul edijiniň hökmany gurluşydyr. Her bir radiokabul edijide güýçlendiriji kaskadlar hem diýilýän birnäçe güýçlendirijiler bolýar. Ýokary we pes ýgylyklaryň güýçlendirijileri tapawutlandyrylýar. Olar dürli wezipeleri ýerine ýetirýärler, ýöne bir prinsip boýunça işleýärler.

6.1.5. Radioiberiji we radiokabul ediji gurluşlaryň struktura çyzgylary.

Radioelektronikanyň esasy usullaryny we gurluşlaryny iberiji we kabul ediji (aragatnaşyk ýa-da radiogepleşik) gurluşlaryň 1.6-njy we 1.7-nji suratlarda görkezilen struktura çyzgylarynyň mysalynda düşündirmek aňsat. Beýle diýildigi seredilýän material diňe radioaragatnaşyga ulanylýar diýildigi dälendir. Maglumaty ibermek üçin radioýgylykly yrgyldy we onuň modulýasiýasy gerek, ýagny, meselem, mikrofondan alnan elektrik signaly antennanyň kömegi bilen gowy şöhlelenip we uly aralyklara ýaýrap bilmeýär. Iberilýän signalyň (maglumatyň) parametrleriniň üýtgemekleri bilen deňşililikde radioýgylykly yrgyldynyň bir parametriniň (amplituda, ýgylyk ýa-da faza) üýtgemegine *modulýasiýa* diýilýär.

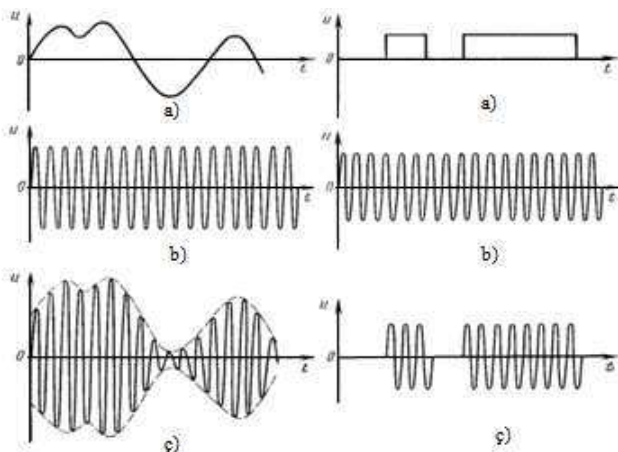


1.6-njy surat. Radioiberiji gurluşyň struktura çyzgysy.



1.7-nji surat. Radiokabul ediji gurluşyň struktura çyzgysy.

Maglumat bilen modulirlenen radioýyglykly yrgylda *radiosignal* diýilýär. Radioiberiji gurluşyň struktura çyzgysynda görkezilen modulýatoryň kömegi bilen radioýyglykly yrgyldy modulirlenýär.



1.8-nji surat. Amplituda modulýasiýasy: manipulyasiýasy:

a – modulirleýji yrgyldy; b – modulirlenýän manipulyasiýa

radioýyglykly yrgyldy; ç – amplituda boýunça çenli radioýyglykly yrgyldy; ç – manipulyasiýa modulirlenen radioýyglykly yrgyldy.

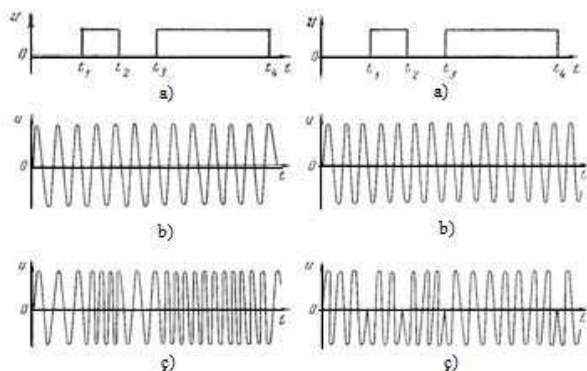
1.9-njy surat. Amplituda

a – iberilýän signal; b –

ýasiýadan soňky radioýyglykly

Modulýasiýanyň esasy üç: amplituda, ýyglyk we faza görnüşleri bolýar. Meselem, 1.8-nji suratda modulirleýji signal, radioýyglykly yrgyldy we amplituda boýunça modulirlenen radioýyglykly yrgyldy görkezilen. 1.9-njy suratda amplituda modulýasiýasynyň ýönekeý görnüşleriniň biri – amplituda manipulyasiýasy (iki çetki bahalaryna eýe bolýan signal bilen modulýasiýa) görkezilen. 1.10-njy suratda ýyglyk, 1.11-nji suratda bolsa faza manipulyasiýasy görkezilen. 1.8–1.11-nji suratlarda modulýasiýanyň, ýagny radioýyglykly yrgyldynyň iberilýän maglumat bilen degişlilikde ol ýa-da başga parametrlerini özgertmäniň modulirleýji signal bilen

radioýyglykly yrgyldynyň ýönekeý jemlenmegi däldigi gowy görüňär.



1.10-njy surat. Ýyglyk manipulyasiýasy: manipulyasiýasy:
a –iberilýän signal; b –manipulyasiýa çenli manipulyasiýa çenli
radioýyglykly yrgyldy; ç – ýyglyk boýunça boýunça
manipulirlenen radioýyglykly yrgyldy.

1.11-nji surat. Faza
a – iberilýän signal; b –
radioýyglykly yrgyldy; ç – faza
manipulirlenen radioýyglykly

Kabul ediji gurluşda (1.7-nji surata seret) detektor esasy roly oýnaýar. Modulýasiýa ters bolan prosese *detektirleme* diýilýär. Radioýyglykly modurillenen yrgyldy detektirlenende başky modurilrleýji yrgyldy alynýar. Meselem, eger detektoryň girişine 1.8-nji ç suratda görkezilen yrgyldy berilýän bolsa, onda çykyşda 1.8-nji a suratda görkezilen yrgyldy alynar.

6.2. Ýygñalan parametrli zynjyrlar.

6.2.1. Elektrik zynjyrynyň elementleri.

Elektrik zynjyry rezistorlar, kondensatorlar, induktiwlik tegekleri we birleşdiriji simler ýaly fiziki elementlerden durýar.

Haçan-da elektrik yrgyldylarynyň ýyglylygy has pes bolanda, zynjyryň häsiýetlerini kesgitleýän fiziki parametrlar (ýagny onuň garşylygy, sygymy we induktiwligi) degişli

elementlerde: rezistorlarda, kondensatorlarda, induktiwlik tegeklerinde jemlenen diýip hasap edip bolar.

Elektrik zynjyrynyň häsiýetleri elementniň uçlaryndaky naprýaženiýe bilen onuň üstünden akyp geýýän togy baglanyşdyrýan deňlemeler bilen matematiki aňladylýar. Ýagny, rezistor üçin

$$u = Ri. \quad (2.1)$$

Kondensator üçin

$$u = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int idt, \quad i = Cdu/dt. \quad (2.2)$$

Induktivlik sarymy üçin

$$u = Ldi/dt, \quad i = \frac{1}{L} \int udt. \quad (2.3)$$

6.2.2. Elektrik hereketlendiriji güýjüniň (EHG-niň) we toguň çeşmeleri.

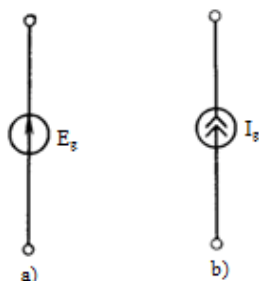
Zynjyryň garşylyk, sygym we induktiwlik ýaly passiw elementlerinden başga elektrik zynjyry özünde aktiw elementleri (olara EHG-niň we toguň çeşmeleri degişli) saklap biler. Olara köplenç generatorlar diýilýär. 2.1-nji suratda EHG-niň we toguň çeşmeleriniň şertli belenleşleri görkezilen.

Içki garşylygy $R_r = 0$ bolan hemişelik ýa-da üýtgeýän naprýaženiýäniň çeşmesine *EHG-niň generatory* ýa-da *naprýaženiýäniň generatory* diýilýär. Onuň uçlaryndaky naprýaženiýe oňa nagruzkanyň islendik garşylygyny birleşdirsek-de üýtgemeyär. EHG-niň generatorynyň uçlaryna birleşdirilen nagruzkanyň garşylygy $R_r = 0$ bolanda, nagruzka tükeniksiz uly tok akar.

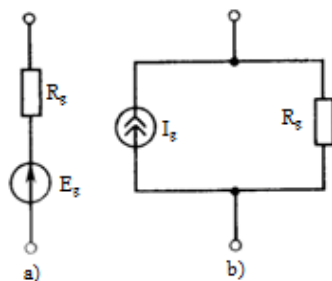
Tükeniksiz uly içki garşylygy bolan hemişelik ýa-da üýtgeýän toguň çeşmesine *toguň generatory* diýilýär. Toguň

generatorynyň belenleşlerinde garşylyk görkezilmeyär. Toguň çêşmesine birleşdirilen nagruzkanyň R_n islendik garşylygynda nagruzkadaky tok onuň garşylygyna bagly bolmaýar, ýagny hemişelik galýar.

Napryženiýäniň we toguň hakyky (real) çêşmeleri belli ululykly içki garşylyga R_r eýedirler. Şonuň üçin hakyky çêşme EHG-niň çêşmesi we yzygider birleşdirilen R_r garşylyk görnüşinde (2.2-nji a surat) ýa-da toguň çêşmesi we parallel birleşdirilen R_r garşylyk görnüşinde (2.2-nji b surat) görkezilip bilner. Nagruzkanyň garşylygy napryženiýäniň hakyky çêşmesine birleşdirilende nagruzkanyň togunyň öňküsi ýaly bolýandygy üçin 2.2-nji a we b suratlardaky çyzgylar ekwiwalentdirler.



2.1-nji surat. Çyzgylarda şertli belenleşleri: a – EHG-niň çêşmesi – napryženiýäniň generatory; b – toguň çêşmesi – toguň generatory.



2.2-nji surat. Içki garşylygy bolan hakyky (real) çêşmeleriň belenleşleri: a – EHG-niň içki garşylygy yzygider birleşdirilen çêşmesi; b – toguň içki garşylygy parallel birleşdirilen çêşmesi.

6.2.3. Çêşme bilen garşylygyň sazlaşygy.

EHG-niň içki garşylygy R_r nol däl bolan hakyky (real) çêşmesi üçin nagruzkanyň optimal garşylygy $R_n = R_r$ bolanda, onda bölünip çykyan kuwwat maksimal bolýar. Şeýle ýagdaýda çêşme bilen nagruzka sazlaşykda diýilýär. Nagruzkanyň garşylygynyň optimal bahasyndan islendik tarapa üýtgemesi nagruzkadaky kuwwady kiçeldýär.

Nagruzkanyň garşylygy bilen üýtgeýän tok çeşmesiniň garşylygyny sazlaşdyrmak üçin sazlaşdyryjy transformatory ulanmak mümkin.

6.2.4. Ýygylýk häsiýetnamalary.

Güýçlendirijiniň doly häsiýetnamasy üçin güýçlendirilýän ýygylýgyň ýokarky we aşaky araçäklerini görkezmek ýeterlik däl. Güýçlendirijiniň goýberijilik zolaklarynyň predellerinde güýçlendirmäniň deňölçegliligini we zolaklaryň predellerinden daşarda güýçlendirmäniň üýtgemesiniň häsiýeti barada bilmek üçin güýçlendirilýän ýygylýklaryň F_a, \dots, F_y çäklerinde we onuň daşlarynda elektrik zynjyrynyň *naprýaženiýäni geçiriş koeffisienti*, şeýle hem onuň *geçiriş funksiýasy* ýa-da *häsiýetnamasy* diýlip atlandyrylýan girişdäki we çykyşdaky naprýaženiýeleriň gatnaşygyny

$$K = U_2/U_1 \quad (2.4)$$

bilmek zerur bolýar. Koeffisient

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{|U_2| \exp j\varphi_2}{|U_1| \exp j\varphi_1} = |K| e^{j\varphi}$$

kompleks ululykdyr, şeýle hem $|K|$ we φ ýygylýgyň mukdar funksiýalarydyr. Köplenç aşakdaky bellenişler ulanylýar:

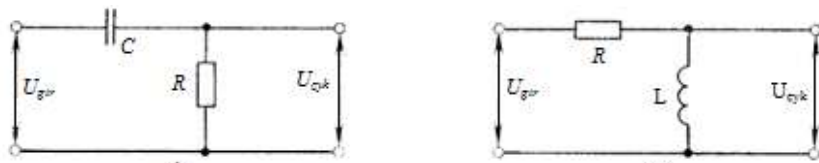
$$\begin{aligned} H(f) &= K; \quad K(j\omega) = K; \quad |H(f)| = |K|; \\ \varphi(\omega) &= \varphi_2(\omega) - \varphi_1(\omega). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Naprýaženiýäni geçiriş koeffisientiniň modulynyň ýygylýga baglylygyna *amplituda-ýygylýk häsiýetnamasy* diýilýär. Ýygylýk üýtgände çykyşdaky we girişdäki naprýaženiýeleriň arasyndaky faza süýşmesiniň baglylygyna bolsa *faza-ýygylýk häsiýetnamasy* diýilýär.

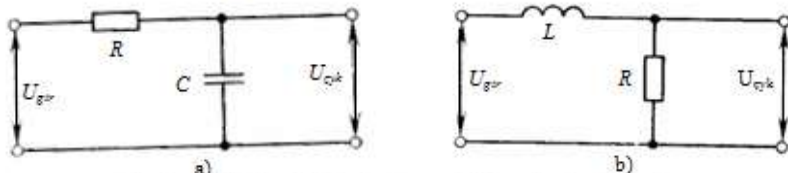
6.2.5. Differensirleýji we integrirleýji zynjyrlar.

Köp radiotehniki zynjyrlarda differensirleýji we integrirleýji zynjyrlar diýlip atlandyrylýan zynjyrlar bar.

2.3-nji suratda differensirleýji zynjyrlaryň, 2.4-nji suratda bolsa integrirleýji zynjyrlaryň çyzgylary görkezilen.



2.3-nji surat. Differensirleýji zynjyrlar: a – CR-zynjyr; b – RL-zynjyr.



2.4-nji surat. Integrirleýji zynjyrlar: a – RC-zynjyr; b – LR-zynjyr.

2.3-nji a suratdaky differensirleýji zynjyryň geçiriş koeffisienti

$$H(f) = K = \frac{U_{\text{çyk}}}{U_{\text{gir}}} = \frac{R}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + 1/j\omega CR}. \quad (2.6)$$

2.4-nji a suratdaky integrirleýji zynjyryň geçiriş koeffisienti

$$H(f) = K = \frac{U_{\text{çyk}}}{U_{\text{gir}}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}. \quad (2.7)$$

6.2.6. Yrgyldyly kontur.

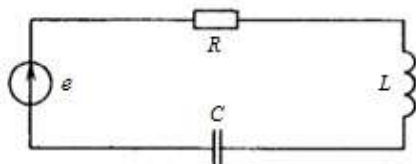
Yrgyldyly konturlar radiotehniki gurluşlarda giňden ulanylýar. Bu ýerde yrgyldyly konturlaryň rezonans häsiýetleri peýdalanylýar. Yrgyldyly kontur yzygider birleşdirilen induktiwlikden, sygymdan we garşylykdan durýär (2.5-nji surat).

Yrgyldyly konturyň doly garşylygynyň reaktiw düzüjisiniň

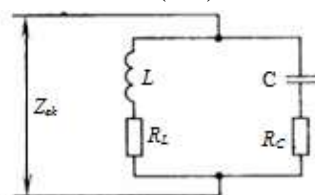
$$Z = r + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (2.8)$$

nola deň bolandaky ýygylgyna yrgyldyly konturyň rezonans ýygylgy f_0 diýilýär:

$$\omega_0 L - 1/\omega_0 C = 0 \quad \text{ýa-da} \quad \omega_0 L = 1/\omega_0 C. \quad (2.9)$$



2.5-nji surat. Yzygider ygyladyly kontur.



2.6-njy surat. Parallel ygyladyly kontur.

Başga söz bilen aýdylanda, rezonans ýygylgya induktiwligiň we sygymyň reaktiw garşylyklarynyň deňligi degişlidir.

Soňky deňlikden rezonans ýygylgy üçin aňlatmany tapýarys:

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}, \quad (2.10)$$

bu ýerde $\omega_0 = 2\pi f_0$.

Konturyň rezonans ýygylgykdaky induktiwliginiň ýa-da sygymynyň doly garşylygyna häsiýetlendiriji garşylyk ρ diýilýär:

$$\rho = \omega_0 L \quad \text{ýa-da} \quad \rho = 1/\omega_0 C. \quad (2.11)$$

Rezonans ýygylgygynyň bahalaryny ýerine goýup tapýarys:

$$\rho = \sqrt{L/C}. \quad (2.12)$$

Rezonans ýagdaýynda induktiwlidäki U_L ýa-da sygymdaky U_C naprýaženiýäniň aktiw garşylykdaky naprýaženiýä bolan gatnaşygyna konturyň pugtalygy (dobrotnosty) Q diýilýär. Rezonans ýagdaýynda aktiw garşylykdaky naprýaženiýäniň konturdaky EHG-e deňdigi üçin pugtalyk

$$Q = U_L/E = U_C/E = \rho I/rI = \rho/r. \quad (2.13)$$

Pugtalyga ters bolan ululyga konturyň sönmekligi (zatuhanıýesi) diýilýär:

$$\delta = 1/Q. \quad (2.14)$$

Konturyň rezonans ýygylgynda induktiwligiň we sygymyň parallel birleşme nokatlarynyň arasyndaky doly garşylygyna parallel konturyň (2.6-njy surat) *rezonans garşylygy* diýilýär.

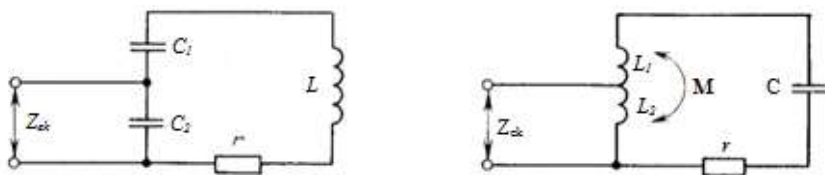
Eger-de $r = r_L + r_C$ diýip bellesek we $\rho \gg r$ bolýandygyny hasaba alsak, onda rezonans ýa-da *ekwiwalent garşylyk*

$$Z_{ek} \approx j\rho(-j\rho)/r = \rho^2/r. \quad (2.15)$$

Z_{ek} mukdar ululyk bolany üçin oňa derek R_{ek} ulanylýar. Şeýle hem ýazyşyň başga görnüşleri dogry bolýar:

$$R_{ek} = Q\rho; \quad R_{ek} = L/Cr. \quad (2.16)$$

Käwagtlar yrgyldyly kontur elektrik zynjyryna tutuş däl-de, bölekleyin birleşdirilýär. 2.7-nji suratda birleşdirmäge niýetlenen iki yrgyldyly kontur görkezilen.



2.7-nji surat. Bölekleyin birleşdirilen parallel konturlar

6.2.7. Baglanyşykly konturlar.

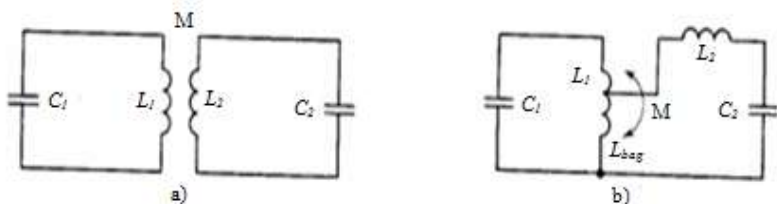
Radiotehniki gurluşlarda ýekeleýin konturlar bilen bir hatarda baglanyşykly konturlar hem ulanylýar. Olar goýberiş çäklerinde has deňölçegli ýygylgyk häsiýetnamasyny we goýberiş çäkleriniň daşynda bolsa has peselmäni almaga ýardam edýär.

Konturlaryň arasynda aşakdaky ýaly baglanyşykly görnüşleri bolýar: induktiw, sygym we rezistiw.

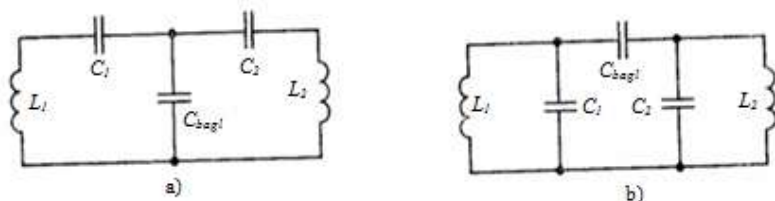
2.8-nji suratda transformator we awtotransformator baglanyşykly induktiw-baglanyşykly konturlar görkezilen.

2.9-njy suratda sygym baglanyşykly konturlar görkezilen: içki we daşky. İçki baglanyşykda baglanyşyk näçe kiçi bolsa, şonça baglanyşygyň sygymy uly bolýar, daşky

baglanyşykda bolsa näçe uly boldugy-ça, şonça-da baglanyşygyň sygymy uly bolýar. Içki gowşak baglanyşykda $C_{bag} \gg C_1$ we $C_{bag} \gg C_2$ deňsizlikler, daşky gowşak baglanyşykda bolsa $C_{bag} \ll C_1$ we $C_{bag} \ll C_2$ deňsizlikler ulanylýar.

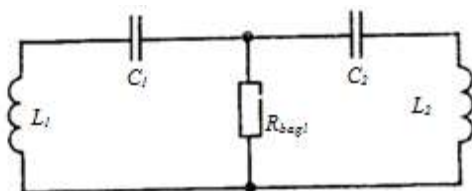


2.8-nji surat. Induktiv-baglanyşykly konturlar:
a – transformator baglanyşyk; b – awtotransformator



2.9-nji surat. Sygym baglanyşykly konturlar:

2.10-nji suratda yrgyldyly konturlaryň baglanyşygy umumy aktiw garşylygyň üsti bilen amala aşyrylan. Käwagt kombunurlenen, meselem, induktiv-sygym baglanyşyk ulanylýar.



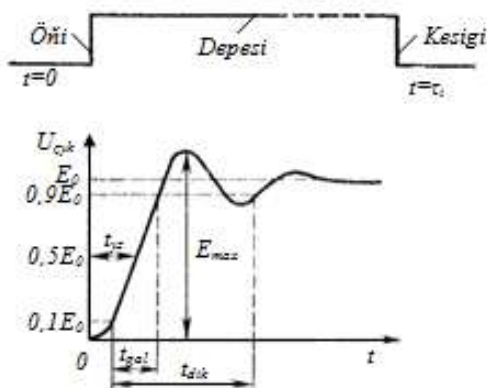
2.10-nji surat. Umumy aktiw garşylyk arkaly iki yrgyldyly konturyň baglanyşygy.

6.3. Impuls güýçlendirijileri.

6.3.1. Impuls güýçlendirijileriniň geçiş häsiýetnamalary.

Impuls güýçlendirijileri ýygylýyklaryň giň spektrinde impulsalary güýçlendirmek üçin niýetlenendir. Güýçlendirilýän yrgyldylaryň aşaky ýygylýgy bir ýa-da on gers derejede, ýokarsy – birnäçe megagers derejede bolup biler. Käwagt ol 100–200 MGs ýetip biler. Şeýle goýberip bilijilik zolagy, meselem, nanosekunt dowamlylykly impuls yrgyldylaryna gözegçilik etmek üçin ulanylýan ossillograflardaky güýçlendirijilerde bolýar.

Impuls güýçlendirijilerini synag etmek üçin olaryň girişine ýalpak depesi we kert fronty bolan ýeterlik uly dowamlylykly τ_i gönüburçly impuls berilýär (8.1-nji a surat). Güýçlendirijiniň çykyşynda fronty we depesiniň başky bölegi 8.1-nji b suratda görkezilen görnüşdäki ýaly impuls görüner.



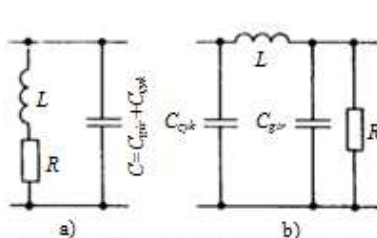
8.1 surat. Synag edilýän gönüburçly impuls we oňa impuls güýçlendirijisiniň gaýtargysy. a – güýçlendirijiniň girişindäki impuls; b – çykyş impulsynyň fronty we depesiniň başky bölegi.

6.3.2. Rezistor güýçlendirijisiniň ýygylk koreksiýalary.

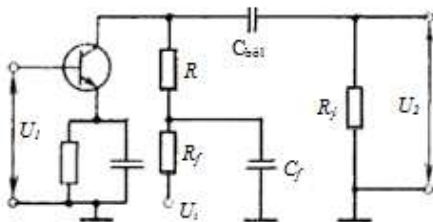
Elektron lampasynda ýa-da tranzistorda düzülen rezistor güýçlendirijisinde impuls güýçlendirilende giriş we çykyş sygymalarynyň şuntirleýji täsirini kiçeltmek üçin elektron guralynyň çykyş zynjyryna birleşdirilýän nagruzkanyň garşylygyny ep-esli azaltmaly bolýar. Bu ýagdaýda R nagruzkanyň garşylygy elektron guralynyň içki garşylygyndan ep-esli kiçi bolýar. Şeýlelikde, nagruzkanyň garşylygyny kiçeldip, zolagy giňeldýärler, bu bolsa orta ýygylklaryň çäklerinde güýçlendirmäniň kiçelmegine getirýär.

Güýçlendirilýän orta ýygylklaryň çäklerinde güýçlendirme koeffisienti $K_{or} = -SR$.

Güýçlendirilýän ýokary ýygylklaryň çäklerinde $K_y = -SZ$, Z – nagruzkanyň R we C şuntirleýji sygymyň garşylyklaryndan durýan doly garşylygy.



8.2 surat. Korrektirleýji induktiwlige birleşdirmegiň iki çyzygysy. a – parallel kor-reksiýanyň çyzygysy; b – yzygider korrek-siýanyň çyzygysy.



8.3 surat. Pes ýygylkly koreksiýaly wideogüýçlendirijiniň prinsipial çyzygysy.

C sygymyň şuntirleýji täsirini kiçeltmek üçin korrektirleýji induktiwlige birleşdirýärler. 8.2-nji suratda şeýle çyzyglaryň iki: parallel we yzygider görnüşleri görkezilen.

Pes ýygylklaryň çäklerindäki koreksiýalaryň çyzygysy 8.3-nji suratda görkezilen. Ol R nagruzkanyň garşylygy bilen $R_f C_f$ zynjyry yzygider birleşdirmek arkaly amala aşyrylýar. R garşylyga $R_f C_f$ zynjyryň garşylygynyň goşulmagy nagruzkanyň

ýygýlyk kiçelendäki umumy garşylygyny köpeldýär we pes ýygýlyklaryň çärlinde $C_{böl}R_n$ zynjyryň geçiriş koeffisientiniň kiçelmesini kompensirleýär.

6.4. Kuwwat güýçlendirijileri.

6.4.1. Kuwwat güýçlenmeleri.

Güýçlendirilýän signalyň çykyş kuwwaty hemişelik togunyň çeşmesinden güýçlendirijiniň kollektor ýa-da anod zynjyryna eltilýän kuwwat bilen deňeşdirerli bolan güýçlendirijä kuwwat güýçlendirijisi diýilýär.

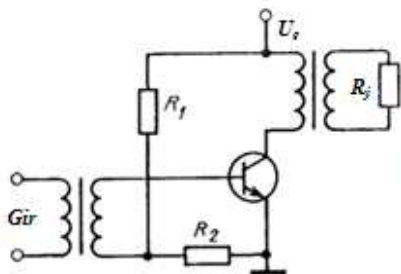
Adatça kuwwat güýçlendirijisinde çykyş naprýaženiýeleriň we toklaryň amplitudalary degişli elektron enjamlary üçin ahyrky ýolbererlik bahalary bilen hem-de güýçlendirilýän yrgyldylaryň çykyş kuwwaty enjam tarapyndan ýaýradylýan ahyrky ýolbererlik kuwwat bilen deňeşdirerlikdir. Şeýle režimde, meselem, adatça radio gepleşik kabul edijilerde ses ýygýlyklarynyň güýçlendirijisiniň çykyş kaskady işleýär.

Käwagt aralyk ýygýlygynyň güýçlendirijisiniň haçanda signalyň ýeterlik uly amplitudasy gerek hem-de aralyk ýygýlygynyň güýçlendirijisiniň ahyrky kaskadyndan detektora ýeterlik kuwwaty bermek gerek bolanda uly bolmadyk giriş garşylygy bolan detektora işleýän çykyş kaskady kuwwat güýçlendirijisi bolup biler.

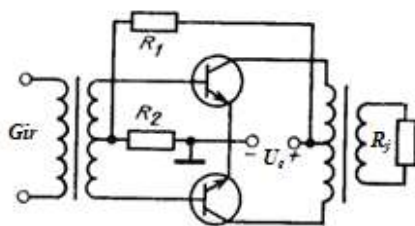
10.1-nji suratda A režimde işleýän umumy emitterli (UE) çyzgy boýunça birleşdirilen tranzistorly transformator güýçlendirijisiniň prinsipial çyzgysy görkezilen. Çykyş transformatory öňdäki kaskadyň kollektor togunyň hemişelik we üýtgeýän düzüjilerini bölmäge mümkinçilik berýär. Netijede tranzistoryň girişine transformatoryň üsti bilen diňe öňdäki kaskadyň togunyň üýtgeýän düzüjisi berilýär. Giriş transformatorynyň kömegi bilen berlen kaskadyň giriş garşylygynyň öňki kaskadyň çykyş garşylygyna görä isleg

bildirilýän sazlaşyklygy ýa-da sazlaşyksyzlygy amala aşyryp bolýar. Şeýle hem giriş transformatory giriş togunyň üýtgeýän düzüjisini hasaba almazdan r_1 we r_2 garşylyklary saýlamaga mümkinçilik berýär.

10.2-nji suratda tranzistor güýçlendirijisiniň iki taktly çyzgysy görkezilen. Ol bir taktly çyzga görä jübüt garmonikalary kiçeltmekden başga beýleki artykmaçlyklara hem eýedir, meselem, tranzistorlaryň kollektor toklarynyň hemişelik düzüjileriniň akyp geçmegi netijesinde çykyş transformatorynyň serdeçniginiň magnitlenmesiniň peselmegi bolýar. Magnitlenme transformatoryň induktiwligini kiçeldýär. Ýokarky we aşaky tranzistorlaryň hemişelik toklary deňleşende hemişelik magnit akymlary doly kompensirlenýärler.



10.1-nji surat. UE transformatorly tranzistor güýçlendirijisiniň prinsipial



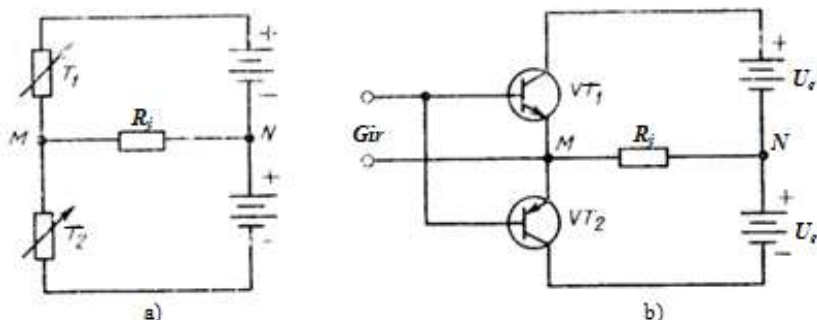
10.2-nji surat. Iki taktly kuwwat güýçlendirijisi.

6.4.2. Transformatorsyz güýçlendirijiler.

10.3-nji suratda transformatorsyz tranzistor kuwwat güýçlendirijisiniň çyzgysy görkezilen. Çyzgyda goşmaça görnüşli tranzistorlar ulanylan: VT_1 $n-p-n$ -görnüşli we VT_2 $p-n-p$ -görnüşli. Güýçlendiriji islendik režimde işläp bilýär.

Eger VT_1 we VT_2 tranzistorlaryň birmeňzeş häsiýetnamalary bar bolsa, onda girişde signal ýok wagtynda olar üçin umumy bolan başky kollektor togy tranzistorlarda naprýaženiýäniň birmeňzeş peselmesini döredýär. Netijede R_n nagruzka birleşdirilen M we N nokatlaryň arasynda

naprýaženiýe nola deň. Tranzistorlaryň bazalaryna berilýän giriş naprýaženiýesi hemişelik toga olaryň garşylyklaryny üýtgedýär, ýagny olaryň biri kiçelýär, beýlekisi bolsa ulalýar. Bu bolsa öz gezeginde degişlilikde M nokadyň N nokada otnositel potensialynyň ýokarlanmagyna ýa-da peselmegine getirýär. Nagruzkanyň rezistorynyň sag ujuny iýmit çeşmesiniň aşaky ujuna 500–4000 mkf sygymly elektrolitik kondensatorynyň üstünden çatylsa, iýmit çeşmesiniň ortaky nokady gerek bolmaýar.



10.3-njı surat. Goşmaça görnüşli tranzistorlarda iki taktly güýçlendiriji. a – işleýiş prinsipini düşündirýän çyzgy; b – prinsipial

Transformatorsyz güýçlendirijiniň bu çyzgysynyň esasy ýetmezçiligi çykyş signalynyň ähli bahalarynda häsiýetnamalary ýakyn goşmaça görnüşli iki tranzistory saýlap almak kynçylygy bolup durýar. Şonuň üçin bir görnüşli çykyş tranzistorlary bolan çyzgylar ulanylýar.

6.5. Rezonans güýçlendirijileri.

6.5.1. Rezonans güýçlendirijiniň çyzgysy, häsiýetnamalary.

Radioýyglyk yrgyldylary güýçlendirilende tranzistoryň ýa-da elektron lampasynyň nagruzkasynyň garşylygy hökmünde güýçlendirilýän yrgyldylaryň ýyglygy

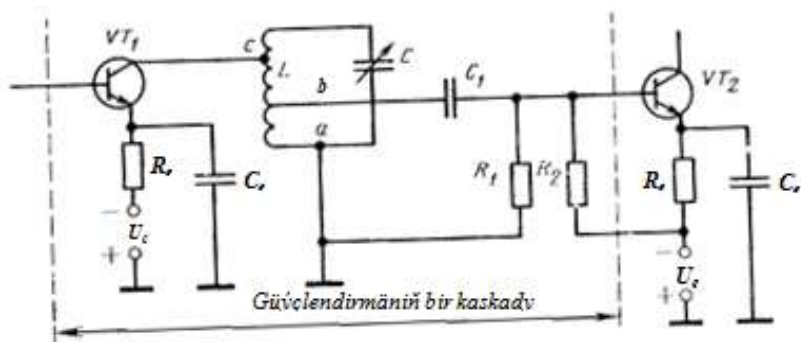
bilen rezonansa düzülen parallel yrgyldyly kontur ulanylýar. Şeýle güýçlendirijä rezonans diýilýär.

Ýygylgyň dar zolagynda güýçlendirmek üçin ulanylýan rezonans güýçlendirijisi rezistor güýçlendirijisi bilen deňeşdirilende birnäçe artykmaçlyklara eýedir:

giriş, birleşdirýän simleriň we çykyş sygymlary kontury rezonansa düzmek bilen kompensirlenýär, şonuň üçin nagruzkanyň konturyň ekwiwalent garşylygyna deň bolan garşylygy uly bolup biler we uly güýçlendirmäni üpjün edýär (rezonans güýçlendirijisi örän ýokary ýygylyklarda sygymlaryň şuntirleýji täsiri netijesinde güýçlendirme berenok);

nagruzkanyň garşylygynda hemişelik naprýaženiýäniň peselmesi ýok, şonuň üçin nagruzkanyň garşylygyny örän uly almak mümkin.

11.1-nji çyzgyda tranzistorly rezonans güýçlendirijisiniň yrgyldyly kontury bölekleýin kollektor we baza zynjyrlaryna birleşdirilen bir kaskady görkezilen. Ol VT1 tranzistoryň çykyş garşylygynyň we VT2 tranzistoryň giriş garşylygynyň yrgyldyly kontura şuntirleýji täsirini kiçeltmek hem-de tranzistoryň giriş we çykyş garşylyklaryny ylalaşdyrmak üçin şeýle edilen.



11.1-nji surat. Tranzistorly rezonans güýçlendirijisiniň prinsipial çyzgysy.

6.5.2. Zolak güýçlendirijileri.

Gönüburçla ýakyn amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy bolan güýçlendirijä zolak güýçlendirijisi diýilýär. 11.2-nji suratda real zolak güýçlendirijisiniň amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy we ideallaşdyrylan gönüburçly amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy görkezilen.

Zolak güýçlendirijileri, umuman fiksirlenen ýygylyklarda işleýärler we täzeden gurulmaýarlar. Adatça olaryň her kaskadynda bir ýa-da iki yrgyldyly kontury bolýar. Şeýle hem jemlenen duýgurlykly süzgüçler ulanylýar. Olar aralyk ýygylygynyň güýçlendirijisiniň girişinde goýulýan we esasan onuň amplituda-ýygylyk häsiýetnamasyny döredýän üç-dört bagly yrgyldyly konturlardan durýar. Jemlenen duýgurlykly süzgüçler hökmünde pýezoelektrik we ultrases süzgüçleri giňden ulanylýar. Olarda göni we ters pýezoelektrik effekti ýa-da magnitostriksiýa hadysasy arkaly birnäçe mehaniki rezonatorlaryň ulgamynda amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy düzülýär.

Real zolak güýçlendirijisiniň gönüburçla ýakynlaşmasy aşakda görkezilen gönüburçlylyk koeffisienti bilen baha berilýär:

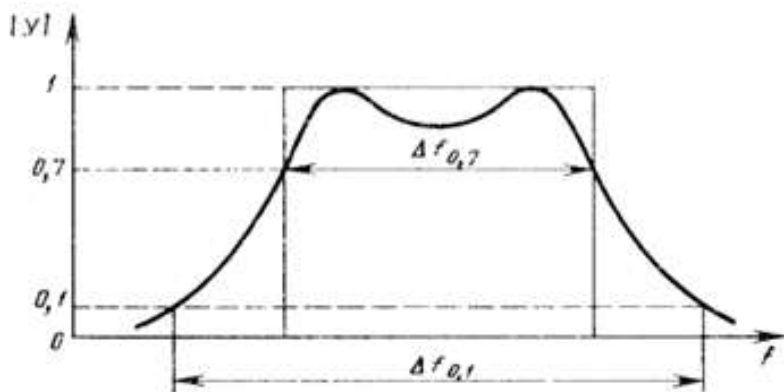
$$K_g = \Delta f_{0,7} / \Delta f_{0,1}.$$

Adaty rezonans güýçlendirijileri üçin gönüburçlylyk koeffisienti kaskadlaryň sanynyň köpelmegi bilen ulalýar, ýöne 0,39-dan uly bolup bilmeýär, bu ýerde 0,39 – jaň görnüşli egrili gönüburçlylyk koeffisienti.

Bagly konturlary ýa-da simmetrik bozulan konturlaryň jübüdini ulanmak bilen has ýokary gönüburçlylyk koeffisienti almak bolar.

Zolak güýçlendirijisiniň bir kaskadynyň güýçlendiriş koeffisienti bir sazlanan konturly ýagdaýynda $K_0 = -SR_{ek}$. Eger kontur bozulan bolsa, onda güýçlendiriş koeffisienti $K_0 = -y_0 SR_{ek}$, bu ýerde y_0 – konturyň otnositel güýçlendiriş

koeffisienti. Eger her kaskadda birden bozulan konturlaryň jübütleri ulanylýan bolsa, onda $y_0 = 0,7$.



11.2 surat. Zolak güýçlendirijisiniň amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy.

6.5.3. Güýçlendirmäniň awtomatiki sazlaşdyrylyşy.

Rezonans güýçlendirmäniň kaskadlarynyň sany we kabul edijiniň radio hem-de aralyk ýygylyklaryny güýçlendiriş kaskadlaryndaky umumy güýçlendiriş koeffisienti detektoryň girişindäki onuň kanagatlanarly detektirläp bilýän ýagdaýyndaky minimal naprýaženiýäniň giriş signalynyň minimal naprýaženiýesine bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär. Uly signalda rezonans güýçlendirijisiniň ahyrky kaskadlarynda zor düşme bolup geçýär. Onuň önüni almak üçin güýçlendirmäniň el ýa-da awtomatiki sazlaşdyrylyşy gerek bolýar. Ýagny kabul edilýän signalyň amplitudasy çalt we köplenç üýtgäp durýar hem-de praktiki güýçlendirmäni el bilen üznüksiz sazlamak mümkin däl, şonuň üçin güýçlendirmäniň awtomatiki sazlaşdyrylyşy (GAS) ulanylýar.

Adatça güýçlendirmäniň awtomatiki sazlaşdyrylyşynyň bir usuly ulanylýar.

Birinji usul. Ortalaşdyrylan naprýaženiýe detektoryň çykyşyndan aşaky ýygylyklaryň diňe naprýaženiýäniň göteriji signalyň amplitudasyna proporsional hemişelik düzüjisini

geçirýän süzgüjiniň üsti bilen rezonans güýçlendirijisiniň birnäçe kaskadyna süýşürme görnüşinde gelip düşýär we olaryň güýçlendirilişini tranzistoryň işçi nokadyny pes güýçlendirmäniň oblastyna süýşürmegiň hasabyna azaldýar.

Ikinji usul. Detektoryň çykyşyndan ortalasdyrylan naprýaženiýe güýçlendirijilere berilýän signaly azaltmak üçin ulanylýar. Muny, meselem, naprýaženiýe bilen dolandyrylýan meýdan tranzistorlaryndaky potensiometrik bölüjiniň ýa-da toguň sazlanýan şahalanmasynyň, ýagny sazlanýan şuntirleýji bölüjiniň kömegi bilen amala aşyrmak mümkin.

Üçünji usul. Umumy emitterli tranzistordaky güýçlendirijiniň emitter zynjyryna kaskadyň normal güýçlendirmesi üçin gerek bolan garşylykdan birnäçe esse uly garşylygy bolan rezistor birleşdirilýär. Bu rezistor yzygider birleşdirilen kondensator we stogy bilen kondensatora, istogy bilen bolsa ýere birleşdirilen tranzistor görnüşinde zynjyr bilen şuntirlenýär. Hakykatdan-da, meýdan tranzistorynyň stok–istok hemişelik naprýaženiýesi bolmaýar we üýtgeýän tok üçin özüni ululygy GAS-ýň zynjyryndan zatwora berilýän süýşürmä bagly bolmaýan sazlanýan garşylyk ýaly alyp barýar. Bu ýagdaýda süýşürme ýok wagtynda stok–istok garşylygy kiçi, süýşürme berilende bolsa uly bolmaly.

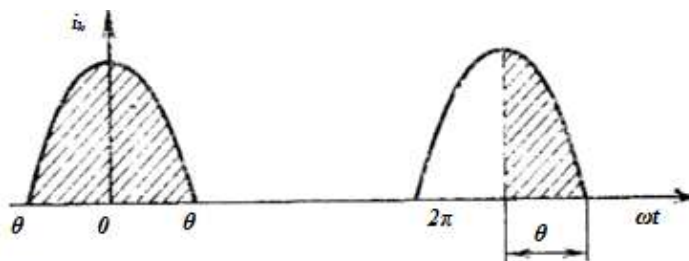
6.6. Garmoniki yrgyldylaryň generatorlary.

6.6.1. 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.

Daşdan oýandyrylýan generatorlar düýp manysy boýunça uly amplituda režiminde işleýän rezonans

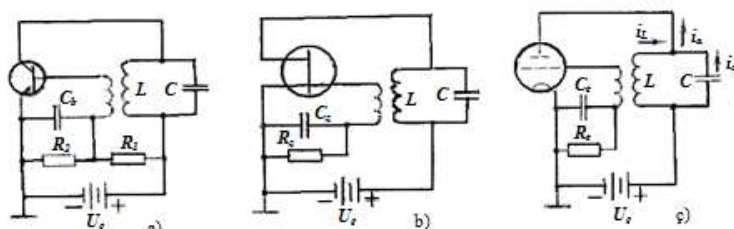
güýçlendirijileridirler. Düzgün bolşy ýaly, daşdan oýandyrylýan generatorlar toguň bölmesi (çapmasy) bilen işleýärler. Başgaça aýdylanda, generatordaky tok sinusoidal impulsalaryň periodik yzygiderligini emele getirýär (12.1-nji surat).



12.1-nji surat. Generatoryň kollektor togunyň sinusoidal impulsary.

6.6.2. Induktiv baglanyşykly awtogenerator.

Induktiv baglanyşykly awtogeneratorlaryň çyzyglary 12.2-nji suratda görkezilen. Awtogeneratorlarda dürli aktiw enjamlar: bipolýar we meýdan tranzistorlary hem-de elektron lampasy ulanylan bolsalar-da, bu üç çyzygy biri-birine örän ýakyndyr. Bipolýar tranzistordaky çyzygynyň beýleki ikisinden tapawudy baza R_1R_2 bölüjiniň kömegi bilen položitel naprýaženiýäniň berilmegidir. Bu awtogeneratoryň işiniň diňe başlangyç periodynda zerurdyr. Ähli üç çyzyglarda generasiýa ýüze çykandan soňra, dolandyryjy elektroddaky (bazadaky, zatwordaky ýa-da tordaky) naprýaženiýäniň hemişelik düzüjisi bazanyň, zatworyň ýa-da toruň togunyň göneldilen üýtgeýän düzüjisiň hasabyna otrisatel bolup biler.



12.2-nji surat. Induktiv baglanyşykly awtogeneratorlaryň çyzyglary:
a – bipolýar tranzistorda; b – meýdan tranzistordynda; c – elektron lampasynda.

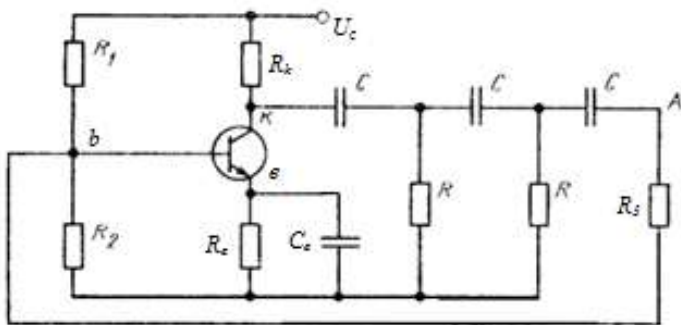
6.6.3. RC-generatorlar.

Pes ýygylgyň yrgyldylaryny generirlemek üçin *RC*-generatorlary ulanylýar.

Fazany süýşürýän zynjyrlary bolan generatorda (12.3-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 süýşmesi aşakdaky ýygylgykda alynýar:

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

Fazany süýşürýän 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.

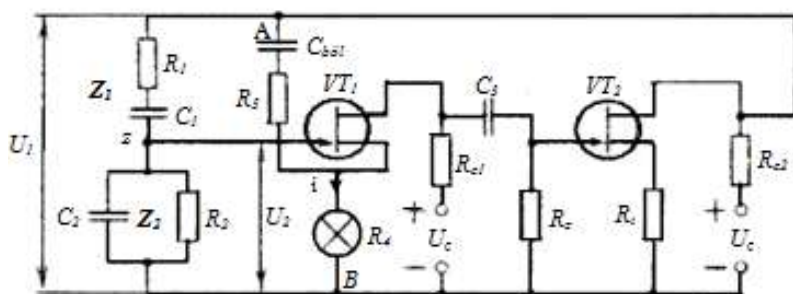


12.3-nji surat. Üç sany fazany süýşürýän zynjyrlary bolan *RC*-generator.

Winiň köprüsi bolan *RC*-generator 12.4-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 ýygylgynda R_3 garşylyk bilen deňeşdirilende 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.

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



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

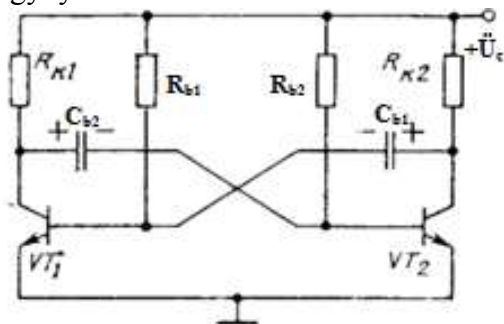
6.6.4. Multiwibratorlar. Bloking-generator.

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

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

Sinusoidal yrgyldylaryň RC-generatorlaryndan tapawutlylykda multiwibratorlarda 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 tranzistoryň ýapýan impuls gerek bolýar. Hakykatdan-da, multiwibratorda yrgyldylaryň ýüze çykmagynyň berk režimi mümkin.

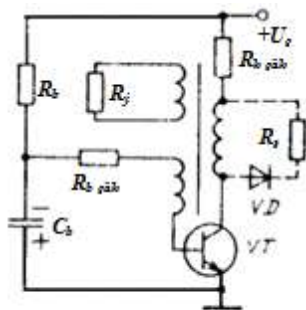


12.5-nji surat. Tranzistorlarda multiwibrator.

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

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

Impuls yrgyldylarynyň impuls transformatorynyň kömegi bilen položitel ters baglanyşyk döredilýän relaksasion generatore bloking-generator diýilýär.



12.6-njy surat. Bloking-generator.

Impuls transformatorynyň ferritden goýulan ýa-da ferromagnit materialynyň ýuka lentasyndan saralan ýapyk serdeçnigi bolýar. Impuls transformatoryna esasy talap pyramagynyň az induktiwligidir.

Bloking-generatoryň kömegi bilen birnäçe onlarça nanosekuntan birnäçe

mikrosekunda çenli dowamlylygy bolan impulslar döredilýär, üstesine-de generirlenýän impulsalaryň frontynyň we kesiginiň dowamlylygy impulsalaryň öz dowamlylygyndan takmynan bir dereje kiçi bolýar.

Öz-özünden oýandyrylýan we garaşýan bloking-generatorlar bolýar. Öz-özünden oýandyrylýan bloking-generatoryň çyzgysyny (12.6-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 impulsar 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 gorizontaly gysardýan plastinalara byçgy görnüşli naprýaženiýe bermeli bolýar. Telewizorlaryň kineskoplarynda şöhläniň gysarmasy gysardyjy tegekleriň magnit meýdanlary bilen döredilýär, şonuň üçin çyzykly üýtgeýän tok talap edilýär. Bu ýagdaýlarda byçgy görnüşli naprýaženiýäniň ýa-da toguň generatorlary ulanylýar.

6.7. Detektirleme.

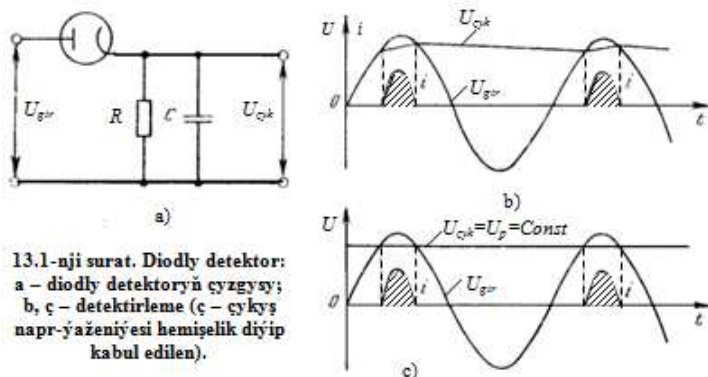
6.7.1. Diodly detektor. Ýarymgeçirijili diodda detektor.

Modulirlenen ýokary ýygyllykly yrgyldylardan modulerleýji signaly bölüp aýyrmak prosesine *detektirleme* diýilýär.

Detektirleme amala aşyrylýan çyzgylar haçan-da ýokary ýygyllykly yrgyldylar modurirlenen bolmadyk

ýagdaýlarda-da ulanylýar. Şonuň üçin köplenç ýokary ýygylýkly yrgyldynyň şol ýa-da beýleki parametrlerini bölüp aýyrmak prosesine düşünilýär.

Detektirleme prinsipini ulanmak bilen ýokary ýygylýkly yrgyldynyň amplitudasyny, ýygylýgyny, fazasyny, kesimiň dowamlylygyny ýa-da onuň geliş wagty, şeýle hem eger olar gelýän bolsalar, onda bu ululyklaryň üýtgemegini anyklamak mümkin.

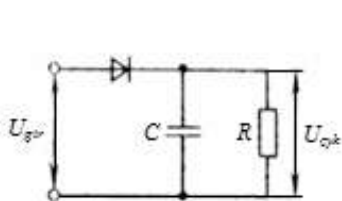


Öňler diodly detektor giňden ulanylýardy. Diodly detektoryň çyzgysy we detektirleme prosesi 13.1-nji suratda görkezilen. Detektoryň girişinde modulirlenmedik yrgyldy bar wagtynda çykyşda uly bolmadyk pulsasiýaly hemişelik naprýaženiýe döreýär.

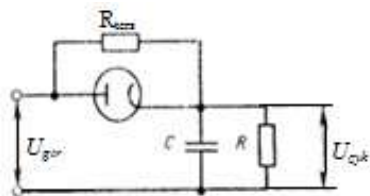
Kondensatoryň zarýadynyň we razrýadynyň wagty hemişelikleriniň dürlüdigine üns bererlikdir. Kondensatoryň zarýadynyň wagty hemişeligi $T_{zar} = r_d C$, bu ýerde r_d – göni ugurda diodyň garşylygy; C – detektoryň R nagruzkasynyň garşylygyny şuntirleýji sygym. Kondensatoryň razrýadynyň wagty hemişeligi bolsa $T_{razr} = RC$.

Ýarymgeçirijili dioddaky detektoryň çyzgysy 13.2-nji suratda görkezilen. Lampadan tapawutlylykda diodda otrisatel naprýaženiýe bolanda görnüp duran ters toguň bolmagy ýarymgeçirijili diodyň aýratynlygydyr. Bu ýagdaýy hasaba

alyp ýarymgeçirijili diodly çyzgyny lampaly diodly ekwiwalent çyzgy bilen 13.3-nji suratdaky ýaly görkezmek bolar.



13.2-nji surat. Ýarymgeçirijili dioddaky detektor.



13.3-nji surat. Lampaly diodly detektoryň ýarymgeçirijili diodly detektora ekwiwalent çyzgysy.

R_{ters} garşylygyň ahyrky bahasyny detektoryň signalyň çüşmesine edýän täsiri seredilende, şeýle hem detektor çyzgysynda işleýän detektoryň bölme burçy kesgitlenende hasaba almak gerek bolýar.

Amplituda detektirlemesinde, şeýle hem ýygylýk detektirlemesinde diňe nokatlanç diodlar ulanylýar. Ýasy diodlar bolsa giriş sygymynyň uludygy sebäpli ulanylmaýar.

6.7.2. Detektoryň häsiýetnamalary we parametrleri.

Detektora çyzyksyz dörtçykgynçlyk hökmünde seretmek mümkin (13.4-nji surat).

Çyzyksyz dörtçykgynçlygy *göneltmäniň häsiýetnamalarynyň* maşgalasy bilen beýan etmek bolar:

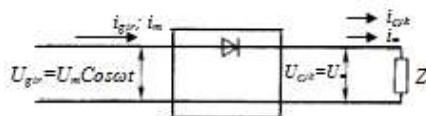
$$I_{-} = f(U_{m}, U_{-}).$$

Häsiýetnamalaryň şeýle maşgalasynyň mysaly 13.5-nji suratda görkezilen.

Göneltmäniň häsiýetnamasy boýunça detektoryň aşadaky parametrleri kesgitlenilýär: kertlik, içki garşylyk, güýçlendirmäniň içki koeffisienti, şeýle hem detektoryň hemişelik we üýtgeýän toklar boýunça geçiriş koeffisientleri.

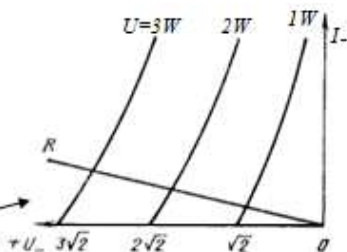
Detektoryň hemişelik tok boýunça geçiriş koeffisienti $K_{d=}$ detektoryň çykyşyndaky hemişelik naprýaženiýäniň onuň

girişindäki üýtgeýän naprýaženiýäniň amplitudasyňa bolan gatnaşygyna deňdir:



13.4-nji surat. Çyzyksyz dörtçykgynçlyk hökmünde detektor.

13.5-nji surat. Göneltmäniň häsiýetnamalarynyň maşgalasy.



$$K_{d=} = U_{=}/U_m.$$

13.5-nji suratdan görnüşi ýaly, nagruzkanyň R garşylygy näçe uly bolsa, bu koeffisient hem şonça uly bolýar we diodly detektor üçin $R \rightarrow \infty$ ýagdaýda $K_{d=} \rightarrow 1$.

Detektoryň üýtgeýän tok boýunça geçiriş koeffisientini bolsa

$$K_{d\sim} = \Delta U_{=}/\Delta U_m$$

gatnaşyk görnüşinde ýa-da bu gatnaşygyň kiçi artmalardaky predeli

$$K_{d\sim} = dU_{=}/dU_m$$

görnüşinde kesgitlemek mümkin.

Üýtgeýän tok boýunça geçiriş koeffisienti hem nagruzkanyň garşylygyna bagly bolýar we diodly detektor üçin $R \rightarrow \infty$ ýagdaýda $K_{d\sim} \rightarrow 1$.

6.7.3. Ýygylyk detektirlemesi.

Ýygylyk detektirlemesi detektoryň çykyşynda ululygy giriş yrgyldysynyň mgnowen ýygylygy bilen kesgitlenýän hemişelik ýa-da özgerýän naprýaženiýäni almak üçin ulanylýar.

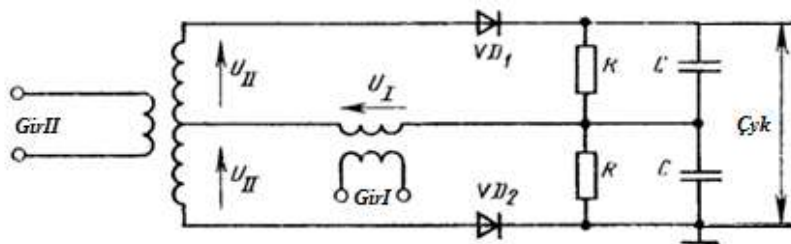
Ýygylyk detektirlemesi ýygylyk boýunça modulirlenen yrgyldylary detektirlmek üçin, generatorlaryň ýygylyklaryny awtomatiki sazlama ulgamlarynda we ş.m. ulanylýar.

Ýyglyk detektirlemesini ýerine ýetirmek üçin yrgyldyly konturdaky naprýaženiýäniň amplitudasynyň ýa-da fazasynyň yrgyldylaryň ýyglygyna bolan baglanyşgy ulanylýar.

6.7.4. Fazaly detektor.

Çykyşdaky naprýaženiýesi birmeňzeş ýa-da örän ýakyn ýyglykly iki deňşdirilýän naprýaženiýeleriň fazalarynyň tapawudyna bagly bolan gurluşa fazaly detektor diýilýär.

Fazaly detektorlar ýyglyklaryň birnäçe onlarça gersden onlarça megagerse çenli giň diapazonynda ulanylýar. Fazaly detektoryň çyzgysy 13.6-njy suratda görkezilen.



13.6-njy surat. Fazaly detektoryň çyzgysy.

VD_1 dioddaky naprýaženiýe $U_1 = U_I + U_{II}$, VD_2 dioddaky bolsa $U_2 = U_I - U_{II}$.

Detektoryň çykyşyndaky naprýaženiýe U_1 we U_2 naprýaženiýeleriň modullarynyň tapawudyna proporsionaldyr (takmynan deňdir):

$$U_{\text{çyk}} = |U_1| - |U_2|.$$

Çykyş naprýaženiýesi U_1 we U_{II} naprýaženiýeleriň fazalarynyň tapawudyna baglydyr.

Fazaly detektor dürli awtomatiki gurluşlarda giňden ulanylýar.

6.8. Ýgylyklary öwürmek. Signallar we olaryň spektrleri.

6.8.1. Ýgylygy öwürmegiň prinsipi.

Modulirlenen (ýa-da modulirlenmedik) yrgyldyny başga ýgylykly yrgylda onuň spektrini, spektriň düzüjileriniň arasyndaky amplituda we faza gatnaşyklarynyň saklanýan ýagdaýynda süýşürmek bilen öwürmek mümkin.

Ýgylygy öwürmek üçin goşmaça naprýaženiýe talap edilýär. Ol naprýaženiýäni almak üçin geterodin diýlip atlandyrylýan garmoniki yrgyldylaryň az kuwwatly generatory ulanylýar.

Spektry süýşürmek operasiýasy öwrülýän we geterodin yrgyldylaryny biri-birine köpeltmegiň dürli usullary bilen iş ýüzüne geçirilýär. Hususan, ýgylygy öwürmegi aşakdaky usullar bilen amala aşyrmak mümkin:

1) iki naprýaženiýäniň yrgyldamalaryny döretmeli we olary çykyş naprýaženiýesinden jemleýji ýa-da tapawut ýgylygynyň düzüjilerini bölüp aýyrmak üçin çyzyksyz elemente – dioda, trioda ýa-da çyzyksyz häsiýetnamaly islendik başga gurluşa bermeli;

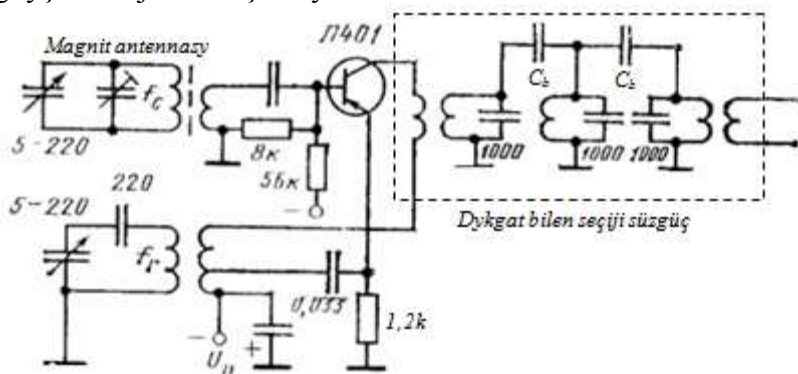
2) öwrülýän signal yrgyldysy geçiriş koeffisienti geterodin naprýaženiýesiniň täsiri astynda üýtgeýän elemente berilýär we çykyş yrgyldysyndan jemleýji ýa-da tapawut ýgylygynyň düzüjileri bölünip aýrylýar.

Öwürmegiň ikinji usulyny signal we geterodin naprýaženiýelerini, meselem, lampanyň dürli torlaryna ýa-da iki zatworly meýdan tranzistorynyň zatworlaryna bermek bilen amala aşyrmak mümkin. Ýgylygy öwürmegi şeýle hem, signal naprýaženiýesini differensial güýçlendirijiniň girişlerine, geterodin naprýaženiýesini bolsa stabil toguň generatorynyň girişine bermek bilen durmuşa geçirmek mümkin. Bu ýagdaýda tranzistoryň kertligi (krutiznasy) geterodin naprýaženiýesiniň täsiri astynda üýtgeýär.

Ýöne welin, bu usullary aýdyň çäklendirmek kyn. Hakykatda, signal we geterodin naprýaženiýeleriniň şol bir elektroda berilmegi birinji usula degişli bolsa, şol bir wagtyň özünde, bu ýagdaýda geterodin naprýaženiýesiniň täsiri astynda geçiriş koeffisientiniň üýtgeýändigini üçin öwürme prosesini ikinji usulyň durmuşa geçirilmegi ýaly seretmek mümkin.

6.8.2. Tranzistorda ýygylgy öwürüji.

Tranzistorda ýygylgy öwürüjiniň çyzgysyndan (14.1-nji surat) görnüşi ýaly, ýygylgy öwürmegiň we goşmaça naprýaženiýäni generirlemegiň funksiýalary signalyň öwürülýän naprýaženiýesi baza zynjyryna berilýän, kollektor zynjyryna bolsa aralyk ýygylgynyň kontury birleşdirilen bir tranzistorda ýerine ýetirilýär. Şeýle geterodin-öwürüjiniň geterodiniň yrgyldysyny kabul edijiniň antennasyndan şöhlelendirmezligi we şonuň bilen beýleki kabul ediljilere päsgelçilik döretmezligi üçin, käwagt çözüliş maksady bilen antenna we öwürüjiniň arasynda radioýygylgynyň rezonans ýa-da aperiodik güýçlendirijisi birleşdirilýär.



14.1-nji surat. Tranzistorda ýygylgy öwürüjiniň çyzgysy.

Ýygylgy öwürüjiniň düzüjileriň arasyndaky ähli gatnaşyklary saklaýandygyny bellemek zerurdyr. Şonuň üçin

öwrüjini daşky çyzykly ulgam diýip hasap etmek mümkin. Şeýle ulgama superpozisiýa prinsipini ulanmak mümkin. Öwrüji daşky çyzyklylyk häsiýetine geterodiniň naprýaženiýesiniň öwrülýän naprýaženiýelerden ep-esli uludygy üçin eýe bolýar.

Ýygylgy öwürmek diňe bir radiokabul ediji gurluşlarda ulanylman, eýsem fiziki barlaglar üçin gurluşlaryň köpüsinde ulanylýar. Ýygylgy öwürmegiň prinsipini ulanmagyň bir mysaly hökmünde yrgyldamalarda ses ýygylklarynyň yrgyldylarynyň generatoryny görkezmek bolar.

6.8.3. Periodik signallaryň spektrleri.

Radioelektronika wagtyň funksiýalary – dürli görnüşli elektriki yrgyldylary bolan signallar bilen iş salyşýar. Esasy radiotehniki gurluşlaryň işine ýönekeý signallaryň mysalynda aňsat düşünmek bolýar. Sinusoida we naprýaženiýäniň bökmesi ýaly şeýle ýönekeý yrgyldylar öň seredildi. Modulýasiýany öwrenmek bilen baglylykda bir garmonik yrgyldynyň beýlekisi bilen ýygylk modulýasiýasy örän çylşyrymly spektrli yrgyldynyň döremegine getirýändigini belli.

Hakykatyna seredilende, spektral çemeleşme çylşyrymly görnüşli islendik yrgyldynyň degişli amplitudaly, ýygylkly we fazaly sinusoidal yrgyldylaryň ahyrky ýa-da üznüksiz sanlarynyň jemi bilen çalşyrylýandygy bilen düşündirilýär. Wagt funksiýasy ýygylk funksiýasy ýaly üýtgeýär, bu bolsa köp ýagdaýlarda radioelektron gurluşlaryň ýygylk häsiýetnamalarynyň giňden bellidigi üçin zerurdyr.

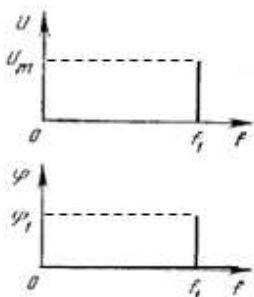
Signallary dürli aýratynlyklary boýunça klaslara bölmek mümkin. Şeýle aýratynlyklaryň biri hem periodlylykdyr. Aşakdaky deňligi kanagatlandyryýan signala periodik diýilýär:

$$u(t) = u(t + T),$$

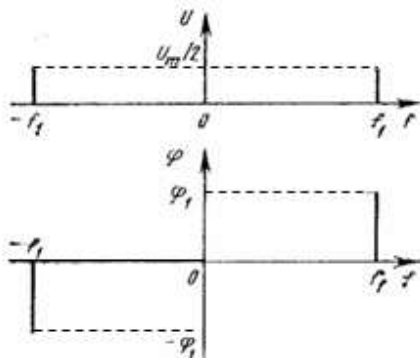
bu ýerde T – period diýlip atlandyrylýan, wagtyň hemişelik aralygy.

$$u(t) = U_m \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \quad (14.1)$$

garmoniki yrgyldynyň spektri bir spektral cyzykdan durýar (14.2-nji surat).



14.2-nji surat. Garmoniki yrgyldynyň spektri.

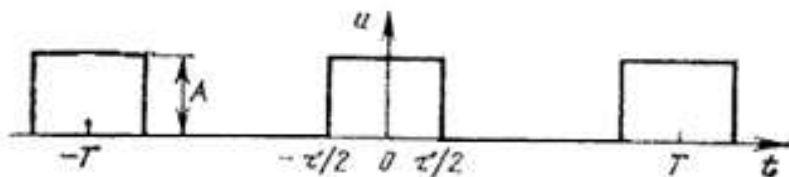


14.3-nji surat. Garmoniki yrgyldynyň iki taraply spektri.

Köplenç (14.1) garmoniki signaly kompleks görnüşinde görkezmek amatly bolýar:

$$U(t) = 0,5U_m e^{j(\omega_1 t + \varphi_1)} + 0,5U_m e^{j(-\omega_1 t - \varphi_1)}. \quad (14.2)$$

Şeýle ýazgyda ýygylýgyň diňe bir položitel däl, otrisatel bahalaryny-da almaga ýol berilýär. Emma otrisatel ýygylýkly yrgyldy fiziki ýok-da bolsa, şonda-da oňa kesgitli many bermek mümkin. Hakykatdanam, (14.1) yrgylda $\omega_1 = 2\pi f_1$ burç ýygylýkly sagat strelkasynyň tersine aýlanýan, U_m amplitudaly we φ_1 başlangyç fazaly wektoryň maddy okuna proyeksiýasy hökmünde seretmek mümkin. Şol bir yrgyldy (14.2) laýyklykda birmeňzeş ýygylýkly, yöne garşylykly ugurlara aýlanýan položitel amplitudaly iki wektoryň jemi hökmünde seredilýär. (14.2) yrgyldynyň iki taraply spektri 14.3-nji suratda görkezilen.



14.4-njy surat. Periodik gönüburçly impulsar.

Köplenç radioelektronikada napryáženíýäniň gönüburçly periodik impulsary ulanylýar. 14.4-nji suratda T gitme periodly τ dowamlylykly gönüburçly impulsaryň yzygiderliginiň bölegi görkezilen. Şeýle impulsar, meselem, radiolokasiýada we telewideniýede ulanylýar. Impulsaryň τ dowamlylygyny mikrosekuntlarda ýa-da mikrosekuntlaryň ülüşlerinde, käwagtlarda bolsa nanosekuntlaryň ülüşlerinde ölçemek mümkin. Impulsaryň T gitme periody barada aýdylanda bolsa, ol impulsaryň dowamlylygyndan ýüzlerçe we münlerçe gezek uly bolup biler. T/τ gatnaşyk *öýjüklik* diýlip atlandyrylýar.

EDEBIÝATLAR

1. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşin täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşin täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetini, 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. Ylym. 2005
11. Арестов К.А., Яковенко Б.С. Основы электроники: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с., ил.

12. Б.И. Горшков. Элементы радиоэлектронных устройств – М.: Радиосвязь, 1988.
13. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 495 с., ил.
14. И.П. Степанко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем – М.: Энергия, 1977
15. М. Кауфман, А. Сидман. Практическое руководство по расчетам схем электроники 1 часть. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
16. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 488 с., ил.
17. *Миддлбрук Р.Д.* Введение в теорию транзисторов. Атомиздат, 1960, стр. 132-140.
18. Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н. А. Чарыков. Полупроводниковые приборы – М.: Энергоатомиздат, 1990.
19. Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам. Под ред. К.В.Шалимовой, Москва – 1968
20. *Федотов Я.А.* Основы физики полупроводниковых приборов. Издательство «Советское радио», 1963, стр. 208-225.

M A Z M U N Y

GİRİŞ	6
I. TRANZISTORYŇ STATIKI HÄSİYETNAMASYNY	
ÖWRENMEK.....	12
1.1. Tranzistoryň işleýiş prinsipi.....	12
1.2. Umumy bazaly shemada tranzistoryň statiki häsiýetnamalary	21
1.3. Umumy emitterli shemada tranzistoryň statiki häsiýetnamalary	24
II. TRANZISTORLARYŇ IMPULS	
HÄSİYETNAMALARYNY ÖWRENMEK.....	27
2.1. Tranzistoryň aktiw meýdanda işleýşiniň hil derňewi.	27
2.2. Pes signalda tranzistorlarda geçiş prosesleriniň mukdarlaýyn bahalandyrmasy.	32
2.3. Tranzistoryň doýgunlaşma režimi	41
III. ÝAGTYLYGY DUÝGUR ABZALLAR	45
3.1. Ýagtylygy duýgur abzallar hakda umumy maglumatlar.	45
3.2. Daşky we içki fotoeffektleriň aýratynlyklary.	47
3.3. Ýagtylygy duýgur abzallaryň esasy häsiýetnamalary we esasy parametrleri.	50
3.4. Fotorezistorlar.	52
3.5. Fotorezistorlaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişleri.	55
3.6. Fotogalwaniki elementler.....	55
3.7. Fotodiodlar.	58
3.8. Fotodiodlaryň fotodiod we fotogalwanik düzgünlerinde işledilişleri.....	59
3.9. Fototranzistorlar.	62
3.10. Fototiristorlar.	65
3.11. Ýagtylygy duýgur abzallaryň harplar we sanlar bilen şertli belgilenişleri (markirowka).	68
3.12. Optoelektron abzallary.	69
3.13. Optronlar.	73

IV. ÝARYM GEÇIRIJILI FOTODIODLARYŇ WE FOTOREZISTORLARYŇ HÄSIÝETLERINIŇ ÖWRENILIŞI.	78
4.1. Fotodiodlar.....	78
4.2. Fotorezistorlar	91
V. PES ÝYGYLYGYŇ GÜÝÇLENDIRIJISI.	97
5.2. Umumy bazaly shema.....	102
5.3. Emitter gaýtalaýjy (umumy kollektorly shema)	105
5.4. Pes ýygylygyň güýçlendirijisiniň ýygylk häsiýetnamalary.....	109
VI. ENJAMLARY BEJERMEK WE ULANMAK.....	114
6.1. Radioelektroniekanyň esasy usullary we düşünjeleri.	114
6.2. Ýygynlan parametrli zynjyrlar.	124
6.3. Impuls güýçlendirijileri.	132
6.4. Kuwwat güýçlendirijileri.....	134
6.5. Rezonans güýçlendirijileri.....	136
6.6. Garmoniki yrgyldylaryň generatorlary.....	140
6.7. Detektirleme.	145
6.8. Ýygylklary öwürmek. Signallar we olaryň spektrleri.....	150
EDEBIÝATLAR	155