

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

**Ö. M. Nowruzow
A. Jomartow**

Radioelektronikanyň esaslary

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

Giriş

Türkmenistanyň özüne Garaşsyz döwlet diýip yglan eden gününden başlap, ýurdumyzda uly özgerişler başlady. Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň ýolbaşçylygy esasynda, halkymyzyň ýadawsyz tagallalarynyň netijesinde Türkmenistan gysga wagtyň içinde ösüşiň ýokary depginini tutum etdi. Türkmenistan бүтін dünýä ýkdysadyýetinde we umumy adamzat medeniýetinde özüniň mynasyp ornuny tapmak üçin örän ykjam hereket edýär.

Türkmenistanyň döwlet garaşsyzlygy, onuň bitaraplygy, syýasy durnuklylyk şertinde ösmegi, ýurduň ykdysady we durmuş taýdan öňe gitmegi, jemgyýetiň medeni we ruhy taýdan täzelenmegi üçin giň mümkinçilikler açdy. XXI asyra Türkmenistanyň üstünlikli gelmeginiň möhüm şertleriniň biri hem, tehnikany ösdürmek we öňdebaryjy tehnologiýalary ornaşdyrmakdan ybarat boldy.

Täze Galkynyş we beýik özgertmeler zamanamyzda hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň ýolbaşçylygynda Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan Watanymyz bedew bady bilen öňe barýar. Döwlet Baştutanymyz halkymyzyň rowaçlygyny artdyryp, türkmen döwletiniň at-abraýyny beýge galdyrýar. Milli Liderimiz: “Biz ajaýyp döwürde – täze Galkynyş eýýamynda, eziz Watanymyzda beýik özgertmeleriň batly gadamlar bilen amala aşyrylýan döwründe ýaşaýarys. Ýurdumyzyň ähli künjeklerinde döredijilikli zähmet gaýnap joşýar, iri desgalaryň gurluşygy güýçli depginler bilen alnyp barylýar” diýýär. Gözel Diýarymyzyň rowaçlygy – halkymyzyň bagty. Ol üstünlikler halkymyz bilen birlikde türkmen talyplaryny hem tüýs ýürekden begendirýär, buýsandyrýar. Milli Liderimiziň medeniýet, sungat we döredijilik işgärleri bilen geçiren maslahatynda eden çykyşynda aýdanlary, onda kabul eden resminamalary halkymyzyň ruhy baýlygyny has-da beýge galdyrjakdygy şek-şübhesizdir.

Täze Galkynyş we beýik özgeritmeler zamanamyzda hormatly Prezidentimiziň parasatly baştutanlygynda Garaşsyz, baky Bitarap döwletimizde ähli ugurlarda göwün galkyndyryjy belent sepgitler eýelenilýär. Milli Liderimiz beýleki ugurlar blen bir hatarda bilim-ylym ulgamynyň işini döwrebaplaşdyrmaga hem kämilleşdirmäge uly üns berýär. Ýurt Baştutanymyzyň tagallasy bilen döwletimiziň dürli künjeklerinde gurulýan, döredijilikli işlemek üçin ähli amatly şertleri bolan döwrebap bilim-ylym ojaklarynyň sanynyň artmagy-da, bu ugra berilýär üns-aladadan nyşandyr.

Häzirki wagtda TÜRKMENISTAN Ýer ýüzüniň ähli ýurtlary bilen deňhukukly we özara bähbitli hyzmatdaşlyga ymtylýan, parahatçylygy ýörediji döwlet hökmünde bütin dünýäde giňden tanalýar. Hormatly Prezidentimiziň parasatly ýolbaşçylygynda ýurdumyzyň hoşniýetli, birek-birege hormat goýmak ýaly ýörelgelere esaslanyp ýöredilýän daşary syýasaty dünýä bileleşigi tarapyndan giňden goldanylýar. Hut şu nukdaý nazarda Türkmenistan döwletimiz bilen özara bähbitli gatnaşyklar, peýdaly hyzmatdaşlygy ýola goýýan daşary ýurtlaryň sany ýylsaýyn köpeliýär. Hormatly Prezidentimiz: “Biziň daşary syýasat ugrumyzyň esasy ýörelgesi ählumumy parahatçylygyň, onuň ilerlemeleriniň we döredijilikli ösüşiniň hatyrasyna dünýäniň ähli ýurtlary bilen strategik hyzmatdaşlyk etmekdir” diýip belleýär.

Muňa häzirki wagtda Türkmenistanyň dünýäniň 129 döwleti bilen diplomatik gatnaşyklaryny saklaýandygy we abraýly halkara guramalarynyň 42-siniň agzasydygy, 100-e golaý döwlet bilen söwda-ykdysady hyzmatdaşlygynyň alnyp barylýandygy, geçen ýylda halkara şertnamalarynyň 116-syna gol çekilmegi, halkara konwensiýalarynyň 10-syna we beýleki köptaraplaýyn halkara resminamalaryna goşulmagy doly subutnamadyr. Şeýle hem geçen ýylyň dowamynda Türkmenistanyň hormatly Prezidentiniň baştutanlygyndaky ýurdumyzyň Hökümet wekiliýetleriniň daşary ýurtlarda 15 gezek döwlet, resmi iş saparlarynda bolmagy, daşary ýurtlaryň

döwlet we hökümet baştutanlarynyň ýolbaşçylygynda Türkmenistana hökümet wekiliýetleriniň 15 saparynyň amala aşyrylmagy hem şaýatlyk edýär. Bu maglumatlardan görnüşi ýaly, Türkmenistan döwletimiz bilen özara peýdaly hyzmatdaşlygy alyp barmaga, bähbitli gatnaşyklary ýola goýmaga isleg bildirýän dünýä ýurtlarynyň sany barha artýar.

Garaşsyzlygymyzy, baky Bitaraplygymyzy pugtalandyrmak, mizemez döwletimiziň belent at-abraýyny goramak we barha artdyrmak üçin türkmen ýaşlarynyň etmeli işleri örän köpdür. Olar sowadyny, bilimini, ylmyny kämilleşdirmelidiklerini ýekeje pursat hem ýadan çykarmaly dälirler. Olar dünýädäki ylmy täzeliklerden, ösen tehnologiýalardan habarly bolmalydyrlar.

Watana wepaly bolmakda, zähmetsöýerlikde, ynsanperwerlikde, halallykda beýlekilere nusga bolmalydyrlar.

Döwür, zamana ösýär, özgerýär. Döwletimiziň gülläp ösmegi türkmen ýaşlarynyň döwrebap bilim almaklaryna, ösen ýurtlarda bilimlerini artdyryp, güýçli ykdysatçylar, hukuk, bank işgärleri, inzenerler, baý taryhymyzy, edebi-medeni mirasymyzy öwrenijiler we beýleki dürli ugurlardan ökde hünärmenler bolup ýetişmeklerine baglydyr. Döwletimiz olaryň dünýäniň iň abraýly ýokary okuw mekdeplerinde okamaklary, ylymlaryny artdyrmaklary we hünärlerini kämilleşdirmekleri üçin zerur tagallalary edýär. Hormatly Prezidentimiziň baş maksady dünýäniň iň ösen talaplaryna laýyk gelýän bilim ulgamyny türkmen ýaşlaryna elýeterli etmekden ybaratdyr.

Diýarymyzy ylym ojagyna, bereket çeşmesine, bolçulygyň mekanyna öwürmekde türkmen ýaşlaryna uly-uly işler garaşýar. Ata-babalarymyzyň şan-şöhratyny mynasyp beýik işleri bitirip, Garaşsyz, baky Bitarap Tüürkmenistan döwletimiz täze galkynyşlar bilen ösýän zamanasynda taryhyň ajaýyp sahypalaryny ýazar.

Türkmenistanyň ösüp gelýän ýaş nesli ata Watanymyzyň bagtly geljegidir. Olaryň zähmetsöýerligi,

tutanýerliligi, ylym ulgamyndaky gazanýan üstünlikleri, atababalarymyzyň watançylyk döplerine wepalylygy bütin türkmen halkyny guwandyrýar.

Bagtyýar geljegimiziň girewi bolan ruhabelent, bilimli-lymly ýaşlary terbiýelemek biziň baş maksadymyzdyr. Şanşöhraty dünýä dolan halkymyzyň täze Galkynyş eýýamyndaky abraýy-mertebesi ýaşlaryň ata Watany gülletmek üçin yhlasyny, başarnygyny, ukybyny gaýgyrmazdan, ak ýürekden zähmet çekmegine baglydyr.

1. Radioelektronikanyň esasy usullary we düşüňjeleri.

1.1. Giriş bellikleri.

Radioelektronika – bu ylmyň we tehnikanyň maglumatlary radioýygyllykly elektromagnit yrgyldylaryny we tolkunlaryny ulanmak we özgertmek esasynda geçirmek we özgertmek bilen baglanyşykly birnäçe oblastlarynyň birleşdirilen ady; olardan esasyly radiotehnika we elektronika.

Radiotehnika – bu elektromagnit yrgyldylary (3 Gs-den 3000 GGs-e çenli ýygyllykly) we tolkunlary (tolkunlaryň wakuumda ýaýramagynyň uzynlygy 100 mün km-den 0,1 mm-e çenli), olary generirlemegiň, güýçlendirmegiň, şöhlendirmegiň we kabul etmegiň usullary barasyndaky ylym. Mundan başga-da, bu tehnikanyň radioaragatnaşykda, radiogepleşikde, telewideniýede, radiolokasiýada, radionawigasiýada we başgalarda maglumatlary geçirmek üçin şeýle yrgyldylary we tolkunlary ulanmagy üpjün edýän pudagy.

Radiotehnikanyň usullary we gurluşlary awtomatikada, fizikada, himiýada, biologiýada, medisina we ş.m. giňden ulanylýar. Hasaplaýyş tehnikasynda olaryň ulanylmagy aýratyn belläp geçerlikdir.

Elektronika – bu elektronlaryň elektromagnit meýdanlary bilen özara täsiri we esasan elektrik signalyny almak, güýçlendirmek, özgertmek, ýatda saklamak we parametrlerini ölçemek üçin ulanylýan wakuum, gazorazrýad

we ýarymgeçirijili enjamlary we gurluşlary döretmegiň usullary baradaky ylym.

Elektronikanyň element bazasy – bu bölünmeýän birleşmeleriň çatgylarynyň aýratyn detallaryndan önünden düzülen aýratyn detallary ýa-da modullary. Element bazasy elementleriň üç toparyna bölünýär:

Aktiv elementler – elektrik signalyny kuwwat boýunça güýçlendirýän elektron gurallary (tranzistorlar, elektrowakuüm we gazorazrýad gurallar, ýarymgeçirijili diodlaryň birnäçe görnüşleri (tunnel diody) we tiristorlar).

Özgerdiji elementler – bir görnüşli energiýaly signaly başga görnüşli signala ýa-da özgerdilýän signalyň parametrleriniň başga bahalarynda şol bir signala özgertmek üçin ulanylýan gurallar (elektrik signalyny ýagtylyk signalyna özgerdýän elektron-şöhle trubkalary, sinusoidal signaly pulsirlenen signala özgerdýän göneldiji diod we b.).

Passiw elementler – aktiv we özgerdiji elementleriň işiniň kesgitli kadasy (režimini) bermek üçin ulanylýan gurallar (rezistorlar, kondensatorlar, induktiwlik tegekleri (drosseller), transformatorlar we b.).

Elektron gurallary – geçirijilik wakuumda, gazda ýa-da ýarymgeçirijide hereket edýän elektronlaryň ýa-da ionlaryň kömegi bilen amala aşyrylýan gurallar.

Mikroelektronika – bu elektronikanyň elektro- we radioelementleri hem-de çap gurnamasyny (peçatly montajy) köpçülikleýin ýasamagyň esasynda mikrominiatýur görnüşde elektron funksional uzelleri, bloklary we aýratyn gurluşlary döretmek bilen baglanyşykly bölümi.

Häzirki wagtda radioelektronikanyň köp usullary olary mikroelektronikada ulanmak nukdaý nazaryndan seredilýär.

Açyşlaryň esasy seneleri:

1800 ý. – italýan alymy A. Wolta hemişelik toguň ilkinji elektrohimiýa çeşmesini döretdi.

1872 ý. – rus alymy A.N. Lodyginiň nakal lampasyny döretmegi.

1887 ý. – dünýäniň köp alymlarynyň güýji bilen termoelektron emissiýa hadysasynyň açylmagy.

1888 ý. – rus alymy, Moskwa uniwersitetiniň professory A.G.Stoletow fotoelektron emissiýa hadysasyny açdy.

1895 ý. – rus alymy A.S.Popow radiosignallary ibermegi we kabul etmegi amala aşyrdy. Radionyň açylmagy radioelektronikanyň mundan beýläk güýçli ösmegine stimul berdi.

1904 ý. – iňlis alymy D.Fleming radioteknikada radiosignallaryň detektory hökmünde ulanylan ýönekeýje elektron lampasyny – wakuum diodyny ýasady.

1907 ý. – amerikan inženeri Li de Forest elektrik signalyny kuwwat boýunça güýçlendirmek üçin ulanylan üç elektrodly elektron lampasyny – wakuum triodyny ýasady.

1907 ý. – elektron-şöhle trubkaly telewideniýe ulgamynyň awtory, rus alymy B.L.Rozing 1911-nji ýylda dünýäde ilkinji bolup, bu ulgam boýunça maglumatlary ibermegi başardy.

1913 ý. – nemes alymy A.Meýsner tarapyndan sinusoidal yrgyldylaryň lampaly generatory açyldy.

1914 ý. – rus alymlary N.D.Papaleksi we M.A.Bonç-Bruýewiç biri-birinden habarsyz Russiýada birinji elektron lampalaryny ýasadylar.

1918 ý. – rus alymy M.A.Bonç-Bruýewiç soňy bilen ikillik sifrli kody ýatda saklamak üçin esasy element hökmünde ulanylan triggeriň lampaly çyzgysyny işläp düzdi.

1919 ý. – amerikan hünärmenleri U.Ikklyz we F.Džordan M.A.Bonç-Bruýewiçden habarsyz lampaly triggeriň çyzgysyny işläp düzdüler.

1922 ý. – sowet inženeri O.W.Losýew kristal ýarymgeçirijili diodyň kömegi bilen elektrik yrgyldylaryny kuwwat boýunça güýçlendirip bolýandygyny ýüze çykardy.

XX asyryň 30-njy ýyllary – elektronikanyň aýratyn ylym bolup bölünmegi. Bu wagta çenli elektron mikroskopy,

termoelektron generatory, üç setkaly lampalar (pentodlar), kombinirlenen lampalar (bir kolbada elektrodларыň iki komplekti), iberiji we kabul ediji telewizion trubkalary we başgalar döredildi.

1945 ý. – amerikan alymlary Dž.W.Mouçli we D.P.Ekkert birinji elektron hasaplaýjy maşynyny (EHM) ENIAK (ENIAC – Elektronik Numerical Integrator and Computer – elektron sifrlı integrator we hasaplaýjy) gurup gutardylar. Bu maşyn 18 müňden gowrak elektron lampadan we 1,5 müň releden ybaratdy we 150 kWt töweregi kuwwat ulanýardy. Elektron hasaplaýjy maşynlarynyň ýüze çykmagy ýarymgeçirijili elektron gurallaryny ösdürmek üçin stimuly bolup hyzmat etdi.

1948 ý. – amerikan barlagçylary D.Bardin we W.Bratteýn elektrik yrgyldylaryny güýçlendirmek we generirlemek üçin gerek bolan germanili nokatly tranzistory dörettiler.

1952 ý. – akademik S.A.Lebedýewiň ýolbaşçylygynda SSSR-de ÇESM (çalttäsiirediji elektron sanaýjy maşyn) görnüşli (tipli) ilkinji elektron hasaplaýjy maşyny ýasaldy.

1955 ý. – kwant elektronikasynyň düýbünü tutujylar, söwet alymlary N.G.Basow we A.M.Prohorow ilkinji kwant generatoryny – mazeri dörettiler.

1958-1960 ýý. – integral mikroçatgylarynyň SSSR-de ilkinji ýasalmalary.

XX asyryň 70-nji ýyllary – kristalda 10^2 – 10^5 elementli integrasiýa derejesi bolan we elementleriniň minimal ölçegi 100-den 3 mkm-e çenli bolan uly integral mikroçatgylarynyň işlenip taýýarlanmagy; ilkinji mikroprosessorlaryň ýüze çykmagy.

XX asyryň 80-nji ýyllary – kristalda 10^4 – 10^6 elementli integrasiýa derejesi bolan we elementleriniň minimal ölçegi 1–0,1 mkm bolan aşa uly integral çatgylaryň we mikoprosessorlaryň işlenip taýýarlanmagy; personal EHM-leriň giňden ulanylmagy.

1.2. Radionyň oýlanyp tapylyşy we ulanylyşy.

1895-nji ýylyň 7-nji maýynda görnükli rus fizigi Aleksandr Stepanowič Popow Rus fiziko-himiki jemgyýetiniň mejlisinde doklad bilen çykyş etdi we özüniň dünýäde ilkinji bolup döreden radiokabul edijisini demonstrirledi. A.S.Popow öz dokladyny aşakdaky sözler bilen gutardy: „Meniň abzalym mundan beýläk-de kämilleşdirilse, çalt elektrik yrgyldylarynyň kömegi bilen signallary aralyga ibermäge onuň ulanylyp bilinjekdigine men sözümiň ahyrynda ynam bildirip bilerin“. Radiotehniki ylmynyň, giden bir pudagyň başlangyjy bolup hyzmat eden dünýä möçberindäki açyş, ine, şeýle açyldy.

Aragatnaşygyň bu täze usulyňy kämilleşdirmek boýunça oýlap tapyjynyň tutanýerlikli hem-de erjellik bilen çeken zähmetleri ony ençeme tehniki açyşlara getirdi.

A.S.Popow dünýäde ilkinji bolup, signallary radio boýunça uzaklyga ibermegi amala aşyrdy, radioaragatnaşygyny praktikada ulanmak boljakdygyny subut etdi, antennany we zeminlemäni (zazemleniýäni) ulandy. A.S.Popow tarapyndan radiotolkunlarynyň yzyna serpilmek we kabul edilmek hadysalarynyň açylmagy radiolokasiýanyň hem-de radionawigasiýanyň esasy bolup hyzmat etdi. A.S.Popow tarapyndan täze ylym – radioölçeg ylymy döredildi.

Radio ylmyň, tehnikanyň we halk hojalygynyň köp pudaklaryna ornaşdy.

Radiotehnikanyň gazanan üstünlikleri çylşyrymly elektron hasaplaýjy maşynlarynda peýdalanylýar. Radiotehnikanyň täze pudagy bolan radioelektronika çalt depgin bilen ösüp başlady.

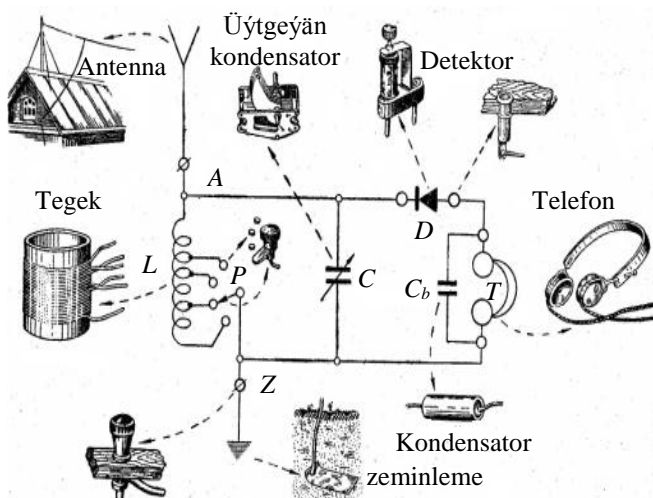
Radionyň kömegi bilen ýerasty baýlyklary we atmosferanyň ýagdaýy öwrenilýär. Radioserişdeleri medisina we oba hojalygynda peýdalanylýar. Atom energiýasy we maddalaryň gurluşyny öwrenmek babatynda hem radioabzallary, radionyň dürli enjamlary giňden ulanylýar.

Radio daş aralyklardaky obýektleriň bar ýerlerini kesgitlemek (radiolokasiýa) üçin hem ulanylýar.

Radionawigasiýa we radiogeodeziýa gaty giňden ulanylýar. Adamzadyň ösüşinde radio ylmy-tehniki progresiň, medeniýeti ösdürmegiň we giň köpçüligi terbiýelemegiň kuwwatly serişdesidir.

1.3. Detektorly radiokabul ediji.

Detektorly radiokabul ediji iň sada gurluşly kabul edijidir. Onuň prinsipial çyzygysy 1-nji suratda görkezilendir. Ol kabul ediji konturdan: L induktiwlik tegeginden we C üýtgeýän sygymly kondensatordan ybaratdyr.



1.1-nji surat. Detektorly kabul edijiniň prinsipial çyzygysynda radioşäýlaryň belgilenişi.

Kontur bilen detektor zynjyry baglanyşyklydyr. Bu zynjyra D detektor we T telefon girýär. Telefona hemişelik sygymly C_b kondensator parallel birikdirilýär. Antenna we ýer kabul ediji kontura utgaşdyrylýar.

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

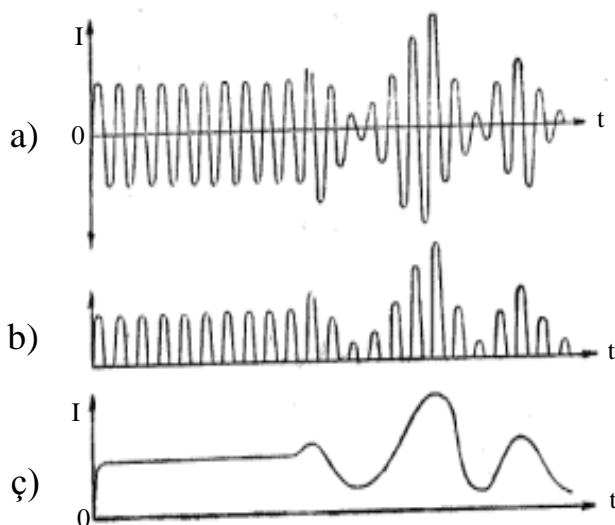
Bir radiostansiýanyň berýän gepleşigini şol radiostansiýa bilen bir wagtda işleýän beýleki radiostansiýalaryň berýän gepleşikleriniň içinden saýlap almak üçin kabul ediji kontury gerekli radiostansiýanyň ýygylgyna rezonans edip sazlamak zerurdyr. Mälim bolşy ýaly, konturdaky yrgyldynyň ýygylgy L induktiwlige we C sygyma baglydyr hem-de ony aşakdaky formula boýunça hasaplap çykarmak bolýar:

$$F = \frac{1}{2} \pi \sqrt{LC}; \quad (1.1)$$

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 döredýär. Detektoryň bir taraplaýyn geçirijilik häsiýeti bardyr, şoňa görä-de zynjyrdaky tok impuls boýunça bir tarapa akar. Modulirlenen yrgyldylar kabul edilýän wagty impulslaryň ululyklary dürli bolar. Detektor zynjyrlaryndaky toklaryň bu pulsirlenmesini iki goşulyjydan – belent ýygylkly yrgyldylardan hem-de pes ýygylkly yrgyldylardan emele gelýän pulsirlenme hökmünde seretmek bolar. T telefonda we C_{ϕ} bloklaýjy kondensatorda pes ýygylkly goşulyjy belent ýygylkly goşulyjydan bölünip aýrylar. Toguň belent ýygylkly düzüjisi telefonyň elektromagnit sargylarynyň uly induktiw garşylygy bilen deňeşdirilende az garşylygy bolan (şol düzüji üçin) C_{ϕ} bloklaýjy kondensator arkaly utgaşdyrylýar. Toguň pes ýygylkly düzüjisi elektromagnit sargylaryndan geçýär, sebäbi C_{ϕ} kondensator oňa gaty köp garşylyk görkezýär. Pes (ses) ýygylkly bu toguň täsiri bilen telefonyň membranasy yrgyldaýar we tolkun beriji radiostansiýanyň mikrofonyna täsir edýän sesleri täzedan döredýär.

Detektorly kabul edijileriň işlemegi tolkun iberiji stansiýanyň elektromagnit tolkunlarynyň energiýasynyň hasabyňa amala aşyrylýar. Şu hili radiokabul edijiler tok çeşmesine mätäç däldir, emma olar gaty uzakdan kabul edip bilmeýärler.

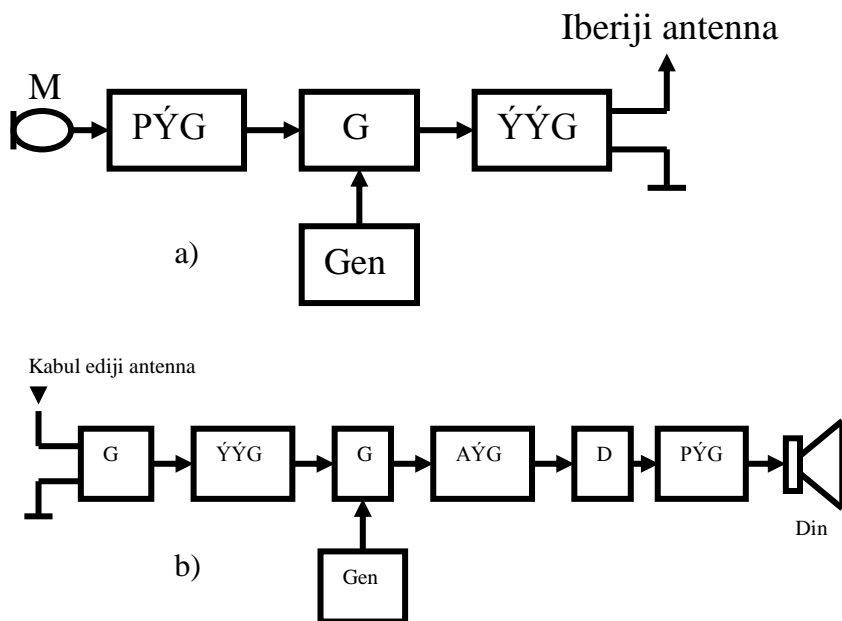


1.2-nji surat. Detektorly radiokabul edijiniň zynjyrlaryndaky toklaryň üýtgeýşiniň grafikleri: a – yrgyldyly konturda, b – detektordan soňra, c – telefonda.

1.4. Radioaragatnaşygynyň prinsipi.

Radioaragatnaşyk üçin tolkun iberiji stansiýada ýerleşen we tolkun iberiji antenna bilen birikdirilen kuwwatly generatorlar tarapyndan döredilýän 100000 gersden birnäçe mün megagerse çenli bolan belent (ýokary) ýygylykly 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) ýygylykly gowşak toklar güýçlendirýär. Güýçlendirilen toklar garyşdyryja



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

berilýär, ol ýerde generatorndan gelýän ýokary ýgylykly yrgyldylar bilen goşulyp (amplituda modulýasiýasy), ýokary ýgylygyň güýçlendirijisine berilýär, soňra iberiji antenna arkaly efire iberilýär. Yrgyldylar goşulanda ýokary ýgylykly yrgyldylaryň amplitudasy pes ýgylygyň kanuny boýunça üýtgedilýär.

Amplitudanyň şu üýtgemegine modulýasiýa diýilýär, diýmek belent ýgylykly modulirlenen yrgyldylar antenna barýar. Antennanyň töwregindäki giňişlikde sekuntda 300000 km tizlik bilen ýaýraýan elektromagnet tolkunlary

(radiotolkunlary) döredýär. Elektromagnit tolkunlary öz ýollarynda kabul ediji antenنالara duşup, olarda edil tolkun iberiji stansiýadaky ýaly ýygylkly we modulýasiýaly elektrik hereketlendiriji güýjüni (e.h.g.) döredýärler. Bu e.h.g. antenنادan radiokabul edijä barýar we radiokabul edijiniň zynjyrlarynda ýokary ýygylkly modulirlenen yrgyldylary döredýär. Soňra güýçlendirilip, garyşdyryjyda ýörite generatoryň yrgyldylary bilen goşulyp, tapawut alynýar. Bu tapawut 465 kGs aralyk ýygylkdyr, ol aralyk ýygylgyň güýçlendirijisinde güýçlendirilýär we göneldijiniň – detektoryň kömegi bilen kabul edijidäki belent ýygylkly modulirlenen yrgyldylaryndan pes ýygylkly tok bölünip aýrylýar hem-de pes ýygylgyň güýçlendirijisinde güýçlendirilip, dinamikde sese öwrülýär we biz ony eşidýäris.

1.5. Radioiberme we radiokabul etme.

Radioteknikada birnäçe gersden ýüzlerçe gigagerse çenli ýygylkly ýütgeýän toklar ulanylýar. Radiogepleşik eşitdiriş stansiýalarynyň antenna zynjyrlary, meselem, takmynan 150 kGs-den 60-70 MGs-e çenli ýygylkly toklar bilen iýmitlenýärler. Bu çalt ýütgeýän toklar simsiz uly aralyklara sesleri ibermegi amala aşyran serişdelerdir.

Ýütgeýän toklaryň ýygylklarynyň ähli uly diapazonyny birnäçe bölümlere – *poddiapazonlara* bölmeklik kabul edilen. 20 Gs – 20 kGs çäklerdäki ýygylkly toklara *pes* ýa-da *ses* ýygylkly toklar (olaryň ses yrgyldylarynyň ýygylklaryna gabat gelýändikleri üçin), 20 kGs-den ýokary ýygylkly ýütgeýän toklara bolsa *ultrases* ýygylkly toklar diýilýär. Şol bir wagtyň özünde 100 kGs-den 30 MGs-e çenli ýygylkly toklara *ýokary* ýygylkly toklar, 30 MGs-den ýokary ýygylkly toklara bolsa *aşa ýokary* ýa-da *ultra ýokary* ýygylkly 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

ýgylykly toklaryň eferde oýandyryan radiotolkunlarynyň kömegi bilen olary uly aralyklara we ägirt uly tizlik bilen (300 000 km/sek) iberip bolar.

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

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 diapazonlarda amplituda, UGT diapazonda bolsa ýgylyk modulýasiýasy ulanylýar.

1.6. Radiokabul edijiniň elementleri we bölekleri.

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

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

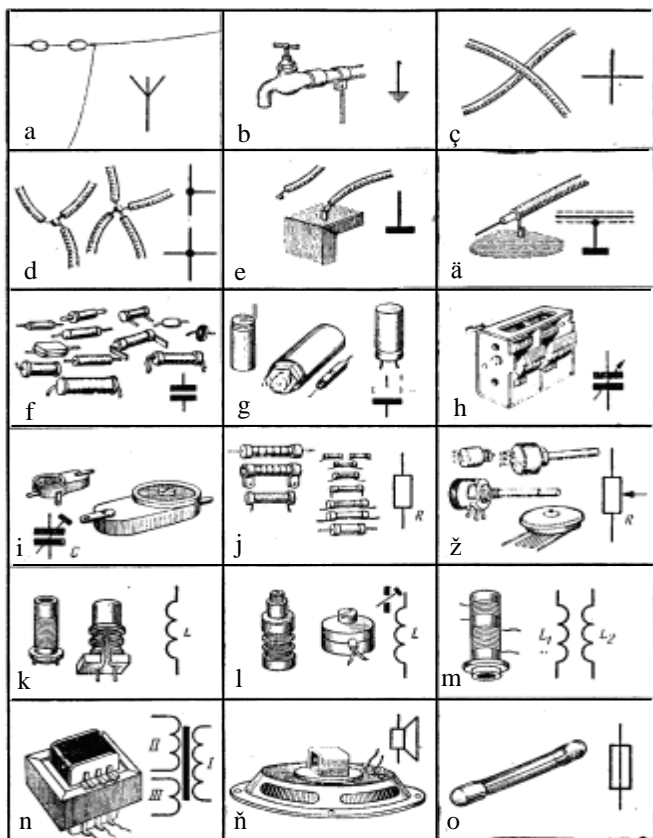
Yrgyldyly konturlar radiokabul edijileriň duýujy (izbiratel) elementleridir. Yrgyldyly konturlaryň kömegi bilen kabul edijileri radiostansiýalaryň signallaryna sazlamak, ýokary ýgylykly yrgyldylary bölüp almak we olary bir zynjyrdan başgaçyna geçirmek amala aşyrylýar.

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

Göterilýän tranzistorly kabul edijileriň girişinde *magnit antennasy* bolýar. Radiotolkunlaryň magnit meýdanlary bilen özüde ýokary ýgylykly yrgyldylaryň oýandyrylýandygy üçin oňa magnit antennasy diýilýär. Magnit antennasy gönükdirilen häsiýete eýedir: haçan-da ferit sterženiniň tekizligi radiostansiýa perpendikulýar ýerleşdirilende, konturda has güýçli yrgyldylar oýandyrylýar. 1.5-nji suratda radiokabul edijileriň giriş çyzgylary görkezilýär.

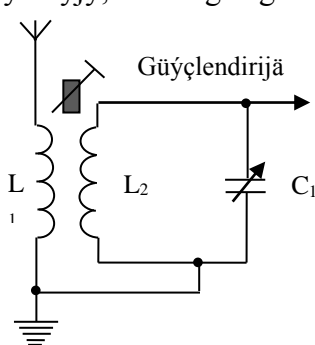
Ýönekeý kabul edijiniň giriş konturynda döreyän modulirlenen ýokary ýgylykly yrgyldylar güýçlendirilmeli, şondan soň detektoryň kömegi bilen pes ýgylykly yrgyldylara

özgerdilmeli. Öz gezeginde pes ýygylkly yrgyldylar hem güýçlendirilmeli we güýçli ses berijä (dinamige) berilmeli.

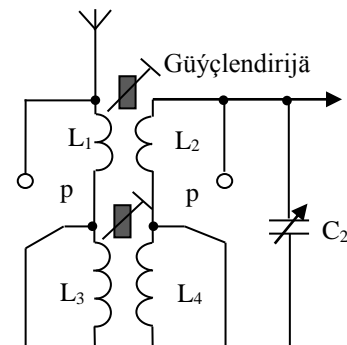


1.4-nji surat. Käbir radioşayırlarynyň we gurluşlaryň daşky görnüşleri hem-de şertli grafiki belgilenişleri: a – antenna; b – ýere birleşdirme (zeminleme); ç – simler birleşdirilmeyär; d – simler birleşdirilýär; e – sim şassi bilen birleşdirilýär (ýa-da iýmit çeşmesiniň umumy ýere birleşdirilen geçirijisi bilen); ä – ekranlaşdyrylan sim, ekran şassi bilen birleşdirilýär (iýmit çeşmesiniň ýere birleşdirilen geçirijisi bilen); f – hemişelik sygymly kondensatorlar; g – elektrolit kondensatorlary; h – üýtgeýän sygymly kondensatorlar; i – sazlanýlan kondensatorlar; j – hemişelik rezistorlar; ž –

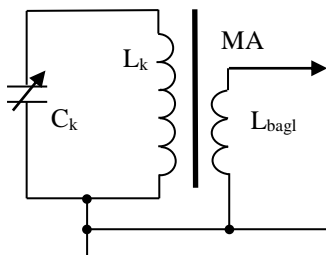
üýtgeýän rezistorlar; k – oksuz (serdeçniksiz) induktiwlík tegekleri; l – magnitodielektrik okly (serdeçnikli) tegekler; m – induktiwi bagly tegekler; n – pes ýygylýgyň transformatorlary (polatdan oklary (serdeçnikleri) bolan); \dot{n} – elektrodinamik ses çykaryjy; o – eregen goraýjy.



a)



b)



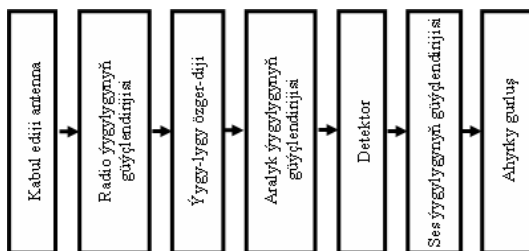
ç)

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

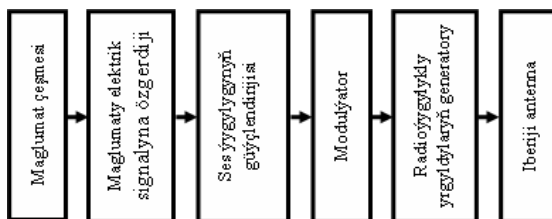
Güýçlendiriji, edil yrgyldyly kontur ýaly, islendik radiokabul edijiniň hökmany gurluşydyr. Her bir radiokabul edijide güýçlendiriji kaskadlar hem diýilýän birnäçe güýçlendirijiler bolýar. Ýokary we pes ýygylýklaryň güýçlendirijileri tapawutlandyrylýar. Olar dürli wezipeleri ýerine ýetirýärler, ýöne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

1.7. Radioiberiji we radiokabul ediji gurluşlaryň düzümleri.

Radioelektronikanyň esasy usullaryny we gurluşlaryny iberiji we kabul ediji (aragatnaşyk ýa-da radiogepleşik) gurluşlaryň 1.6-njy we 1.7-nji suratlarda görkezilen düzümleri çyzgylarynyň mysalynda düşündirmek aňsat. Beýle diýildigi, seredilýän material diňe radioaragatnaşyga ulanylýar diýildigi däl.



1.6-njy surat. Radioiberiji gurluşyň düzümleri çyzgysy.

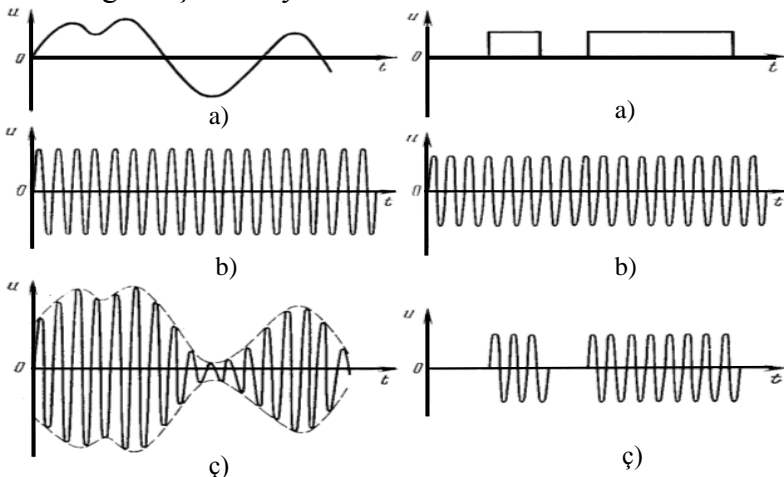


1.7-nji surat. Radiokabul ediji gurluşyň düzümleri çyzgysy.

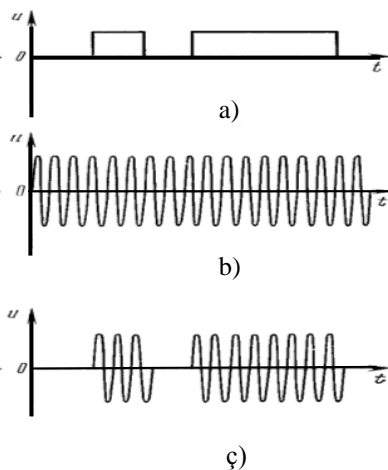
Maglumaty ibermek üçin radioýygylgylý yrgyldy we onuň modulýasiýasy gerek, ýagny, meselem, mikrofondan alnan elektrik signaly antennanyň kömegi bilen gowy şöhlelenip we uly aralyklara ýaýrap bilmeýär. Iberilýän signalyň (maglumatyň) parametrleriniň üýtgemekleri bilen deňşililikde radioýygylgylý yrgyldynyň bir parametriniň (amplituda, ýygylgyk ýa-da faza) üýtgemegine *modulýasiýa* diýilýär.

Maglumat bilen modulirlenen radioýygylgylý yrgylda *radiosignal* diýilýär. Radioiberiji gurluşyň düzümleri çyzgysynda görkezilen modulýatoryň kömegi bilen radioýygylgylý yrgyldy

modulirlenýär. Modulýasiýanyň esasy üç: amplituda, ýygylk we faza görnüşleri bolýar.



1.8-nji surat. Amplituda modulýasiýasy: a – modulirleýji yrgyldy; b – modulirlenýän radioýygylkly yrgyldy; c – amplituda boýunça modulirlenen radioýygylkly yrgyldy.

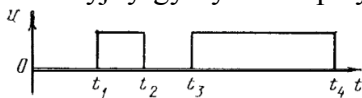


1.9-njy surat. Amplituda manipulyasiýasy: a – iberilýän signal; b – manipulyasiýa çenli radioýygylkly yrgyldy; c – manipulyasiýadan soňky radioýygylkly yrgyldy.

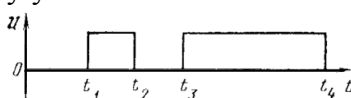
Meselem, 1.8-nji suratda modulirleýji signal, radioýygylkly yrgyldy we amplituda boýunça modulirlenen radioýygylkly yrgyldy görkezilen. 1.9-njy suratda amplituda modulýasiýasynyň ýönekeý görnüşleriniň biri – amplituda manipulyasiýasy (iki çetki bahalaryna eýe bolýan signal bilen modulýasiýa) görkezilen. 1.10-njy suratda ýygylk, 1.11-nji suratda bolsa faza manipulyasiýasy görkezilen. 1.8–1.11-nji suratlarda modulýasiýanyň, ýagny radioýygylkly yrgyldynyň iberilýän maglumat bilen degişlilikde ol ýa-da başga parametrlerini özgertmäniň modulirleýji signal bilen radioýygylkly yrgyldynyň ýönekeý jemlenmegi däldegi gowy görünýär.

Kabul ediji gurluşda (1.7-nji surata seret) detektor esasy roly oýnaýar. Modulýasiýa ters bolan prosese *detektirleme* diýilýär.

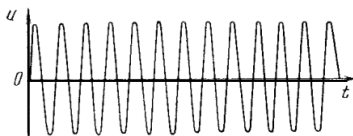
Radioýyglykly modurillenen yrgyldy detektirlenende başky modurirleýji yrgyldy bölünip aýrylýar.



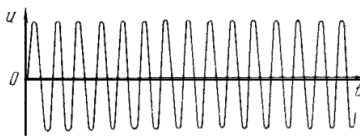
a)



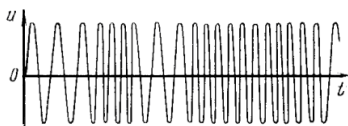
a)



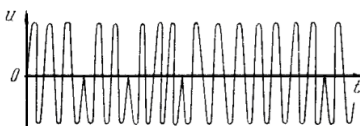
b)



b)



ç)



ç)

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

1.11-nji surat. Faza manipulyasiýasy: a – iberilýän signal; b – manipulyasiýa çenli radioýyglykly yrgyldy; ç – faza boýunça manipulirlenen radioýyglykly yrgyldy.

Meselem, eger detektoryň girişine 1.8-nji ç suratda görkezilen yrgyldy berilýän bolsa, onda çykyşda 1.8-nji a suratda görkezilen yrgyldy alynar.

1.8. Güýçlendirijileriň görnüşleri.

Kabul ediji we iberiji gurluşlaryň düzüm çyzgylaryndan görnüşi ýaly, kabul edijide we iberijide dürli ýyglykly elektrik yrgyldylaryny güýçlendirijileriň birnäçesi bar. Kuwwatlary deňeşdirmek bilen güýçlendirmegiň zerurlygyna düşünmek kyn däl. Kabul ediji gurluşyň girişinde radiosignalyň kuwwaty $10^{-14} - 10^{-26}$ Wt, emma ahyrky guralyň (meselem, ses berijiniň) işi üçin adatça bir ýa-da birnäçe watt derejede kuwwat gerek bolýar. Şeýlelikde, kabul ediji gurluşda $10^{-14} - 10^{-26}$ gezek kuwwat boýunça güýçlendirme zerur bolýar.

Ses ýygylgynyň, impuls ýa-da wideogüýçlendirijiler, hemişelik togunyň, radioýygylgynyň we aralyk ýygylgynyň güýçlendirijileri bolýar.

Ses ýygylgynyň güýçlendirijilerinde: $F_a = 20$ Gs, $F_y = 20$ kGs.

Uçarlaryň gepleşik gurluşlarynyň we radiostansiýalarynyň güýçlendirijilerinde: $F_a = 300$ Gs, $F_y = 3-4$ kGs.

Ses ýygylgynyň güýçlendirijileri radioiberiji we radiokabul ediji gurluşlaryň düzümine girýärler, şeýle hem ses ýazyjy we ses çykaryjy apparaturalarda, meselem, magnitofonlarda we elektrofonlarda giňden ulanylýar.

Radiokabul ediji gurluşyň düzüm çyzgysyna ses ýygylgynyň güýçlendirijisinden başga radio we aralyk ýygylklarynyň güýçlendirijileri hem girýärler. Olaryň niýetlenişi – kabul edilýän radiosignaly milliwoltlarda, köplenç mikrowoltlarda, käwagtlarda mikrowoltyň milliondan bir üleşlerinde ölçelýän naprýaženiýeden detektoryň effektiv işi üçin gerek bolan 1 W-a ýakyn naprýaženiýä çenli güýçlendirmek.

Radio ýygylgynyň güýçlendirijisi kabul edilýän radiostansiýanyň ýygylgyna düzülýär. Onuň güýçlendirýän signallarynyň çäkleri: radiogepleşik stansiýalary kabul edilende – birnäçe kilogersden birnäçe onlarça kilogerse çenli, telewizion stansiýalar kabul edilende bolsa – birnäçe megagers.

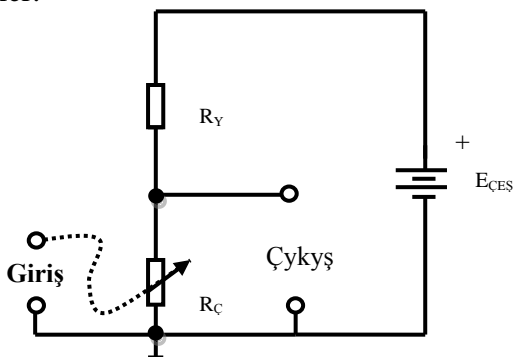
Ýygylgy özgerdijili kabul edijä supergeterodinli kabul ediji ýa-da diňe supergeterodin diýilýär. Ýygylgy özgerdijisiz kabul edijä bolsa göni güýçlendirijili kabul ediji diýilýär.

1.9. Güýçlendirmegiň prinsipleri.

Elektrik yrgyldylaryny güýçlendirmeklik elektron lampalarynyň we tranzistorlaryň kömegi bilen amala aşyrylýar.

1.12-nji suratdaky çyzgy güýçlendirmegiň prinsipini düşündirýär. U_i naprýaženiýeli iýmit çeşmesi bilen yzygider iki garşylyk birikdirilen: $R_{yük}$ ýüküň (nagruzkanyň) hemişelik garşylygy we $R_{üýt}$ üýtgeýän garşylyk. Güýçlendirijiniň girişine

berilýän dolandyryjy naprýaženiýäniň ýa-da toguň täsiri astynda hemişelik toga öz garşylygyny üýtgedýän elektron lampasy ýa-da tranzistor üýtgeýän garşylygyň roluny ýerine ýetirýär. Garşylygyň üýtgemegi energiýa ýitirmezden ýa-da ujypsyz ýitgi bilen örän giň predellerde bolup geçip biler. Şol bir wagtda ýükde (nagruzkada) bölünip çykyň kuwwat köp bolup biler.



1.12-nji surat. Elektron lampasynyň ýa-da tranzistoryň kömegi bilen güýçlendirmegiň prinsipini düşündirýän çyzgy.

Elektron

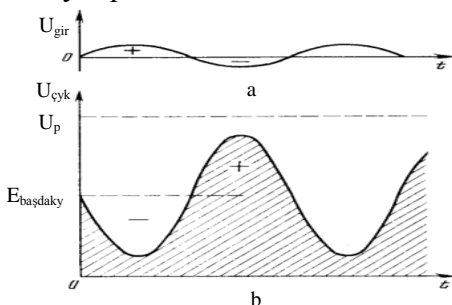
lampasy ýa-da tranzistor açaryň, utgaşdyryjynyň ýa-da reläniň roluny hem ýerine ýetirip biler. Şu ýerden elektron lampasynyň ilkinji ady – wakuum ýa-da elektron relesi ady gelip çykypdyr. Hakykatdan-da, lampanyň ýa-da tranzistoryň garşylygynyň böküşli görnüşli üýtgemesi (olaryň ulanylyşynyň açar režimi diýip at alan) çykyşda naprýaženiýäniň hem böküşli görnüşli üýtgemesine ýardam edýär. Çykyş naprýaženiýesiniň formasynyň girişdäkä meňzeşligini almak üçin lampanyň ýa-da tranzistoryň garşylygyny ýuwaşdan üýtgetmeli, ýagny olaryň ulanylyşynyň güýçlendiriji kadasy (režimi) diýip atlandyrylýany gerek.

Eger güýçlendirijiniň girişine 1.13-nji a suratdaky ýaly sinusoidal naprýaženiýe berlen bolsa, şeýle hem elektron lampasynyň setkasy ýa-da tranzistoryň bazasy dolandyryjy

elektrod bolup hyzmat edýän bolsa, onda çykyşda zyýan ýok wagtynda 1.13-nji b suratdaky ýaly naprýaženiýe dörär.

1.13-nji suratdan görnüşi ýaly, üýtgeýän çykyş naprýaženiýesi girişdäki bilen deňeşdirilende gapma-garşy faza eýe bolýar. Şeýle-de, çykyşdaky naprýaženiýäniň üýtgemesi ýokarsy çeşmäniň naprýaženiýesi, aşagy bolsa nol bilen çäklenen. Şonuň üçin hem çykyş naprýaženiýesiniň amplitudasy çeşmäniň naprýaženiýesiniň ýarymyndan köp bolup bilmeýär.

Ýöne eger-de peýdaly ýüki (nagruzkany) transformatoryň üstünden birleşdirsek ýa-da sazlanan yrgyldyly kontury ýüküň (nagruzkanyň) garşylygy hökmünde ulansak, onda transformatoryň ýa-da yrgyldyly konturyň sarymynyň hemişelik toga ujypsyzja garşylygynyň bardygy üçin işçi nokatdaky naprýaženiýe takmynan U_i çenli ulalyp biler we üýtgeýän çykyş naprýaženiýesiniň maksimal amplitudasy U_i -e ýetip biler.



1.13-nji surat. Güýçlendirijiniň giriş we çykyş naprýaženiýeleri.

Parametriki güýçlendiriji diýip, güýçlendirme üýtgeýän tok çeşmesiniň energiýasynyň hasabyna bolup geçýän gurluşa aýdylýar. Energiýanyň şeýle çeşmesine *doldurmanyň (nakaçka) generatory* diýilýär. Doldurmanyň generatory güýçlendirijiniň reaktiw parametriniň, ýagny induktiwligiň ýa-da sygymyň bahasyny periodik üýtgedýär.

1.10. Päsgeľçilikler we olar bilen göreş.

Pes ýygýlykly *akustiki şaggyldylar* bolýar. Onuň bilen göreşmek üçin mikrofony we adamyň gulagyny izolirlmeli, meselem, studiýalar.

Elektrik päsgelçilikleri ýa-da şaggyldylary bar. Olar bilen göreşilende giňişlik we ýygýlyk ugrukdyrylyşy (izbiratelnost) ulanylýar.

Industrial päsgelçilikleri dürli elektrik gurluşlar we maşynlar döredýär: tramwaýlar, trolleýbuslar, awtomobilleriň we uçarlaryň ýakyş ulgamlary we ş.m.

Içki zyýanlara rezistorlaryň, antennalaryň we yrgyldyly konturlaryň aktiw garşylyklarynyň *ýylylyk şaggyldylary* girýärler.

Seredilen şaggyldylar we päsgelçilikler *additiw päsgelçilikleriň* klasyna girýärler.

Başga zyýanlar *multiplikatiw päsgelçilikleriň* klasyny düzýär. Meselem, erbet kontaktly telefon ýa-da radiotranslýasiýa çyzyklary (liniýalary).

Soňky ýyllarda gämilerde, uçarlarda, emeli hemralarda we başga gurluşlarda dürli niýetli radiostansiýalaryň gaty köp mukdary ulanylýandygy üçin olaryň biri-birlerine döredýän päsgelçilikleriniň garşysyna göreşmek zerur bolýar. Bu *elektromagnit kybapdaş gelmek* diýilýän problemadyr.

2. Ýygňalan parametrli zynjyrlar.

2.1. Elektrik zynjyrynyň elementleri.

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

Haçan-da elektrik yrgyldylarynyň ýygýlygy 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 elementiň uçlaryndaky naprýaženiýe bilen onuň üstünden akyp geçýän 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

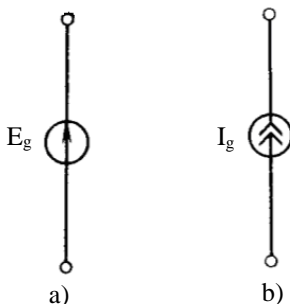
$$u = Ldi/dt, \quad i = \frac{1}{L} \int udt \quad (2.3)$$

I

L

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

Zynjyryň garşylyk, sygym we induktivlik 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 bellegenşleri görkezilen.



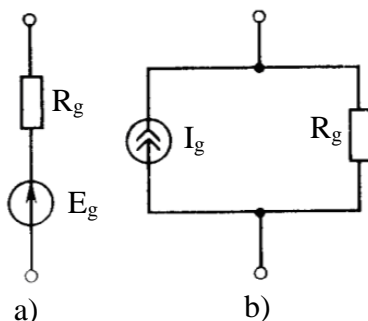
2.1-nji surat. Çyzgylarda şertli bellegenşleri:
a – EHG-niň çeşmesi – naprýaženiýäniň generatory;
b – toguň çeşmesi – toguň generatory.

Içki garşylygy $R_r = 0$ bolan hemişelik ýa-da üýtgeýän naprýaženiýäniň çeşmesine *EHG-niň generatory* ýa-da *naprýaženiýäniň generatory* diýilýär. Onuň uçlaryndaky naprýaženiýe oňa ýüküň (nagruzkanyň) islendik garşylygyny birleşdirsek-de üýtgemeyär. EHG-niň generatorynyň uçlaryna

birleşdirilen ýüküň (nagruzkanyň) garşylygy $R_r = 0$ bolanda, ýüke (nagruzka) tükeniksiz uly tok akar.

Tükeniksiz uly içki garşylygy bolan hemişelik ýa-da üýtgeýän toguň çeşmesine *toguň generatory* diýilýär. Toguň generatorynyň belenleşlerinde garşylyk görkezilmeýär. Toguň çeşmesine birleşdirilen ýüküň (nagruzkanyň) $R_{yük}$ islendik garşylygynda ýükdäki (nagruzkadaky) tok onuň garşylygyna bagly bolmaýar, ýagny hemişelik galýar.

Naprýaženiýäniň we toguň hakyky (real) çeşmeleri belli ululykly içki garşylyga R_r eýedirler. Şonuň üçin hakyky çeşme EHG-niň çeşmesi we yzygider birleşdirilen R_r garşylyk



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

görnüşinde (2.2-nji a surat) ýa-da toguň çeşmesi we parallel birleşdirilen R_r garşylyk görnüşinde (2.2-nji b surat) görkezilip bilner. Ýüküň (nagruzkanyň) garşylygy naprýaženiýäniň hakyky çeşmesine birleşdirilende ýüküň (nagruzkanyň) togunyň öňküsi ýaly bolýandygy üçin 2.2-nji a we b suratlardaky çyzgylar ekwiwalentdirler.

2.3. Çeşme bilen garşylygyň sazlaşygy.

EHG-niň içki garşylygy R_r nol däl bolan hakyky (real) çeşmesi üçin ýüküň (nagruzkanyň) optimal garşylygy $R_{yük} = R_r$ bolanda, onda bölünip çykýan kuwwat maksimal bolýar. Şeýle

ýagdaýda çeşme bilen ýük (nagruzka) sazlaşykda diýilýär. Ýüküň (nagruzkanyň) garşylygynyň optimal bahasyndan islendik tarapa üýtgemesi ýükdäki (nagruzkadaky) kuwwady kiçeldýär.

Ýüküň (nagruzkanyň) garşylygy bilen üýtgeýän tok çeşmesiniň garşylygyny sazlaşdyrmak üçin sazlaşdyryjy transformatory ulanmak mümkin.

2.4. Ýygylyk häsiýetnamalary.

Güýçlendirijiniň doly häsiýetnamasy üçin güýçlendirilýän ýygylygyň ýokarky we aşaky araçäklerini görkezmek ýeterlik däl. Güýçlendirijiniň goýberijilik zolaklarynyň predellerinde güýçlendirmäniň deňölçeglilikini we zolaklaryň predellerinden daşarda güýçlendirmäniň üýtgemesiniň häsiýeti barada bilmek üçin güýçlendirilýän ýygylyklaryň F_a, \dots, F_y çäklerinde we onuň daşlarynda elektrik zynjyrynyň *naprýaženiýäni geçiriş koeffisiýenti*, 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.

Koeffisiýent

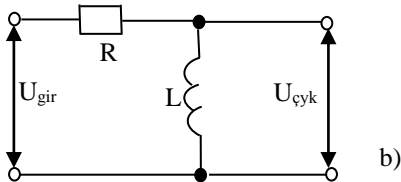
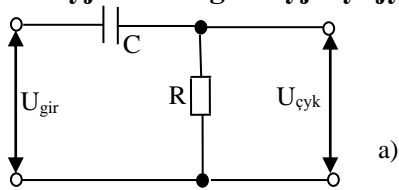
$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{|U_2| \exp j\varphi_2}{|U_1| \exp j\varphi_1} = |K| e^{j\varphi}$$

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

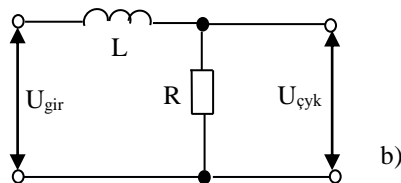
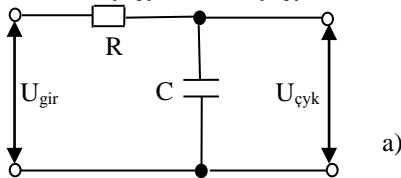
$$\begin{aligned} H(f) &= K; \quad K(j\omega) = K; \quad |H(f)| = |K|; \\ \varphi(\omega) &= \varphi_2(\omega) - \varphi_1(\omega). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Naprýaženiýäni geçiriş koeffisiýentiniň modulynyň ýygylyga baglylygyna *amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy* diýilýär. Ýygylyk üýtgände çykyşdaky we girişdäki *naprýaženiýeleriň* arasyndaky faza süýşmesiniň baglylygyna bolsa *faza-ýygylyk häsiýetnamasy* diýilýär.

2.5. Differensirleýji we integrirleýji zynjyrlar.



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



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

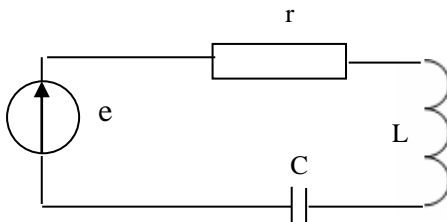
Köp radiotekniki zynjyrlarda differensirleýji we integrirleýji zynjyrlar diýlip atlandyrylýan zynjyrlar bar. 2.3-nji suratda differensirleýji zynjyrlaryň, 2.4-nji suratda bolsa integrirleýji zynjyrlaryň çyzgylary görkezilen. 2.3-nji a suratdaky differensirleýji zynjyryň geçiriş koeffisiýenti

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

2.4-nji a suratdaky integrirleýji zynjyryň geçiriş koeffisiýenti

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

2.6. Yrgyldyly kontur.



2.5-nji surat. Yzygider
ylgyldyly kontur

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

Yrgyldyly konturyň doly garşylygynyň reaktiw düzüjisiniň

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

nola deň bolandaky ýygylýgyna yrgyldyly konturyň *rezonans ýygylýgy* f_0 diýilýär:

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

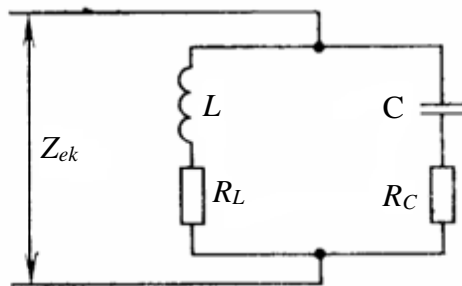
Başga söz bilen aýdylanda, rezonans ýygylýga induktiwligiň we sygymyň reaktiw garşylyklarynyň deňligi degişlidir.

Soňky deňlikden rezonans ýygylýgy üçin aňlatmany tapýarys:

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

bu ýerde $\omega_0 = 2\pi f_0$.

Konturyň rezonans ýygylýkdaky induktiwliginiň ýa-da



2.6-njy surat. Parallel ylgyldyly kontur.

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 ýygylgynyň bahalaryny ýerine goýup tapýarys:

$$\rho = \sqrt{LC} \quad (2.12)$$

Rezonans ýagdaýynda induktiwlikdäki 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

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

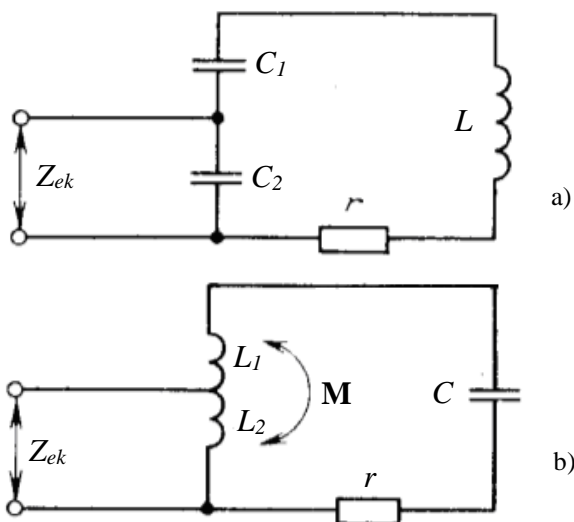
Pugtalyga ters bolan ululyga konturyň *sönmecligi* (*zatuhanıýesi*) diýilýär:

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

Konturyň rezonans ýygylgynynda 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*

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



2.7-nji surat. Bölekleyin birleşdirilen
parallel konturlar

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 bölekleyin
birleşdirmäge niýetlenen iki yrgyldyly kontur görkezilen.

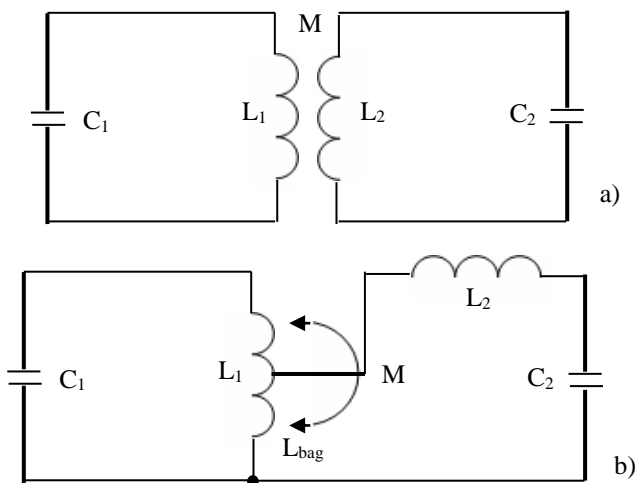
2.7. Baglanyşykly konturlar.

Radiotehniki gurluşlarda ýekeleýin konturlar bilen bir
hatarda baglanyşykly konturlar hem ulanylýar. Olar goýberiş
çäklerinde has deňölçegli ýygylýk 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,



2.8-nji surat. Induktiv-baglanyşykly konturlar:

a – transformator baglanyşyk; b –
awtotransformator baglanyşyk.

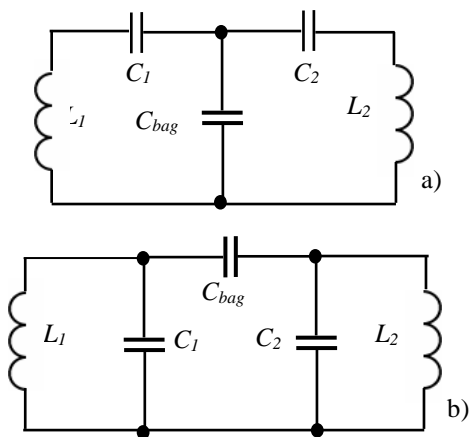
daşky baglanyşykda bolsa näçe uly boldugy-ça, şonça-da baglanyşygyň sygymy uly bolýar. İçki gowşak baglanyşykda $C_{bag} \gg C_1$ we $C_{bag} \gg C_2$ deňsizlikler, daşky gowşak baglanyşykda bolsa $C_{bag} \ll C_1$ we $C_{bag} \ll C_2$ deňsizlikler ulanylýar.

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

3. Dörtpolýuslyklar, süzgüçler we saklaýjy çyzyklar.

3.1.Dörtpolýuslyklar.

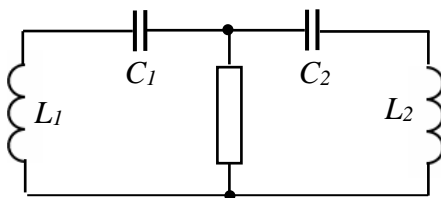
Iki sany jübüt gysgyçlary bolan elektrik zynjyryna dörtpolýuslyk diýilýär. 3.1-nji suratda iki giriş we iki çykyş gysgyçlary bolan dörtpolýuslyk görkezilen.



2.9-njy surat.

Sygym baglanyşykly konturlar:

a – içki baglanyşyk; b – daşky baglanyşyk.



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

Içinde toguň ýa-da EHG-niň çeşmesi ýok bolan dörtpolýuslyga *passiw* diýilýär. Eger-de şeýle çeşmeler bar bolsa, onda dörtpolýuslyga *aktiw* diýilýär. Şeýle hem, *çyzykly* we *çyzyksyz* dörtpolýuslyklar bolýarlar. Çyzykly dörtpolýuslyk diňe çyzykly elementleri, çyzyksyz dörtpolýuslyk bolsa diňe bir çyzykly elementler däl, şeýle hem, çyzyksyz, meselem, elektron lampalaryny we tranzistorlary özünde saklaýar.

Eger-de üýtgeýän naprýaženiýeler we toklar çyzyksyzlyk bilinmez ýaly derejede kiçi bolsalar, onda kiçi

üýtgeýän toklar we naprýaženiýeler üçin elektron lampaly we tranzistorly dörtpolýuslyk çyzykly diýip hasaplanýar.

Islendik dörtpolýuslyk dört ululyk: giriş naprýaženiýesi we togy, çykyş naprýaženiýesi we togy bilen häsiýetlendirilýär. Bu ululyklaryň diňe ikisi bagly däl. Meselem, eger dörtpolýuslygyň girişine we çykyşyna U_1 we U_2 üýtgeýän naprýaženiýäni bersek, onda olar gaty kesgitli I_1 we I_2 üýtgeýän toklary dörederler. Bagly däl üýtgeýänler hökmünde I_1 we I_2 toklary alyp, çyzykly dörtpolýuslyk üçin onuň giriş we çykyş naprýaženiýelerini we toklaryny baglanyşdyrýan iki deňlemäni alarys:

$$U_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2; \quad U_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2. \quad (3.1)$$

z_{ij} koeffisiýentlere dörtpolýuslygyň z -parametrleri diýilýär we garşylyklaryň ölçeglerine eýedirler. Umumy ýagdaýda olar kompleksdirler. Bagly däl üýtgeýänler hökmünde naprýaženiýeleri kabul edip alarys:

$$I_1 = y_{11}U_1 + y_{12}U_2; \quad I_2 = y_{21}U_1 + y_{22}U_2, \quad (3.2)$$

bu ýerde y_{ij} -parametrler geçirijilikleriň ölçeglerine eýedirler. Umumy ýagdaýda olar kompleks ululyklardyr.

Eger bagly däl üýtgeýänler hökmünde I_1 giriş togy we U_2 çykyş naprýaženiýäni alsak, onda dörtpolýuslygyň aşakdaky deňlemelerini alarys:

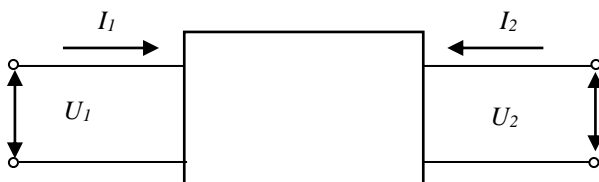
$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2; \quad I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2. \quad (3.3)$$

h_{ij} parametrler dürli ölçeglere eýedirler we olara gibril parametrler diýilýär. Olar hem umumy ýagdaýda kompleks ululyklardyr.

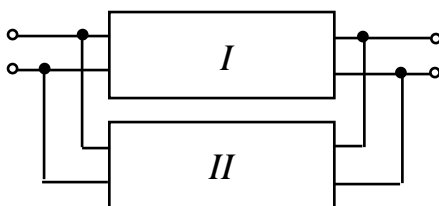
Bu parametrler aşakdaky ýaly many berýärler: h_{11} – çykyş çatyk ýagdaýynda dörtpolýuslygyň giriş garşylygy; h_{12} – giriş açyk ýagdaýynda çykyşdan girişe naprýaženiýäni geçirij ters koeffisiýenti (ölçegsiz ululyk); h_{21} – çykyş çatyk ýagdaýynda togy geçirij göni koeffisiýenti (ölçegsiz ululyk); h_{22} – giriş açyk ýagdaýynda çykyş geçirijiligi.

Deňlemeleriň ähli üç ulgamlary passiw, şeýle hem, aktiw zynjyrlar üçin giňden ulanylýar. Tranzistorly çyzyklar

üçin, meselem, h -parametrler has giň ulanylýar; ölçeg gaty ýönekeý amala aşyrylýan y -parametrler hem tranzistorly çyzgylaryň hasaplamalarynda ulanylýar.



3.1-nji surat. Dörtpolýuslyk.



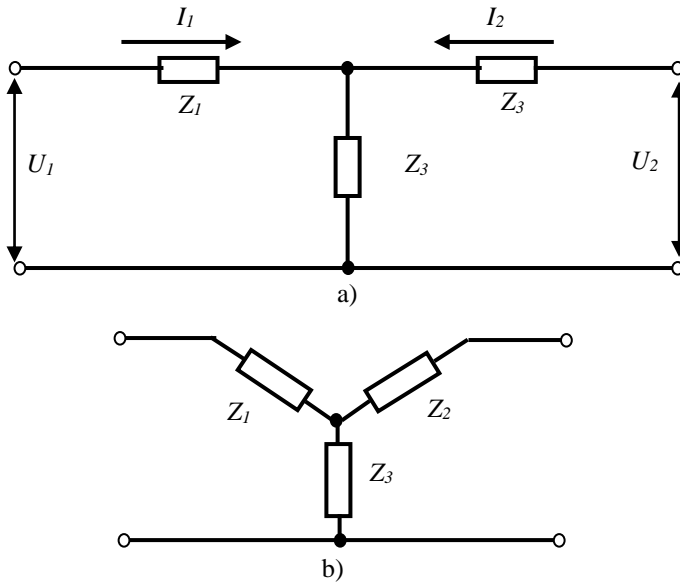
3.2-nji surat. Dörtpolýuslygyň parallel birleşmesi.

Iki sany dörtpolýuslygyň parallel birleşmesi täze bir çylşyrymly dörtpolýuslygy berýär (3.2-nji surat). Basgançakly zynjyrlar dörtpolýuslygyň kaskadly birleşmesine mysal bolup biler.

3.2.Dörtpolýuslyklaryň ekwiwalent çyzgylary.

Dörtpolýuslygyň hakyky (real) çyzgynyň ähli aýratynlyklaryny şöhlelendirýän ekwiwalent çyzgysy örän çylşyrymly bolup biler. Şeýle çyzgynyň analizini ýönekeýleşdirmek we onuň gaty aýdyňlygy üçin hakyky çyzgyny deňeşdirilende ýönekeý T- we Π -şekilli ekwiwalent çyzgylara çalyşmak mümkin. Ekwiwalentlik bolanda çyzgylarda daşky naprýaženiýeleriň we toklaryň deňligini aňladýar. 3.3-nji we 3.4-nji suratlarda çyzykly passiw dörtpolýuslyga ekwiwalent T- we Π -şekilli ekwiwalent çyzgylar görkezilen.

Hakykatdan-da, T- we Π -şekilli çyzgylar şol bir dörtpolýuslyga ekwiwalent bolmak bilen öz aralarynda hem ekwiwalentdirler.



3.3-nji surat. Dörtpolýuslygyň ekwiwalent çyzgysy:
a – T-şekilli çyzgy; b – “ýyldyz” görnüşli T-şekilli
çyzgy.

Diýmek, T-şekilli çyzgyny Π -şekilli çyzga çalşyryp bolýar we tersine. Aşakdaky gatnaşyklary ulanmak bilen T-şekilli çyzgydan Π -şekilli çyzga geçip bolar:

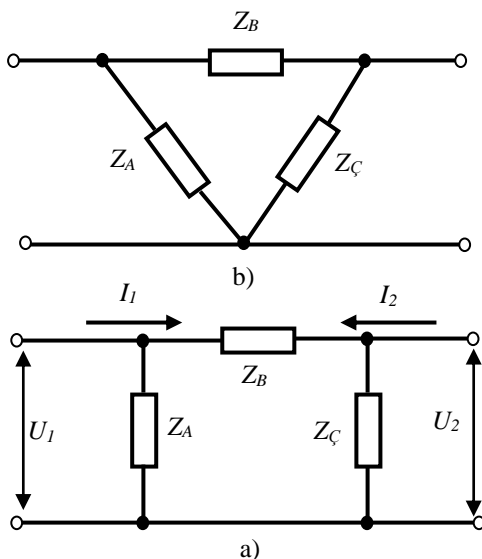
$$Z_A = \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_2}; \quad Z_B = \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_3};$$

$$Z_C = \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}{Z_1}. \quad (3.4)$$

Aşakdaky gatnaşyklary ulanmak bilen Π -şekilli çyzgydan T-şekilli çyzga geçip bolar:

$$Z_1 = \frac{Z_A Z_B}{Z_A + Z_B + Z_\varsigma}; \quad Z_2 = \frac{Z_B Z_\varsigma}{Z_A + Z_B + Z_\varsigma};$$

$$Z_3 = \frac{Z_\varsigma Z_A}{Z_A + Z_B + Z_\varsigma}; \quad (3.5)$$



3.4-nji surat. Dörtpolýuslygyň ekwiwalent çyzgysy:
a – Π -şekilli çyzgy; b – “üçburçlyk” görnüşli Π -
şekilli çyzgy.

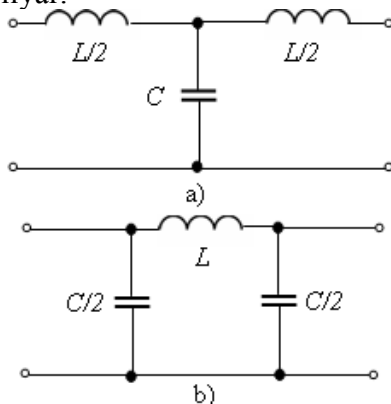
Bu gatnaşyklary çykyş çatyk we açyk ýagdaýlarda T- we Π -şekilli çyzgylardaky naprýaženiýeleri we toklary deňeşdirmek arkaly almak bolýar.

3.3. Süzgüçler.

Basgançakly zynjyrlaryň esasynda süzgüçleri gurmak bolýar. Sönmeleklik koeffisiýenti başga ýyglyklardan kesgitli zolaklarda kiçi ýa-da uly bolýan elektrik zynjyrlara *süzgüçler* diýilýär.

Meselem, *pes ýyglyklaryň süzgüçleri* 0-dan käbir $f_{\text{çäk}}$ çäk ýyglylygyna çenli geçirýärler. *Ýokary ýyglyklaryň*

süzgüçleri $f_{\text{çäk}}$ çäk ýygylgyndan ýokarky ýygylyklaryň ählisini geçirýärler. Zolak süzgüçleri $f_{\text{çäk1}}$ -den $f_{\text{çäk2}}$ -ä çenli ýygylklary geçirýärler. Režektor süzgüçleri $f_{\text{çäk1}}$ -den $f_{\text{çäk2}}$ -ä çenli ýygylklary saklap, bu diapazonyň predellerinden daşda ýatýan ýygylklary geçirýärler. Çäk ýygylklara şeýle hem, kesme ýygylklary diýilýär.



3.5-nji surat. Pes ýygylklaryň süzgüçleriniň T- we Π -şekilli halkalary.

Eger

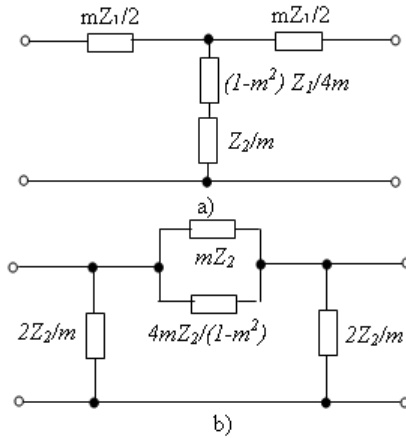
süzgüjiň halkalaryndaky Z_1 we Z_2 elementler gapma-garşylykly häsiýetli arassa reaktiw garşylyklardan durýan bolsalar (sygym we induktiwlik), onda olaryň köpeltmek hasyly

$$Z_1 Z_2 = k^2 \quad (3.6)$$

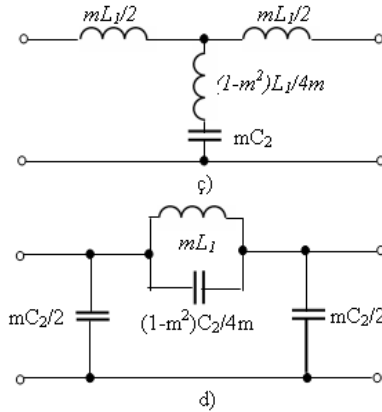
hemişelik ululyk bolup, ýygylgyga bagly bolmaýar. Şeýle süzgüçlere k görnüşli süzgüçler diýilýär.

Meselem, pes ýygylklaryň süzgüçleriniň T- we Π -şekilli halkalary (3.5-nji a we b suratlar) (3.6) şerti kanagatlandyryşlar we olar k görnüşli süzgüçlerdir.

k görnüşli süzgüji esas hökmünde alyp, täze m görnüşli süzgüji gurmak mümkin. Bu ýagdaýda k görnüşli süzgüje *prototip* diýilýär. 3.6-njy suratda m görnüşli süzgüçleriň T- we Π -şekilli halkalarynyň mysallary görkezilen. m görnüşli süzgüçleriň prototipler bilen birmeňzeş çäk ýygylklary we häsiýetnama garşylyklary bolýar.



3.6.1-njy surat. m görnüşli süzgüçleriň T- we II-şekilli halkalary. a – T-halka; b – II-halka;



3.6.2-njy surat. m görnüşli süzgüçleriň ç – pes ýygylýklaryň süzgüçleriniň T-halkasy; d – pes ýygylýklaryň süzgüçleriniň II-halkasy.

m koeffisiýent 0-dan 1-e çenli deň diýip, köplenç $m = 0,6$ diýip alýarlar. m koeffisiýentiň bahasy tükeniksiz sönmeklige degişli bolan ýygylgy kesgitleýär. Meselem, 3.6-njy ç we d suratlarda görkezilen çyzyglarda tükeniksiz sönmeklik

$$f_{\infty} = f_{\text{çäk}} / \sqrt{1 - m^2} \quad (3.7)$$

4. Bipolýar tranzistorlary we olaryň ulanylyşy.

4.1. Elektron we deşik geçirijilik.

Ähli maddalar özlerinden elektrik toguny geçirip bilijilik ukybyna görä geçirijilere, ýarymgeçirijilere we geçirmeyjilere (izolýatorlara) bölünýärler.

Atomynyň daşky örtügindäki elektronlar erkin hereketlenip, "elektron gazy" diýilýäni döredýändikleri üçin ýygylýga degişlidir. $m = 0,6$ bolanda ýygylýk $f_{\infty} = 1,25 f_{\text{çäk}}$. metallar gowy geçirijilerdir. Geçirijiligiň elektronlary diýilýän "erkin" elektronlaryň sany metalyň göwrüm birliginde $n \approx 10^{19}$ el/sm³ bolýar. Geçirmeyjilerde erkin elektronlaryň konsentrasiýasy örän az ($n \approx 10^{-2}$ el/sm³), ýarymgeçirijilerde bolsa ol temperatura güýçli bagly bolýar.

Ýarymgeçirijili enjamlar ýasalanda germaniý, kremniý, şeýle hem arsenid galliý giňden ulanylýar. Keseki garyndysy bolmadyk ýarymgeçirijä *hususy ýarymgeçiriji* diýilýär. Hususy ýarymgeçirijilerde elektronlaryň we deşikleriň konsentrasiýasy deňdir. Oňa hususy konsentrasiýa diýilýär we n_i bilen belgilenýär:

$$n_i^2 = AT^3 \exp(-\Delta E_{go} / kT), \quad (4.1)$$

bu ýerde A – proporsionallyk koeffisiýenti; T – absolýut temperatura; ΔE_{go} – elektrony walentlik zonasyndan geçirijilik zonasyna çykarmak üçin oňa bermeli minimal energiýa deň bolan 0°K ýagdaýdaky gadagan edilen zonanyň ini; k – Bolsmanyň hemişeligi.

Kremniý üçin $\Delta E_{go} = 1,21$ eW, germaniý üçin bolsa $\Delta E_{go} = 0,78$ eW. Komnat temperaturasynda ($T = 290^\circ\text{K}$) kremniý üçin $n_i \approx 10^{10}$, germaniý üçin bolsa $n_i \approx 2 \cdot 10^{13}$ el/sm³.

Elektrik meýdanynyň täsiri astynda elektronlaryň we deşikleriň hereketlenip bilijilik ukybyna süýşmeklik diýilýär. Süýşmeklik meýdanyň güýjenmesi bire deň ýagdaýynda elektrik toguny göterijiniň (elektronyň we deşigiň) tizligine deňdir.

Ýarymgeçirijiniň udel geçirijiligi

$$\sigma = nq\mu_n + pq\mu_p, \quad (4.2)$$

bu ýerde μ_n we μ_p – elektronlaryň we deşikleriň süýşmekligi; q – elektronyň zarýady.

Kremnide we germanide elektronlaryň süýşmekligi deşikleriň süýşmekliginden 2–2,5 esse ýokary bolýar, şonuň üçin hususy ýarymgeçirijilerde geçirijilik, esasan elektron häsiýete eýedir. Kremniniň udel garşylygy germaniniňkä seredende gaty köpdür. Komnat temperaturasynda (25°C) kremniniň udel garşylygy $2,3 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$ ($0,23 \text{ M}\Omega \cdot \text{sm}$), germaniniň udel garşylygy bolsa $0,60 \text{ }\Omega \cdot \text{m}$ ($60 \text{ }\Omega \cdot \text{sm}$) bolýar. Metallardan tapawutlylykda hususy ýarymgeçirijileriň udel garşylygy temperaturanyň ulalmagy bilen ösmän, eýsem kemelýär.

4.2. Garyndyly ýarymgeçirijiler.

Geçirijiligi donor we akseptor garyndylary diýip atlandyrylýanlar bilen kesgitlenýän ýarymgeçirijiler ýarymgeçirijili enjamlarda giňden ulanylýar. Periodik ulgamynyň V toparynyň fosfor, myşýak we surma ýaly elementleri donor, III toparynyň bor, galliý we indiý ýaly elementleri bolsa akseptor garyndylary hökmünde ulanylýarlar.

Ýarymgeçirijä garyndy girizilende onuň kristallik gözenegindäki käbir atomlar garyndynyň atomlary bilen çalşyrylýar. Donor ýa-da akseptor garyndylaryň konsentrasiýasy ýarymgeçirijiniň göwrüm birligindäki garyndylaryň atomlarynyň sany bilen häsiýetlendirilýär we degişlilikde N_D we N_A bilen belgilenýär.

Donor garyndyly ýarymgeçirijä n -görnüşli, akseptor garyndyly ýarym-geçirijä bolsa p -görnüşli ýarymgeçiriji diýilýär. Donor garyndyly ýarymgeçirijide elektronlara *esasy*, deşiklere bolsa *esasy däl göterijiler* diýilýär we tersine.

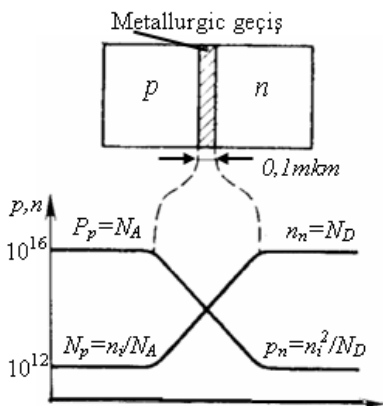
4.3. Elektron-deşik geçiş. Tekiz ýarymgeçirijili diod.

p -görnüşli geçirijilikli materialdan n -görnüşli geçirijilikli materiala aýdyň (birbada) we saldamly (ýuwaşdan) geçişi döretmek mümkin. Aýdyň p - n -geçişi dürli geçirijilikli materiallary eretmek bilen, saldamly p - n -geçişi bolsa ony ýörite gaz ýagdaýynda ösdürmek bilen alyp bolýar.

4.1-nji suratda konsentrasiýanyň p -görnüşli geçirijilikden n -görnüşli geçirijilige üýtgemesi 0,1 mkm derejeli aralykda bolup geçýän splaw ýa-da metallurgik geçiş görkezilen. Garyndynyň geçişniň araçäginiň ýanyndaky atomlarynda deşikler we elektronlar bolmaýar. Iki materialyň aralygynda döreýän erkin göterijileri ýok gatlag *garyplaşan gatlak* diýilýär.

p - n -geçiş togy islendik tarapa birmeňzeş gowy geçirýän omluk kontaktlar bilen üpjün edip, tekiz diody alarys. 4.2-nji suratda tekiz germaniý we kremniý diodlarynyň wolt-ampere häsiýetnamalary görkezilen. Toklaryň otrisatel bahalary üçin ordinata okunyň masştaby položitel bahalarynyňkydan birnäçe esse uludyr.

Ýarymgeçirijili diodlar bilen bir hatarda radioelektronikada nokatlanç ýarymgeçirijili diodlar giňden ulanylýar. Şeýle diody, meselem, metaldan ýasalan ujy ýiteldilen sarym ýaly sim bilen ýarymgeçiriji materialy seplesdirip alyp bolýar. Adatça nokatlanç kontaktyň berkligi üçin metal bilen ýarymgeçirijiniň elektrik kebsirlemesi amala aşyrylýar.

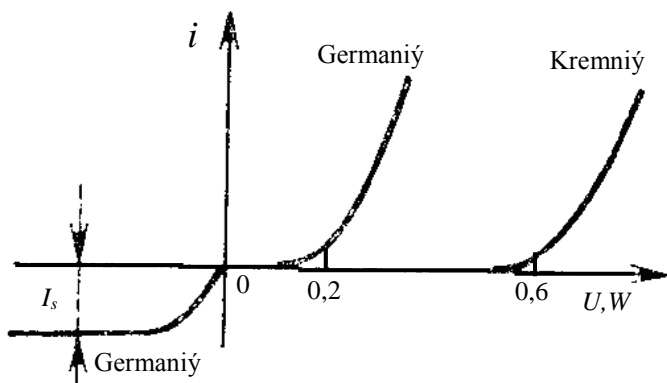


4.1-nji surat. Metallurgik p - n -geçiş we p - n -geçişniň iki tarapy boýunça garyndylaryň konsentrasiýasy

Tekiz ýapyjy naprýaženiýäniň bahasynyň üýtgemegi bilen sygymyň üýtgemegi bolup geçýän ýörite ýasalan diodlara *warikaplar* diýilýär. Ýygylgy köpeldijilerde warikaplara *waraktorlar* diýilýär. Warikaplar ýygylgy awtosazlaýjy çyzgylarda, şeýle hem parametrik güýçlendirijilerde we özgerdijilerde ulanylýar. Warikapyň esasy parametri ýygylgyga bagly bolan pugtalygydyr (dobrotnostydyr).

Kiçi naprýaženiýeleri stabilleşdirmek üçin ulanylýan ýörite diodlara *stabistorlar* diýilýär.

Birnäçe birlikden birnäçe onlarça we eýsem ýüzlerçe wolt naprýaženiýäni stabilleşdirmek üçin ulanylýan ýörite ýasalan tekiz kremniý diodlara *stabilitronlar*, şeýle hem

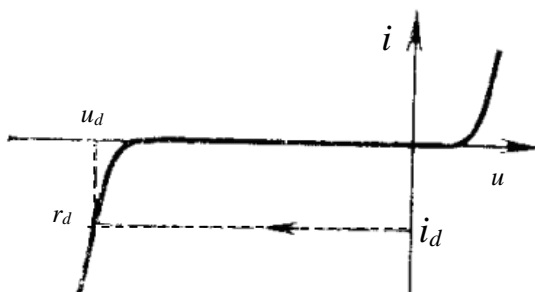


4.2-nji surat. Ýasy germaniý we kremniý diodlarynyň wolt-ampere häsiýetnamalary

dayanç diodlary diýilýär. Stabilleşdirmek üçin diodyň böwsülme (proboý) zolagyna degişli bolan häsiýetnamasynyň ters şahasy ulanylýar. 4.3-nji suratda ýarymgeçirijili stabilitronyň wolt-ampere häsiýetnamasy görkezilen.

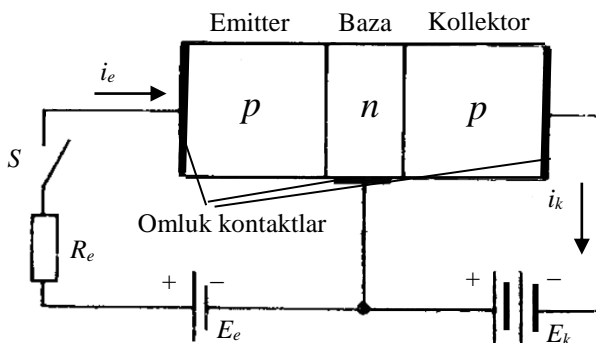
4.4. Tranzistor.

Iki sany $p-n$ -geçişi 4.4-nji suratda görkezilişi ýaly biri-birinden uly bolmadyk aralykda ýerleşdirip tekiz tranzistory



4.3-nji surat. Ýarymgeçirijili stabilitro-nyň wolt-amper häsiýetnamasy.

alyň bolýar. Çepdäki emitter p - n -geçişde göni ugurda, sagdaky kollektor p - n -geçişde bolsa ters ugurda garyşdyrma döredilýär. Ýarymgeçirijide, emitter we kollektor p - n -geçişleriň arasynda döran zolaga baza diýilýär. Bazanyň iki gapdalyndaky zolaklara deňişlilikde emitter we kollektor diýilýär.

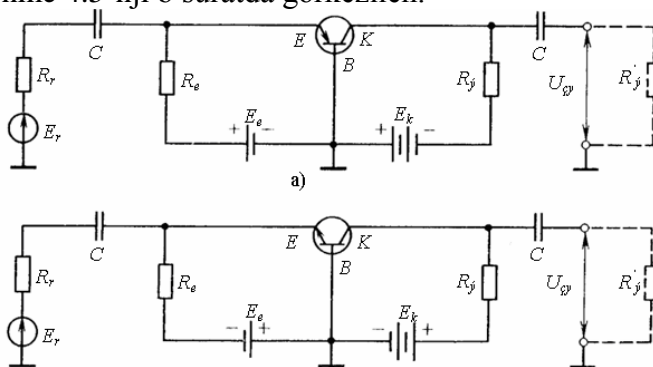


4.4-nji surat. Tranzistor.

4.4-nji suratda haçanda S açar açyk bolanda, emitter zynjyrynda tok ýok. Bu ýagdaýda kollektoryň zynjyrynda kollektoryň ters togy diýilýän we I_{KBT} bilen belgilenýän (indeksdäki T harpy "ters" sözden) uly bolmadyk tok bolýar.

Emitter zynjyrynda açaryň çatylmagy bu zynjyryda toguň döremegine getirýär, ýagny emitter p - n -geçişiň göni ugurda garyşdyrmasy emitterden baza geçýän deşikler üçin we bazadan emittere geçýän elektronlar üçin potensial barýeri

peseldýär. Bizi kollektor toguny köpeldýändigleri üçin, diňe emitterden baza geçýän artykmaç deşikler gyzyklandyrýarlar. 4.4-nji suratda emittere we kollektora umumy nokadyň roluny oýnaýan baza görä hemişelik naprýaženiýe berilýändigini üçin tranzistoryň şeýle birleşdiriliş çyzgysyna umumy bazaly (UB) çyzgy diýilýär. Bu çyzgyny naprýaženiýäni güýçlendirijä özgertmek aňsat. Onuň üçin emitteriň zynjyryna güýçlendirmek gerek bolan üýtgeýän naprýaženiýäniň çeşmesini, kollektoryň zynjyryna bolsa üstünden güýçlendirilen üýtgeýän naprýaženiýäni almak üçin niýetlenen ýüküň (nagruzkanyň) garşylygyny birleşdirýärler. Şeýle güýçlendirijiniň çyzgysy 4.5-nji a suratda görkezilen. Bu çyzgyda $p-n-p$ -görnüşli tranzistoryň umumy kabul edilen şertli belgilenmesi ulanylan. $n-p-n$ -görnüşli tranzistor üçin şertli belgilenme 4.5-nji b suratda görkezilen.

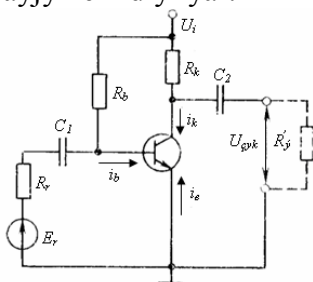


4.5-nji surat. UB güýçlendiriji. a – $p-n-p$ -görnüşli tranzistor; b – $n-p-n$ -görnüşli tranzistor.

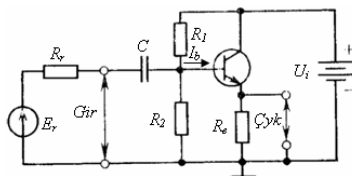
Has köp ýagdaýlarda tranzistorlar emitteri giriş we çykyş naprýaženiýeleriniň umumy birleşmesi bolup hyzmat edýän umumy emitterli (UE) çyzgylary boýunça birleşdirilýär. 4.6-njy suratda UE güýçlendirijiniň ýönekeý çyzgysy berlen. Çyzgyda emitteriň, bazanyň we kollektoryň toklarynyň položitel hökmünde kabul edilen ugurlary görkezilen.

4.7-nji suratda bolsa umumy kollektorly (UK) çyzgy görkezilen. Oňa başgaça emitterdäki naprýaženiýäniň

polýarlygy boýunça girişdäki naprýaženiýe bilen gabat gelýändigini we bahasy boýunça oňa ýakynlygy üçin emitter gaýtalaýjy hem diýilýär.

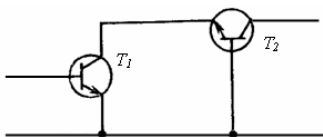


4.6-njy surat. UE güýçlendirijiniň ýönekeý çyzygysy.

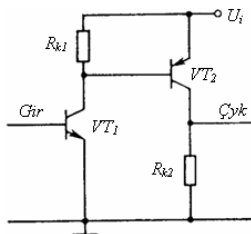


4.7-njy surat. Emitter gaýtalaýjy.

Adatça güýçlendiriji birnäçe kaskaddan durýar. Güýçlendirijiniň kaskad-larynyň köpdürli zygider seplesdirilmesiniň birine *kaskod çyzygysy* diýilýär. Onuň birinji kaskadynda tranzistor UE çyzygy, ikinji kaskadynda bolsa tranzistor UB çyzygy boýunça seplesdirilendir (4.8-njy surat). Birleşdirmäniň kaskod çyzygysy diňe bir rezistorly güýçlendirijilerde däl, eýsem rezonans güýçlendirijilerde-de, şeýle hem meýdan tranzistorlary we elektron lampalary peýdalanylanda-da ulanylýar.



4.8-njy surat. Tranzistorlaryň kaskodly seplesdirilmesi.



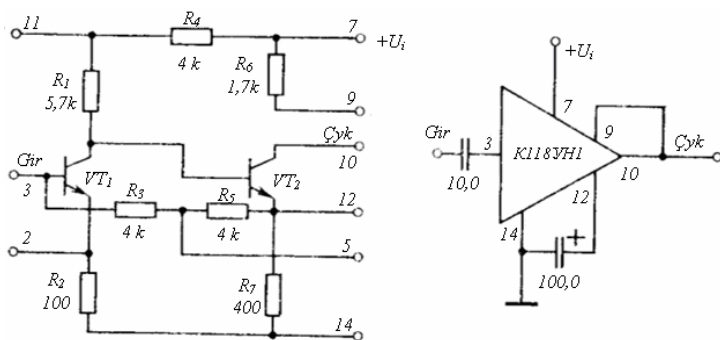
4.9-njy surat. Komplementar tranzistorlaryň UE kaskadly birleşdirilmesi.

Komplementar tranzistorlardan durýan UE iki güýçlendirijiniň kaskadly birleşdirilmesi güýçlendirijileriň kaskadly birleşdirilmesiniň giňden ulanylýan çyzygysydyr (4.9-njy surat). Onuň birinji kaskady UE *n-p-n*-görnüşli

tranzistorda, ikinji kaskady bolsa $p-n-p$ -görnüşli tranzistorda düzülen.

4.5. Integral mikroçatgylar.

Signaly özgertermegiň we işläp taýýarlamagyň kesgitli wezipesini ýerine ýetirýän we elektriki birleşdirilen elementleriň (ýa-da elementleriň we komponentleriň) we (ýa-da) kristallaryň ýokary dykzlygy bolan mikroelektron önüme *integral mikroçatgy* ýa-da *mikroçatgy* diýilýär. Ol hasaba alynanda we ulanylanda bir zat hökmünde kabul edilendir. Integral mikroçatgynyň haýsydyr bir elektroradioelementiň wezipesini ýerine ýetirýän, kristaldan ýa-da onuň düşekçesinden (podložkadan) aýratynlykda ýasalan, aýratyn önüm hökmünde görkezip bolmaýan bölegine *integral mikroçatgynyň elementi* diýilýär.



4.10-njy surat. Ýarymgeçirijili K118VH1 mikroçatgynyň prinsipial çyzgysy
(a) we onuň bir tipli çatlyş çyzgysy.

Integral mikroçatgynyň radioelementiň wezipesini ýerine ýetirýän, synag, kabul, üpjün etmeleriň we ulanmagyň talaplary nukdaý nazardan aýratyn önüm hökmünde görkezip bolýan bölegine *integral mikroçatgynyň komponenti* diýilýär.

Eger ähli elementler we elektrodларыň arasyndaky birleşmeler ýarym-geçirijiniň içinde we üstünde ýerine ýetirilen bolsa, onda oňa *ýarymgeçirijili integral çatgy* diýilýär. Eger-de elementler we elektrodларыň arasyndaky birleşmeler ýukajyk gat görnüşinde ýerine ýetirilen bolsa, onda oňa *gatly (plyonkaly) integral çatgy* diýilýär. 4.10-njy suratda iki

kaskadly tranzistorly K118YH1 güýçlendirijiniň çyzgysy we onuň bir tipli çatylyş çyzgysy görkezilen.

Ýarymgeçiriji plastinanyň içinde we üstünde ýarymgeçirijili integral çatgynyň elementleri, elementleriň arasyndaky birleşmeler we daşyna çykýan uçlar hem-de seplemeler birleşdirilýän kontakt meýdançalary döredilen bölegine *kristal* diýilýär.

Bir integral mikroçatgydaky elementleriň we komponentleriň sany onuň integrasiýa derejesini kesgitleýär. 1-nji derejeli integrasiýaly mikroçatgy 10-a çenli, 2-nji derejeli – 10–100, 3-nji derejeli – 100–1000, 4-nji derejeli – 10^3 – 10^4 , 5-nji derejeli – 10^4 – 10^5 elementleri we komponentleri özünde jemläp bilýär. 1-nji we 2-nji derejeli integrasiýaly çatgylara integral (IÇ), 3-nji derejeli integrasiýaly çatgylara orta (OIÇ), 4-nji derejeli integrasiýaly çatgylara uly (UIÇ), 5-nji derejeli integrasiýaly çatgylara bolsa aşa uly (AUIÇ) integral mikroçatgylar diýilýär.

5. Meýdan tranzistorlary we olaryň ulanylyşy.

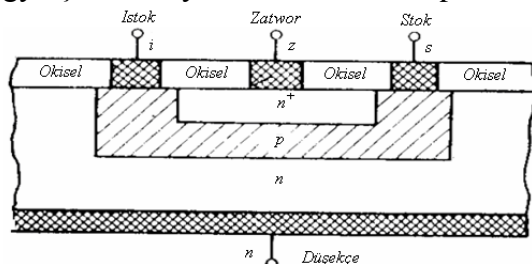
5.1. Meýdan tranzistorlary.

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

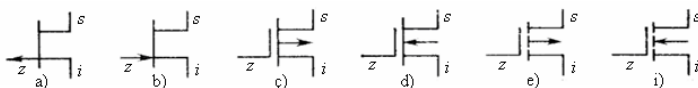
Geçen bapda öwrenilen bipolar tranzistorlarynda elektrik toguny görterijileriň iki görnüşi (esasy we esasy däl) aýgytly rol oýnaýardy. Meýdan tranzistorlarynda tok görterijileriň esasy görnüşi bilen döredilýär, görterijileriň esasy däl görnüşi aýgytly rol oýnamaýar. Şonuň üçin tranzistorlary biri-birinden tapawutlandyrmak üçin adaty tranzistorlara *bipolýar*, meýdan tranzistorlaryna bolsa *unipolýar* diýilýär.

Bipolýar tranzistorlarynda çykyş toguny dolandyrmak bazanyň ýa-da emitteriň giriş togunyň kömegi bilen amala aşyrylýar. Bu kiçi giriş garşylygy bilen baglydyr. Köp ýagdaýlarda bu ýetmezçilik däl-de, artykmaçlykdyr. Meselem,

kiçi giriş garşylygynda keseki napryaženiýeleriň her dürli täsir etmeleri uly giriş garşylygyndakydan ep-esli az bolýar. Şeýle-de bolsa käwagt örän uly giriş garşylygy juda zerur bolýar. Meýdan tranzistornyň giriş garşylygy elektrik meýdany bilen dolandyrylýandygy sebäpli hemişelik tok we üýtgeýän toguň pes ýygylgy üçin has uly 10^8-10^{15} Om bolup biler.



5.1-nji surat. Dolandyryşy $p-n$ -geçişli we p -görnüşli kanally meýdan tranzistornyň çyzgyda şekillendirilişi.



5.2-nji surat. Meýdan tranzistorlarynyň şertli belgilenişi.

a – $p-n$ -geçişli p -görnüşli kanally meýdan tranzistor; b – şeýle n -görnüşli kanally; ç – p -görnüşli oturdylan kanally MOÝ-tranzistor; d – şeýle n -görnüşli kanally; e – p -görnüşli indusirlenen kanally MOÝ-tranzistor; i – şeýle n -görnüşli kanally.

Meýdan tranzistorlarynyň ýasalyş tehnologiýasy bipolarlaryň ýasalyşyndan gaty ýönekeýdir. Meýdan tranzistorlary mikroçatgylarda bir tranzistora ep-esli kiçi meýdan eýeleýärler we has kiçi tok ulanýarlar. Bu bolsa kremniniň 4×5 mm ölçegli bir plastinkasynda birnäçe münden onlarça mün tranzistorlary we rezistorlary özünde jemleýän uly we aşa uly integral mikroçatgylary döretmäge mümkinçilik berýär. Şeýle mikroçatgylar, meselem, mikrokalkulýatorlarda, elektron el sagatlarynda we göterilýän (mobil) telefonlarda ulanylýar.

5.1-nji suratda dolandyryşly $p-n$ -geçişli meýdan tranzistornyň düzülişiniň çyzgyda şöhlelendirilişi görkezilen.

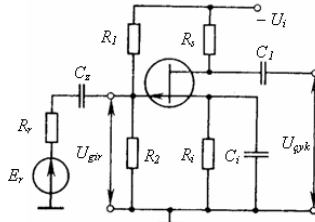
Dolandyryşly $p-n$ -geçişli meýdan tranzistorlary diňe p -görnüşli geçiriji kanally däl, eýsem n -görnüşli kanally hem ýasalýar.

Izolirlenen kanally meýdan tranzistorlaryna başgaça *MOÝ-tranzistorlar* ýa-da *MDÝ-tranzistorlar* hem diýilýär. Bu gysgaldylan atlar olaryň düzümini görkezýär: metal-okisel-ýarymgeçiriji we metal-dielektrik-ýarymgeçiriji. Izolirlenen kanally meýdan tranzistorlarynyň esasy iki sany görnüş bolýar: oturdylan kanally we indusirlenen kanally tranzistorlar.

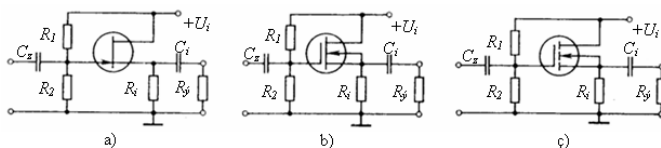
Prinsipial çyzgylarda meýdan tranzistorlarynyň şertli belgilenişi 5.2-nji suratda görkezilen.

5.2. Meýdan tranzistorynda düzülen güýçlendirijiler.

Meýdan tranzistorlarynda hem köp dürli güýçlendirijileri gurmak mümkin. Dolandyryşly $p-n$ -geçişli meýdan tranzistorynda düzülen rezistor güýçlendirijisi 5.3-nji suratda görkezilen. Güýçlendirijide R_i rezistoryň üstünden istok (girelge) togunyň akyp geçmegi netijesinde döreýän awtomatiki süýşürme ulanylan. Bu süýşürme R_2 rezistoryň üstünden meýdan tranzistorynyň zatworyna (burmasyna) düşýär-de, $p-n$ -geçişi ters ugra süýşürýär.



5.3-nji surat. Dolandyryşly $p-n$ -geçişli p -görnüşli kanally meýdan tranzistorynda düzülen rezistor güýçlendirijisiniň çyzgysy.



5.4-nji surat. Istok (girelge) gaýtalaýjylarynyň çyzgylary. a – dolandyryşly $p-n$ -geçişli tranzistorda, b – oturdylan kanally MOÝ-tranzistorda, c – indusirlenen kanally MOÝ-tranzistorda.

5.4-nji suratda istok (girelge) gaýtalaýjylarynyň çyzgylary görkezilen. Ähli üç çyzgyda hem istok (girelge) togunyň başlangyç bahasy zatworyň (burmasynyň)

zynjyryndaky bölüjiniň we istogyň (girelgäniň) zynjyryndaky rezistoryň kömegi bilen saklanýar.

6. Elektron lampalary we olaryň ulanylyşy.

6.1. Termoelektron emissiýasy. Diod. Triod.

Elektrik ululyklaryny her hili kysmy özgertmek üçin niýetlenen elektron elektrowakuum guralyna elektron lampasy diýilýär.

Elektron lampalarynda *termoelektron emissiýa* hadysasy – *katod* diýip atlandyrylýan elektrodan gyzdyrylanda onuň üstünden elektronlaryň şöhlelenmesi ulanylýar. Ýylylygyň täsiri bilen käbir elektronlar katody zyňyp gidip biljek tizlige eýe bolýarlar. Elektron lampalarynda elektronlary şöhlelendirýän katoddan başga hemişe *anod* diýilýän elektrod bolýar. Anod haçan-da elektronlara katoddan anoda tarap hereket etmäge mejbur edýän anod bilen katodyň arasynda položitel naprýaženiýe berilende elektronlary jemleýär.

Içinde elektronlara gazyň molekulalary bilen praktiki çakyşman, erkin hereket etmäge mümkinçilik berýän ýokary wakuum saklanýan aýna ýa-da metal gaba ýerleşdirilen katod we anod iki elektrodly elektron lampasyny – *diody* emele getirýär. Diodlar dürli elektron çyzgylarynda, meselem, detektirlemede we signallaryň amplituda çäklendirmelerinde ulanylýar.

Iýmit çeşmelerinde üýtgeýän togy göneltmek üçin ulanylýan diodlara *kenotronlar* diýilýär.

Katod bilen anodyň arasynda dolandyryjy elektrod – setka ýerleşdirilen üç elektrodly elektron lampasyna *triode* diýilýär.

6.2. Köpelektrodly we kombinirlenen elektron lampalary.

Elektron lampasynda katod bilen anodyň arasynda bir däl, birnäçe setka ýerleşip biler. Üstlerinden elektronlaryň umumy akymy geçýän birden köp setkaly elektron lampalaryna *köpelektrodly* diýilýär. Iki setkaly lampada dört elektrod bolup, *tetrod* diýilýär. Soňra elektrodalaryň sany boýunça bäs elektrodly *pentode*, alty elektrodly lampasyna – *geksode*, käwagt

setkanyň sany boýunça *pentagrid* diýilýän, ýedi elektrodly – *geptod* we sekiz elektrodly lampa – *oktod* gidýär.

Elektron lampasynyň bir gabynda elektrodларыň elektronларыň baglanyşyksyz akymлары bolan birnäçe ulgamlary ýerleşip biler, meselem, iki üçlük ulgamlar – *ikileýin triod*. Şeýle elektron lampalaryna *kombinirlenen* diýilýär. Ikileýin trioddan başga *ikileýin diod – triod* (iki diod we triod), *triod – pentod*, *triod – geksod* we başga kombinirlenen lampalar ýasalýar. Kombinirlenen lampalary emele getirýän, umumy gaby we nakalyň zynjyrlary bilen birleşdirilen, emma hakykatda aýratyn elektron lampalary baglanyşyksyz, olaryň bilelikdäki ulanyşlaryny talap edýän çyzyklarda hem baglanyşyksyz ulanylýar. Meselem, güýçlendirijilerde ikileýin triod iki baglanyşyksyz kanallarda ýa-da bir ikitaktly güýçlendiriji kaskadynda ulanylyp bilner.

7. Güýçlendiriji gurluşlarda ters baglanyşyk.

7.1. Ters baglanyşykly güýçlendirijiniň düzümi çyzygy.

Ters baglanyşyk dürli radioelektron gurluşlarda giňden ulanylýar. Ol gurluşyň çykyşyndan onuň girişine naprýaženiýäniň ýa-da toguň bölegini bermek bilen amala aşyrylýar.

Ters baglanyşyk, meselem, ýokary ýa-da pes ýygyllykly yrgyldylary generirleýän awtogeneratorlarda ulanylýar; ony güýçlendirijilerde has giňden peýdalanýarlar.

Eger awtogeneratorlarda yrgyldyny saklaýan položitel ters baglanyşyk ulanylýan bolsa, güýçlendirijilerde bolsa, adatça, çyzyksyz ýoýulmalary we güýçlenmäniň durnuksyzlygyny kiçeltmäge, şeýle hem giriş we çykyş garşylyklary zerur tarapa üýtgetmäge mümkinçilik berýän otrisatel ters baglanyşyk ulanylýar.

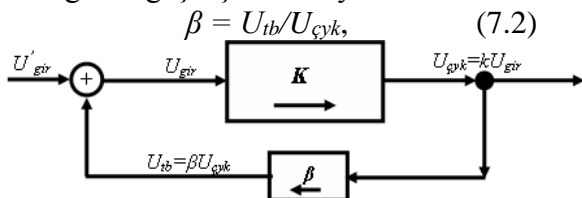
Ters baglanyşykly güýçlendirijiniň düzümi çyzygysyny iki güýçlendiriji görnüşinde görkezmek bolar (7.1-nji surat).

Ýokarky güýçlendirijiniň ugur görkezgiç bilen görkezilen ugurda naprýaženiýäni geçiriş koeffisiýenti

$$K = U_{\text{чык}}/U_{\text{гир}}, \quad (7.1)$$

bu ýerde $U_{çyk}$ – güýçlendirijiniň çykyşyndaky naprýaženiýe; U_{gir} – onuň girişindäki naprýaženiýe.

Aşaky güýçlendiriji ters baglanyşygyň naprýaženiýesini geçirmek üçin niýetlenen. Onuň ugur görkezgiç bilen görkezilen ugurda geçiriş koeffisiýenti



7.1-nji surat. Ters baglanyşykly güýçlendirijiniň düzümlü çyzgysy.

bu ýerde U_{tb} – güýçlendirijiniň çykyşyndan onuň girişine berilýän ters baglanyşygyň naprýaženiýesi. Bu naprýaženiýe çykyş naprýaženiýesiniň bir bölegidir. β koeffisiýent çykyş naprýaženiýesiniň haýsy böleginiň girişe berilýändigini görkezýär, şonuň üçin oňa ters baglanyşygyň koeffisiýenti diýilýär. Adatça $|\beta| \leq 1$, şonuň üçin aşaky güýçlendirijiniň deregine passiw çyzyksyz dörtpolýuslygy ulanmak mümkin. Hakyky (real) aktiw we passiw dörtpolýuslyklaryň adaty ters ugurda noldan tapawutly geçiriş koeffisiýentleri bolýar, ýöne ters baglanyşygyň teoriýasynda olar nola deň diýip çen edilýär.

Ters baglanyşyk bilen gurşap alnan güýçlendirijiniň girişindäki naprýaženiýe

$$U_{gir} = U'_{gir} + U_{tb} = U'_{gir} + \beta U_{çyk}.$$

Güýçlendirijiniň çykyşyndaky naprýaženiýe

$$U_{çyk} = K U_{gir} = K(U'_{gir} + \beta U_{çyk}).$$

Hakykatdan-da, ters baglanyşyk bilen gurşap alnan güýçlendiriji üçin

$$K' = U_{çyk}/U'_{gir} = K + \beta K K',$$

bu ýerden

$$K' = K/(1 - \beta K). \quad (7.3)$$

Ters baglanyşyksyz güýçlendiriji bilen ters baglanyşyk bilen gurşap alnan güýçlendirijiniň güýçlendiriş koeffisiýentini baglanyşdyran bu alnan gatnaşyk ters baglanyşykly güýçlendirijileriň teoriýasynyň esasy gatnaşygydyr. βK ululyk

ters baglanyşygyň halkasynyň güýçlendirmesini häsiýetlendirýär.

Hakykatda, eger $K' = K/(1 - \beta K)$, onda $|\beta K| \gg 1$ ýagdaýda

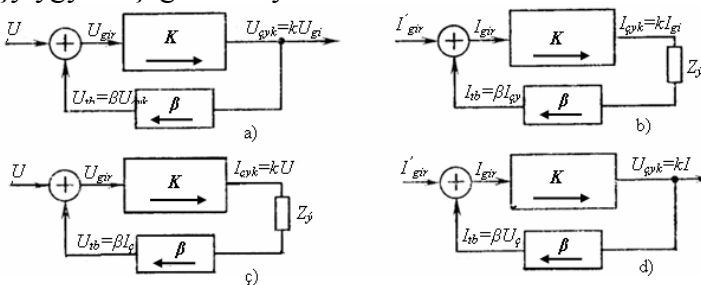
$$K' \approx -1/\beta. \quad (7.4)$$

7.2. Ters baglanyşygyň görnüşleri.

7.2-nji a suratda eýýäm sereden çyzgymyz görkezilen, emma 7.2-nji b suratda bolsa ondan tapawutly, çykyşdaky naprýaženiýäniň deregine toguň bir bölegi alynýar we girişdäki tok bilen goşulýar. 7.2-nji a suratdaky çyzga naprýaženiýe boýunça ters baglanyşygyň yzygider berilme çyzgysy, 7.2-nji b suratdaka bolsa tok boýunça ters baglanyşygyň parallel berilme çyzgysy diýilýär.

7.2-nji b suratdaky çyzgy üçin K we β ululyklar toguň geçiriş koeffisiýentleridir hem-de (7.3) we (7.4) aňlatmalar naprýaženiýe üçin däl-de, toguň geçiriş koeffisiýenti üçin adalatlydyr.

7.2-nji ç suratda tok boýunça yzygider ters baglanyşyk görkezilen. Bu ýerde K – güýçlendirijiniň çykyşyndaky togy onuň girişindäki naprýaženiýe bilen baglanyşdyrýan koeffisiýent. K koeffisiýent geçirijiligiň, β koeffisiýent bolsa garşylygyň ölçeglerine eýedirler.



7.2-nji surat. Ters baglanyşygyň görnüşleri.

a – naprýaženiýe boýunça yzygider ters baglanyşyk; b – tok boýunça parallel ters baglanyşyk; ç – tok boýunça yzygider ters baglanyşyk; d – naprýaženiýe boýunça parallel ters baglanyşyk.

7.

2-nji d suratdaky çyzga naprýaženiýe boýunça parallel ters

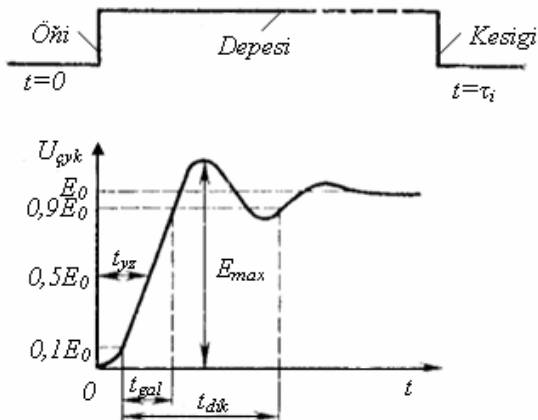
baglanyşygyň çyzgysy diýilýär. Onuň üçin K koeffisiýent geçirişin garşylygydyr.

8. Impuls güýçlendirijileri.

8.1. Impuls güýçlendirijileriniň geçiş häsiýetnamalary.

Impuls güýçlendirijileri ýygylklaryň giň spektrinde impulsary güýçlendirmek üçin niýetlenendir. Güýçlendirilýän yrgyldylaryň aşaky ýygylgy 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 öňi (fronty) bolan ýeterlik uly dowamlylykly τ_i gönüburçly impuls berilýär (8.1-nji a surat).



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

Güýçlendirijiniň çykyşynda öňi (fronty) we depesiniň başky bölegi 8.1-nji b suratda görkezilen görnüşdäki ýaly impuls görüner.

8.1. Rezistor güýçlendirijisiniň ýygylýk korrektsiýalary.

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

Güýçlendirilýän orta ýygylýklaryň çäklerinde güýçlendirme koeffisiýenti $K_{or} = -SR$.

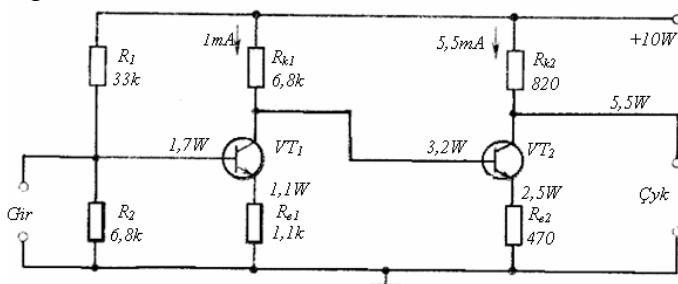
Güýçlendirilýän ýokary ýygylýklaryň çäklerinde $K_y = -SZ$, Z – ýüküň (nagruzkanyň) R we C şuntirleýji sygymyň garşylyklaryndan durýan doly garşylygy. C sygymyň şuntirleýji täsirini kiçeltmek üçin korrektirleýji induktiwligi birleşdirýärler. 8.2-nji suratda şeýle çyzgylaryň iki: parallel we yzygider görnüşleri görkezilen. Pes ýygylýklaryň çäklerindäki korrektsiýalaryň çyzgysy 8.3-nji suratda görkezilen. Ol R ýüküň (nagruzkanyň) garşylygy bilen $R_f C_f$ zynjyry yzygider birleşdirmek arkaly amala aşyrylýar. R garşylyga $R_f C_f$ zynjyryň garşylygynyň goşulmagy ýüküň (nagruzkanyň) ýygylýk kiçelendäki umumy garşylygyny köpeldýär we pes ýygylýklaryň çärlinde $C_{böl} R_y$ zynjyryň geçiriş koeffisiýentiniň kiçelmesini kompensirleýär.

9. Differensial we operasion güýçlendirijiler.

9.1. Kaskadlaryň arasyndaky göni baglanyşyk.

Diňe üýtgeýän naprýaženiýeleri ýa-da toklary güýçlendirmek däl, eýsem güýçlendirme bilen hemişelik düzüjiniň derejesini geçirmäge ukypli gurluşlara hemişelik toguň güýçlendirijileri diýilýär. Hakykatdan-da,

güýçlendirijiniň aşaky çäk ýygylgy nola deň, ýokarkysy bolsa örän pes, şeýle hem örän ýokary, meselem, birnäçe megagerse deň bolup biler.



9.1-nji surat. Göni baglanyşykly iki kaskadly güýçlendiriji.

Hemişelik toguň güýçlendirijilerinde bölüji kondensatorlaryň we transformatorlaryň üsti bilen baglanyşygyň güýçlendirilýän signalyň hemişelik düzüjisini geçirmegi üpjün edip bilmeýändigini üçin kaskadlaryň arasyndaky göni baglanyşyk ulanylýar. Kaskadlaryň arasyndaky göni baglanyşyk üýtgeýän toguň güýçlendirijilerinde hem, aýratynam olar integral mikroçatgy görnüşinde ýerine ýetirilende ulanylýar. Ahyrkylarda geçiş kondensatorlarynyň tranzistorlar we rezistorlar bilen deňeşdirilende örän uly ýer tutýandyklary üçin olary ulanmagyň geregi ýok.

9.1-nji syratda kaskadlaryň arasyndaky göni baglanyşygyň çyzgysy görkezilen. Ýönekeýlik üçin iýmit naprýaženiýesi 10 W-a deň diýip alnan. Garşylyklar we naprýaženiýeler kremnili $n-p-n$ -görnüşli tranzistorlar üçin getirilen. Baza–emitter naprýaženiýesi 0,6 W ýagdaýynda VT_1 -iň kollektor togy 1 mA deň diýip kabul edilen. Baza–emitter naprýaženiýesi 0,7 W ýagdaýynda VT_2 -niň togy 5,5 mA deň.

9.1-nji suratdaky çyzgydan görnüşi ýaly, kaskadlaryň arasyndaky göni baglanyşyk ýagdaýynda birinji bilen deňeşdirilende ikinji tranzistoryň emitteriniň potensialyny ýokarlandyrmaly bolýar. Bu bolsa birinji kaskadyň geçiriş

koeffisiýenti bilen deňeşdirilende ikinji kaskadyň naprýaženiýäni geçiriş koeffisiýentiniň kiçelmegine getirýär, ýagny kollektor zynjyrlary umumy çeşmeden ýmitlendirilende ikinji tranzistor üçin kollektor garşylygynyň emitter garşylygyna gatnaşygyny kiçeltmeli bolýar. Şeýlelikde, 9.1-nji suratdaky çyzgy üçin naprýaženiýäni geçiriş koeffisiýentleri $|K_1| \approx R_{k1}/R_{e1} = 6,1 \gg |K_2| \approx R_{k2}/R_{e2} = 1.75$.

9.2. Differensial güýçlendiriji.

Iki naprýaženiýäniň tapawudyny güýçlendirýän gurluşa differensial güýçlendiriji diýilýär. Ideal ýagdaýda şeýle güýçlendirijiniň çykyş naprýaženiýesi diňe onuň iki girişine berilýän naprýaženiýeleriniň tapawudyna proporsionaldyr we olaryň absolýut ululyklaryna bagly däl.

Ilkinji differensial güýçlendirijiler biologiki barlaglar üçin döredildi. Eger, meselem, janly organizmiň ýakyn iki nokadynyň arasyndaky iki uly potensiallaryň uly bolmadyk tapawudy ölçelende diňe bir potensiallaryň tapawudyny däl, eýsem bu nokatlaryň ýere görä uly potensiallaryny güýçlendirmeli bolýan bolsa, onda bu güýçlendirijiniň işçi nokadyny çyzyksyz oblastyna çykarmagy mümkin. Bu ýerden diňe tapawut signalyny güýçlendirmegiň gerekdigi gelip çykýar.

9.2-nji suratda differensial güýçlendirijiniň düzüm çyzgysy görkezilen.

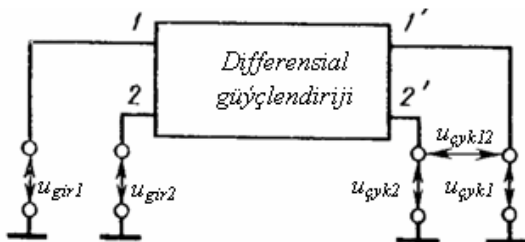
Ideal differensial güýçlendirijide tapawut signalynyň geçiriş koeffisiýenti çykyşdaky naprýaženiýeleriň tapawudynyň girişdäki naprýaženiýeleriň tapawudyna bolan gatnaşygyna deňdir:

$$K_p = u_{çyk12}/(u_{gir1} + u_{gir2}), \quad (9.1)$$

bu ýerde $u_{çyk12} = u_{çyk1} - u_{çyk2}$ – simmetrik çykyşyň uçlaryndaky naprýaženiýe; u_{gir1} we u_{gir2} – güýçlendirijiniň deňşlilikde birinji we ikinji girişlerindäki naprýaženiýeler.

Differensial güýçlendirijiniň (9.3-nji surat) özleriniň emitter zynjyryna birleşdirilen umumy R_e rezistorly iki sany birmeňzeş tranzistorlary bolýar. Çyzgynyň çykyşynda 1' we 2' uçlaryň

arasynnda giriş uçlaryna berilen naprýaženiýeleriň tapawudyna proporsional bolan naprýaženiýäni almak mümkin.



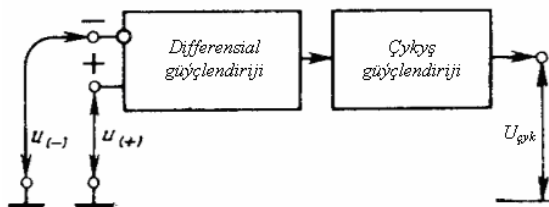
9.2-nji surat. Differensial güýçlendirijiniň düzümlü çyzgysy.

$n-p-n$ -görnüşli tranzistorlar üçin bazaly diýilýän giriş naprýaženiýeler položitel bolsalar, onda çykyş naprýaženiýesiniň giriş naprýaženiýeleriniň tapawudyna baglylygy çyzyklydyr. Bu ýagdaýda haçan-da tapawut güýçlendirme koeffisiýenti 100-e ýakyn bolanda tapawut naprýaženiýesi birnäçe on milliwołtdan uly bolmaly däl, $(u_{gir1} + u_{gir2})/2$ sinfaz naprýaženiýesi bolsa käbir interwalda, meselem, 3-den 6 W aralygynda ýatýar. Bu interwal iýmit çeşmesiniň naprýaženiýesine we çyzgynyň garşylyklaryna baglydyr.

9.3. Operasion güýçlendirijiler.

Hemişelik toguň differensial girişli we ýokary güýçlendiriş koeffisiýente häsiýetli birtakly çykyşly, şeýle hem uly giriş we kiçi çykyş garşylykly güýçlendirijä operasion güýçlendiriji diýilýär. Ol köplenç özüniň netijeýji häsiýetnamalaryny kesgitleýän daşky çuňňur otrisatel ters baglanyşyk bilen ulanylýar.

Operasion güýçlendiriji ýarymgeçirijili integral mikroçatgylar görnüşinde ýasalýar we olar diňe öz adynyň gelip çykmagyna sebäp bolan matematiki operasiýalary ýerine ýetirmek üçin ulanylmaýar. Olar dürli maksatly radioelektron gurluşlarda köp ulanylýar. Muňa olaryň aýratyn tranzistorlaryň nyrhyna ýakyn pes nyrhynyň bolýandygy ýardam edýär.



9.4-nji surat. Operasion güýçlendirijiniň düzüm çyzgysy.

9.4-nji suratda operasion güýçlendirijiniň düzüm çyzgysy görkezilen. Çyzgydan görnüşi ýaly birinji kaskad, käwagt ikinji hem differensial güýçlendirijilerdir. Şonuň üçin 9.4-nji suratda görkezilen operasion güýçlendirijide inwertirleýji ("–" belgi bilen belgilenen) we inwertirlemeýji ("+" belgi bilen belgilenen) iki girişi bolýar.

9.5-nji a suratda operasion güýçlendirijini birleşdirmegiň inwertirleýji çyzgysy görkezilen. Wirtual utgaşdyrma prinsipini ulanmak bilen taparys: $I'_{gir} = (U'_{gir} - 0)/Z_l$, çykyş naprýaženiýesi bolsa $U_{çyk} = -I'_{gir}Z_{bag} - 0$, bu ýerden naprýaženiýäni geçiriş koeffisiýenti

$$K' = U_{çyk}/U'_{gir} = -Z_{bag}/Z_l. \quad (9.2)$$

(9.2) aňlatma diňe ideal operasion güýçlendiriji üçin dogrudyr. Real güýçlendiriji üçin ýalňyşlyklar häsiýetlidir.

9.5-nji b suratda bolsa operasion güýçlendirijini birleşdirmegiň inwertirlemeýji çyzgysy görkezilen. Güýçlendirijiniň çykyşyndan naprýaženiýe güýçlendirijiniň inwertirleýji girişine gelip düşýär. Bu ters baglanyşygyň ýere görä naprýaženiýesi $U_{(-)} = \beta U_{çyk}$, bu ýerde $\beta = Z_l/(Z_l + Z_{bag})$.

Güýçlendirijiniň çykyşyndan naprýaženiýe

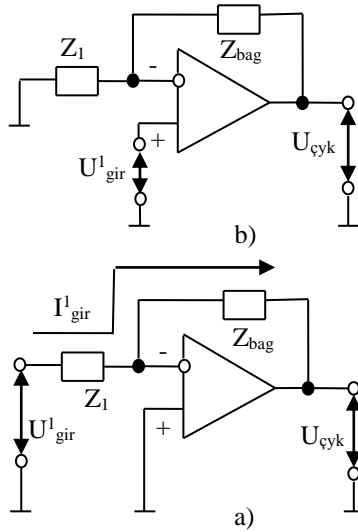
$$U_{çyk} = K(U_{(+)} + U_{(-)}) = K(U'_{gir} - \beta U_{çyk}),$$

bu ýerden $U_{çyk} = KU'_{gir}/(1 + \beta K)$.

Hakykatdan-da, birleşdirmegiň inwertirlemeýji çyzgysynyň güýçlendiriş koeffisiýenti

$$K = \frac{U_{çyk}}{U'_{gir}} = \frac{1}{\beta + 1/K} = \frac{1}{\beta} \frac{1}{1 + 1/\beta K}. \quad (9.3)$$

$|\beta K| \gg 1$ ýagdaýda



9.5-nji surat. Operation güýçlendirijini birleşdirmegiň çyzgylary.

$$K' \approx 1/\beta = 1 + Z_{bag}/Z_1. \quad (9.4)$$

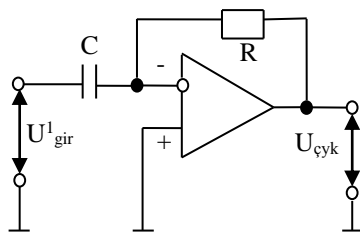
(9.3) aňlatma dogrudyr.

Integratoryň çyzgysy 9.6-njy suratda görkezilen. Girişe u'_{gir} naprýaženiýe goýulanda wirtual utgaşdyrma prinsipine laýyklykda R rezistoryň üstünden geçýän tok u'_{gir}/R deňdir diýip kabul edip bolýar.

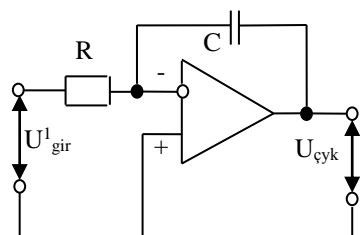
Bu tok C kondensatory zarýadlandyrýar we onda şol bir wagtda çykyş naprýaženiýesi bolýan naprýaženiýäni döredýär:

$$u_{çyk} = -\frac{1}{RC} \int u'_{gir} dt. \quad (9.5)$$

Differensiatoryň çyzgysy 9.7-nji suratda görkezilen. Girişdäki naprýaženiýe wirtual utgaşdyrma prinsipine laýyklykda kondensatordaky naprýaženiýedir.



9.7-nji surat. Differensiator.



9.6-njy surat. Integrator.

Zarýadlanýan kondensatordaky tok $i = Cdu'_{gir}/dt$. Bu tok güýçlendirijä girmän, R garşylykda şol bir wagtda çykyş naprýaženiýesi bolýan naprýaženiýäni döredip, doly onuň üstünden geçýär:

$$u_{çyk} = -RCdu'_{gir} dt. \quad (9.6)$$

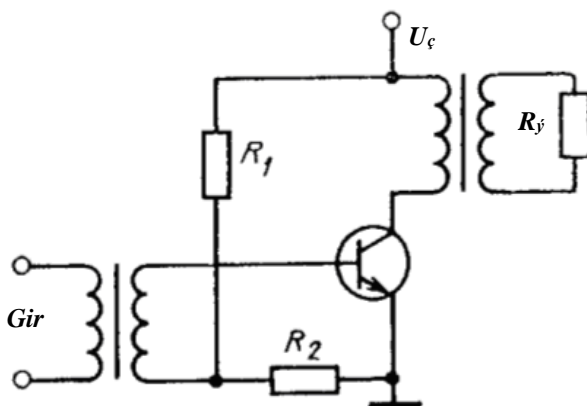
10. Kuwwat güýçlendirijileri.

10.1. Kuwwat güýçlendirmeleri.

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 düzgünde, meselem, adatça

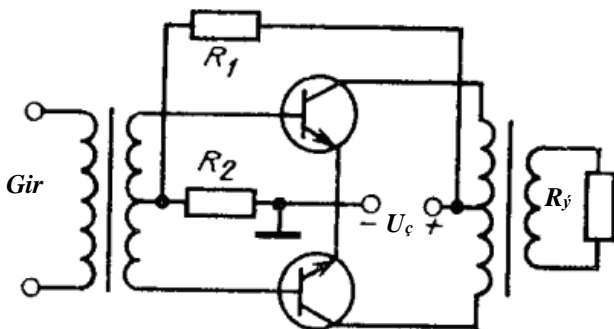
radiogepleşik kabul edijilerde ses ýygylarynyň güýçlendirijisiniň çykyş kaskady işleýär.



10.1-nji surat. UE transformatorly tranzistor güýçlendirijisiniň prinsipial çyzgysy.

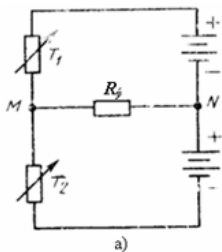
Käwagt aralyk ýygylarynyň güýçlendirijisiniň haçan-da signalyň ýeterlik uly amplitudasy gerek hem-de aralyk ýygylarynyň güýçlendirijisiniň ahyrky kaskadyndan detektora ýeterlik kuwwaty bermek gerek bolanda uly bolmadyk giriş garşylygy bolan detektora işleýän çykyş kaskady kuwwat güýçlendirijisi bolup biler. 10.1-nji suratda A kadada (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.

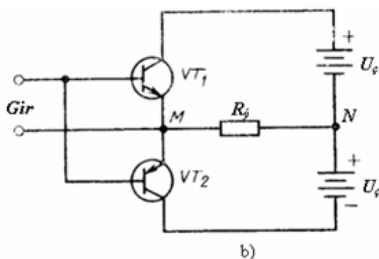


10.2-nji surat. Iki taktly kuwwat güýçlendirijisi.

10.2-nji suratda tranzistor güýçlendirijisiniň iki taktly çyzgysy görkezilen. Ol bir taktly çyzga görä jübüt



a)



b)

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

garmonikalary kiçeltmekden başga beýleki artykmaçlyklara

hem eýedir, meselem, tranzistorlaryň kollektor toklarynyň hemişelik düzüjileriniň akyp geçmegi netijesinde çykyş transformatorynyň okunyň (serdeçniginiň) magnitlenmesiniň peselmegi bolýar. Magnitlenme transformatoryň induktiwligini kiçeldýär. Ýokarky we aşaky tranzistorlaryň hemişelik toklary deňleşende hemişelik magnit akymlyary doly kompensirlenýärler.

10.2. Transformersyz güýçlendirijiler.

10.3-nji suratda transformersyz tranzistorly kuwwat güýçlendirijisiniň çyzgysy görkezilen. Çyzgyda goşmaça görnüşli tranzistorlar ulanylan: VT_1 $n-p-n$ -görnüşli we VT_2 $p-n-p$ -görnüşli. Güýçlendiriji islendik kadada (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_y ýüke (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 deňşililikde M nokadyň N nokada otnositel potensialynyň ýokarlanmagyna ýa-da peselmegine getirýär. Ýüküň rezistorynyň sag ujuny iýmit çeşmesiniň aşaky ujuna 500–4000 mkF sygymly elektrolitik kondensatorynyň

üstünden çatylsa, iýmit çeşmesiniň ortaky nokady gerek bolmaýar.

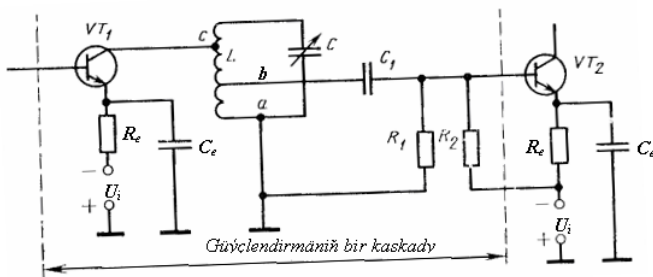
Transformersyz güýçlendirijiniň bu çyzgysynyň esasy ýetmezçiligi çykyş signalynyň ähli bahalarynda häsiýetnamalary ýakyn (deň) goşmaça görnüşli iki tranzistory saýlap almak kynçylygy bolup durýar. Şonuň üçin bir görnüşli çykyş tranzistorlary bolan çyzgylar ulanylýar.

11. Rezonans güýçlendirijileri.

11.1. Rezonans güýçlendirijiniň çyrgyzy, häsiýetnamalary.

Radioýygylýk yrgyldylary güýçlendirilende tranzistoryň ýa-da elektron lampasynyň ýüküniň (nagruzkasynyň) garşylygy hökmünde güýçlendirilýän yrgyldylaryň ýygylýgy bilen rezonansa düzülen parallel yrgyldyly kontur ulanylýar. Şeýle güýçlendirijä rezonans güýçlendiriji diýilýär.

Ýygylýgyň dar zolagynda güýçlendirmek üçin ulanylýan rezonans güýçlendiriji rezistor güýçlendirijisi bilen deňeşdirilende birnäçe artykmaçlyklara eýedir: kontury rezonansa düzmek bilen giriş, birleşdiriji simleriň we çykyş sygymlary kompensirlenýär, şonuň üçin ýüküň (nagruzkanyň) konturyň ekwiwalent garşylygyna deň bolan garşylygy uly bolup biler we uly güýçlendirmäni üpjün edýär (rezonans güýçlendiriji örän ýokary ýygylýklarda sygymlaryň şuntirleýji täsiri netijesinde güýçlendirme berenok);



11.1-nji surat. Tranzistorly rezonans güýçlendirijiniň prinsipial çyrgyzy.

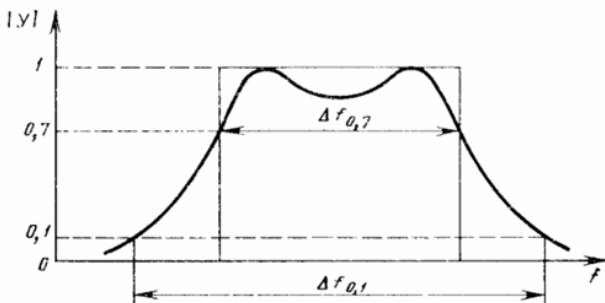
ýüküň (nagruzkanyň) garşylygynda hemişelik naprýaženiýäniň peselmesi ýok, şonuň üçin ýüküň (nagruzkanyň) garşylygyny örän uly almak mümkin.

11.1-nji çyrgyzda tranzistorly rezonans güýçlendirijiniň yrgyldyly kontury bölekleyin kollektor we baza zynjyrlaryna birleşdirilen bir kaskady görkezilen. Ol VT_1 tranzistoryň çykyş garşylygynyň we VT_2 tranzistoryň giriş garşylygynyň yrgyldyly kontura şuntirleýji täsirini kiçeltmek hem-de tranzistoryň giriş we çykyş garşylyklaryny ylalaşdyrmak üçin şeýle edilen.

11.2. 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.



11.2 surat. Zolak güýçlendirijisiniň amplituda-ýygylyk häsiýetnamasy.

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 koeffisiýenti bilen baha berilýär:

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

Adaty rezonans güýçlendirijileri üçin gönüburçlylyk koeffisiýenti kaskadlaryň sanynyň köpelmegi bilen ulalýar,

ýöne 0,39-dan uly bolup bilmeýär, bu ýerde 0,39 – jaň görnüşli egrili gönüburçlylyk koeffisiýenti.

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

Zolak güýçlendirijisiniň bir kaskadynyň güýçlendiriş koeffisiýenti bir sazlanan konturly ýagdaýynda $K_0 = -SR_{ek}$. Eger kontur bozulan bolsa, onda güýçlendiriş koeffisiýenti $K_0 = -y_0 SR_{ek}$, bu ýerde y_0 – konturyň otnositel güýçlendiriş koeffisiýenti. Eger her kaskadda bozulan konturlaryň jübütleri ýekeden ulanylyan bolsa, onda $y_0 = 0,7$.

11.3. Güýçlendirmäniň awtomatiki sazlanýşy.

Rezonans güýçlendirmäniň kaskadlarynyň sany we kabul edijiniň radio hem-de aralyk ýygylklaryny güýçlendiriş kaskadlaryndaky umumy güýçlendiriş koeffisiýenti detektoryň girişindäki onuň kanagatlanarly detektirläp bilýän ýagdaýyndaky minimal naprýaženiýäniň giriş signalyň 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 sazlanýşy 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 sazlanýşy (GAS) ulanylýar.

Adatça güýçlendirmäniň awtomatiki sazlanýşynyň bir usuly ulanylýar.

Birinji usul. Ortalaşdyrylan naprýaženiýe detektoryň çykyşyndan aşaky ýygylklaryň diňe naprýaženiýäniň görteriji 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.

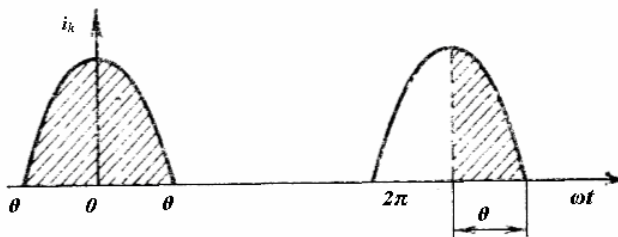
Ikinji usul. Detektoryň çykyşyndan ortalaşdyrylan naprýaženiýe güýçlendirijilere berilýän signaly azaltmak üçin ulanylýar. Muny, meselem, naprýaženiýe bilen dolandyrylýan meýdan tranzistorlaryndaky potensiometrik bölüjiniň ýa-da toguň sazlanýan şahalanmasynyň, ýagny sazlanýan şuntirleýji bölüjiniň kömegi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

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

12. Garmoniki yrgyldylaryň generatorlary.

12.1. 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 oýandyrylmasy ulanylýar.



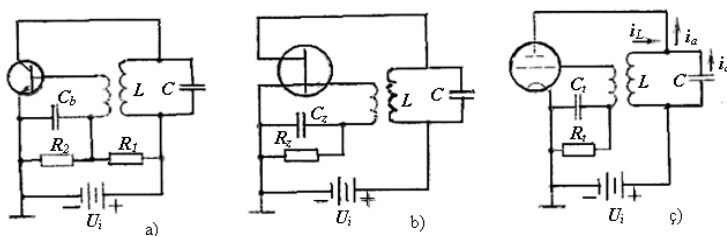
12.1-nji surat. Generatornyň kollektor togunyň sinusoidal impulsary.

Daşdan oýandyrylýan generatorlar düýp manysy boýunça uly amplituda kadasynda (režiminde) işleýän rezonans güýçlendirijileridirler. Düzgün bolşy ýaly, daşdan oýandyrylýan generatorlar toguň bölmesi (çapmasy) bilen işleýärler. Başgaça aýdylanda, generatordaky tok sinusoidal impulslaryň periodik yzygiderligini emele getirýär (12.1-nji surat).

12.2. Induktiv baglanyşykly awtogenerator.

Induktiv baglanyşykly awtogeneratorlaryň çyzgylary 12.2-nji suratda görkezilen. Awtogeneratorlarda dürli aktiw enjamlar: bipolýar we meýdan tranzistorlary hem-de elektron lampasy ulanylan bolsalar-da, bu üç çyzgy biri-birine örän ýakyndyr.

Bipolýar tranzistorda düzülen çyzgynyň beýleki ikisinden tapawudy baza R_1R_2 bölüjiniň kömegi bilen položitel naprýaženiýäniň berilmegidir. Bu awtogeneratoryň işiniň diňe başlangyç periodynda zerurdyr. Ähli üç çyzgylarda generirleme ýüze çykandan soňra, dolandyryjy elektroddaky (bazadaky, burmasyndaky (zatwordaky) ýa-da tordaky) naprýaženiýäniň hemişelik düzüjisi bazanyň, burmasynyň (zatworyň) ýa-da



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

toruň togunyň göneldilen üýtgeýän düzüjisiniň hasabyna otrisatel bolup biler.

12.3. RC-generatorlar.

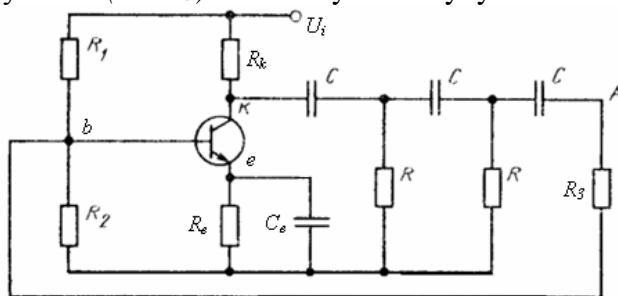
Pes ýygylgyň yrgyldylaryny generirlemek üçin RC-generatorlary ulanylýar.

Fazany süýşürýän zynjyrlary bolan generatorda (12.3-nji surat) üç sany zynjyrlar kollektordaky we bazadaky

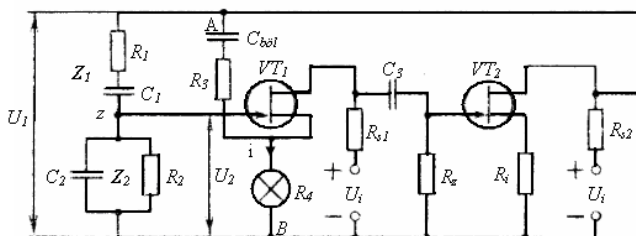
naprýaženiýeleriň arasynda 180° deň bolan faza süýşmesini döredýärler. R_3 garşylygy $R' = R_1 // R_2 // h_{11e}$ garşylyk bilen bile R garşylyga deň diýip alyp bolar. Bu ýagdaýda 180° faza süýşmesi aşakdaky ýyglykda alynýar:

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

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



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



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

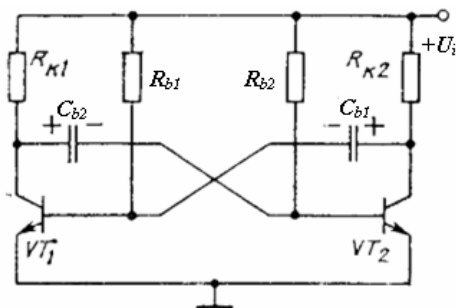
Winiň köprüsi bolan RC-generator 12.4-nji suratda görkezilen. Winiň köprüsi Z_1 , Z_2 , R_3 we R_4 garşylyklardan durýar. Z_1 garşylyk R_1 we C_1 yzygider birleşdirmek bilen, Z_2 garşylyk R_2 we C_2 parallel birleşdirmek bilen döredilen. R_3 garşylyk generirleme ýyglygynda R_3 garşylyk bilen deňeşdirilende 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 koeffisiýenti bolan hem-de giriş we çykyş naprýaženiýeleriniň arasynda 360° faza süýşmesini üpjün edýän iki kaskadly rezistor güýçlendirijisi ulanylýar.

12.4. Multiwibratorlar. Bloking-generator.

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



12.5-nji surat. Tranzistorlarda multiwibrator.

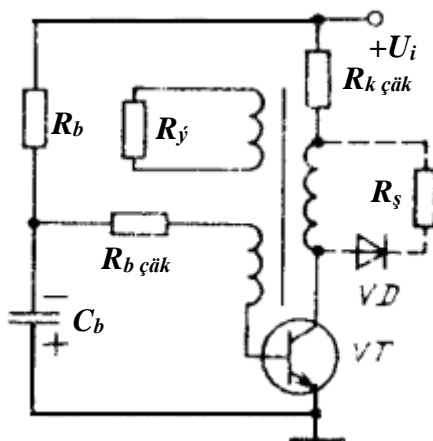
Triggenderden tapawutlylykda multiwibrator gönüburçlylara ýakyn yrgyldylary özbaşdak generirläp bilmäge ukyplydyr. Diýmek, ol gönüburçly görnüşli yrgyldylaryň awtogeneratorydyr.

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

tranzistory ýapýan impuls gerek bolýar. Hakykatdan-da, multiwibratorda yrgyldylaryň ýüze çykmagynyň berk kadasy (režimi) mümkin.

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

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



12.6-njy surat. Bloking-generator.

Impuls yrgyldylarynyň impuls transformatorynyň kömegi bilen položitel ters baglanyşyk döredilýän relaksasion generatora bloking-generator diýilýär. Impuls transformatorynyň ferritden goýulan ýa-da ferromagnit materialynyň ýuka lentasyndan saralan ýapyk oky (serdeçnigi) bolýar. Impuls transformatoryna esasy talap pyramagyň az induktiwligidir.

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

impulsalaryň önüniň (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 adatça 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, ossillografiýň elektron-şöhle trubkasynda proseslere gözegçilik etmek üçin elektron şöhlesini gorizonta gyşardýan plastinalara byçgy görnüşli naprýaženiýe bermeli bolýar. Telewizorlaryň kineskoplarynda şöhläniň gyşarmasy gyşardyjy tegekleriň magnit meýdanlary bilen döredilýär, şonuň üçin çyzykly üýtgeýän tok talap edilýär. Bu ýagdaýlarda byçgy görnüşli naprýaženiýniň ýa-da toguň generatorlary ulanylýar.

13. Detektirleme.

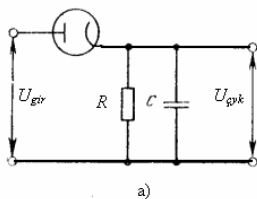
13.1. Diodly detektor. Ýarymgeçirijili diodda detektor.

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

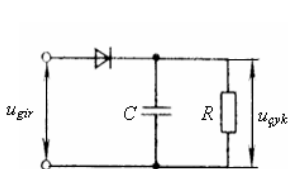
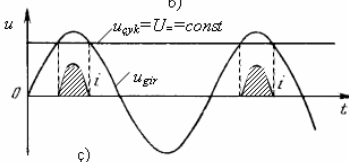
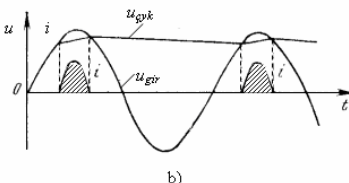
Detektirleme amala aşyrylýan çyzgylar haçan-da ýokary ýygyllykly yrgyldylar modurirlenen bolmadyk ýagdaýlarda-da ulanylýar. Şonuň üçin köplenç ýokary ýygyllykly yrgyldynyň şol ýa-da beýleki parametrlerini bölüp aýyrmak prosesine düşünilýär.

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.

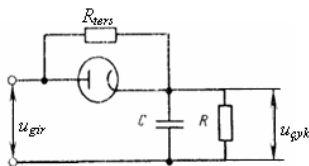
Detektirleme prinsipini ulanmak bilen ýokary ýygylkly yrgyldynyň amplitudasyny, ýygylgyny, fazasyny, kesimiň dowamlylygyny ýa-da onuň geliş wagty, şeýle hem eger olar gelýän bolsalar, onda bu ululyklaryň üýtgemegini anyklamak mümkin.



13.1-nji surat. Diodly detektor:
a – diodly detektoryň çyzgysy;
b, ç – detektirleme (ç – çykyş naprýaženiýesi hemişelik diýip kabul edilen).



13.2-nji surat. Ýarymgeçirijili diodly detektor.



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

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

Ýarymgeçirijili dioddaky detektoryň çyzgysy 13.2-nji suratda görkezilen. Lampadan tapawutlylykda diodda otirisatel 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.

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. Tekiz diodlar bolsa giriş sygymynyň uludygy sebäpli ulanylmaýar.

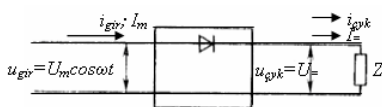
13.1. Detektoryň häsiýetnamalary we parametrleri.

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

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

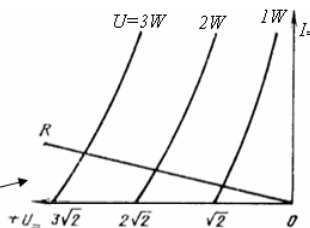
$$I_{\Sigma} = f(U_m, U_{\Sigma}). \quad (13.1)$$

Häsiýetnamalaryň şeýle maşgalasynyň mysaly 13.5-nji suratda görkezilen.



13.4-nji surat. Çyzyksyz dörtpolýuslyk hökmünde detektor.

13.5-nji surat. Göneltmäniň häsiýetnamalarynyň maşgalasy.



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

Detektoryň hemişelik tok boýunça geçiriş koeffisiýenti K_d = detektoryň çykyşyndaky hemişelik naprýaženiýäniň onuň

girişindäki üýtgeýän naprýaženiýäniň amplitudasyna bolan gatnaşygyna deňdir:

$$K_{d=} = U_{-}/U_m. \quad (13.2)$$

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

Detektoryň üýtgeýän tok boýunça geçiriş koeffisiýentini bolsa

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

gatnaşyk görnüşinde ýa-da bu gatnaşygyň kiçi artmalardaky predeli

$$K_{d\sim} = dU_{-}/dU_m \quad (13.3)$$

görnüşinde kesgitlemek mümkin.

Üýtgeýän tok boýunça geçiriş koeffisiýenti hem ýüküň (nagruzkanyň) garşylygyna bagly bolýar we diodly detektor üçin $R \rightarrow \infty$ ýagdaýda $K_{d\sim} \rightarrow I$.

13.2. Ýygylyk detektirlemesi.

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

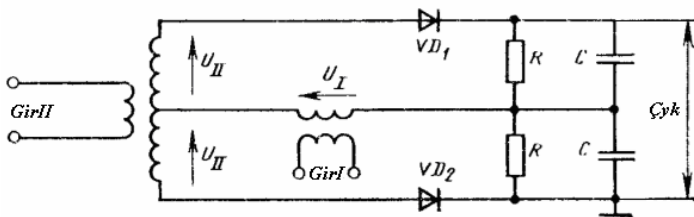
Ýygylyk detektirlemesi ýygylyk boýunça modulirlenen yrgyldylary detektirmek üçin, generatorlaryň ýygylyklaryny awtomatiki sazlama ulgamlarynda we ş.m. ulanylýar.

Ýygylyk detektirlemesini ýerine ýetirmek üçin yrgyldyly konturdaky naprýaženiýäniň amplitudasynyň ýa-da fazasynyň yrgyldylaryň ýygylygyna bolan baglanyşygy ulanylýar.

13.3. Fazaly detektor.

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

Fazaly detektorlar ýygylyklaryň birnäçe onlarça gersden onlarça megagerse çenli giň diapazonynda ulanylýar. Fazaly detektoryň çyzygysy 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 naprýaženiýeleriniň modullarynyň tapawudyna proporsionaldyr (takmynan deňdir):

$$U_{\text{çyk}} = |U_1| - |U_2|.$$

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

Fazaly detektor dürli awtomatiki gurluşlarda giňden ulanylýar.

14. Ýgylyklary özgertmek. Signallar we olaryň spektrleri.

14.1. Ýgylygy özgertmegiň prinsipi.

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

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

Spektry süýşürmek operasiýasy özgerdilýän we geterodin yrgyldylaryny biri-birine köpeltmegiň dürli usullary bilen iş ýüzüne geçirilýär. Hususan, ýgylygy özgertmegi 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) özgerdilýän signal yrgyldysy geçiriş koeffisiýenti geterodin naprýaženiýesiniň täsiri astynda üýtgeýän elemente berilýär we çykyş yrgyldysyndan jemleýji ýa-da tapawut ýygylgynyň düzüjileri bölünip aýrylýar.

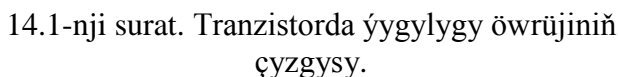
Özgertmegiň ikinji usulyny signal we geterodin naprýaženiýelerini, meselem, lampanyň dürli torlaryna ýa-da iki burmaly (zatworly) meýdan tranzistorynyň burmalaryna (zatworlaryna) bermek bilen amala aşyrmak mümkin. Ýygylgyygy özgertmegi şeýle hem, signal naprýaženiýesini differensial güýçlendirijiniň 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 koeffisiýentiniň üýtgeýändigini üçin özgerme prosesini ikinji usulyň durmuşa geçirilmegi ýaly seretmek mümkin.

14.2. Tranzistorda düzülen ýygylgyygy özgerdiji.

Tranzistorda düzülen ýygylgyygy özgerdijiniň çyzgysyndan (14.1-nji surat) görnüşi ýaly, ýygylgyygy özgertmegiň we goşmaça naprýaženiýäni generirlemegiň funksiýalary signalyň özgerdilýän naprýaženiýesi baza zynjyryna berilýän, kollektor zynjyryna bolsa aralyk ýygylgynyň kontury birleşdirilen bir tranzistorda ýerine ýetirilýär. Şeýle geterodin-özgerdijiniň geterodiniň yrgyldysyny kabul edijiniň antennasyndan şöhlelendirmezligi we şonuň bilen beýleki kabul edilere päsgelçilik döretmezligi üçin, käwagt çözüliş maksady bilen antenna we özgerdijiniň

Ýygylgy özgerdijiniň düzüjileriň arasyndaky ähli gatnaşyklary saklaýandygyny bellemek zerurdyr. Şonuň üçin özgerdijini daşky çyzykly ulgam diýip hasap etmek mümkin. Şeýle ulgama superpozisiýa prinsipini ulanmak mümkin. Özgerdiji daşky çyzyklylyk häsiýetine geterodiniň naprýaženiýesiniň özgerdilýän naprýaženiýelerden ep-esli uludygyny üçin eýe bolýar.



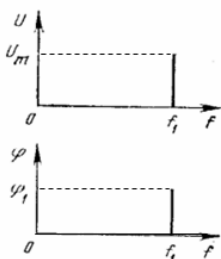
14.3. Periodik signallaryň spektrleri.

86

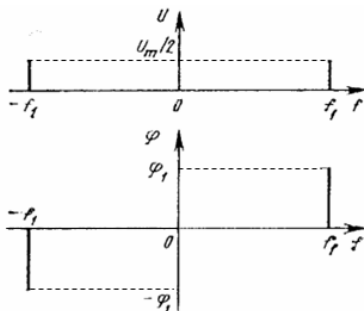
yrgyldynyň beýlekisi bilen ýygylyk modulýasiýasy örän çylşyrymly spektrli yrgyldynyň döremegine getirýändigini belli.

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

Signallary dürli aýratynlyklary boýunça klaslara (toparlara) bölmek mümkin. Şeýle aýratynlyklaryň biri hem



14.2-nji surat. Garmoniki yrgyldynyň spektri



14.3-nji surat. Garmoniki yrgyldynyň iki taraply spektri

periodlylykdyr. Aşakdaky deňligi kanagatlandyryýan signala periodik diýilýär:

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

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

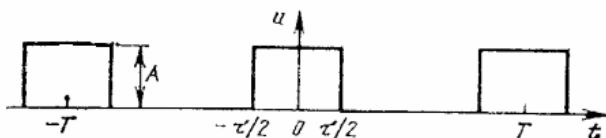
$$u(t) = U_m \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \quad (14.1)$$

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

Köplenç (14.1) garmoniki (yzygiderli) 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 ýygylgyň diňe bir položitel däl, otrisatel bahalaryny-da almaga ýol berilýär. Emma otrisatel ýygylkly yrgyldy fiziki ýok-da bolsa, şonda-da oňa kesgitli many bermek mümkin. Hakykatdanam, (14.1) yrgylda $\omega_1 = 2\pi f_1$ burç ýygylkly sagat diliniň (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 ýygylkly, ýöne garşylykly ugurlara aýlanýan položitel amplitudaly iki wektoryň jemi hökmünde seredilýär. (14.2) yrgyldynyň iki taraply spektri 14.3-nji suratda görkezilen.



14.4-nji surat. Periodik gönüburçly impulsar.

Köplenç radioelektronikada naprýaženiýäniň 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, kăwagtlarda 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 *öýjüklilik* diýlip atlandyrylýar.

15. Galmagallar. Signallary ibermegiň we kabul etmegiň usullary. Päsgeçilikleriň täsiri.

15.1. Galmagallaryň ähtimallyk häsiýetnamalary.

Şu bapda adatça galmagallar diýilýän we elektrik yrgyldylary görnüşinde ýüze çykýan fluktuasion päsgelçilikler seredilip geçilýär.

Ilki bilen galmagallaryň statistiki häsiýetnamalary, soňra bolsa olaryň radiotehniki gurluşlaryň işine täsirlerine baha berilýär.

Tötänleýin prosesler *stasionar* we *stasionar dällere* bölünýärler. Statistiki häsiýetnamalary wagta görä üýtgeýän proseslere *stasionar* diýilýär. Uzaklaşýan awtomobiliň akustiki galmagalyny ýa-da uzaklaşýan päsgelçilik çeşmesiniň elektrik galmagalyny stasionar däl proses hökmünde atlandyrmak bolar. Bu ýagdaýlarda galmagalyň intensiwligi wagta görä üýtgeýär.

Stasionar prosesleri öz gezeginde *ergodik* we *ergodik dällere* bölýärler. Ähtimallyk häsiýetnamalaryny ýeterlik uzyn wagt interwaly boýunça ortalaşdyrmagy geçirmek bilen (wagt boýunça ortalaşdyrmagyň netijesi amal edişleriň ansambly boýunça ortalaşdyrmagyň netijesine gabat geler) bir gezek amal ediş boýunça kesgitlep bolýan proseslere *ergodik* diýilýär. Tötänleýin prosesleriň köpüsi ergodiklik häsiýetine eýedirler.

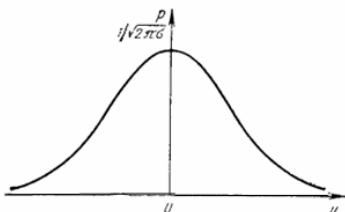
Tötänleýin prosesler mgnowen bahalaryň ähtimallyklarynyň her dürli köp ölçegli paýlanmalary arkaly beýan edilýär. Hususan hem, bir ölçegli paýlanmany köp ýagdaýlarda paýlanmanyň $\rho(u)$ dykzylygy bilen bermek mümkin. Galmagalyň naprýaženiýesiniň mgnowen bahasynyň $(u, u + du)$ interwalda bolmagynyň ähtimallygy bu ýagdaýda $\rho(u) du$ deňdir.

Köplenç ähtimallygyň paýlanma dykzylygy normal kanun bilen beýan edilýär:

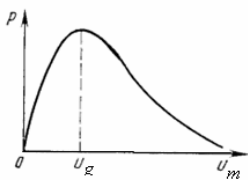
$$\rho(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-u^2/2\sigma^2}, \quad (15.1)$$

bu ýerde σ^2 – dispersiýa; $\sigma = U_g$ – galmagal naprýaženiýesiniň orta kwadratik bahasy. Normal paýlanma 15.1-nji suratda görkezilen. Şeýle paýlanma dykzylygy bolan galmagala gaus galmagaly diýilýär.

Dar zolakly süzgüjiň çykyşyndaky galmagal naprýaženiýesi gaus galmagaly süzgüçden geçende süzgüjiň rezonans ýygylgyna deň bolan ýygylkly sinusoidal yrgyldynyň görnüşinde bolýar, şonuň ýaly-da, yrgyldynyň



15.1-nji surat. Fluktuasion päsgeçiligiň naprýaženiýesiniň mgnowen bahasynyň ähtimallygynyň gaus ýa-da normal paýlanmasy.



15.2-nji surat. Galmagal naprýaženiýesiniň amplitudasynyň ähtimallygynyň paýlanmasynyň releýew kanuny.

amplitudasy we fazasy tötänleýin üýtgeýärler. Şeýle $U_{mg} > 0$ naprýaženiýäniň tötänleýin amplitudasy üçin ähtimallygyň paýlanmasy releýew adyny aldy (15.2-nji surat):

$$\rho(U_{mg}) = \frac{U_{mg}}{U_g^2} e^{-U_{mg}^2 / 2U_g^2}; \quad (15.2)$$

bu ýerde U_g – süzgüjiň girişindäki galmagal naprýaženiýesiniň orta kwadratik bahasy.

Dar zolakly süzgüjiň çykyşyndaky fluktuasion yrgyldynyň fazasy 0-dan 2π çenli deň ölçegli paýlanma eýedir.

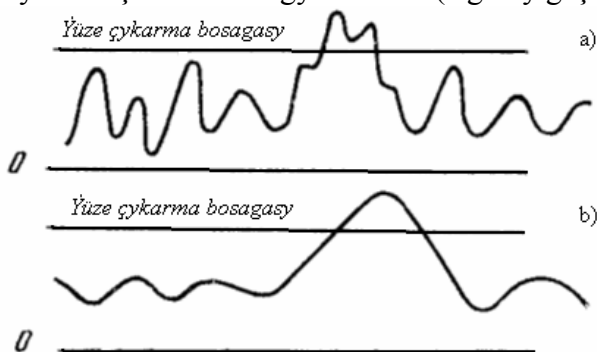
Galmagal naprýaženiýesiniň paýlanma kanunlaryny bilmeklik radiotehniki gurluşlaryň işine galmagallaryň täsirini häsiýetlendirýän köp ululyklary hasaplamaga mümkinçilik berýär.

15.2. Sazlaşykly süzgüç.

Radiosignallary kabul etmek hemişe päsgeçilikler bilen amala aşyrylýar. Päsgeçilikleriň signalyň maksimal bahasyna ýakyn derejesinde hatda signalyň bardygyny ýüze çykarmak kyn bolýar. Meselem, radiolokasiýada päsgeçilikleriň şagyrtdysynda impuls signalyny ýüze çykarmak aýratyn mesele bolup durýar. 15.3-nji a suratda üznüksiz päsgeçilikde gizlenen impuls signaly görkezilen.

Impuls signalynyň dogry ýagdaýyny görkezmegiň kyndygy düşnükli: birinjiden, päsgeçiligi ýüze çykarmagyň bosagasyny tapmagyň ähtimallygynyň ýokarydygy üçin (ýalan howsala diýilýän); ikinjiden, signalyň päsgeçilik

bilen goşulýandygy üçin signal ýüze çykarmagyň bosagasyndan aşakda bolmagy mümkin (signaly geçirme).



15.3-nji surat. Üznüksiz päsgelçiligiň şagyrdysynda impuls signalyň ýüze çykarmak. Signal we päsgelçilik süzgüjiň üstünden geçen. a – süzgüjiň zolagy signalyň spektriniň iniden ep-esli uly; b – süzgüç signal bilen sazlaşan.

Mümkin boldugyça päsgelçiligiň täsiriniň az bolmagy üçin signalyň we päsgelçiligiň garyndysyny has gowy (optimal) işläp taýýarlamak meselesi ýüze çykýar. Päsgelçiligiň täsirine baha bermek kabul edilen kriteriýa bagly bolýar. Meselem, seredilýän mysalda ýalan howsalalaryň ähtimallygynyň bellegenilen, signaly geçirmegiň ähtimallygy bolsa minimal ýagdaýyndaky işläp taýýarlamaklygy adatça optimal süzmeklik diýip hasap edilýär.

Ýönekeý işläp taýýarlamaklyk diýip, determinirlenen signalyň we päsgelçiligiň garyndysyny çyzykly süzmeklige, ýagny bu garyndyny $H(f)$ geçirme häsiýetnamaly süzgüjiň üstünden geçirmeklige düşünilýär. Bu häsiýetnamany üýtgetmek bilen süzgüjiň çykyşyndaky signalyň we päsgelçiligiň düzüjileriniň gatnaşygyny üýtgetmek mümkin. 15.3-nji b suratda ýörite seçilip alnan häsiýetnamaly süzgüjiň (girişine 15.3-nji a suratdaky ýaly naprýaženiýe berilýän) çykyşyndaky naprýaženiýe görkezilen. Suratdan görnüşi ýaly,

süzülen signal üçin ýalan howsalanyň we süzülmedik bilen deňeşdirilende signaly geçirmegiň ähtimallygy kiçelýär.

Güýçlendirijiniň ýa-da kabul edijiniň çykyşynda signalyň we päsgelçiligiň garyndysynyň antennada, kabul edijiniň gutarnykly geçiriş zolaklary bolan giriş we güýçlediriji zynjyrlarynda ol ýa-da beýleki süzülmeçligi eýýäm geçendigini bellemeli. Şonuň üçin süzmeklik meselesi ähli güýçlendirijileriň ýa-da kabul edijiniň amplituda-ýygylýk we faza-ýygylýk häsiýetnamalarynyň optimal görnüşlerini, şeýle hem onuň geçiriş zolaklarynyň optimal inlerini saýlap almakdan durýar. Ýönekeýlik üçin signalyň spektriniň ininden köp uly geçirme zolagy bolan zynjyrlardan geçen signala süzülmedik diýilýär.

Süzmekligiň hiliniň ölçegi barada soragyň döremegi tebigydyr. Eger signalyň görnüşi dogry belli bolsa, onda köplenç ölçeg hökmünde käbir wagt momentinde süzgüjiň çykyşyndaky signalyň ýokary derejedäki kuwwatynyň süzgüjiň çykyşyndaky galmagalyň orta kuwwatyna bolan gatnaşygy ulanylýar. Şu gatnaşyk maksimal bolan süzgüçlere *optimal* ýa-da *sazlaşykly* diýilýär.

15.3. Kwazioptimal süzgüçler.

Düzgün bolşy ýaly, durmuşda optimal kabul edişligi amala aşyrmak kyn bolýar. Şonuň üçin köplenç amplituda-ýygylýk häsiýetnamalary görnüşi boýunça kabul edilýän signalyň dolanyp geçýän spektrinden tapawutlanýan süzgüçli kabul edijiler ulanylýar. Meselem, köplenç gönüburçly dolanyp geçýän radioimpulslar kabul edilende ýa jaňjagaz görnüşlä, ýa-da gönüburçla ýakyn häsiýetnamaly köp kaskadly rezonans güýçlendirijiler ulanylýar.

Güýçlendirijiniň amplituda-ýygylýk häsiýetnamasy görnüşi boýunça impulsyň dolanyp geçýän spektrinden örän tapawutlanýan-da bolsa, signal-galmagal gatnaşygyny maksimal bolap ýaly edilip, güýçlendirijiniň geçiriş zolagynyň inini saýlap almak mümkin. Amplituda-ýygylýk häsiýetnamasynyň optimal görnüşi bolmadyk, ýöne onuň

zolagynyň optimal ini bolan şeýle süzgüçlere käwagtlar kwazioptimal diýilýär.

SONLAMA

Şu okuw kitabynda radioelektronika boýunça başlangyç maglumatlar berlen. Onda gozgalýan köp soraglara adatça aýratyn kurslar bagş edilýär. Meselem, kitabyň ahyrynda beýan edilen signallar, galmagallar we ibermegiň we kabul etmegiň usullary bir ýa-da birnäçe ýörite kurslarda öwrenilýär. Sebäbi olar radiolokasiýada, radionawigasiýada we maglumatlary geçirmegiň teoriýasynda esasy bolup durýarlar.

Radioelektronikanyň ösmegi üçin radioelektronikada we oňa ýakyn oblastlarda işleýän hünärmenleriň ägirt uly toplumynyň ýerine ýetirýän radiotehniki ulgamlaryň we gurluşlaryň päsgelçilige durnuklylyk meseleleri boýunça giň göwrümlü we netijeli barlaglary uly ähmiýete eýedir.

Radioelektronikanyň ösüşiniň beýleki wajyp ugurlaryna optiki diapazony goşmak bilen elektromagnit tolkunlarynyň täze diapazonlaryny özleşdirmek, EHM-iň täze görnüşleri üçin täze elektron enjamlaryny we integral mikroçatgylaryny döretmek degişlidir.

Bu ähli ugurlar öz aralarynda ýakyn baglydyrlar. Geljekki ösüş fundamental we amaly ylmylaryň, şeýle hem tehnikanyň we tehnologiýanyň derejeleri bilen kesgitlenýär.

Ulanylan edebiýatlar:

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiniň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiniň 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-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin” Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. “Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry” Milli maksatnamasy. “Türkmenistan” gazetini, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. “Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy”. Aşgabat, 2006.
10. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 488 с., ил.
11. Горшков Б.И. Радиоэлектронные устройства. – М., Высшая школа, 1989.

12. Ökdirow A., Kulyýew T.A. Senagat elektronikasy. – A.: Ýlym, 2005.
13. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 495 с., ил.
14. Арестов К.А., Яковенко Б.С. Основы электроники: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с., ил.

MAZMUNY

Giriş	7
1. Radioelektronikanyň esasy usullary we düşüňjeleri.	
1.1. Giriş bellikleri	10
1.2. Radionyň oýlanyp tapylyşy we ulanylyşy	14
1.3. Detektorly radiokabul ediji	15
1.4. Radioaragatnaşygynyň prinsipi	17
1.5. Radioiberme we radiokabul etme	19
1.6. Radiokabul edijiniň elementleri we bölekleri	21
1.7. Radioiberiji we radiokabul ediji gurluşlaryň düzümi çyzygylary	24
1.8. Güýçlendirijileriň görnüşleri	26
1.9. Güýçlendirmegiň prinsipleri	27
1.10. Päsgeçlilikler we olar bilen göreş	30
2. Ýygňalan parametrli zynjyrlar.	
2.1. Elektrik zynjyrynyň elementleri	30
2.2. Elektrik hereketlendiriji güýjüniň (EHG-niň) we toguň çeşmeleri	31
2.3. Çeşme bilen garşylygyň sazlaşygy	32
2.4. Ýygnylyk häsiýetnamalary	33
2.5. Differensirleýji we integrirleýji zynjyrlar	34
2.6. Yrgyldyly kontur	35
2.7. Baglanyşykly konturlar	37
3. Dörtpolýuslyklar, süzgüçler we saklaýjy çyzyklar.	
3.1. Dörtpolýuslyklar	38
3.2. Dörtpolýuslyklaryň ekwiwalent çyzygylary	41
3.3. Süzgüçler	43
4. Bipolýar tranzistorlary we olaryň ulanylyşy.	
4.1. Elektron we deşik geçirijilik	46
4.2. Garyndyly ýarymgeçirijiler	47
4.3. Elektron-deşik geçiş. Tekiz ýarymgeçirijili diod . . .	47
4.4. Tranzistor	49
4.5. Integral mikroçatgylar	53
5. Meýdan tranzistorlary we olaryň ulanylyşy.	

5.1. Meýdan tranzistorlary	54
5.2. Meýdan tranzistorynda düzülen güýçlendirijiler	56
6. Elektron lampalary we olaryň ulanylyşy.	
6.1. Termoelektron emissiýasy. Diod. Triod	57
6.2. Köpelektrodly we kombinirlenen elektron lampalary .	57
7. Güýçlendiriji gurluşlarda ters baglanyşyk.	
7.1. Ters baglanyşykly güýçlendirijiniň düzümi çyzygysy . .	58
7.2. Ters baglanyşygyň görnüşleri	60
8. Impuls güýçlendirijileri.	
8.1. Impuls güýçlendirijileriniň geçiş häsiýetnamalary . . .	61
8.2. Rezistor güýçlendirijisiniň ýygylýk korektsiýalary . .	62
9. Differensial we operasion güýçlendirijiler.	
9.1. Kaskadlaryň arasyndaky göni baglanyşyk	62
9.2. Differensial güýçlendiriji	64
9.3. Operasion güýçlendirijiler	65
10. Kuwwat güýçlendirijileri.	
10.1. Kuwwat güýçlendirmeleri	68
10.2. Transformatorsyz güýçlendirijiler	71
11. Rezonans güýçlendirijileri.	
11.1. Rezonans güýçlendirijiniň çyzygysy, häsiýetnamalary .	72
11.2. Zolak güýçlendirijileri	73
11.3. Güýçlendirmäniň awtomatiki sazlanýşy	74
12. Garmoniki yrgyldylaryň generatorlary.	
12.1. Generatorlaryň klassifikasiýasy	75
12.2. Induktiv baglanyşykly awtogenerator	76
12.3. RC-generatorlar	76
12.4. Multiwibratorlar. Bloking-generator	78
13. Detektirleme.	
13.1. Diodly detektor. Ýarymgeçirijili diodda detektor . . .	80
13.2. Detektoryň häsiýetnamalary we parametrleri	82
13.3. Ýygylýk detektirlemesi	83
13.4. Fazaly detektor	83
14. Ýygylýklary özgertmek. Signallar we olaryň spektrleri.	
14.1. Ýygylýgy özgertmegiň prinsipi	84
14.2. Tranzistorda düzülen ýygylýgy özgerdiji	85

14.3. Periodik signallaryň spektrleri	86
---	----

15. Galmagallar. Signallary ibermegiň we kabul etmegiň usullary. Päsgelçilikleriň täsiri.

15.1. Galmagallaryň ähtimallyk häsiýetnamalary	88
15.2. Sazlaşykly süzgüç	90
15.3. Kwazioptimal süzgüçler	92
Soňlama	93
Ulanylan edebiýatlar	94
Mazmuny	96