

2. DIOODSKEEMID

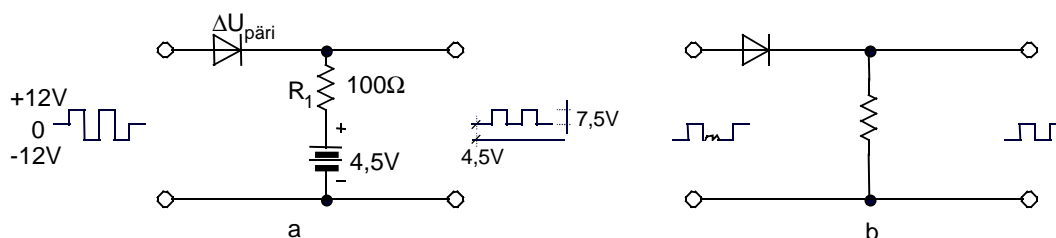
Dioodskeemid: piirikud, eelpinge formeerijad, temperatuuriandurid ja -kompenseerijad, diodventiilid ja diodkaitse. Dioodide eriliigid, nende kasutus madal- ja KS-tehnikas.

Dioode - p-n siirdeid - kasutatakse väga erinevatel eesmärkidel. Üheks suureks rakendusvaldkonnaks on toiteplokid, kus dioode kasutatakse nii signaali alaldamiseks, stabilitrone aga pinge stabiliseerimiseks. Kuna neis tekkivaid probleeme vaadeldakse eraldi toiteallikate kursuses, siis siin me seda valdkonda ei käsitle. Teine levinud kasutusala oleks kõrgsagedussignaali aldamine ehk amplituuddetektorid. Seda valdkonda me puudutame mõnevõrra. Edasi tulevad vaatluse alla erinevad signaalide formeerimisskeemid, millised leiavad rakendust nii analoog- kui digitaaltehnikas. Olulisteks dioodide rakendusteks on ka mitmesugused kaitse ja lülitusskeemid (diodventiilid). ÜKS tehnikas leiavad rakendust dioddegustid, modulaatorid, selles diapasoonis on välja töötatud rida spetsiifilisi dioode, milliseid püüame samuti siin käsitleda.

2.1 Diodpiirikud

Piirikuid kasutatakse signaalide kuju formeerimisel - näiteks siinusest täisnurkpinge kujundamisel. Ka kasutatakse neid amplituudhäirete äraastamiseks analoogsignaalidel, valides skeemi rakendusläve häirenivoo ja signaali vajaliku väärtuse vahele. Põhimõtteliselt võib piirikuid realiseerida ka teistel mittelineaarsetel elementidel, näiteks transistoridel. Meie siin piirdume diodpiirikutega.

Niisiis on piirik seade, mis piirab signaali ülalpool või ka allpool etteantud pingeniivoo. Väljaspool piiranguid on väljundsignaali sõltuvus sisendsignaalist lineaarne. Piirikud jagunevad diodi ühendamise järgi järjestikusteks ja paralleelseteks. Vaatleme kõigepealt järjestikusskeemi (joon. 2.1.1.a).

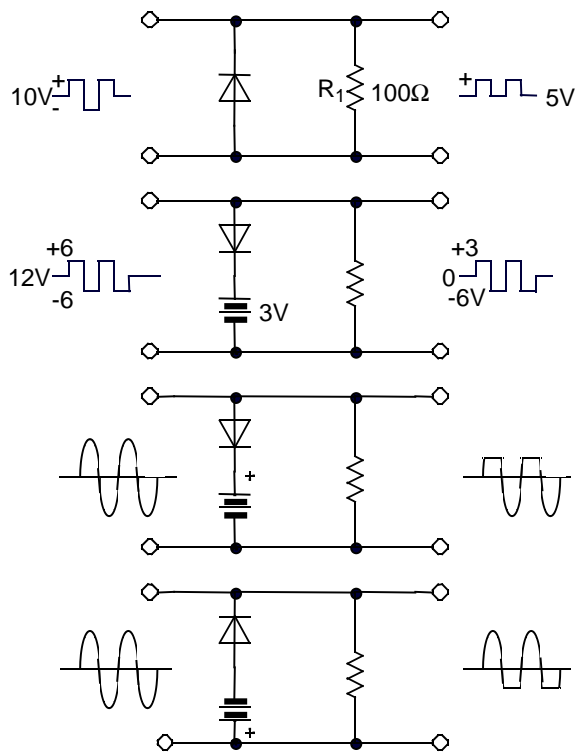


Joon. 2.1.1

Rakendusnivoo valikuks kasutatakse täiendavat eelpingeallikat. Diod hakkab avanema, kui sisendpinge ületab eelpingeallika pinge, vaadeldes diodi idealiseeritult, saame joonisel toodud väljundpinge. Reaalsetes skeemides tuleb täiendavalt arvestada veel diodi enda avanemispingega (diodi päripingelanguga), mis germaaniumdiodidel on 0,2...0,3 V ja ränidiodidel 0,5...0,7 V piires.

Huvitavaks näiteks on ka madalapingeliste häirete ja mürade mahasuruja (2.1.1.b). Ränidiodide korral surutakse signaalid amplituudiga alla 0,1V maha üle 30 dB, signaalidele üle 1V sumbuvus on aga alla 3 dB.

Paralleelpiirikute näited on joonisel 2.1.2. Neist esimene

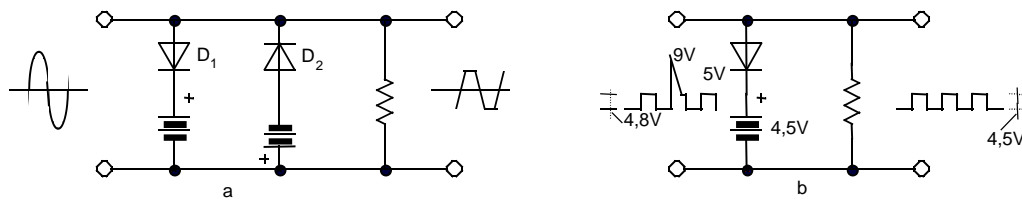


Joon. 2.1.2

illustreerib negatiivse polaarsusega signaalide piirikut. Andes sisendisse bipolaarse signaali, saame väljundis ainult positiivse polaarsusega signaali. Teisiti öeldes - signaal on väljundis ainult diodi suletud oleku ajal, diodi avatud olekus on signaali ahel sillatud diodi päritakistusega. Siin on eeldatud, et signaali allika takistus on palju suurem diodi päritakistusest. Kui see niimoodi pole, tuleb ühendada signaalitrakti järjestikkune takisti, suurendamaks piiriku suhtes vaadeldava signaali allika sisetakistust. See väide kehtib ka teiste paralleelpiirikute kohta.

Ülejäänud skeemide tööpõhimõtted on sarnased, nende töö selgitusteks on toodud vastavate sisend- ja väljundsignaalide ostsillogrammid.

Analoogsel põhimõttel (joon.2.1.3 a) võib koostada ka kahepoolsete piirikute skeeme. Sisuliselt on kasutatud siin kahte - alt ja ülalt piiravat - piirikut. Piirikuid saab kasutada lisaks signaalide formeerimisele ka



Joon. 2.1.3

amplituudhäirete ärastamiseks. Järgnev skeem (joon. 2.1.3 b) koos ostsillogrammidega on sellele illustratsiooniks.

Piirikuid saab koostada ka stabilitronidel; kuna stabilitroni võib vaadelda kui eelpingeallikaga diodi, on tihtipeale stabilitronidega piirikud lihtsamini realiseeritavad.

Piirikute arvutusel on põhireeglits tingimus, et näiteks paralleelpiiriku järjestiktakisti oleks palju suurem avatud diodi või stabilitroni takistusest.

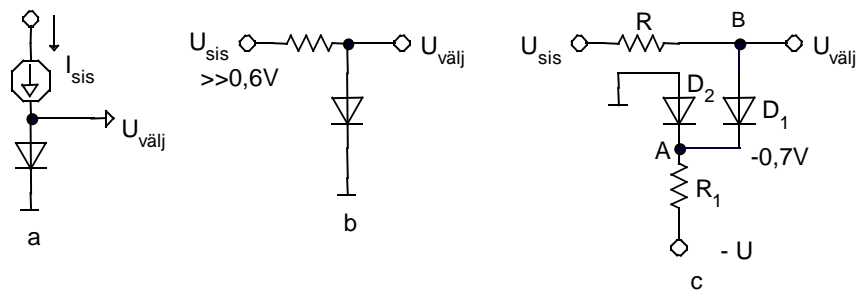
2.2. Funktsionaalmuundur diodil

Tingituna diodi eksponentsiaalsest VA-karakteristikust on võimalik luua diodi baasil logaritmilise muunduri. Sellisel juhul saame skeemi, kus pinge on logaritmilises sõltuvuses diodi läbivast voolust (joon. 2.2.1a). Kuna diodi pinge muutused seda läbiva voolumuutuste korral on 0,6 V -se avava pinge juures väikesed (jutt on ränidiodist), antakse sisendvool ette järjestiktakistiga, eeldades, et sisendpinge on palju suurem diodil olevast väljundpingest (vt. b). Seejuures saame, et

$$I = \frac{U_{sis} - U_{välj}}{R} \approx \frac{U_{sis} - 0,6V}{R} \approx \frac{U_{sis}}{R} \quad \text{kui } U_{sis} \gg 0,6V.$$

Tihti on aga 0,6V-ne pingenihe väljundis ebasoovitav. Seejuures on ka soovitav, et väljundpinge ei reageeriks temperatuurimuutustele (muide, tänu küllalt lineaarsele pinge temperatuurimuutustele kasutatakse diodi ka temperatuuriandurina). Sellisel juhul kasutatakse diodkompensatsiooni võtet (c). Takisti R_1 avab diodi D_2 , luues seega punktis A -0,6V -se pinge. Pingepotentsiaal punktis B on lähedane maa potentsiaalile; seejuures on sisendvool rangelt lineaarne sisendpinge suhtes. Kui mõlemad diodid asetsevad ühesugustes temperatuuritingimustes, siis neil olevad pinged kompenseeruvad täielikult, välja arvatud muidugi pingete erinevus, mis on tingitud D_1 -de läbivast voolust. Viimane määrabki väljundpinge. Takisti R_1 tuleb valida nii, et vool läbi diodi D_2 oleks palju suurem maksimaalsest sisendvoolust. See on vajalik diodi D_2 avatud oleku.

Operatsioonvõimendite (OV) abil on võimalik luua tunduvalt täiuslikemaid logaritmiliste muundurite ja temperatuurimõju kopenseerimiseks vajalikke lahendusi, nende juurde pöördume hiljem.

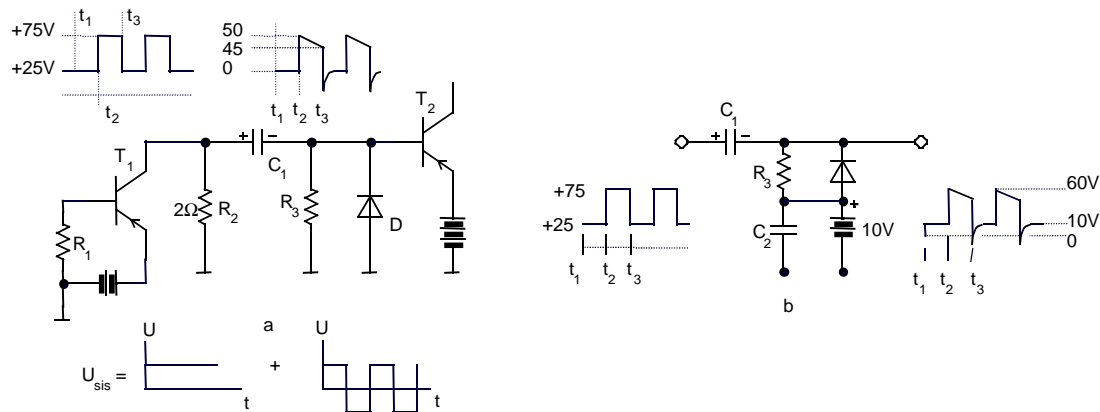


Joon. 2.2.1

2.3 Nivoofiksaatorid

Kuigi tavaliselt on nivoofiksaatorid kasutusel koos võimendusastmetega, vaatleme neid siiski siin, diodide osas, kuna põhiline töö tehakse neis siiski diodi poolt. Nivoofiksaatori ülesandeks on taastada signaalis olev alaliskomponent. Teatavasti mahtuvuslikul astmetevahelisel sidestusel ei kanta üle signaali alaliskomponenti. Samas aga alaliskomponent võib sisaldada olulist informatsiooni - Näiteks videosignaalis sisalduv alaliskomponent kannab olulist infot pildi - nn musta nivoo kohta.

Vaatleme ühte näidet (joon. 2.3.1). Kaheastmelisse, mahtuvusliku sidestusega võimendisse on alalispinge nivoo taastamiseks lisatud T_2 baasi ja maa vahele diod. Piisavalt pika signaali pausi korral (ajamomendil t_1) osutub kondensator C_1 laetuks lähterahuulokorra pingeni, mis langeb takistile R_1 - 25 V; pinge polaarsus on näidatud joonisel (a). Esimese impulsi



Joon. 2.3.1

saabumisel (t_2) kasvab pinge takistil R_2 rahuolularrapingest kuni 75 V -ni. Kuna impulsi esifront on kondensaatori C_1 laadumisaegast (üle R_3 -e) tunduvalt väiksem, siis kogu takisti R_2 pinge kantakse üle takistile R_3 , pinge kondensaatoril C_1 aga jääb impulsi fronti vältel muutumatuks. Seega, takistil R_3 olev pinge osutub võrdseks pinge amplituudi (75V) ja kondensaatori C_1 lähtepinge vahega. See tähendab, et Impulsi amplituud takistil R_3 on $75 - 25 = 50$ V . Kuna ajakonstant C_1R_3 on impulsi kestvusest tunduvalt suurem, tühjeneb kondensator üsna vähe, seega ka pinge takistil R_3 väheneb

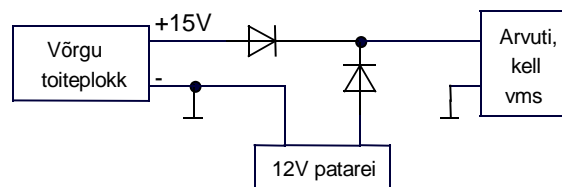
impulsi kestel väga vähe. Näiteks kui pinge kondensaatoril kasvab impulsi kestel 30 V -ni, siis väljundimpulsi suurus väheneb 5 V -i ja ajamomendil t_3 (vt joon.a) võrdub 45 V -ga.

Kui sisendimpulss muutub jälle nulliks, saavutab pinge takistil R_3 jällegi pinge 25 V (moment t_3). Kuna nüüd pinge kondensaatoril ületab seda pinget 5 V -i võrra, hakkab kondensaator tühjenema üle diodi ja takisti R_2 , mis tekitab transistori baasil lühiajalise negatiivse pinge väljaviske (võrdues suuruselt väikese, diodi avava pingega). Oluline on see, et väikene avatud diodi takistus sildab takisti R_3 , mistõttu järsult väheneb kondensaatori tühjanemis-ajakonstant. Seetõttu väikene negatiivne impulsi väljaviske (diodi pinge) muutub kiiresti nulliks, mille järel taastub kondensaatori lähtepingnivoo 25 V. Kuna see nivoo on impulssidevahelise rahuolukorra (pausi) nivooks, siis läbi takisti R_3 voolu ei voola ja sellel takistil puudub pingelang. Seega seotakse väljundpinge nullise nivooaga ehk teisiti öeldes, väljundis ei teki mõlemapolaarseid pingeid.

Kui soovitakse siduda pinge mõne mittenukse pingeniivooaga, täiendatakse skeemi vajalikku nivood määrava eelpingeallikaga (vt b). Siin tõstetakse diodi ja takisti R_3 potentsiaali vaja;iku rakendusnivooni. Eelpingeallikas on sillatud kondensaatoriga, vältimaks eelpingeallika pinge sõltuvust vaheldussignaalist, mis tekiks allika sisetakistusel seda läbiva voolu tõttu (eelpingeallika lahtisidustus). Vastavalt ülalvaadatud põhimõttele saadakse nüüd väljundsignaal seotuna eelpingeallika pingeniivooaga (joonisel 10 voldiga), võrreldes esimese näitega on siin pinge nihutatud 10 voldi võrra nullist ülespoole.

2.4. Diodventiilid

Siin mõeldakse diodlülitid, milliseid kasutatakse kontaktivabaks signaalide kommuteerimiseks. nende tööpõhimõte tugineb diodi omadusele lasta läbi suuremat signaali ja mitte mõjutada väiksemat. Vaatleme siin diodlülitit pidevat toidet tagava toiteploki näite varal (joon. 2.4.1). Selles plokis võrgust

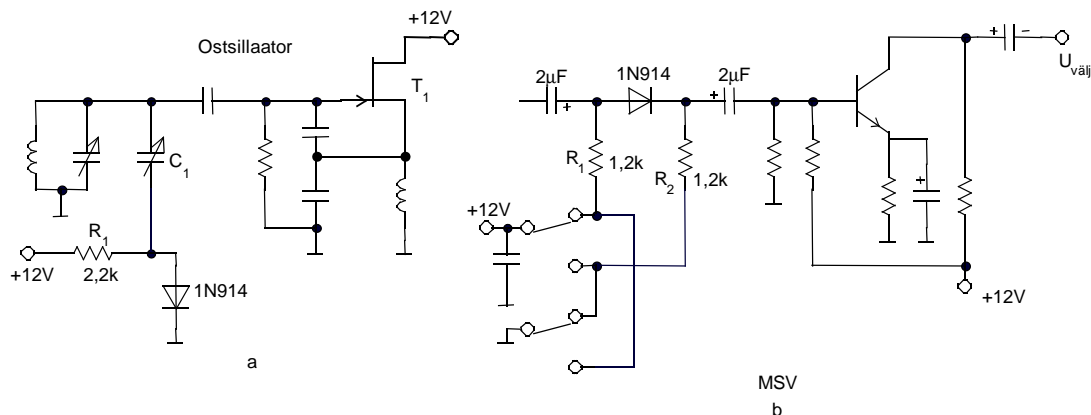


Joon. 2.4.1

saadav toitepinge on mõnevõrra kõrgem reservpatareist saadavast. Võrgutoite korral on avatud ülemine diod, pinge kadumisel kommuteeritakse toide automaatselt patarei peale.

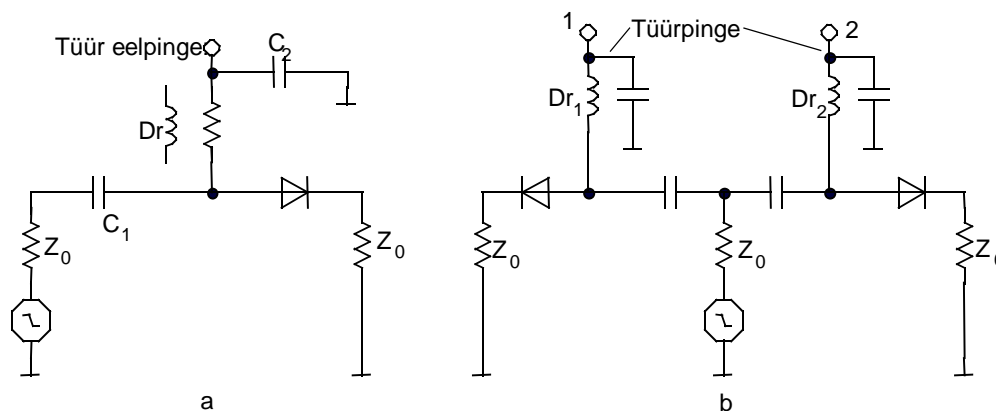
Toiteplokkides kasutatakse diode ka kurbade tulemuste vältimiseks pingepolaarsuste segiajamise korral. Selleks ühendatakse toidetava seadme toitesisendisse järjestikune diod, mis tagab skeemi julgeoleku vale toitepolaarsuse korral. Teiseks võtteks on toitesisendi lühistamine diodiga, mis peaks siis tagama vale polaarsuse korral toiteploki kaitsme läbipõlemise või ülevoolukaitse tööerakendumise. Diodlülitid kasutatakse ka madal - ning kõrgsageduslikes skeemides. Joonisel 2.4.2 on toodud näited diodide signaaliahelasse paralleel - ja järjestiklülitusega. Esimeses näites kasutatakse diodlülitit täiendava kondensaatori lülitamiseks võnkeringi (sagedusdiapasoonide

vahetamiseks), järjestikskemis kasutatakse diodi helisignaali sisse- ja väljalülitamiseks.



Joon. 2.4.2

KS ja ÜKS signaalide kommuteerimiseks kasutatakse PIN-dioode. Nood tagavad diodi avatud olekus lüliti väikese kõrgsagedusliku takistuse, suletud olekus väikese - ja mis eriti oluline - püsiva mahtuvuse. Joonisel 2.4.3 on toodud ühepolaarne kahesuunalise läbimisega (SPDT - single-pole double-throw) lülite näited.



Joon. 2.4.3

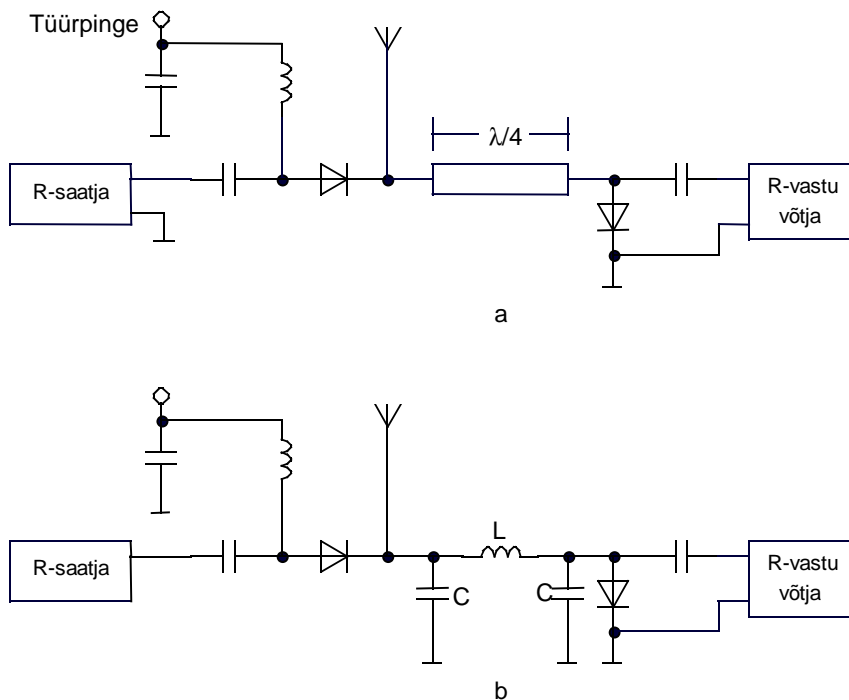
Neist esimene realiseerub ühel diodil. Kondensaator C_1 blokeerib alalispinge sattumise signaali allikasse, C_2 aga töötab lahtisidestuskondensaatorina. selleks, et generaatori vool kanduks koormusesse, peab diodile rakendama +eelpinge. Ülekantava signaali moonutuste suurus sõltub diodi pärivoolu suurusest.

Teises näites on toodud ümberlülitit. Selleks, et generaatori vool voolaks vasakul olevasse koormustakistusse, tuleb avada eelpingega diod vasemal, paremal olevasse - diod paremal pool. Tavaliselt ühediodilistel lülititel on raske saavutada suuremat kui 40 dB - st lahtisidestust. Kõrgema lahtisidestuse tagamiseks tuleb kasutada diodide järjestik-paralleelühenduste kombinatsioone. Nii on võimalik tagada kuni 100 dB - ne lahtisidestust.

Järgmine näide puudutab ühisele antennile töötava VASA (vastuvõtja-saatja) saate - vastuvõtu režiimide ümberlülitamist (joon.2.4.4). Saate-režiimis on avatud mõlemad diodid, vastuvõtul on mõlemad suletud. Veerandlaineline liinilõik väldib antenni lühistamise saate-režiimis vastuvõtja poolel oleva avatud diodi poolt. Liinilõik võib olla asendatud diskreetsetel elementidel realiseeritud ekvivalendiga.

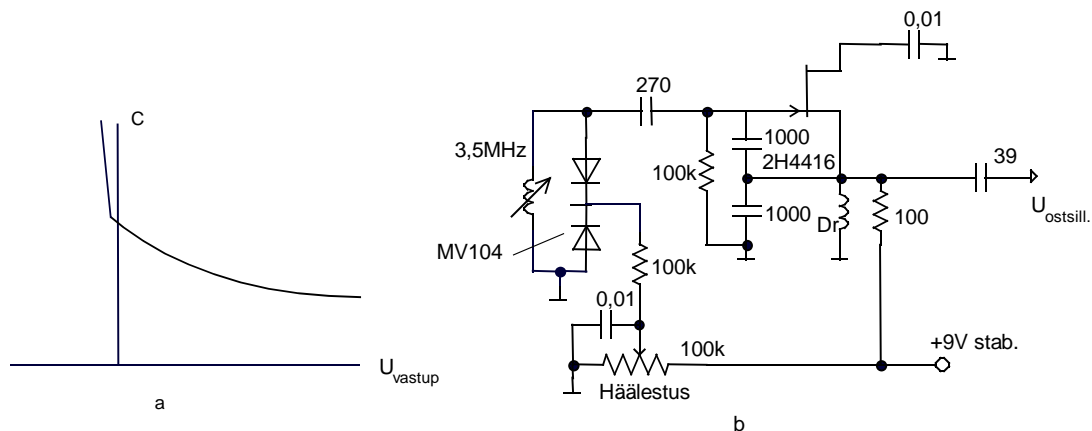
2.5 p-n siirde rakendamine mahtuvusena

p-n siirde baasil on väljatöötatud muutmahtuvustena kasutatavad varikapid ja varaktorid. Välismaises kirjanduses



Joon. 2.4.4

nimetatakse tihti varikappe ka varaktoriteks. Varikapi (või varikapi režiimis töötava varaktori) all mõistetakse reguleeritavat mahtuvust, mida tavaliselt kasutatakse võnkeringide häälestuseks. Varikapi režiimis töötab p-n siire vastupingestatud olukorras(joon. 2.5.1 a)

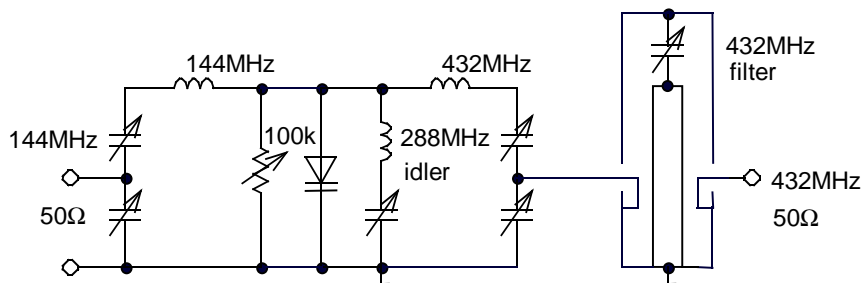


Joon. 2.5.1

Tavaliselt kasutatakse varikappe moonutuste vähendamiseks sümmeetrilises reziimis (b). Tüürpinge peab olema stabiliseeritud.

p-n siirde teiseks rakenduseks oleks nende kasutamine avatud olukorras - varaktorsageduskordistites. Varaktorkordistid on saatjates väga levinud tänu oma kõrgele kasutegurile. Varaktor kujutab endast p-n siirdel tekkivat mittelineaarset mahtuvust. Sageduse kordistamine tugineb aga siirde avamisele sisendsignaali poolt. Osutub, et tekib väga suur, mahtuvuse hüppeline muutus (mahtuvuse erinevus siirde avatud ja suletud olekus võib olla mitme suurusjärgu kordne), mille tõttu on tegemist väga suure mahtuvusliku mittelineaarsusega (joon. 2.5.1 a) Tavalisi transistorkordisteid võib vaadelda kui mittelineaarsel takistusel tuginevaid kordisteid. Skeemides, kus on aktiivtakistused, on ka aktiivkaod. Kui varaktor oleks ideaalne, kadudeta mahtuvus, oleks kordisti kasutegur 100 %- ne. Varaktori aseskeemist (joon. 2.5.2) võib aga näha kõigepealt seda, et varaktor sisaldab nii pingest sõltumatut pooljuhi mahutakistust kui mittelineaarset siirde aktiivtakistust. Samuti võib näha, et varaktor saab efektiivselt töötada vaid kindlas sagedusvahemikus. Madalatel sagedustel läbib enamus voolust mittelineaarset aktiivtakistust, väga kõrgetel aga hakkab domineerima pingelang järjestiktakistil. Seega tuleb varaktorite valikul jälgida varaktorile ettenähtud sagedusdiapasooni. Varaktorkordisteid kasutatakse alates sagedustest 300...500MHz -st ülespoole.

Varaktorkordisteid koostatakse kas signaalitrakti suhtes paralleelse varaktorilülitusega ning järjestikkuste resonatoritega või siis järjestikkuse varaktorilülitusega ja paralleelsete resonatoritega. Vaatleme siin ühte sageduse kolmekordisti näidet paralleelse varaktoriga (joon. 2.5.2). Vônkeringid on



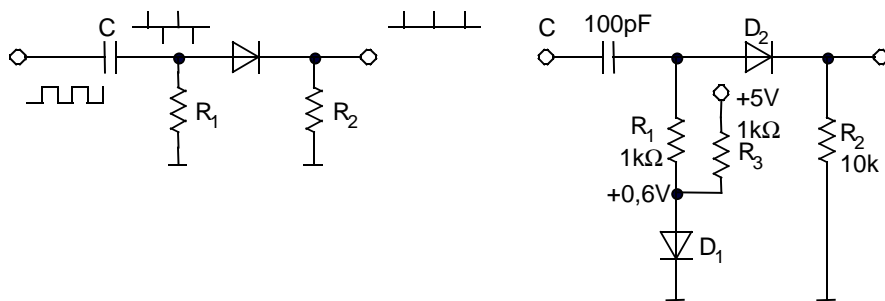
Joon. 2.5.2

sobitatud 50-oomiste sisend- ja väljundtakistitega mahtvuslike sidestuste kaudu. sisendvõnkering häälestatakse jällegi esimesele harmoonilisele, väljundvõnkering ning sellele järgnev resonator - kolmandale harmoonilisele. Lisaks neile kasutatakse tihti lisavõneringi, häälestatuna teisele harmoonilisele. See suurendab varaktorit läbivat teise harmoonilise voolukomponenti, mis kokkuvõttes suurendab varaktorit läbiva voolumaksimumi, suurendades sellega ühtlasi siirde mittelineaarsusest tekkivat kordistusefekti. takisti on skeemis varaktori töörežiimi reguleerimiseks. Varaktor töötab ikkagi ka kui diod ja sisendpinge aldamise tõttu tekib varaktorile signaali amplituudist sõltuv eelpinge. Toodud kordisti kasutegur on vähemalt 0,5, kahekordistitel võib kasutegur küündida 0,8-ni.

Varaktorkordisteid kasutatakse, nagu teisigi sageduskordisteid sellistes astmetes, kus amplituudmoonutused ei ole olulised. Eriti levinud on aga varaktorkordistid väikesevõimsuseliste SM saatjate lõppastmetes, vältimaks kõrgsageduslikke transistorastmeid. Samuti on soodne asjaolu, et see kordisti ei vaja toidet. Nii on lihtne koostada saatja kõrgsagedustrakt selliselt, kus saatja asub antennist eemal ja on ühendatud vahetult antenni juures asetseva varaktorkordistiga. Sellisel moel on ka ühenduskaabli kaod tunduvalt väiksemad, kuna ülekantav sagedus on madalam saatja väljundsagedusest.

2.6 Käivitussignaali formeerimine

Siin vaatleme digitaalskeeme tüüriivate lühikeste ühepolaarsete käivitusimpulsside formeerimist (joon 2.6.1 a), millised langeksid kokku täisnurksignaali algfrondiga. Antud skeemis saame väljundpinge juhul, kui sisendpinge tipust tippu ületab diodide avamispinget (ca 0,6V). Kui on vaja skeemi tüürida madalama sisendpingega, võiks kasutada näiteks Schottky diode, millede avamispinge on ca 0,25 volti, samuti nullise päripingega pöördidiodi, kuid siin on oht nende madalpingelisuse tõttu siirde läbilöögiks. Ka siin võib kasutada diodide kompensatsiooniskeemi (b), mis lisadiodi poolt antava eelpingega määrab põhidiiodi rakendusläve.



Joon. 2.6.1

Muidugi võib vajaliku eelpinge anda ka pingejaguriga, kuid siis jääb diodi temperatuurimuutustest tingitud päripingemuutus kompenseerimata.

2.7 Diodekaitse induktiivahelate korral

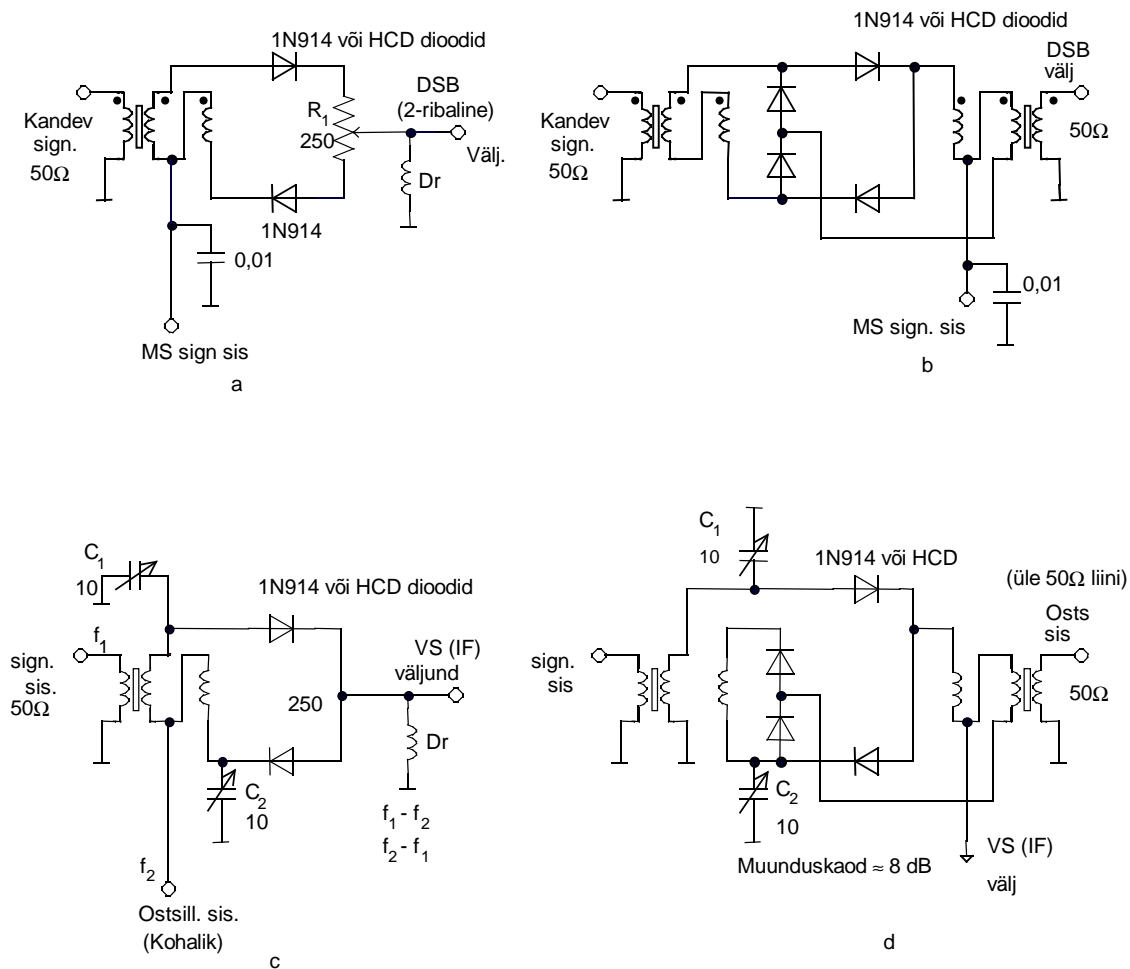
Teatavasti põhjustavad voolu muutused induktiivsustes vastu-emj tekkimise $U = L(dI/dt)$. Viimane aga võib osutada ohtlikuks madalapingelistele transistoridele, mikroskeemidele. Seepärast tuleb induktiivsustega skeemides, kus esinevad suured voolu muutused - näiteks transistori baasiahelas töö korral baasivoolu lõikenurkadega või ka releemähise kommuteerimisel kollektorahelas. Sellistel puhkudel sillatakse induktiivsused või transistori vastavad siirded kas madalaoomiliste takistustega (mis põhjustab täiendavaid kadusi) või siis diodidega. Kõrgsageduslikel rakendustel tuleb kasutada muidugi kõrgsageduslikke (kiiretoimelisi) diode. Siirete läbilöögiohtu ei tule alahinnata. Nii näiteks võib releemähise kommuteerimisel tekkiv vastupinge küündida kilovoltideni (tuletagem meelde isegi patareitoite korral sädeme tekkimist induktiivsuste väljalülimisel). Teoreetiliselt kasvab pinge induktiivsusel seni, kuni ilmub vool (säde). Diod tuleks valida nii, et ta oleks arvestatud samasuurele, kui induktiivsuses statsionaarolukorras, voolule.

2.8 Laiaribalised diodsegistid ja -modulaatorid

Matemaatiliselt võttes kujutavad segisti (mixer) ja amplituudmodulaatori (modulator) endast kahe erineva sagedusega signaali korruteid. Sõltuvalt aga korrutusoperatsiooni puhtusest võivad kaasneda rida ebasoovitavaid kõrvalprodukte, mis kajastuvad täiendavate, häiresignaali näol väljundis. Parimateks osutuvad nn balansskeemid, kus kõrvalnähtused on viidud miinimumini ning kus on tagatav signaali allikate ja koormuse omavahelised lahtisidestus. Lahtisidestus on vajalik ka ristmodulatsiooni vähendamiseks. Viimase all mõistetakse häiret (häirespektrikomponente väljundis), mis tekib kahe, lähedaste sagedustega signaali korral sisendis ning mis lisandudes põhisisignaalile väljundis tekivad selle moonutusi. Siin me vaatleme balansskeeme. Kuna segustid ja modulaatorid sisuliselt täidavad sama ülesannet, on nende põhimõttelised lahendused samad. Tavaliselt aga segustid töötavad väga väikeste signaalidega, vastuvõtjates; amplituudmodulaatorid aga - suurte signaalidega, saatjates. Erinevused on muidugi ka sageduste

vahekordades. Mõlemate skeemitehniliseks ülesandeks on tekitada väljundis sisendsignaali vahesagedusega või (ja) summasagedusega signaal (-id). Kirjanduses neid omavahel tihti ei eristatagi. Ebasoovitavateks signaalideks on aga otseselt läbitulevad sisendsignaali ja heterodüünisignaali (tõsi, saatjates kasutatakse mittebalansskeemide korral väljundisse jäävat heterodüünisagedusega komponenti saatja kandevlaine formeerimiseks).

Järgnevalt on toodud näited ühekordsetest (single) balanssmodulaatoritest (joon. 2.8.1 a,b) ja balanssegustitist (joon 2.8.1 c,d). Võib näha nende küllalt suur sarnasust. Trimmerid C_1 ja C_2 on ettenähtud skeemi balansi saavutamiseks, neid võib rakendada vajaduse korral ka balanssmodulaatorites. Trafod on siin kõikjal toroidsüdamikule keritud trifilaarmähistega.



Joon. 2.8.1

Segustid ja modulaatorid on iseloomustatavad järgmiste parameetritega:

1. Intermodulatsioonitegur iseloomustab elemendi 3-järku mittelineaarsusest tekkivate produktide (kahe sisendsageduse f_1 ja f_2 korral tekkivate komponentide sagedustega $2f_1 - f_2$ ja $2f_2 - f_1$) osakaalu, võrrelduna lineaarse võimendi signaali amplituudiga. Siin tuuakse välja nn 3-järku ristumispunkt IP_3 , kus tekkivad lisaproductid on sama amplituudiga kui lineaarse võimendi

signaaliampliituud.

2. Heterodüünisignaali võimsus P_h , millest sõltuvad ka ülal määratud moonutused.
3. Sumbuvus ehk muunduskaod A_i ;
4. Endamürad F_m ;
5. Signaalisisendi ja heterodüünisendi (modulaatori korral vastavalt madal- ja kõrgsagedussisendite) ning signaalisisendi ja -väljundi omavahelised lahtisidestused A_x .
6. Ristmodulatsioon on veel üks moonutusteliik segustites, seda eriti AM signaalide vastuvõtul. Kande-signaali korral tekitab teine raadiosignaal segusti mittelineaarsusel täiendava modulatsiooni, mis kantakse segusti väljundsignaalile sisse.

Segustite ja modulaatorite kvaliteedinäitajate järgi liigitatakse neid järgmiselt:

Väga madal tase	$P_{i3} \leq +7\text{dBm}$	$P_h \leq 0\text{dBm}$
Madal tase	$\approx +13\text{dBm}$	$\approx +7\text{dBm}$
Keskmine tase	$\approx +20\text{dBm}$	$\approx +13\text{dBm}$
Kõrge tase	$\approx +25\text{dBm}$	$\approx +17\text{dBm}$
Väga kõrge tase	$\geq +30\text{dBm}$	$\geq +20\text{dBm}^6$

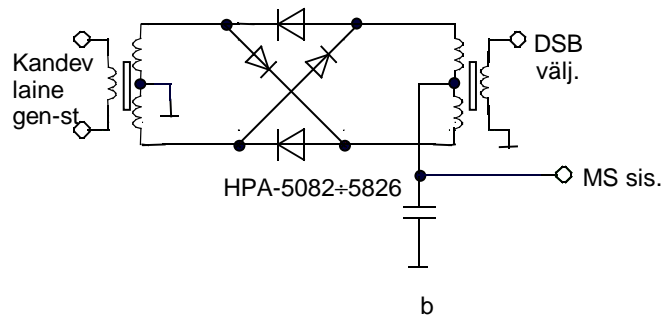
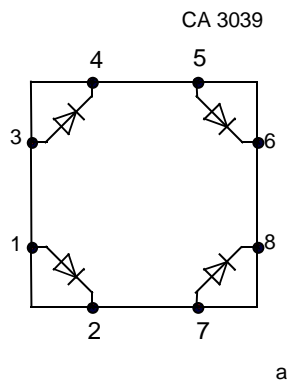
Ringsegustite tüüpiline sumbuvus on 5,5...6,5 dB, mürategur Shottky diodide korral on ligikaudu 0,5 dB, Lahtisidestus signaali sisendite vahel võib ületada 25 dB, signaali ja heterodüüni sisendite vahel võib ületada 45 dB. Seisva laine tegur sõltub suurel määral ergutus - eriti aga heterodüüni võimsusest.

Passiivseid (diod) segusteid kasutatakse kahes esimeses ülal määratud klassis harva, kuna vajalikud näitajad saavutatakse aktiivelementidega lihtsamalt ja koos täiendava võimendusega. Mikroskeemsed lahendused kuuluvad ka tavaliselt nendesse klassidesse.

Passiivse mikroskeem- modulaatori näitena võib tuua diodide komplekti CA3039 (joon. 2.8.2.a), kus on tagatud kõrge diodide parameetrite omavaheline kokkulangevus. Aktiivse mikroskeemse modulaatori näitena on toodud MC1496G-le tuginev skeem (joon. 2.8.2.b).

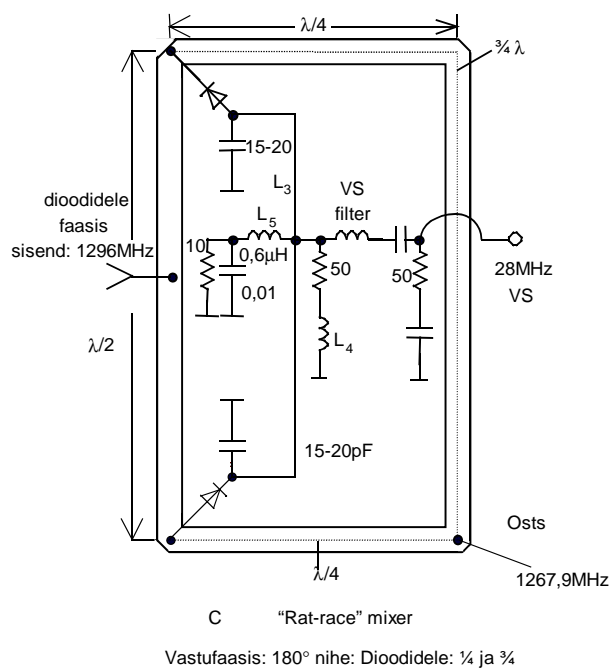
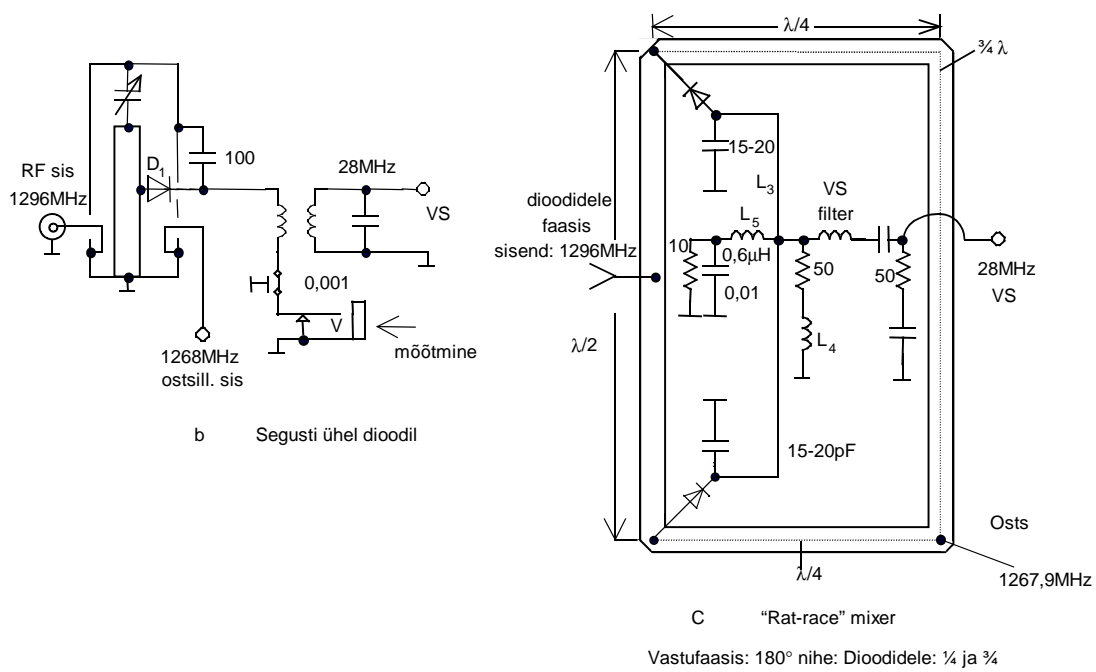
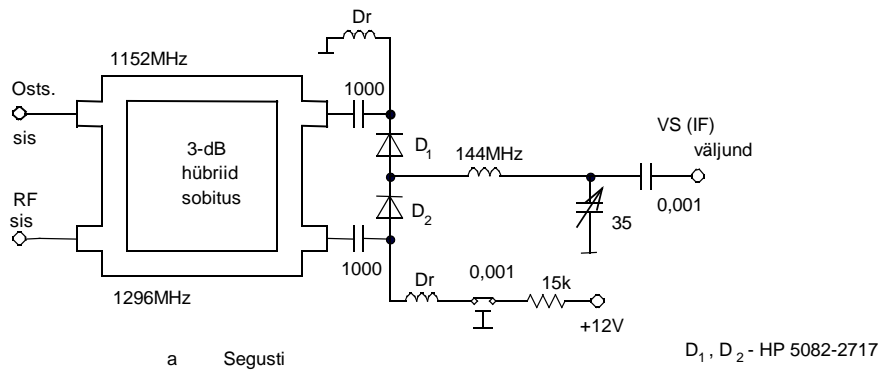
Diodide valik sõltub kasutatavast sagedusdiapasoonist. Üheks uuemaks diodi liigiks on inglisekeelne hot-carrier diode (HCD), mis on metall-pooljuht, enamuse-laengukandjate juhtivusega, ühe aladava siirdega seadis. Võrreldes tavaliste p-n pindsiirdega diodidega, on HCD diodi eelisteks kõrge töösagedus ja väiksem siiret avav pinge ning väiksem sisemahtuvus. Need diodid leiavad põhilist rakendust segustites ja ka sünkroondetektorites VHF ja kõrgematel sagedustel. Selles sagedusdiapasoonis kasutatakse ka Shottky diode (näiteks HP 2900).

⁶ Teatavasti on detsibell suhteline ühik. Tihti aga kasutatakse neid mingi konkreetse väärtuse suhtes. Näiteks helitugevus 1 dB tähendab akustilise välja tugevust 10^{-16}W , mis on normaalse kuulmisae alumiseks oiriks 600 Hz-l sagedusel. Raadiotehnikas kasutatakse tihti tähist dBW, mis näitab võimsusi 1W suhtes või nagu ülalpool toodud dBm, mis näitab võimsusi 1 mW suhtes. Nii näiteks on 2 kW võrdne +63 dBm või -53 dBW -ga.

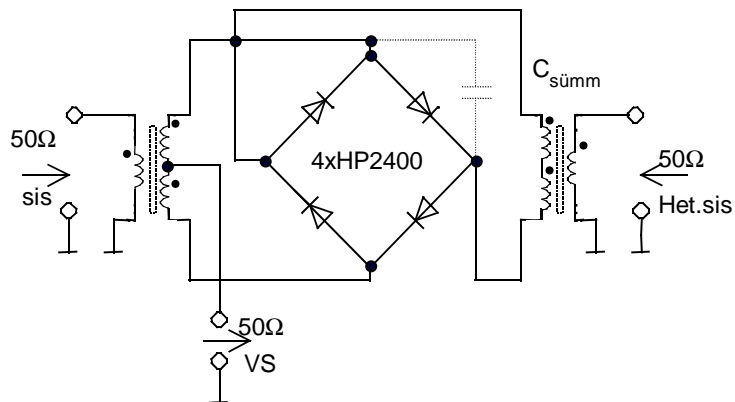


Joon 2.8.2

Toome veel mõned ÜKS ja ka kahekordselt balanseeritud skeemide näited (joon. 2.8.3).

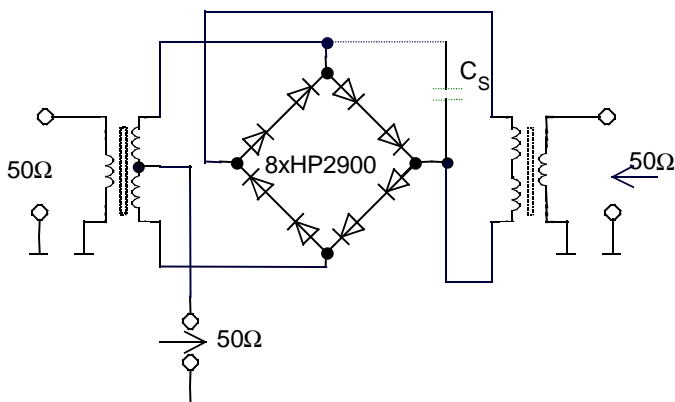


Joon 2.8.3



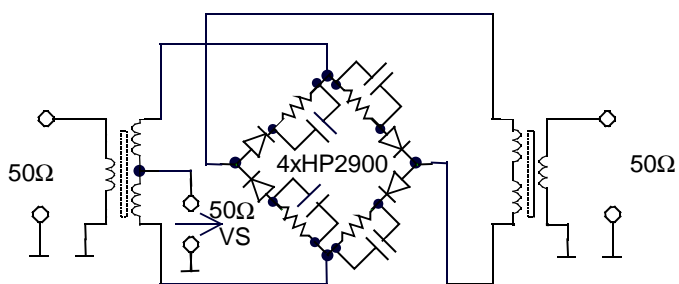
$IP_{i3} \geq +20dBm$
 $A_i \approx 6dB$
 $P_h = +13dBm$
 Sisendi maha –
 surumine $KP_i \geq +7dBm$
 $P_T = 200mW$

a) keskmise võimsusnivoo segusti



$IP_{i3} \geq 25dBm$
 $KP_i \geq +13dBm$
 $A_i \approx 6dBm$
 $P_h = +17dBm$
 $P_t = 400mW$

b) kõrge võimsusnivoo segusti



$IP_{i3} \geq 30dBm$
 $KP_i \geq 15dBm$
 $A_i \approx 6dBm$
 $P_h = +20dBm$
 $P_t = 400mW$
 $R_i = 100\Omega; C = f(\omega)$

c) väga kõrge v-nivooga segusti

Joon. 2.8.4

Kvaliteetsemates saatjates, vastuvõtjate ja ka mõõteriistades kasutatakse kahekordseid (double) balansssegusteid ja -modulaatoreid (BS, BM). Nood sisaldavad kahte sümmetreerivat sobitistrafot ja diodide ringahelat (joon. 2.8.4). Kuna nendele esitatakse väga suuri nõudeid dünaamilise diapasooni kohta, vaatleme siin lahendusi alates keskmisest võimsusnivoost, eeldades, et suure dünaamilise diapasooni korral on see kasutatav ka väiksematel nivoodel. Joonisel toodud lahendused vastavad keskmisele (a), suurele (b) ja väga suurele (c) võimsuste nivoodele. Toodud lahendustes on kasutatud Shottky diode.

Kõrgema võimsuse nivoo korral (b) kasutatakse kahte järjestikkust diodi, väga kõrgetel nivoodel aga kasutatakse järjestikkust RC ahelat

2.9 Diiodostillaatorid ja võimendid

2.9.1 ÜKS generaatordiodid

Generaatoritena ja regeneratiivsete võimenditena on kasutusel ka laviin -läbilend diodid. Need kujutavad endast Si, GaAs või Ge kristalle struktuuriga $p^+ - n - n^-$ või ka keerukama struktuuriga (näiteks Schottky barjääriga laviin-läbilend-dioode). Levinud on laviin-läbilenddiiodide kasutamine IMPATT (impact-avalanche-transit time - lööklaviin-läbilennu aeg) - režiimis.

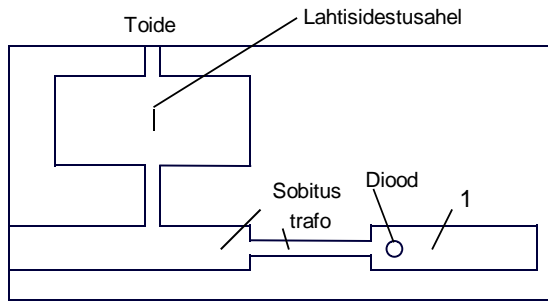
Erinevalt ülaltoodud diodidest Gunni diod ei sisalda p-n siiret, olles valmistatud tavaliselt GaAs kristallil. Leiutaja nime kandev Gunni diod avastati 1963. aastal firmas IBM. Gunni efekt seisneb võnkumiste (negatiivse takistuse) tekkimises mikrolainediapasoonis, kui pooljuhist lastakse läbi suur vool. Gunni diod õigustab diodi nime vaid selles, et tal on kaks elektroodi, alaldusefektiga pole siin mingit tegemist.

Tööstuslikult toodetavad diodid on ette nähtud tööks 4...100 GHz-tel sagedustel, genereerides võimsusi 0,1...1W piires, tehnoloogia edasiarenedes on loota väljundvõimsuse suurenemist. Joonisel 2.9.1 on toodud korpuses oleva Gunni diodi 17 GHz resonantsagedusega aseskeem. Diiodi ennast iseloomustatakse indutseeritava negatiivse takistusega - R_d ja diiodi mahtuvusega C_d .

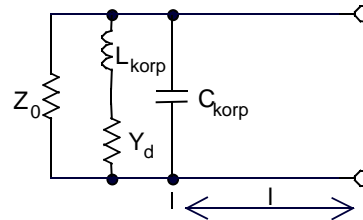
Tingituna oma väga headest müraomadustest, kõrge lineaarsusega moduleerimisvõimalustest, mitmeoktaavilisest elektroonse ümberhäälestusvõimalustest ja võimsuste liitmisvõimalustest on üldmärgitud diodid praktiliselt välja tõrjunud varemlevinud ÜKS-diiodi tunneldiiodi. Viimaseid kasutatakse tänapäeval üha harvemini.

2.9.2 ÜKS diiodide kasutusnäiteid

Vaatleme ÜKS generaatori topoloogiast ja aseskeemi, reliseerituna kas Gunni või IMPATT- diiodil (joon 2.9.2).



Joon. 2.9.1



Joon. 2.9.2

Resonaatoriks on siin otsast lahtine mikroribaliin 1, mille pikkuse kuni diodini võib leida askeemi abil koostatud seosest

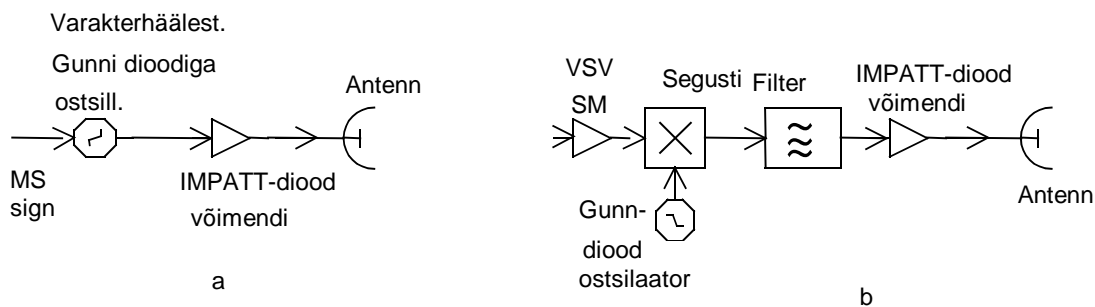
$$\frac{\omega_0^2 - \omega_k^2}{\omega_0 \omega_k} \cos v - \frac{\sqrt{L_k / C_k}}{\rho} \sin v = 0; \quad \omega_k^2 = 1 / L_k / C_k,$$

kus

$\rho, v(\omega)$ – liini laine takistus ja elektriline pikkus,

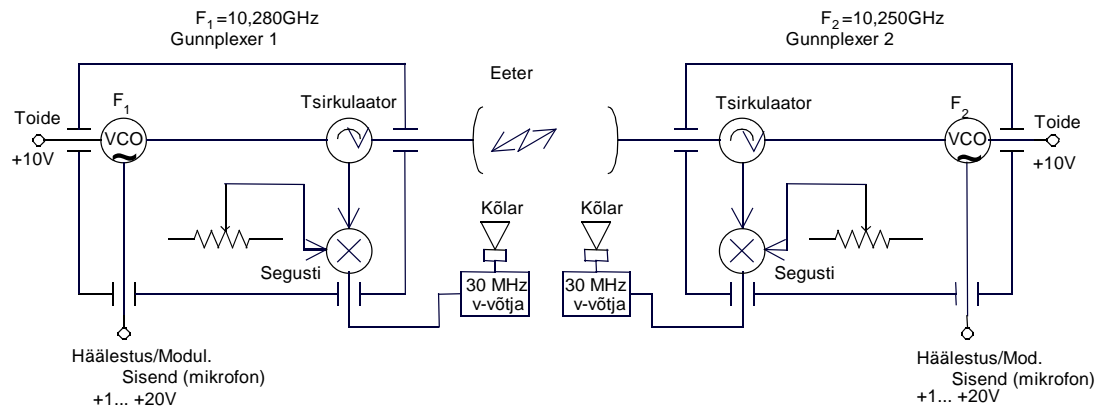
L_k ja C_k – diodi korpuse induktiivsus ja mahtuvus.

Järgmiselt vaatleme ülalmärgitud diodide rakendusi saatjates struktuurskeemide tasemel (joon. 2.9.3 a,b). Variant a illustreerib varaktoritega ümberhäälestatava Gunn - diod - ostsillaatori ning IMPATT diod-võimendi kasutust SM-saatjas, b - nende diodide kasutust ümberhäälestatavas, heterodüüniga sagedust ülesmuundavas saatjas.



Joon.2.9.3

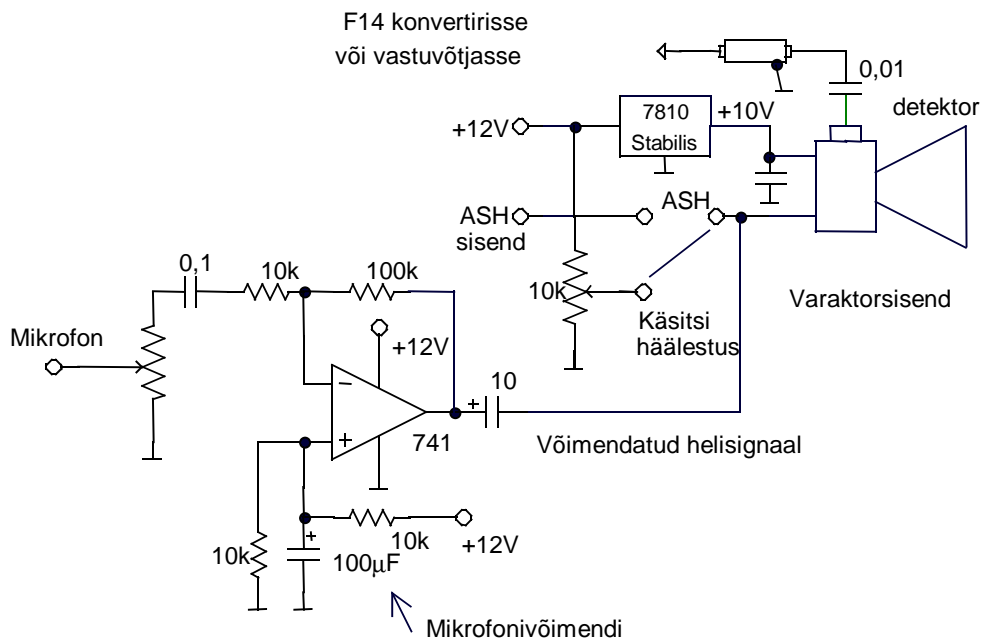
Viimasena vaatleme tööstuslikult, firma Micrawave Associates poolt toodetava Gunnplekser-transiiveri kasutust dupleksside (kahepoolse side) organiseerimiseks. Plekseri südamikuks on (joon. 2.9.4) Gunn-diod-ostsillaator (VCO), mis on koos varaktoriga



Joon. 2.9.4

õsresonaatorisse monteeritud. Täiendavaks mehaaniliseks häälestuseks on resonaator varustatud veel häälestuskruvidega. Varaktordiodidele rakendatav alalis-häälestuspinge 1 kuni 20 voldini tagab vähemalt 60 MHz- se elektroonilise sagedushäälestuse. Gunni diodi kasutatakse samuti detektordiodile ostsillaatorsignaali andmiseks. Ferriitsirkulaator (ferriitventiil) tagab vastuvõtja ja saatja lahtisidestuse, andes ühtlasi energiat ka madalamüralisele Schottky segustidiodile. Kuna Gunni ostsillaator töötab ostsillaatorina nii saatja kui vastuvõtu poolel, peavad mõlema vahesagedused olema võrdsed. Seda on näidatud ka joonisel, vahesagedus 30 MHz on standartne U.S.A helisagedustechnika vahesagedus, 45 ja 70 MHz on vastavalt videotehnikas ja kiires andmesides kasutusel. Toodud süsteem on täielikult dupleksne - mõlemil pool võib üheaegselt rääkida ja olla kuuldel ilma ümberlülitusteta saatja- vastuvõtja režiimidele. reaalses süsteemides võib ilmned vajadus sageduse automaatseks järelhäälestuseks, selleks on Gunnplekseril võimalus ette nähtud.

Joonisel 2.9.5 on näidatud lihtsaim sidekanali loomise



Joon. 2.9.5

võimalus kahe, ULL vastuvõtjast (konverterist), Gunnplekserist, mikrofonist koos mikrofonivõimendiga ja toiteallikast, koosneva komplekti abil. Vastuvõtjast saadav ASH (AFC) signaal kasutatakse siin ära Gunnplekseri varaktordiodi kaudu sageduse automaatseks reguleerimiseks. Mikrofonivõimendiks võib olla operatsioonvõimendi seeriast 741. Kuna siin on vahesageduseks valitav ULL diapasoni sagedus, on trakti segamisohk töötavate ULL saatjate poolt.

2.10 Diod temperatuuriandurina

Fikseeritud diodi pärivoolu korral sõltub diodi päripinge temperatuurist ligikaudu lineaarse sõltuvuse järgi, avaldudes

$$dU_{\text{päri}}/dt^{\circ} \approx -2mV/^{\circ}C. \text{ Teades seda, et diodi vool ja pinge on}$$

omavahel eksponentsiaalses sõltuvuses, võib saada ka eksponentsiaalse sõltuvuse temperatuurist - hoides diodil püsiva pinge, saame temperatuurist eksponentsiaalselt sõltuva voolu. Temperatuurist eksponentsiaalselt sõltub ka diodi temperatuuri-vastuvool, mis kahekordistub iga 10^0 -se temperatuurimuutuse järgi.

Tavaliselt on vajadus lineaarse temperatuurianduri järele; vastav skeem saadakse siis vooluallikast toidetava diodi abil, kus väljundsuuruseks on diodi päripinge.