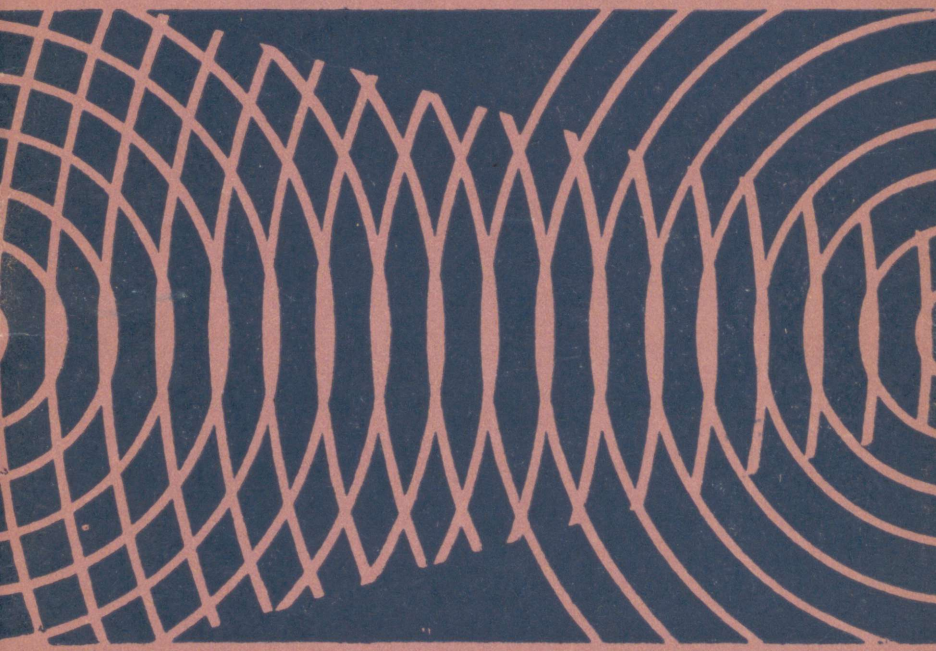
J. GUMELJA

Transistorvastuvõtjate reguleerimine JA häälestamine



I. B. GUMELJA

TRANSISTORVASTUVÕTJATE REGULEERIMINE JA HÄÄLESTAMINE

1967

KIRJASTUS „VALGUS" · TALLINN

KONTROLLEKSEMPLAR

6S2
G92

Kunstiliselt kujundanud E. Järv

Originaali tiitel:
НАЛАЖИВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ.
«Энергия», Москва-Ленинград, 1966

Brošüüris antakse transistorraadiote ehitajatele nõu vastuvõtjate õigeks kokkumonteerimiseks, astmete alalisvoolurežiimide väljareguleerimiseks, kõrgsagedusringide häälestamiseks ja vastuvõtjate põhiparameetrite kindlakstegemiseks.

Vene keelest tõlkinud I. Treikelder

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
71134

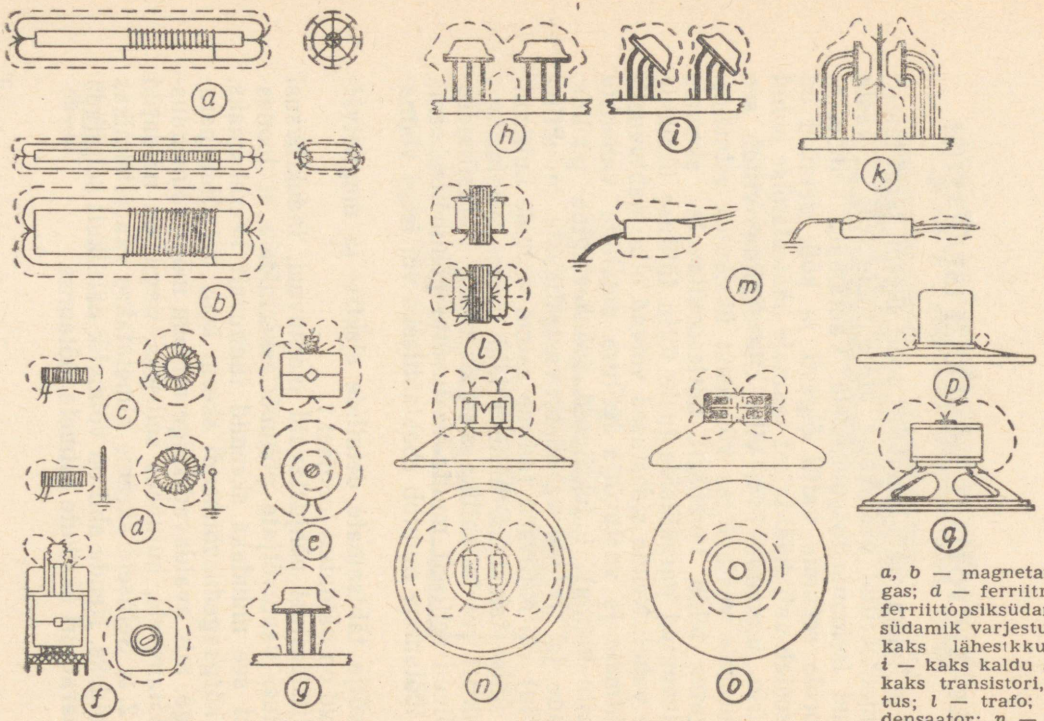
3—4—5
69—68

VÄIKEVASTUVÕTJATE MONTAAŽI ISEÄRASUSI

Sageli ei hakka raadioamatööri poolt skeemi järgi täiesti õigesti monteeritud vastuvõtja üldse tööle või ei vasta ettenähtud iseloomustussuurustele. Vaatamata sellele, et transistoride režiimid valiti õigesti ja kõik detailid on korras, kostab valjuhääldajast jaamale häälestamise puhul kahin, urin, undamine või vile. Üldreeglina viitab see endaergutusele vastuvõtjas või tema üksikutes astmetes. Endaergutus tekib tavaliselt mittesoovitavate, skeemis mitte ettenähtud parasiitsidestuste tõttu lülituse üksikute detailide vahel. Nende sidestused võivad olla mahtuvuslikud (juhtmete ja vastuvõtja lülituse detailide vaheliste mahtuvuste kaudu), induktiivsed (võnkeringide poolide, paispoolide ja trafode vaheliste vastastikuste induktiivsuste tõttu) või aktiivsed (mitme astme voolude kulgemisel läbi ühise takistuse, näiteks läbi ühises vooluringis asuva takisti või toiteallika sisetakistuse). Parasiitsidestused võivad selliselt muuta vastuvõtja põhimõtteskeemi, et tema töötamine muutub ebastabiilseks või isegi võimatuks.

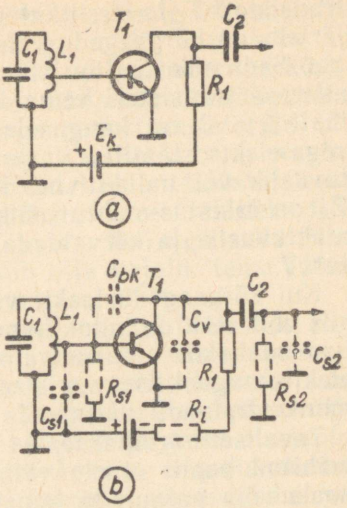
Vastuvõtja tähtsamate detailide elektri- ja magnetväljade kujud on näidatud joonisel 1.

Parasiitsidestusi põhjustavaid mahtuvusi, induktiivsusi ja takistusi vastuvõtjate põhimõtteskeemidele ei joonestata, sest see muudaks skeemid tunduvalt keerukamaks. Näiteks kõrgsagedusvõimendi skeem koos detailide parameetritega, mis avaldavad kõige rohkem mõju võimendusastme töötamisele, kujuneks selliseks, nagu on näidatud joonisel 2, *b*. Selliseid skeeme nimetatakse raadiotehnikas aseskeemideks. Nende abil on võimalik näitlikult selgitada raadioaparatuuri üksikute astmete töötamist.



Joon. 1. Vastuvõtja detailide välised magnet- ja elektriväljad:

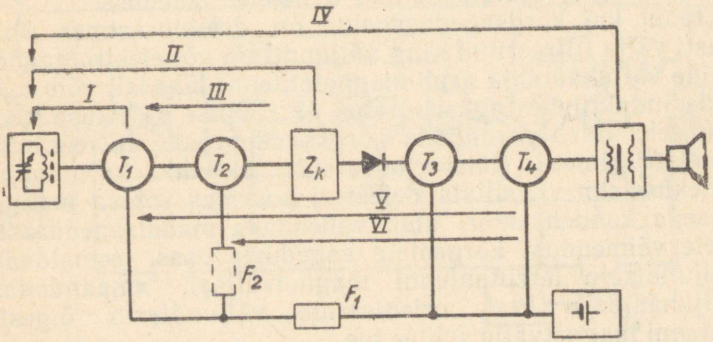
a, *b* — magnetantennid; **c** — ferriitrõngas; *d* — ferriitrõngas varjestusega: *e* — ferriittopsiksüdamik; *f* — ferriittopsiksüdamik varjestuses; *g* — transistor; *h* — kaks lähestikku asetatud transistori; *i* — kaks kaldu asetatud transistori; *k* — kaks transistori, mille vahel on varjestus; *l* — trafo; *m* — torukujuline kondensaator; *n* — elektromagnetiline kahe mähisega valjuhääldaja; *o* — diferentsiaalmagnetsüsteemiga elektromagnetiline valjuhääldaja; *p* — varjestatud magnetiga dünaamiline valjuhääldaja; *q* — rõngasmagnetiga valjuhääldaja.



Joon. 2. Kõrgsagedusvõimendusastme skeem:
a — põhimõtteskeem; *b* — aseskeem (C_{s1} ja R_{s1} — transistori sisendmahtuvus ja -takistus; C_{bk} — tranistori ja montaaži läbivmahtuvus; C_v — transistori väljundmahtuvus; C_{s2} ja R_{s2} — järgneva astme transistori sisendmahtuvus ja -takistus; Ri — toitepatarei sisetakistus)

Selleks et aru saada, millised parasiitsidestused võivad tekkida põhiliste lülituselementide vahel, vaatleme otsevastuvõtja ja supervastuvõtja funktsionaalseid skeeme. Võimalikud sidestused on näidatud joontega ja tähistatud rooma numbritega.

Näiteks otsevastuvõtjal, millel on kaks kõrgsagedusastet, detektor ja kaks madalsagedusastet (joon. 3), esineb kõige sagedamini mahtuvuslik sidestus *I* kõrgsagedus-



Joon. 3. Otsevõimendusvastuvõtja funktsionaalskeem koos võimalike parasiitsidestustega

transistori T_1 *ja* ferriitantenni vooluringi vahel, mille tagajärjeks on kõrgsagedusvõimendi esimese astme endaergutus. Seda sidestust on võimalik vähendada või kõrvaldada esimese transistori eemaldamisega sisendringidest vähemalt 2...3 cm kaugusele või transistori T_1 varjestamisega elektrostaatilise varje abil. Sidestus *II* võib olla mahtuvuslik või induktiivne. Kui kõrgsagedustrakti koormus Z_k on takistus-mahtuvusliku iseloomuga, siis sidestus on mahtuvuslik ja kõrvaldada saab teda samuti nagu sidestust *I*.

Kui kõrgsagedustrakti väljundis on trafo või paispool, siis võib tekkida induktiivne parasiitsidestus. Sellist sidestust saab kõrvaldada trafo või paispooli varjestamisega elektromagnetilise varje abil või nende paigutamisega montaažiplaadil väljapoole ferriitantenni magnetvälja.

Tavaliselt arvatakse, et rõngassüdamikule (toroidile) mähitud poolil ei ole välist magnetvälja ja et selliseid poole võib paigutada teineteise vahetusse lähedusse. See ei ole päris täpne. Asi on selles, et rõngassüdamikuga poolidel ei ole tegelikult välist magnetvälja ainult tingimusel, et mähis on keritud täiesti ühtlaselt kogu südamiku ümbermõõdu ulatuses ja et poolide vahetus läheduses ei asu mingeid esemeid, mis moonutaksid nende välja kuju. Selliste poolide ja trafode valmistamisel rikuvad raadioamatöörid aga tavaliselt mõlemaid nõudeid.

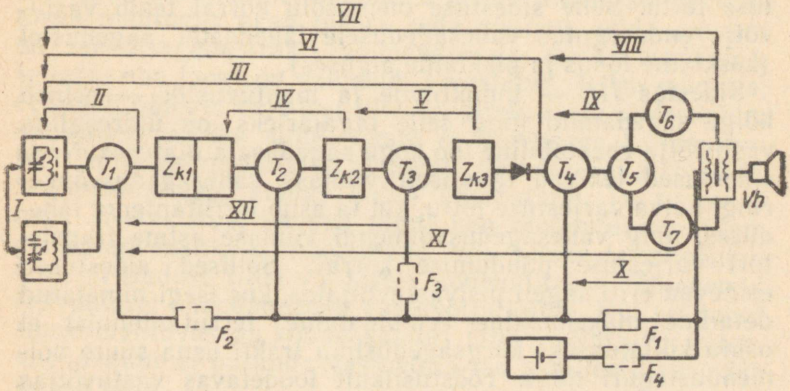
Sidestus *III* on mahtuvuslik ning võib tekkida transistoride T_1 ja T_2 kollektorite vahelise parasiitmahtuvuse kaudu juhul, kui kasutatakse kõrgsagedustransistore П401... ...П403 ning asetatakse nad teineteise lähedusse.

Juhul kui kõrgsagedusvoolud on detektorastmes halvasti välja filtreeritud ning väljundtrafo või elektromagnetiline valjuhääldaja asub magnetantenni lähedal, võib tekkida induktiivne tagasisidestus *IV*. Sellise sidestuse kaotamiseks tuleb parandada kõrgsagedusvoolu filtreerimist detektorastmes (täisperioodalaldi skeemi kasutamine detektorastmes), sillata detektori koormus sobiva mahtuvusega kondensaatori abil, vähendada madalsagedusastmete võimendust kõrgemate sageduste osas, eemaldada väljundtrafo ferriitantenni magnetväljast, «maandada» valjuhääldaja kest, orienteerida väljundtrafo õigesti antenni magnetvälja suhtes jne.

Peale loetletud sidestuste, mida põhjustab vastuvõtja üksikosade ebaõige paigutus üksteise suhtes, on võimali-

kud veel sidestused *V* ja *VI* üksikute astmete toiteahelates asuva ühise aktiivtakistuse kaudu, mille suuruseks on 1 ... 100 Ω. Näiteks võivad halvasti väljafiltreeritud kõrgsagedusvoolud, võimendatuna madalsagedusvõimendis, tungida toiteahelate kaudu kõrgsagedustransistoride (T_1 või T_2) sisendisse, mis võib samuti esile kutsuda vastuvõtja endaergutuse kõrgsagedustel. Selle takistamiseks kasutatakse toiteahelates lahtisidestusfiltreid, näiteks filtrit F_1, mis katkestab ahelad *V* ja *VI*. Kui aga selle filtri toime ei ole küllaldane, siis võib olla vajalik teine filter, näiteks F_2 teise kõrgsagedustransistori ahelas.

Supervastuvõtja konstrueerimisel muutub detailide paigutamine keerukamaks niihästi detailide eneste suurema hulga tõttu kui ka mitmesuguste parasiitsidestuste suurema tekkevõimaluse tõttu. Transistor-supervastuvõtja funktsionaalne skeem (joon. 4) sisaldab järgmisi elemente: sisendvõnkering, ostsillaatori võnkering, sagedusmuundi transistoriga T_1, ribafilter Z_{k1}, esimene vahesagedusaste transistoriga T_2 ning koormusega Z_{k2}, milleks on võnkering või aktiivtakistus, teine vahesagedusaste transistoriga T_3 ning koormusega Z_{k3}, milleks üldreeglina on vahesagedusele häälestatud võnkering, detektoraste ja kolm madalsagedusastet transistoridega $T_4 \ldots T_7$, kusjuures lõppaste on vastastaktlülituses. Sellise skeemi kohaselt on



Joon. 4. Supervastuvõtja funktsionaalskeem koos võimalike parasiitsidestustega

valmistatud paljud meie tööstuse poolt toodetavad vastuvõtjad, näiteks «Atmosfera», «Sokol», «Selga» jne.

Vaatleme kõige sagedamini esinevaid parasiitsidestusi, mis tekitavad mitmesuguseid häireid vastuvõtja töös.

Sidestus *I* võib olla kas mahtuvuslik (pöördkondensaatori sektsioonide vahel) või induktiivne (võnkeringide vahel). Paljudes ilma eraldi ostsillaatorita sagedusmuundites muutub mahtuvusliku sidestuse tõttu ostsillaatori töö ebastabiilseks, eriti sagedusala kõrgsageduslikus otsas, ning sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringi häälestused muutuvad teineteisest sõltuvateks. Samasuguseid häireid põhjustab ka induktiivne sidestus sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringi vahel. Viimatimainitud sidestust on üldreeglina kerge kõrvaldada ostsillaatori võnkeringi õige paigutusega sisendvõnkeringi suhtes. Kui näiteks sisendvõnkeringis kasutatakse ferriitantenni, mille magnetväli on ulatuslik, siis tuleb ostsillaatori võnkeringi pool paigutada selliselt, et nende magnetväljad oleksid omavahel risti, või ostsillaatori pool varjestada. Seda tüüpi sidestused võivad tekkida ka siis, kui pöördkondensaatori sektsioonide vahel ei ole varjestust või kui viimane ei ole maandatud. Lõpuks võib sidestus tekkida ka ebaõigesti valmistatud lainelüliti tõttu, mille vastavate lamellide vahel on suur läbivmahtuvus.

Sidestus *II* tekib kas transistori T_1 läbivmahtuvuse mõjul või siis kõrgsagedustransistori T_1 varjestamata kesta (kollektori) ja ferriitantenni mähiste lähedase paigutuse tõttu. Selle sidestuse olemasolu korral tekib vastuvõtja endaergutus vahesagedusele lähedastel sagedustel (kesklaine lõpus ja pikklaine alguses).

Sidestus *III* — induktiivne ja mahtuvuslik — esineb kõige sagedamini ning selle tagajärjeks on üldreeglina vastuvõtja ebastabiilne töö kogu sagedusala ulatuses. Need sidestused tekivad tavaliselt viimase vahesagedusvõnkeringi halva varjestuse tõttu, kui ta asub ferriitantenni läheduses, ning vahesagedusvõimendi viimase astme transistori varjestuse puudumise korral. Sellised sidestused esinevad eriti sageli pisivastuvõtjates, kus isegi nimetatud detailide maksimaalne eemaldamine ferriitantennist ei osutu küllaldaseks kõrgsagedusliku trakti üsna suure võimendusteguri tõttu. Tööstuslikult toodetavas vastuvõtjas «Sokol» on seda liiki sidestuste vähendamiseks viimane vahesagedusvõnkering maksimaalselt eemaldatud sisend-

ahelatest, transistor T_3 on aga paigutatud maandatud varjesse.

Sidestused *IV* ja *V* on võimalikud vastavate võnkeringide ja transistoride T_2 ning T_3 kollektoriahelate varjestuse puudumise korral; nad tekitavad vahesagedusvõimendi vastavate astmete endaergutamist.

Sidestus *VI* tekib siis, kui detektoraste (helitugevuse regulaator) asub sisendahelate läheduses, ning kutsub esile endaergutuse kogu vastuvõetava sagedusala ulatuses või vahesageduse läheduses.

Harvemini esineb väljundtrafo ja sisendahela vaheline induktiivne sidestus *VII*. Sellist sidestust saab kõrvaldada väljundtrafo paigutamisega sisendahelatest eemale ja tema magnetvälja õige orienteerimisega antenni magnetvälja suhtes.

Tugev mahtuvuslik sidestus *VIII* ja *IX* kolmeastmelises madalsagedusvõimendis võib esile kutsuda võimendi genereerimise ultraheli sagedustel või kõrgetel helisagedustel. Selle sidestuse kõrvaldamiseks on vaja madalsagedusvõimendi detailid otstarbekamalt paigutada või tekitada võimendi sageduskarakteristiku langus kõrgete helisageduste piirkonnas.

Sidestus *X* tekib toiteallika suure sisetakistuse tagajärjel ning põhjustab genereerimist ühel helisagedusel või relaksatsioonvõnkumisi madalsagedusvõimendis. Sellise sidestuse kõrvaldamise abinõudeks on lahtisidestusfiltrite F_1, F_2, F_3 kasutamine, kusjuures nende filtrite kondensaatorite mahtuvus peab olema seda suurem, mida suurem on madalsagedustrakti võimendus ja mida madalama sagedusriba jaoks on võimendi arvestatud. Tuleb märkida, et sageli näib, et vajadust filtri F_4 järele ei ole (üldreeglina on selleks filtriks ainult suure mahtuvusega kondensaator), kuna valmisehitatud võimendi töötab niigi stabiilselt. Sedamööda aga, kuidas kulub toitepatarei ja suureneb tema sisetakistus, tekivad algul heli moonutused, hiljem madalsageduslik genereerimine või relaksatsioonvõnkumine. Vajadust filtri F_4 järele kontrollitakse tühjenenud toitepatarei ühendamisega vastuvõtja külge. Kui sel juhul suure mahtuvusega kondensaatori (100 ... 500 μF) külgeühendamine ei paranda vastuvõtja töö kvaliteeti, siis võib ta ära jätta.

Sidestus *XI* tekib tavaliselt toiteallika koormuse muutumise tõttu. Selle sidestuse tagajärjeks filtrite F_1 ja F_3

puudumisel on muundusastme ebastabiilne töö, helisagedusliik genereerimine kõrgsagedustraktis ja ostsillaatori katkendlik genereerimine. Abinõudeks selle sidestuse vastu on täiendav filter F_2, kui aga sellest ei piisa, siis lahtisidestusfiltrite kasutamine kõigis vastuvõtja kõrgsagedusastmetes.

Sidestus *XII* võib tekkida filtri F_2 puudumise või halva kvaliteedi korral. Ta tekitab vahesagedustrakti endaergutust, eriti kui kõrgsagedustraktis on kolm astet.

Arvesse võttes kõike eelmainitut tuleb vastuvõtja põhimõtteskeemi abil eelnevalt koostada detailide paigutuse sobivaim variant montaažplaadil ja valmistada montaažiskeem, ning alles siis asuda vastuvõtja monteerimisele. See on tingimata vajalik keerukate supervastuvõtjate ja pisivastuvõtjate puhul. Isegi sel juhul võib veel keerukate konstruktsioonide reguleerimisel vajalikuks osutuda muuta mõningate detailide paigutust, et kõrvaldada tekkinud stabiilset parasiitsidestust, mida ei olnud varem arvestatud.

Lõpuks loetleme lühidalt need põhireeglid, millest tuleb juhinduda transistorvastuvõtja montaažiskeemi väljatöötamisel.

1. Kõrg- ja vahesagedusastmetes töötavaid transistore ei tohi paigutada otsakuti teineteise lähedusse, sest see suurendab lülituse parasiitmahtuvust ja võib tekitada vahesagedusastme endaergutust.

2. Vahesagedusvõimendi viimane võnkering tuleb paigutada sisendvõnkeringist ja ostsillaatorivõnkeringist eemale.

3. Ferriitantenniga rööbiti ja tema vahetusse lähedusse ei tohi paigutada detektorastme vooluahelaid, sealhulgas ka detektorastme väljundit (helitugevuse regulaatorit).

4. Madalsagedusvõimendi trafod tuleb paigutada nii, et nende vahel ei oleks magnetilist sidestust, mis võib tekitada võimendi genereerimist. Tuleb samuti vältida väljundtrafo induktiivset sidestust ferriitantenniga.

5. Detektorastme väljund (helitugevuse regulaator) ja madalsagedusvõimendi sisend tuleb paigutada eemale võimendi väljundist, sest vastasel korral võib võimendis tekkida genereerimine.

6. Pöördkondensaatorina tuleb kasutada konstruktsiooni, mille puhul mahtuvus staatori sektsioonide vahel on minimaalne, ja maandada sektsioonide vahel asuv varjestus.

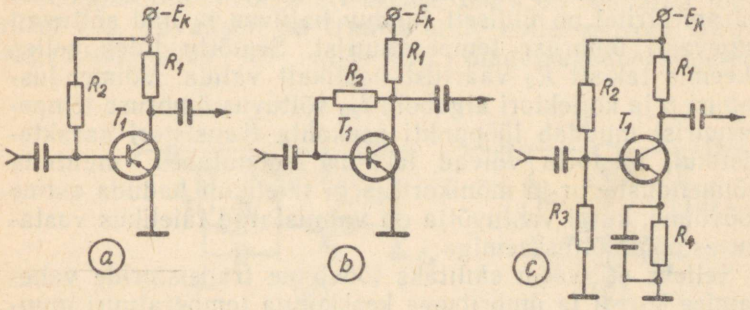
7. Ei tuleks kasutada ringmagnetiga valjuhääldajat, millel on tunduv puisteväli, mis vähendab ferriitantenni magnetilist läbitavust.

8. Toitepatareid blokeeriv kondensaator tuleb ühendada toitelülitist vastuvõtja lülituse poole, sest vastaselt korral lüliti halb kontakt võib põhjustada endaergutust.

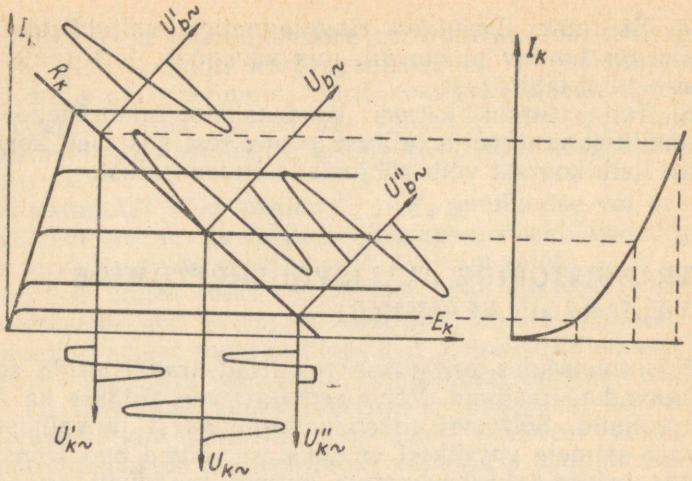
TRANSISTORIDE ALALISVOOLUREŽIIMIDE VÄLJAREGULEERIMINE

Käsiraamatutes esitatakse tavaliselt transistoride soovitatavad töörežiimid. Peale soovitatavate antakse ka nn. piirrežiimid. Sõltuvalt rakendustingimustest ja valmistatavate astmete vajalikest omadustest võivad aga transistoride režiimid käsiraamatuis antuist tunduvalt erineda. Raadioamatöör peab oskuslikult lähenema transistoride režiimide valikule tema poolt konstrueeritavas vastuvõtjas.

Kõige lihtsam meetod transistori tööpunkti fikseerimiseks on näidatud joonisel 5, *a*. Transistori režiim määratakse takistitega R_1 ja R_2. Takisti R_1 on koormus- ja takisti R_2 baasi eelpingestustakistuseks. Koormustakistus määrab astme võimendusteguri, samuti dünaamilise karakteristiku piirkonna, millel peab töötama antud transistor. Eelpinge suurusest sõltub tööpunkti asukoht dünaamilisel karakteristikul.



Joon. 5. Transistori vooluringid, mis määravad alalisvoolurežiimi ühise emitteriga lülituse puhul



Joon. 6. Väljundpinge kuju sõltuvus tööpunkti asukohast transistori karakteristikul

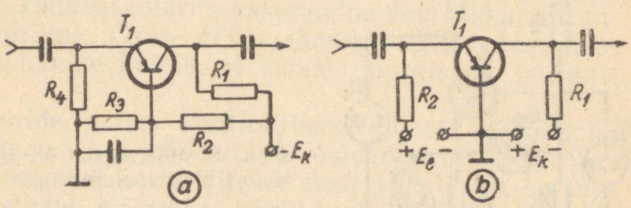
Eeltoodu illustreerimiseks on joonisel 6 kujutatud tööpunkti mitmesugused asukohad koormussirgel R_k ja transistori karakteristikul. Ebaõigelt valitud tööpunkti asukoha puhul esinevad väljundpinge moonutused, mis on joonisel 6 tähistatud U'_k ja U''_k.

Joonisel 5, *a* näidatud skeemi puhul on transistori alalisvoolurežiim väga ebastabiilne, sest kollektorivool sõltub peale eelpingestustakisti R_2 väärtuse veel transistori vooluvõimendustegurist β ja kollektori vastuvoolust I_{k0}. Nendel parameetritel on üldiselt tunduv hajuvus ja nad sõltuvad tugevasti ümbruse temperatuurist. Seetõttu tuleb selles skeemis takisti R_2 väärtust hoolikalt valida. Võimendusteguri β ja kollektori algvoolu I_{k0} sõltuvus ümbruse temperatuurist muudab tööpunkti asukohta transistori karakteristikul, mistõttu võivad tekkida moonutused, muutuda võimendustegur ja mõnikord isegi täielikult kaduda astme töövõime, kuigi vastuvõtja on valmistatud täielikus vastavuses põhimõtteskeemiga.

Selleks et skeem säilitaks töövõime transistoride vahetamise korral ja ümbritseva keskkonna temperatuuri muutumisel, stabiliseeritakse tavaliselt transistoride tööpunktid. Kõige lihtsamaks stabiliseerimismeetodiks on baasi

eelpingestustakisti ühendamine otse transistori kollektoriga (joon. 5, *b*). Sel juhul tekkiv alalisvoolu tagasisidestus takistab tööpunkti asendi muutumist karakteristikul transistoride vahetamise või ümbritseva keskkonna temperatuuri muutumise korral. Stabiliseerimise kvaliteet paraneb takistite R_2 ja R_1 takistuste suhte vähendamisel, mida aga real põhjustel ei ole alati võimalik teha. Näiteks on madalsagedusvõimendi lõppastmes takisti R_1 asemel tavaliselt trafo, mille mähise aktiivtakistus on väike. Sellistel juhtudel tuleb kasutada joonisel 5, *c* näidatud baasi eelpingestamise skeemi. Suhteliselt väikese takistusega pingejaguri kasutamisega baasiahelas saavutatakse hea temperatuuristabiilsus ja skeemi parameetrite vähene muutumine transistoride vahetamise korral.

Kõik joonisel 5 näidatud kolmes skeemis on transistorid ühise emitteriga lülituses. Transistoride lülitamine vahelduvvoolu suhtes teiste skeemide järgi ei muuda praktiliselt alalisvoolu toiteskeemi. Näiteks transistori lülitamisel vahelduvvoolu suhtes ühise baasiga lülituses (joon. 7, *a*) jäävad alalisvooluahelad samasuguseks kui ühise emitteriga lülituses (joon. 5, *c*). Baasiahela vool läbib endiselt baasi-emitteri vahemiku läbi takisti R_4 ja pingejaguri R_2R_3, kollektorivool kulgeb ahelas kollektor, emitter, takistid R_4 ja R_1 ning kollektoriahela toiteallikas. Seda asjaolu tuleb arvestada eriti algajatel raadioamatööridel. Kui vastuvõtja kirjelduses ettenähtud suurusega kollektorivool juhtida läbi baasiahela, siis viib see loomulikult transistori riknemiseni. Kui on tarvis lülitada transistor ühise baasiga lülituses alalisvoolu suhtes, siis tuleb kasutada kahe toiteallikaga eriskeeme, nagu on näidatud joonisel 7, *b*. Tavaliselt on transistoride kollektorivool kõrgsagedusastmetes 0,5...1,5 mA, madalsagedusastmetes

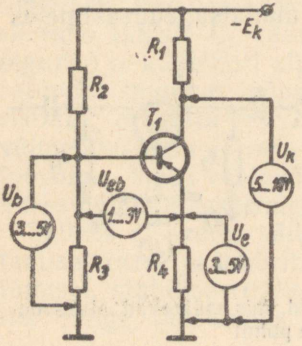


Joon. 7. Transistori vooluringid, mis määravad alalisvoolurežiimi ühise baasiga lülituse puhul

0,1 ... 10 mA. Sealjuures on eelpinge baasiahelas germaaniumtransistoride puhul 0,12 ... 0,3 V ja ränitransistoride puhul 0,6 ... 0,8 V. Alati mõistetakse eelpinge all pinget transistori baasi ja emitteri vahel. Seda pinget saab mõõta vastavate elektroodide vahel kõrge sisetakistusega voltmeetri abil.

Kõik mõõtmised transistorvastuvõtjates tuleb läbi viia voltmeetriga, mille sisetakistus on 5 ... 10 korda suurem mõõdetava ahela takistusest. Nagu kogemused näitavad, võib enamasti kõiki režiime reguleeritavas vastuvõtjas kontrollida tavalise testeri abil, mille sisetakistus on 5 ... ... 10 kΩ/V. Joonisel 8 on näidatud võimalikud pingete mõõtmise viisid tüüpilise võimendusastme mitmesugustes punktides. Voltmeetrit kujutavates ringikestes on näidatud mõõteriista piirkonnad, milles tuleb mõõtmised läbi viia.

Emitteriahelas asuva takisti R_4 takistus on tavaliselt väike (vahemikus 1 ... 2 kΩ). Seega võib sellel takistil esinevat pinget mõõta mõõteriistaga (10 ... 20 kΩ), mille sisetakistus on 3 ... 6 kΩ/V. Enamasti on testerite sisetakistus just niisugune. Transistori kollektoril esinevat pinget võib samuti mõõta tavalise testeriga, kui takisti R_1 väärtus ei ületa 5 kΩ. Kui see takisti on suurema väärtusega, siis tuleb täpsete mõõtetulemuste saamiseks kasutada elektronvoltmeetrit või määrata kollektoripinge kaudsel teel. Jättes arvestamata baasivoolu, võib lugeda voolud emitteri- ja kollektoriahelates võrdseteks. Sel juhul, mõõtes pinget takistil R_4 ja teades selle takisti takistust, saab Ohmi seaduse alusel arvutada voolu takistites R_4 ja R_1.



Joon. 8. Mõõteriista ühendamine transistori alalisvoolurežiimide mõõtmiseks

Arvutades pingelangu takistil R_4 ja lahutades leitud väärtuse toiteallika pingest, saadaksegi pinge transistori kollektoril.

Pinget takistil R_3, kui takistus ei ületa 3 kΩ, võib samuti mõõta testeriga. Üldreeglina valitakse aga takistite R_3 ning R_2 takistused tunduvalt suuremad (kuni 30 kΩ), lähtudes toitevoolu kokkuhoiu kaalutlustest. Neil juhtudel on vaja kasutada elektronvoltmeetrit. Väikeste kollektorivoolude puhul (0,5 ... 1,0 mA) on baasivoolud samuti väikesed (10 ... 30 μA), seetõttu baasi-emitteri vahemikul on küllaltki suur sisetakistus (5 ... 15 kΩ), mis on samas suurusjärgus parimate testerite sisetakistusega 1 ... 3-V mõõtepiirkondadel. Järelikult tuleb pinget baasi-emitteri vahemikul mõõta ainult elektronvoltmeetriga.

Toiteallika pingeks valitakse harilikult 4,5 kuni 9 V. Vastavalt sellele valitakse ka elektrolüütkondensaatorite tööpinged ja transistoride eelpingestusahelate takistite takistused. Emitteriahelasse ühendatud elektrolüütkondensaatorite tööpinge peab olema 20 ... 30% kõrgem pingest, mis on märgitud skeemil vastava konkreetse ahela juures.

Tuleb märkida, et enne transistoride ühendamist vastuvõtja lülitusse on tarvis hoolikalt kontrollida kõigi ühenduste õigsust ja elektrolüütkondensaatorite polaarsust. Elektrolüütkondensaatorite lekkevoole kontrollitakse oommeetri abil enne kohalemonteerimist, arvestades kondensaatori märgitud polaarsust. Oommeeter peab olema lülitatud suurte takistuste mõõtmise piirkonnale. Kui kondensaator on korras ning on õigesti ühendatud oommeetri külge, siis sisselülitamise hetkel kaldub oommeetri osuti seda rohkem kõrvale, mida suurem on kondensaatori mahtuvus, ja liigub aeglaselt tagasi esialgsesse asendisse. Kondensaatori isolatsioonitakistus peab olema vähemalt mõnisada kilo-oomi. Kui isolatsioonitakistus on väiksem, siis selliste kondensaatorite kasutamine võib rikkuda transistoride režiime. Osuti hälbe (kondensaatori laadimisvoolu) puudumine näitab, et kondensaatoris on sisemine katkestus.

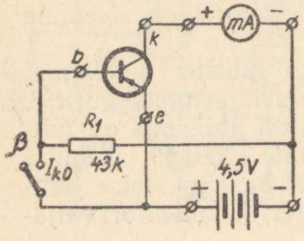
Transistoride juures kontrollitakse lühiste puudumist elektroodide vahel ja mõõdetakse vooluvõimendustegurit β. Lühiste puudumist kontrollitakse testeri abil, mis on lülitatud takistuste mõõtmise piirkonnale. Selleks ühendatakse mõõteriista üks juhe transistori baasiga, teise juhtmega puudutatakse järgemööda emitteri ja kollektori välja-

viike. Päripolaarsuse korral peab mõõdetud takistus elektroodide vahel olema vahemikus 10 ... 1000 Ω. Kui oommeetri näidud on oluliselt suuremad või väiksemad, siis transistorid ei kõlba kasutamiseks. Testeri ja transistori vastassuunalise polaarsuse korral peab emitteri-baasi vahemiku takistus olema vähemalt 10 kΩ, baasi-kollektori vahemiku takistus aga vähemalt 100 kΩ. Kui need takistused on väiksemad, siis on transistoride kasutamine mittesoovitatav, kui aga vastutakistused on 10 ... 100 Ω piirides, siis on transistorid kõlbmatud.

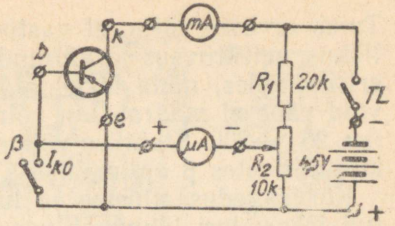
Kõige lihtsamini saab vooluvõimendusteguri ligikaudset suurust määrata oommeetri abil. Selleks lülitatakse oommeeter (tester) mõnetuhande oomi suuruste takistuste mõõtepiirkonnale. Et vältida transistori soojenemist käte mõjul, peab testeri juhe olema varustatud krokodilliklemmiga. See klemm ühendatakse mõõdetava transistori kollektori väljaviiguga ning testeri teise juhtme otsikuga puudutatakse järgemööda baasi ja emitteri väljaviike. Mõlemal juhul märgitakse üles mitte oommeetri skaalalt loetav takistuse väärtus, vaid mõõteriista mingi lineaarse (pinge või voolu mõõtmiseks määratud) skaala jaotuste arv. Teguri β suuruse hindamiseks tuleb suurem näit jagada väiksemaga, kusjuures mõlemad näidud peavad olema loetud ühelt ja samalt skaalalt.

Lihtsa mõõteseadme skeem *p-n-p*-tüüpi transistoride võimendusteguri β mõõtmiseks on kujutatud joonisel 9. *n-p-n*-tüüpi transistoride mõõtmisel tuleb muuta patarei ja milliampermeetri polaarsus. Küllaldase täpsusega saab võimendustegurit β lugeda vahetult 10 ... 15-mA piirkonnaga milliampermeetri skaalalt. Selleks tuleb korrutada mõõteriista näit 10-ga.

Mõõteskeem, mis võimaldab tegurit β mõõta suurema täpsusega, on kujutatud joonisel 10. Eelmisest skeemist erinevait on tal eelpingestusahelas 100 ... 500-μA mõõte-



Joon. 9. Lihtne skeem võimendusteguri β mõõtmiseks



Joon. 10. Skeem võimendusteguri β täpseks mõõtmiseks

piirkonnaga mikroampermeeter ja potentsiomeeter R_2. Potentsiomeeter võimaldab muuta mõõtetäpsuse sõltumatuks toiteallika pingest. Tänu mikroampermeetrile suureneb mõõtetäpsus eriti väikeste β väärtuste korral. Mõõtmiseks asetatakse ümberlüliti asendisse «β» ning potentsiomeetri abil reguleeritakse välja kollektorivoolu väärtus, mis vastab antud transistorile lülituses ettenähtud kollektorivoolule, ning registreeritakse sealjuures mikroampermeetri näit baasiahelas. Kollektorivoolu ja baasivoolu suhe annab otsitava teguri β suuruse.

On olemas veel mitmeid meetodeid teguri β mõõtmiseks, kuid kõik need on tunduvalt keerukamad. Tuleb märkida, et teguri β väärtus on suurus, mida ei ole vaja mõõta suure täpsusega. Seetõttu ei ole amatööril vaja selleks keerukaid seadmeid ehitada.

Vastastakt-lõppastmega madalsagedusvõimenditele on vaja valida transistorid, mille vooluvõimendustegurid oleksid omavahel võrdsed nii väikeste kui ka suurte kollektorivoolude puhul (1 ... 2 mA ja 20 ... 30 mA). Siis on eelvõimendusaste ühtlaselt koormatud ja mittelineaarmoonutused minimaalsed. Ilmselt on antud juhul tähtis mõlema transistori võimendustegurite mõõtmise suhteline täpsus, võimendustegurite β absoluutväärtused ei ole aga olulise tähtsusega. See võimaldab piirduda lihtsate mõõteskeemidega. Võimendusteguri β mõõtmisel suuremate voolude korral tuleb takisti R_1 väärtuseks (joon. 9) valida ligikaudu 1,5 kΩ, patarei pinget aga vähendada kuni 1,5 voldini (kasutada võib näiteks üht elementi ФБС või «Saturn»). See on vajalik transistori riknemise vältimiseks, sest 30-mA voolu ja 4,5-V pinge korral eraldub transistori kollektoril võimsus 135 mW, mis transistoride П13 ... П16 puhul on lähedane maksimaalselt lubatavale võimsusele.

Kaasaegse transistorvastuvõtja enamikus astmetes on kasutatavad transistorid, mille võimendustegur $\beta \geqslant 20$.

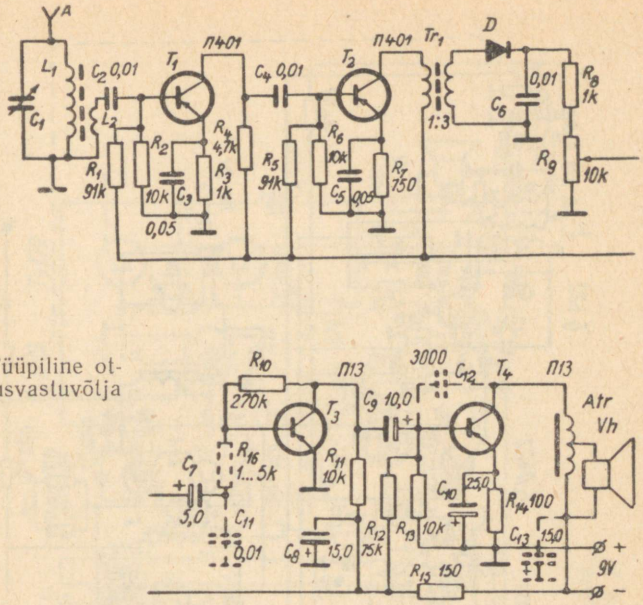
Tuleb arvesse võtta, et vastuvõtja põhiparameetrid: tundlikkus, selektiivsus ja väljundvõimsus (välja arvatud reas eriskeemides, mida kirjeldatakse edaspidi) — muutuvad vaid vähesel määral, kui võimendustegur β muutub piirides 20 ... 200. Stabiilse võimenduse seisukohalt on enamikus lülitustes β optimaalseks väärtuseks 20 ... 30.

Kõrgsagedusastmetes on lubatav võimendustegur piiratud transistori läbivmahtuvusega ning transistori sisendtakistus on sobitatud selliselt, et β muutumisel vahemikus 20 ... 200 jääb eelmise astme koormustakistus peaaegu muutmatuks, järelikult ei muutu ka võimendus.

Sageli tekib raadioamatööril küsimus: millistes vastuvõtja astmetes kasutada suurema β väärtusega transistore? Madalsagedustransistorid, mille võimendustegur β on 20 ... 30, grupeeritakse paarikaupa võimendusteguri järgi ning kasutatakse madalsagedusvõimendite trafosidestuses lõppastmetes. Lõppastmele eelnevas astmes võib kasutada samasuguseid transistore, madalsagedusvõimendi esimestes astmetes on aga soovitav suurema võimenduse saamiseks kasutada transistore, mille β on 40 ... ... 60. Otsevõimendusvastuvõtjate kõrgsagedusastmetes, kui astmeid on kaks või rohkem, tuleb suurema võimendusteguriga transistorid asetada lähemale vastuvõtja sisendile. Samuti tuleb talitada kaheastmelises vahesagedusvõimendis, sest sel juhul suureneb automaatse võimendusregulaatori efektiivsus ja paranevad detektorastme töötingimused. Muundusastmetes võib kasutada võrdlemisi väikese β väärtusega transistore, jättes suurema võimendusega transistorid vahesagedusvõimendi esimese astme jaoks.

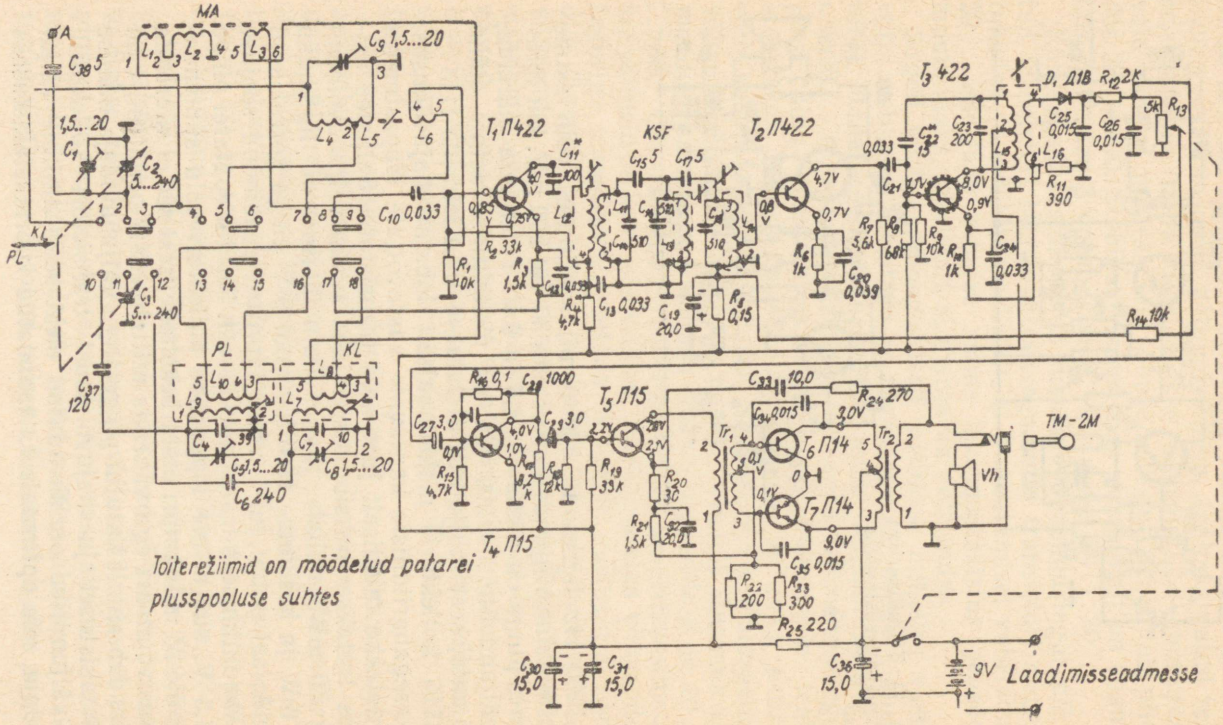
Pärast transistoride kontrollimist ja võimendusteguri mõõtmist võib nad asetada vastuvõtjasse ja asuda režiimide väljareguleerimisele. Vastuvõtja reguleerimise kirjeldust illustreerime tüüpskeemide abil, milleks on 2-V-2-tüüpi otsevõimendusvastuvõtja (joon. 11), supervastuvõtja (joon. 12) ja autori poolt väljatöötatud vastuvõtja, milles on kasutatud transistoride kaskoodlülitust (joon. 13).

Režiimide väljareguleerimist tuleb alustada vastuvõtja lõppastmetest. Astmetes, mis töötavad *A*-klassi režiimis, valitakse kollektorivool sõltuvalt väljundvõimsusest, toitepingest ja koormustakistusest. Kui kasutatakse elektromagnetilist valjuhääldajat, mille mähise alalisvoolutakistus on ligikaudu 65 oomi, siis on koormustakistus sagedu-

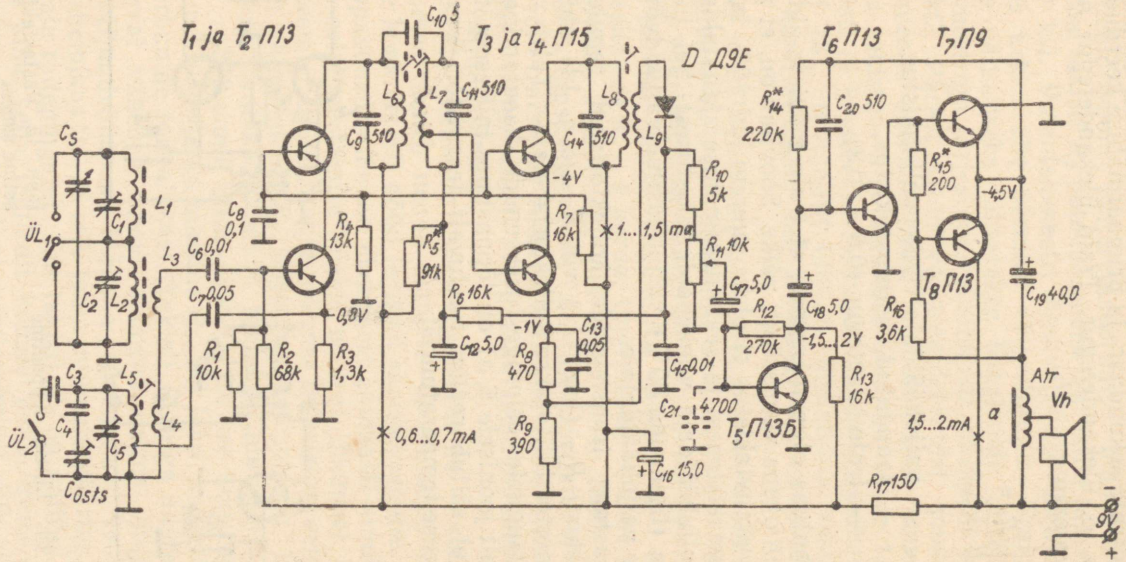


Joon. 11. Tüüpiline otsevõimendusvastuvõtja skeem

sel 1000 Hz ligikaudu 300 oomi; sealjuures võib astme maksimaalne väljundvõimsus olla 30 või 200 mV, kui toitepatarei pinge on vastavalt 4,5 ja 9 V. Tuleb aga märkida, et väljundvõimsus 200 mV on ühetaktilise astme puhul lubamatu, sest sealjuures ületatakse transistoride П13 ... ... П16 kollektoril maksimaalselt lubatav hajuvõimsus. Väikesegabariidiliste kantavate vastuvõtjate lõppastmetes kasutatakse tavaliselt just neid transistore. Sellistes astmetes loetakse maksimaalselt lubatavaks väljundvõimsuseks 50 mW, millele vastav hajuvõimsus on ligikaudu 135 mW ja keskmine tarbitav vool 9-V pinge korral kuni 15 mA; sel puhul tuleb võtta tarvitusele abinõud soojuse eemalejuhtimiseks transistori kerest. Kui toitepatarei pinge on 4,5 V, siis ei ole lõppastme kollektorivoolu suurendamine üle 25 milliampri otstarbekohane, sest see ei suurenda väljundvõimsust ega vähenda mittelineaarmoonutusi, vaid suurendab ainult kasutut pingelangu valjuhääldaja mähise aktiivtakistusel ja hajuvõimsust transistori kollektoril. Kui väljundisse on ühendatud elektrodünaamiline valjuhääldaja, siis optimaalseks taandatud koormustakistuseks



Joon. 12. Tüüpiline tööstuslikult toodetava vastuvõtja skeem



Joon. 13. Vastuvõtja põhimõtteskeem, mille puhul on kasutatud transistoride kaskoodlülitust sagedusmuunduri astmes ja vahesagedusvõimendi astmes

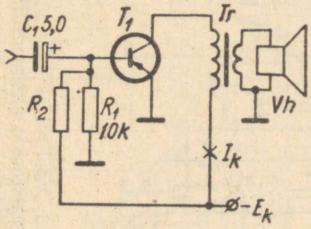
on toitepingel 4,5 V 200 Ω ja 9 V korral 800 Ω. Lõppastme voolud jäävad siis lubatavatesse piiridesse. Vajaliku taandatud koormustakistuse saamiseks tuleb valida sobiv väljundtrafo sekundaar- ja primaarmähise keerdude arvude suhe, s. o. ülekandetegur. Trafo ülekandetegur n arvutatakse valemiga

$$n = \sqrt{\frac{R_k \eta}{R_{vh}}},$$

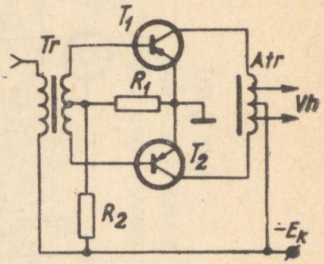
kus R_{vh} — valjuhääldaja võnkepooli takistus,
R_k — taandatud koormustakistus,
η — trafo kasutegur (0,6 . . . 0,8).

Muuhulgas olgu märgitud, et trafo mähiste aktiivtakistus peab olema võimalikult väike. Soovitav on, et primaarmähise aktiivtakistus ei oleks suurem kui 10% taandatud koormustakistusest ja sekundaarmähise aktiivtakistus alla 10% valjuhääldaja võnkepooli takistusest. Sel juhul valdav osa (ligikaudu 80%) väljundastme väljundvõimsusest antakse valjuhääldajale.

Lõppastme transistoride kollektorivool reguleeritakse välja takisti R_{12} (joon. 11) või R_2 (joon. 14) abil. Milliampermeeter lülitatakse kollektoriahelasse. Tuleb märkida, et teistsuguste eelpingestusskeemide kasutamine (näit. vastavalt joonisele 5, *a*) on lõppastmes mittesoovitav, sest sel juhul sõltub režiim tunduvalt transistori kvaliteedist ja ümbruse temperatuurist.



Joon. 14. Lihtsa lõppastme skeem



Joon. 15. Vastastakt-lõppastme skeem

Skeemis joonisel 14 ei ole tarvis rangelt kinni pidada takistite R_1 ja R_2 märgitud väärtustest. Takisti R_1 väärtuse muutmine mõlemas suunas 1,5...2-kordselt on lubatav. Kollektorivoolu väljareguleerimise hõlbustamiseks asendatakse takisti R_2 potentsiomeetriga, mille takistus on 50...100 kΩ. Potentsiomeetri keskväljaviik ühendatakse sealjuures kokku ühe äärmise väljaviiguga. Transistori riknemise vältimiseks lülitatakse baasivoolu piiramiseks potentsiomeetriga järjestikku püsitakisti, mille takistus on 5...10 kΩ. Pärast voolu väljareguleerimist joodetakse potentsiomeeter skeemist lahti ja mõõdetakse oommeetri abil tema takistus. Siis valitakse niisama suure takistusega takisti ja joodetakse lülitusse. Pärast jooteühenduste jahtumist (3...5 minutit hiljem) lülitatakse vastuvõtja sisse ja kontrollitakse, kas kollektorivool on ettenähtud piirides.

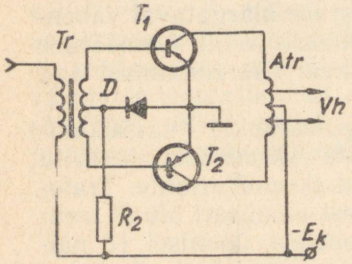
Joonisel 11 näidatud eelpingestusskeemi kasutamise korral teostatakse kõik operatsioonid analoogiliselt. Takistite R_{12} ja R_{13} väärtused on vähem kriitilised kui joonisel 14 näidatud skeemi korral. Takisti R_{13} väärtus võib erineda skeemil esitatust 3...4 korda, tingimusel, et suhe R_{12}/R_{13} jääb püsivaks. Takisti R_{14} väärtusest tuleb kinni pidada ±20...30% täpsusega; selle takistuse märgataval vähendamisel võib transistor rikneda kollektorivoolu ülemäärase suurenemise tõttu, takisti märgataval suurendamisel aga väheneb väljundvõimsus.

Soovitatud režiimide väljareguleerimine vastastaktlõppastmetes oleneb nende astmete skeemidest, seetõttu vaatleme konkreetselt kõiki levinud skeemivariante. Trafodega lõppastmed erinevad üksteisest enamasti ainult transistoride eelpingestamise viiside poolest. Joonisel 15 näidatud skeemis reguleeritakse mõlema transistori eelpingestusrežiim välja takisti R_2 takistuse muutmisega. Esialgu määratakse kindlaks takisti R_1 takistus, mis võib olla piirides 27...270 oomi; mida väiksem on see takistus, seda väiksem peab olema ka takistus R_2. Sel juhul suureneb aga voolu tarbimine toiteallikast. Takisti R_1 liiga suure takistuse korral väheneb astme võimendustegur ning lõppastme väljundvõimsus. Mõlema transistori vool peab olema vahemikus 2...6 mA (suurem voolu väärtus vastab väiksemale toitepingele). Kui takisti R_2 on valitud, ei ole soovitav kohe seda lõplikult kohale joota, kuna madalsagedusvõimendi edaspidisel reguleerimisel võib olla vaja

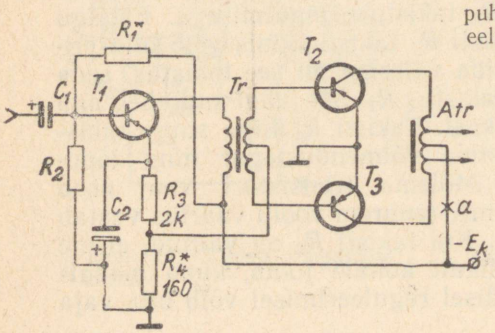
vähesel määral muuta tema väärtust mittelineaarmoonutuste vähendamise eesmärgil.

Skeemis, kus lõppastme transistoride tööpunkt on temperatuuri suhtes stabiliseeritud (joon. 16), valitakse transistoride režiim üldjoontes samuti, kuid erinevuseks on asjaolu, et takisti R_1 asemele on lülitatud mittelineaarse takistusega element — germaaniumdiood Д7Е. Seetõttu tuleb transistoride riknemise vältimiseks eriti hoolikalt valida takisti R_2 takistus.

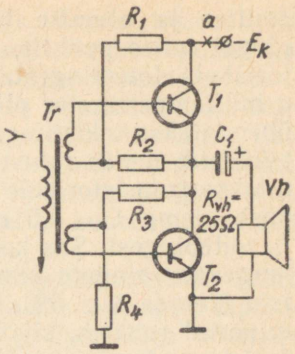
Joonisel 17 näidatud skeemis kasutatakse lõppastme transistoride baaside eelpingestamiseks eelneva võimendusastme transistori kollektorivoolu. Seetõttu tuleb lülituse reguleerimist alustada selle voolu väljareguleerimisest. Selleks et vältida lõppastme transistoride riknemist, tuleb nende toiteahel katkestada punktis *a* ja reguleerida välja eelneva astme režiim takisti R_1 väärtuse muutmisega, kusjuures eelnevalt on lülitatud astme kollektoriahelasse milliampermeeter. Kui selle astme kollektorivool ei ole võimendi kirjelduses märgitud, siis tuleb valida tema suuruseks 0,8 ... 6 mA. See vool peab olema seda suurem, mida võimsam on lõppaste ja mida madalam



Joon. 16. Kahetaktilise stabiliseeritud eelpingega vastastaktlõppastme skeem



Joon. 17. Lõppastme transistoride baasi eelpingestuse skeem, mille puhul on kasutatud lõppastmele eelneva astme voolu



Joon. 18. Järjestik-rööplülituses lõppastme skeem

kollektoriahelate toitepinge. Pärast seda reguleeritakse välja lõppastme transistoride kollektorivool. Sealjuures tohib takisti R_4 ahelat katkestada ainult pärast toiteallikate väljalülitamist, punkti *a* tuleb aga voolu kontrollimiseks lülitada milliampermeeter piirkonnaga 10 ... 15 mA. Et vältida lõppastme transistoride riknemist, võib takisti R_4 asemele lülitada takisti, mille takistus on 30 ... 50% suurem skeemil märgitud suurusest, ning, lülitades temaga paralleelselt mitmesuguse väärtusega takisteid, välja reguleerida transistorides ettenähtud suurusega kollektorivool. Takistuse R_4 1,5 ... 2-kordne suurendamine või vähendamine ei muuda praktiliselt eelneva astme režiimi, sest selle takisti takistus on palju väiksem takisti R_3 takistusest.

Joonistel 13 ja 18 on näidatud kaks lõppastet, mis on üles ehitatud järjestik-rööpskeemi kohaselt.[1]

Selleks et moonutused nende skeemide järgi ehitatud lülitustes oleksid minimaalsed, reguleeritakse režiimid välja nii transistore läbiva voolu järgi kui ka mõlema transistori kollektoritel (või emitteritel) esineva pinge järgi. Joonisel 18 näidatud skeemi korral tehakse seda järgmiselt: esialgu lülitatakse takistite R_1 ja R_3 asemele võrdse suurusega takistid 5 ... 15 kΩ. Voltmeetri abil, mis lülitatakse ühise toitejuhtme ja selle punkti vahele, kuhu on kokku ühendatud skeemi järgi ülemise transistori

[1] Kui ei õnnestu hankida skeemidel näidatud võnkepooli takistusega valjuhääldajat, siis võib kasutada ükskõik millist valjuhääldajat koos trafoga või autotrafoga.

emitter ja alumise transistori kollektor, kontrollitakse pinget selles punktis. See pinge peab olema pool kollektoriahela toitepingest. Toitejuhtmesse lülitatakse punktis *a* milliampermeeter piirkonnaga 5...15 mA. Pärast seda ühendatakse takistitega R_1 ja R_3 rööbiti võrdse suurusega takisteid; nende takistust järk-järgult vähendades saavutatakse transistoridele T_1 ja T_2 vajalik kollektorivool, mis peab olema 1...3,5 mA, olenevalt võimendi võimsusest ja toitepingest. Siis kontrollitakse kummalegi transistorile langevate pingete sümmeetriat; lubatav asümmeetria ei tohi ületada 3...5%. Kui pinged lõppastme transistoridel erinevad rohkem, siis tuleb muuta kas takisti R_1 või R_3 takistust, kuni pinged on muutunud sümmeetrilisteks; sealjuures ei tohi transistoride kollektorivool oluliselt muutuda.

Joonisel 13 näidatud skeemis tuleb takisti R_{14} valida esialgu 1,5...2 korda suurem ettenähtud takistusest ning takisti suuruse muutmise abil saavutada transistoride emitteritel pinge, mille suurus oleks pool toiteallika pingest. Pärast seda, mõõtes voolu punktis *a* ja lülitades rööbiti takistiga R_{15} mitmesuguse takistusega takisteid, tuleb välja reguleerida transistore läbiv vool suurusega 1...3 mA.

Lõppvõimendile eelnev madalsagedusaste tarbib sõltuvalt lõppastme võimsusest ja toiteallika pingest voolu 0,8...6 mA. Eelneva astme ettenähtud voolu väljareguleerimiseks kasutatakse takistit R_{10} (joon. 11), R_{19} (joon. 12) või R_{16} (joon. 13). Joonisel 13 näidatud skeemis peab eelneva astme kollektorivool minimaalse mittelineaarmoonutuse saamiseks olema vähemalt järgmine:

$$I_{k1} \approx 2\frac{I_{k2}}{\beta},$$

kus I_{k2} — lõppastme kollektorivool,

β — lõppastme transistoride vooluvõimendustegur maksimaalse kollektorivoolu puhul.

Madalsagedusvõimendi eelvõimendusastmete kollektorivoolud ja -pinged peavad olema võimalikult väikesed (0,2...0,5 mA ja 0,7...2 V), et vähendada transistoride omamüra, mis kostab valjuhääldajast häiriva kahinana.

Kõrgsagedusvõimendi transistoride režiimid valitakse takistite R_2 ja R_5 (joon. 11), takistite R_1 ja R_2 (joon. 12)

või takistite R_2 ja R_5 abil (joon. 13). Transistoride R_1 ja R_2 kollektoripingeid ei ole tavaliselt tarvis reguleerida, sest need kujunevad ise välja küllaldase täpsusega (1 ... ... 2 V), juhul kui takistite R_4 ja R_7 nominaalid on valitud skeemil antud piirides või kui nende nominaalide tunduva muutmise korral (5 ... 30 kΩ) on säilitatud ettenähtud suhe R_4/R_7. Vajaduse korral võib muuta pingeid transistoride T_1 ja T_3 kollektoritel takisti R_7 suuruse muutmise abil.

Kui toiteahelasse on lülitatud lahtisidestustakisti (näit. R_{15} joonisel 11), siis eelpingestusahelate takistuste täpsustamist (joonisel 11 takistid R_2, R_5, R_{10}) tuleb alustada takistist R_{10}. Sealjuures tuleb kollektorivoolud transistoridel T_1, T_2, T_3 (joon. 11) või T_2, T_3, T_5 (joon. 12) valida sellised, et pingelangu suurenemise korral ühistel lahtisidestustakistitel jääksid need voolud ettenähtud piiridesse. Näiteks joonisel 11 näidatud skeemil tuleb transistori T_2 vool reguleerida esialgselt 10 ... 15% suuremaks kui on ette nähtud, arvestades seda, et transistori T_1 avanemisel saavutab vool transistoris T_2 ettenähtud suuruse.

MADALSAGEDUSVÕIMENDITE REGULEERIMINE

Selleks et madalsagedusvõimendi arendaks ettenähtud väljundvõimsust, omaks minimaalseid lineaar- ja mitte-lineaarmoonutusi, ettenähtud sisendtakistust ja muid vajalikke parameetreid, peaksid võimendi reguleerija käsutuses olema järgmised mõõteriistad: helisagedusgeneraator; väljundimõõtja, mille ülesandeid võib täita ka vajalike mõõtepiirkondadega vahelduvpinge-voltmeeter; ostsillograaf; vahelduvpinge-millivoltmeeter ja alalisvoolu-voltmilliampermeeter. Vastuvõtja madalsagedusosa võib aga küllaltki hästi välja reguleerida ka enamiku nimetatud mõõteriistade puudumise korral. Näiteks võib helisagedusgeneraatori asemel kasutada raadiotranslatsioonivõrku, raadiovastuvõtjat või grammofoni elektrilist helipead, väljundimõõtja ja volt-milliampermeetri asemel — tavalist testerit (TT-3, Ц-20).

Enne valmisehitatud vastuvõtja sisselülitamist ühendatakse toiteallikaga järjestikku milliampermeeter mõõtepiirkonnaga 30 ... 50 mA ja lülitatakse lühikeseks ajaks (3 ... 5 sek.) toitepinge sisse skeemil näidatud polaarsuse

kohaselt. Sisselülitamise esimesel hetkel võib esineda üsna suur voolutõuge, mis on tingitud toiteahela filtri elektrolüütkondensaatori, sidestuskondensaatorite ja muude kondensaatorite laadimisest. Vool peab aga otsekohe vähenema väärtuseni 4 ... 15 mA. Juhul kui vool jääb tunduvalt suuremaks, tuleb võimendi välja lülitada ja veel kord hoolikalt kontrollida montaaži, et veenduda lühiste puudumises ja toiteallika ühendamise õigsuses.

Esimene ebameeldivus, millega võib kokku puutuda otsekohe pärast võimendi sisselülitamist, on võimendi endaergutus, mis ilmneb vile või viletaolise kahinana valjuhääldajas. Sealjuures näitab toiteahelasse lülitatud milliampermeeter 25 ... 50 mA suurust voolu (4 ... 15 mA asemel signaalita olukorras). Endaergutuslike parasiitvõnkumiste iseloomu ja sagedust on võimalik täpselt kindlaks teha vastuvõtja väljundisse lülitatud ostsillograafi abil. Kõigepealt tuleb aga kindlaks teha, kas endaergutuse põhjus asub vastuvõtja kõrgsagedus- või madalsagedusosas. Selleks tuleb vastuvõtja kõrgsagedusosa, mille reguleerimist käsitletakse järgmises peatükis, välja lülitada.

Helitugevuse regulaatori (R_9 joonisel 11, R_{13} joonisel 12 või R_{11} joonisel 13) ülemise väljaviigu külge tulev juhe joodetakse lahti ja keeratakse regulaator maksimaalsele võimendusele vastavasse asendisse. Juhul kui endaergutus ei lakka, on genereerimise põhjus madalsagedusvõimendis. Kõigepealt on vaja kõrvaldada parasiitsidestuse võimalus toiteallikate kaudu. Selleks tuleb paralleelselt patareiga ühendada 50 ... 500-µF mahtuvusega kondensaator ja suurendada lahtisidestuskondensaatorite (C_8 joonisel 11 või C_{30} ja C_{31} joonisel 12) mahtuvust 2 ... 3 korda. Kui pärast seda genereerimine lakkab, siis oli genereerimise põhjuseks parasiitsidestus ühise toiteahela kaudu.

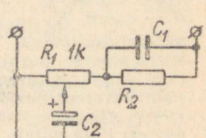
Nimetatud abinõud võivad aga osutuda mitteküllaldasteks üksikute astmete toiteahelates esinevate parasiitsidestuste likvideerimiseks. Seepärast võib järgmise vahendina madalsagedusvõimendi endaergutuse vastu soovitada kondensaatorite C_{11}, C_{12}, C_{13} (joon. 11); C_{28}, C_{34}, C_{35} (joon. 12) või C_{20}, C_{21} (joon. 13), samuti takisti R_{16} (joon. 11) ühendamist lülitusse. Kõik need elemendid mõjutavad võimendi sageduskarakteristikut ja tavaliselt kaob endaergutus juba ühe nimetatud kondensaatori lülitusse ühendamisel.

Tavalise endaergutuse kõrval, mispuhul valjuhääldajas kostab pidev heli, võib esineda ka katkendlik genereeri-

mine (relaksatsioonvõnkumised), mis väljenduvad iseloomulike perioodiliste naksatustena («tiksumisena»), mille sagedus on hertsi murdosast kuni sadade hertsideni. Sellise genereerimise esinemise puhul tuleb vähendada sidestuskondensaatorite C_7, C_9 (joon. 11) ja C_{27}, C_{29} (joon. 12) mahtuvusi, samuti suurendada üldiste lahtisidestusfiltrite kondensaatorite mahtuvusi ja takistite takistusi. Ostsillograafi ekraanil on sellise genereerimise puhul näha saehambakujuline kõver või üksikud pingeimpulsid.

Pärast nimetatud häirete kõrvaldamist antakse madalsagedusvõimendi esimese transistori T_3 (joon. 11), T_4 (joon. 12) või T_5 (joon. 13) baasile madalsageduspinge raadiotranslatsioonivõrgust, raadiovastuvõtja valjuhäälduja võnkepoolilt, grammofoni elektriliselt helipealt või helisagedusgeneraatorist. Kolmel esimesel juhul võetakse pinge pingejagurilt, mille skeem on näidatud joonisel 19; viimasel juhul tuleb jälgida, et helisagedusgeneraatori väljundpinge ei ületaks 0,1 ... 0,2 V, kuna vastasel korral võib võimendi sisendtransistor rikneda. Generaatori sageduseks valitakse tavaliselt 1000 Hz, amplituud peab aga vastama võimendi skeemil või kirjelduses antud nimitundlikkusele; tavaliselt peab pinge olema 2 ... 5 mV kolmeastmelise ja 3 ... 30 mV kaheastmelise võimendi puhul.

Helisagedusgeneraatori puudumisel võib madalsagedusvõimendi tundlikkust ligikaudu hinnata joonisel 19 näidatud skeemi potentsiomeetri asendi järgi. Potentsiomeetri takistuse sõltuvus pöördenurgast peab sel juhul olema lineaarne. Kui keerata potentsiomeeter asendisse, mis vastab maksimaalsele helitugevusele, ning lülitada pingejagur raadiotranslatsioonivõrku, mille pinge on 15 või 30 V, siis peab pinge võimendi sisendis olema 0,1 ... 0,2 V. Potentsiomeetri liugkontakti pöördenurga järgi saab ligikaudu määrata sisendpinget, mille puhul võimendi töötab ilma tugevate moonutusteta ja arendab küllaldast võimsust. Selle pinge väärtus ongi võimendi tundlikkus. Tuleb meeles pidada, et otse (s. t. ilma pingejagurita) ei tohi

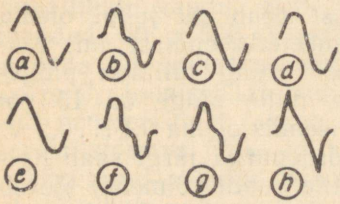


Joon. 19. Pingejaguri skeem:
15-voldise pingega translatsioonivõrgu puhul C_1 = = 50 pF, R_2 = 150 kΩ; 30-voldise translatsioonivõrgu puhul C_1 = 10 pF, R_2 = 300 kΩ; grammofoni helipea puhul C_1 = 50 pF; R_2 = 25 kΩ.

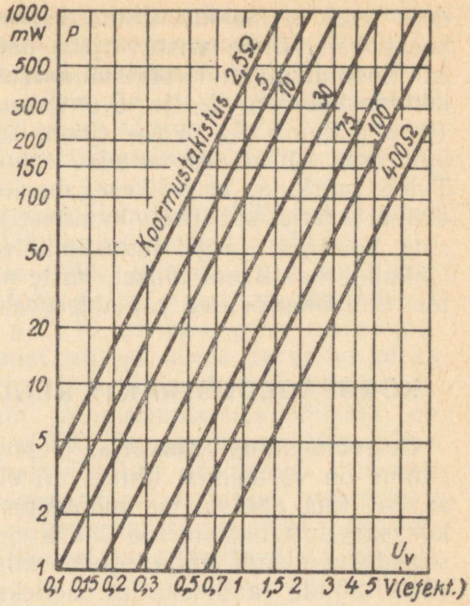
elektrivõrgust toidetava raadiovastuvõtja valjuhääldaja võnkepoolilt või raadiotranslatsioonivõrgust ühelgi juhul anda madalsageduspinget võimendi sisendile, sest sel juhul riknevad võimendi sisendtransistorid.

Kui kõik režiimid on õigesti valitud, siis töötab võimendi algusest peale hästi ja tema reguleerimine seisneb ainult lõppastme režiimi ja sageduskarakteristiku korrigeerimises. Juhul kui mittelineaarmoonutus tekib juba väikese helitugevuse juures, siis on vaja veidi suurendada lõppastme transistoride kollektorivoolu, vähendades sel otstarber takistite R_{12} (joon. 11) ja R_{19} (joon. 12) takistusi või suurendades takistite R_{22} (joon. 12) ja R_{15} (joon. 13) takistusi. Sellise moonutuse korral on väljundpinge kuju ostsillograafi ekraanil siinuselise sisendpinge korral näidatud joonisel 20, *b*.

Nimivõimsuse juures esinevate märgatavate mittelineaarmoonutuste põhjuseks võib olla pingeamplituudi piiramine väljundastmele eelnevas võimendusastmes ebaõigelt valitud režiimi tagajärjel või siis valesti ehitatud või konstrueeritud väljundtrafo, millel võib olla liiga madal kasutegur, esineda ebasümmeetria jne. Maksimaalne moonutusvaba võimsus määratakse väljundimõõtja (vahelduvpinge-voltmeetri) abil, mis ühendatakse otse valjuhääl-



Joon. 20. Väljundpinge kuju ostsillograafi ekraanil mitmesuguste moonutuste korral, juhul kui sisendpinge on siinuseline:
a — moonutusi ei ole; *b* — astme transistoride signaalita olukorra vool on liiga väike; *c* — esineb väljundpinge piiramine lõppastmes, $K_f \approx 10\%$; *d* — sama, $K_f \approx 20\%$; *e* — esineb pinge piiramine lõppastmele eelnevas võimendusastmes, kui väljundtrafo on ebasümmeetriline või lõppastme transistoride parameetrid tunduvalt erinevad; *f* — lõppastme transistoride signaalita olukorras on vool liiga väike, piiramine lõppastmes; *g* — lõppastme transistoride vool on liiga väike, piiramine eelnevas astmes või lõppastme ebasümmeetria; *h* — piiramine lõppastmes, väljundtrafo induktiivsus on liiga väike.



Joon. 21. Graafik väljundvõimsuse määramiseks

daja võnkepoolile. Valjuhääldaja asemel võib olla ka takisti, mille takistus võrdub võnkepooli näivtakistusega. Väljundvõimsus arvutatakse alljärgneva valemi abil:

$$P_{(mW)} = \frac{1000\ U^2_{(V)}}{R_{k\,(\Omega)}}$$

või leitakse joonisel 21 toodud graafikult.

Vastuvõtja väljundpinge U_v mõõtmiseks võib kasutada mistahes vahelduvpinge-voltmeetrit, mis töötab helisageduste piirkonnas (kuni 5 ... 10 kHz) ning mille sisetakistus on 5 ... 10 korda suurem lõppastme koormustakistusest.

Võimendi mittelineaarmoonutuse suurust võib hinnata helikvaliteedi järgi või väljundpinge kuju järgi ostsillograafi ekraanil, võrreldes tegelikku kõverat joonisel 20 näidatud kõveratega. Täpsemateks mõõtmisteks tuleb kasutada mittelineaarmoonutuse mõõteseadet.

Sageduskarakteristikut tuleb heli kvaliteedi järgi korrigeerida kindlasti koos selle valjuhääldajaga, mida kavatsetakse kasutada antud vastuvõtjas, kusjuures valjuhääl-

daja peab olema kinnitatud vastuvõtja kasti külge. Väikesegabariidiliste vastuvõtjate heli ei saa muidugi olla nii loomutruu kui statsionaarsetel vastuvõtjatel, kuid kondensaatorite C_{11} ja C_{12} (joon. 11); C_{28}, C_{34} ja C_{35} (joon. 12) või C_{20} ja C_{21} (joon. 13) mahtuvuste valikuga õnnestub siiski saavutada rahuldavat heli kvaliteeti. Tuleb märkida, et väikesegabariidilise vastuvõtja sageduskarakteristikut (heli kvaliteeti) on soovitav korrigeerida kuulmise järgi, muusikaliste või sõnaliste saadete ülekande kvaliteedi alusel, mitte aga helisagedusgeneraatori abil ülesvõetava sageduskarakteristiku järgi.

KÕRGSAGEDUSTRAKTI REGULEERIMINE

Otsevõimendusvastuvõtja. Otsevastuvõtja väljareguleerimine on võrdlemisi lihtne, nii et tihti on võimalik läbi saada ilma spetsiaalse mõõteaparatuurita. Kohe pärast kõrgsagedustransistoride alalisvoolurežiimide ja madalsagedusvõimendi väljareguleerimist võib proovida vastu võtta mõnda raadiosaatjat. Selleks tuleb kasutada tubast või välisantenni.

Kui raadiosaatja on kuulda küllalt tugevasti, ilma viledе ja moonutusteta, siis võib asuda laineala piiride väljareguleerimisele. Kui aga vastuvõtja töös esinevad häired (vastuvõetavate signaalide tugev moonutus, viled saatjate kohal, tiksumine või undamine), siis tuleb vastavalt lehekülgedel 28...29 antud soovitustele leida parasiitvõnkumiste tekkimise koht ja rakendada vajalikke abinõusid nende kõrvaldamiseks.

Laineala piire on kõige lihtsam täpsustada siis, kui viia esimene kõrgsagedusaste genereerimisrežiimi. Selleks tuleb mingil lihtsal viisil tekitada positiivne tagasisidestus. Võib näiteks esimese transistori T_1 kollektori ja sisendvõnkeringi pooli ülemise otsa (skeemi järgi) vahele ühendada 5...10-pF mahtuvusega kondensaator (joon. 11). Sel juhul hakkab vastuvõtja genereerima sagedusel, mis on väga lähedane võnkeringi endasagedusele. Kui võnkumist ei teki, siis tuleb omavahel vahetada sidestuspooli L_2 otsad.

Seejärel viiakse transistorvastuvõtja tavalise statsionaarse raadiovastuvõtja antennipuksi lähedusse, millesse eelnevalt on pistetud lühike traat. Võttes vastu genereе-

riva kõrgsagedusvõimendi signaali, määratakse statsionaarse vastuvõtja skaalalt genereerimissagedus. Pooli L_1 keerdude arvu muutmise abil seatakse kohale transistorvastuvõtja laineastmiku piirid ja gradueeritakse tema skaala. Et sageduse määramise täpsus oleks suurem, on soovitav kasutada optilise häälestusindikaatoriga varustatud raadiovastuvõtjat.

Standardsignaalgeneraatori olemasolul lülitatakse tema väljundpea (pingejaguri) maandusklemmi ja tähisega «1» märgitud klemmi vahele tükk jämedat montaažijuhet pikkusega 15...20 cm. Juhe painutatakse ringikujuliseks keeruks, mis asetatakse 5...10 cm kaugusele transistorvastuvõtja magnetantennist nii, et keeru tasapind oleks risti antenni ferriitpulgaga. Siis lülitatakse sisse signaalgeneraatori modulatsioon. Modulatsioonisageduseks on sobiv valida 1000 Hz, kuna 400-Hz sagedusega signaal on väikesegabariidilistes vastuvõtjates võrdlemisi halvasti kuulda. Modulatsioonitegur reguleeritakse vahemikku 30...60% ning signaalgeneraatori skaalal leitakse punktid, mis vastavad häälestatava vastuvõtja laineala piiridele.

Supervastuvõtja. Supervastuvõtjaid on võimalik reguleerida niihästi ilma mõõteriistadeta kui ka mõõteriistade abil. Alljärgnevalt kirjeldatakse joonisel 13 näidatud skeemiga kõrgsagedusosa reguleerimist ilma mõõteriistadeta ja joonisel 12 näidatud skeemiga kõrgsagedusosa reguleerimist mõõteriistadega. See ei tähenda aga sugugi, et reguleerimise meetodid, mida kirjeldatakse joonisel 13 näidatud skeemi puhul, ei oleks kasutatavad joonisel 12 näidatud skeemi puhul või ümberpöördult.

Spetsiaalsete mõõteriistade puudumisel tuleb reguleerimist alustada transistoride alalisvoolurežiimide täpsustamisest ja madalsagedusvõimendi väljareguleerimisest. Järgnevalt häälestatakse vastuvõtja vahesagedusvõimendi. Selleks ühendatakse transistori T_3 baas 0,05-μF mahtuvusega kondensaatori kaudu statsionaarse raadiovastuvõtja vahesagedusvõimendi lambipesa anoodijalaga. Häälestamise juures kasutatav statsionaarne vastuvõtja häälestatakse eelnevalt mõnele kohalikule raadiosaatjale ning tema helitugevuse regulaator keeratakse minimaalsele helitugevusele vastavasse asendisse. Võnkeringi L_8C_{14} südamiku keeramisega tuleb saavutada maksimaalne helitugevus häälestatava transistorvastuvõtja väljundis.

Täpsemalt on võimalik vahesagedusvõnkeringe häälestada mitte kuulmise, vaid mõõteriista järgi. Kõige lihtsam on selleks kasutada voltmeetrit, mis ühendatakse rööbiti takistitega R_8 ja R_9 transistori T_3 emitteriahelas. Kui selle transistori baasile mõjub automaatse võimendusregulaatori pinge, siis väheneb vool emitteriahelas. Seetõttu võib sellesse ahelasse lülitatud mõõteriista näidu miinimumi järgi otsustada võnkeringi L_8C_{14} häälestuse täpsuse üle. Kui on märgata, et häälestatav vastuvõtja koormatakse üle, siis tuleb häälestamiseks kasutatava abivastuvõtja antenni lühendada või hoopis ära jätta.

Pärast vahesagedusvõimendi korrasolekus veendumist asutakse põhiselektsioonifiltri L_6C_9-L_7C_{11} häälestamisele. Selleks ühendatakse abivastuvõtjast tulev vahesagedussignaali kandev juhe transistori T_1 baasile ning häälestatakse võnkeringid maksimaalse helitugevuse või mõõteriista minimaalse hälbe järgi. Sel meetodil võib häälestada ka teistsuguste skeemide järgi ehitatud vastuvõtjate vahesagedusvõnkeringe, muidugi sel juhul, kui vahesageduseks on 465 kHz.

Kui vahesagedustrakti häälestamine on lõpetatud, võib asuda muundusastme reguleerimisele. Sagedusmuundi reguleerimine on kõige töömahukam ja suurt hoolikust nõudev operatsioon. Joonisel 13 näidatud skeemi kohaselt valmistatud muundusaste reguleeritakse välja alljärgnevas järjekorras. Kõigepealt tuleb veenduda, et vastuvõtja ostsillaator genereerib. Selleks keeratakse häälestuskondensaator maksimaalse mahtuvusega asendisse ja püütakse teise raadiovastuvõtjaga vastu võtta ostsillaatori signaali. Kui see ei õnnestu, siis tuleks kõigepealt omavahel vahetada sidestuspooli L_9 otsad. Kui ka sel juhul genereerimist ei teki, siis tuleb järk-järgult suurendada sidestuspooli keerdude arvu, perioodiliselt vahetades tema otsi omavahel, kuni saavutatakse stabiilne genereerimine kogu lainеala ulatuses. Ostsillaatori normaalse töö korral ei tohi tema signaal, mida võetakse vastu teise raadiovastuvõtjaga, sisaldada parasiitmodulatsiooni. See tähendab, et abivastuvõtja kõrvalehäälestamisel ostsillaatori signaalist mõlemas suunas ei tohi kostuda vilesid ega mingeid lisasignaale. Selleks et reguleerimist ei takistaks ringhäälingusaatjad, tuleks reguleerimine läbi viia päevasel ajal, kui kesklainealal on kuulda vähe saatjaid. Peale

selle peab abivastuvõtja antennipuksi pistetud traat olema lühike.

Juhul kui sidestuspoolide keerdude arvu ja pooli L_5 väljavõtte asukoha valikuga ei õnnestu likvideerida parasiitvõnkumisi, siis võib proovida suurendada lahtisidestuskondensaatorite C_8 ja C_{16} mahtuvust, lisada transistori T_2 kollektoriahelasse täiendav lahtisidestusfilter ja lõpuks vähendada sidestuskondensaatori C_6 mahtuvust 3000... ...6000 pikofaradini.

Kui on saavutatud ostsillaatori normaalne töö, siis võib alustada tema piirsageduste paigaleseadmist. Selleks pistetakse abivastuvõtja antennipuksi lühike juhe ning asetatakse see transistorvastuvõtja ostsillaatori võnkeringi vahetusse lähedusse. Kui võnkeringide ümberlülitamine on ette nähtud joonisel 13 näidatud skeemi kohaselt, siis alustatakse häälestamist pikklainest. Kui võnkeringide ümberlülitamine vastab vastuvõtjate «Gauja» ja «Neeva» skeemidele, siis võib piirsageduste paigaleseadmist alustada ükskõik kummast lainealast.

Kui vahesagedus on standardne (465 kHz) ja kesklainealа samuti (1620...520 kHz), siis peab ostsillaatori sagedus muutuma vahemikus 2085...985 kHz. Üht neist sagedustest — 985 kHz (vastav lainepikkus 305 m) — on võimalik vastu võtta ringhäälinguvastuvõtjaga kesklainel. Kui selgub, et transistorvastuvõtja ostsillaatorisagedus on kõrgem või madalam mainitud sagedusest, siis häälestatakse ta ettenähtud sagedusele ostsillaatori võnkeringi pooli südamiku keeramise abil; sealjuures peab häälestuskondensaator olema maksimaalse mahtuvusega asendis. Teine ostsillaatori piirsagedus (2085 kHz) ei satu ühegi ringhäälingu-lainealа piiridesse. Seetõttu häälestatakse ostsillaatori kõrgemat piirsagedust teisiti: lülitatakse transistorvastuvõtja külge välisantenn, viiakse see teise raadiovastuvõtja pöördkondensaatori ostsillaatorisektsiooni lähedusse, mille signaali võetakse vastu transistorvastuvõtja abil. Abivastuvõtja häälestatakse sagedusele 1155 kHz. Transistorvastuvõtja pöördkondensaatori pööramisega häälestatakse see abivastuvõtja ostsillaatori sagedusele. Seejärel reguleeritakse trimmerkondensaatori abil transistorvastuvõtja ostsillaatori sagedust nii, et signaal esineks transistorvastuvõtja häälestuskondensaatori minimaalse mahtuvusega asendi puhul. Pärast seda häälestatakse näidatud viisil uuesti lainealа lõpp (pöördkonden-

saatori mahtuvus on maksimaalne), siis jälle laineala algus jne., kuni saavutatakse laineastmiku täpne ühtelangemine ettenähtud piirkonnaga. Pikklaine häälestamine on veidi lihtsam, sest ostsillaatori sageduse mõlemad väärtused, mis vastavad laineala algusele ja lõpule, satuvad abivastuvõtja kesklainealasse. Häälestamise sagedused (tugisagedused) pikklainel on järgmised: algus 875 kHz (342 m), lõpp 615 kHz (490 m).

Sisendvõnkeringide häälestamine toimub alati vastuvõetavate raadiosaatjate järgi ning selleks liigutatakse võnkeringi poole L_1 ja L_2 piki antenni ferriitpulka (laineala lõpus) ja muudetakse trimmerkondensaatorite mahtuvust (laineala alguses).

Vastuvõtjas, mille skeem on näidatud joonisel 13, on ümberlülitamise lihtsustamiseks pikklaineala veidi lühendatud ja tema häälestamine on lihtsam. Kondensaatori C_3 suuruse valikuga (pärast kesklaine paigaleseadmist) seatakse kohale ainult pikklaine lõpp häälestuskondensaatori maksimaalse mahtuvuse asendi puhul. Sagedus abivastuvõtja skaalal peab olema 615 kHz. Sel puhul laineala algus seadub iseenesest sagedusele 350 kHz, mis vastab ostsillaatori sagedusele 815 kHz (370 m). Pikklaine sisendvõnkering häälestatakse laineala lõpus pooli L_2 induktiivsuse muutmise abil ja laineastmiku alguses kondensaatori C_2 suuruse valiku abil.

Kui pikklaine alguses esineb vastuvõtja endaergutus vahesagedusele lähedastel sagedustel, siis tuleb omavahel vahetada pooli L_3 otsad, vähendada tema keerdude arvu või šuntida sisendvõnkering 50 ... 300-kΩ takistiga. Sel juhul muidugi väheneb mõnevõrra vastuvõtja tundlikkus.

Supervastuvõtja häälestamine lihtsustub tunduvalt mõõteriistade (standardsignaalgeneraatori, vahelduvpingemillivoltmeetri, ostsillograafi) kasutamise korral ja tulemused on kindlasti paremad. Pärast madalsagedusvõimendi ja kõrgsagedustransistoride alalisvoolurežiimide väljareguleerimist ühendatakse sagedusele 465 kHz häälestatud signaalgeneraator (30% modulatsiooni korral) 0,05 ... 0,1 μF mahtuvusega eralduskondensaatori kaudu transistori T_3 baasile (joon. 12). Maandusjuhe signaalgeneraatori pingejagurist ühendatakse vastuvõtja kerega. Pinge signaalgeneraatori väljundil (transistori T_3 baasil) reguleeritakse võrdseks 1 millivoldiga ja detektorastme väljundisse ühendatakse rööbiti takistiga R_{13} 10-mW piir-

konnaga millivoltmeeter. Pooli L_{15} südamiku pööramise abil reguleeritakse millivoltmeetri näit maksimaalseks. Siis antakse signaalgeneraatorist 30...50-mikrovoldine pinge transistori T_2 baasile. Signaalgeneraatori häälestusnupu keeramisega määratakse võnkeringi $L_{15}C_{23}$ täpne häälestussagedus. Kui sageduse muutumine ei ületanud 3... ...4 kHz, siis tähendab see, et viimase vahesagedusastme neutraliseerimismahtuvus oli valitud õigesti. Kui aga võnkeringi $L_{15}C_{23}$ sageduse muutus oli tunduvalt suurem (üle 4...10 kHz), siis tuleb kondensaatori C_{22} mahtuvust vähendada, kui signaalgeneraatorit tuli häälestada sagedusele üle 465 kHz, ja suurendada, kui signaalgeneraatorit tuli häälestada sagedusele alla 465 kHz.

Pärast kondensaatori C_{22} mahtuvuse kindlaksmääramist lülitatakse millivoltmeeter rööbiti vastuvõtja valjuhääldaja võnkepooliga ning tema näidu järgi reguleeritakse signaalgeneraatori väljundpinget, kuni väljundis saadakse 0,1 vastuvõtja nimiväljundvõimsusest ($0{,}1P_n$). Signaalgeneraatori väljundpinge vastab siis vahesagedustrakti tundlikkusele, mis peab olema 20...30 μV. Kui tundlikkus erineb sellest märgatavalt, siis tuleb kontrollida transistoride T_2 ja T_3 alalisvoolurežiime; kui need voolud vastavad skeemii näidatud väärtustele, tuleb veidi (10...15% võrra) suurendada mõlema transistori voolusid, vähendades takistite R_5 (T_2 puhul) ja R_8 (T_3 puhul) takistusi. Sealjuures tuleb jälgida, et vahesagedusvõimendis ei tekiks endaergutust. Selleks lahutatakse signaalgeneraator vastuvõtjast ja ühendatakse pooli L_{16} ülemise otsa külge (skeemi järgi) millivoltmeeter piirkonnaga 10 mV. Endaergutuse korral liigub mõõteriista osuti skaala lõppu, endaergutuse puudumise korral kõigub aga näit piirides 2...5 mV.

Pärast vahesagedusvõimendi häälestamist ühendatakse signaalgeneraator transistori T_1 baasiga. Antud skeemi puhul katkeb ostsillaatori genereerimine sealjuures iseenesest, mõne teise muundusastme skeemi puhul (näit. joonisel 12 toodud skeemis) tuleb genereerimine katkestada sel teel, et muundusastme emitter ühendatakse 0,03...0,1-μF mahtuvusega kondensaatori abil ühise toitejuhtmega. Signaalgeneraator häälestatakse sagedusele 465 kHz ning võnkeringide $L_{11}C_{14}$, $L_{13}C_{16}$ ja $L_{14}C_{18}$ poolisüdamike keeramisega häälestatakse võnkeringid täpselt välja detektorastme väljundpinge maksimumi järgi. Tundlikkus transis-

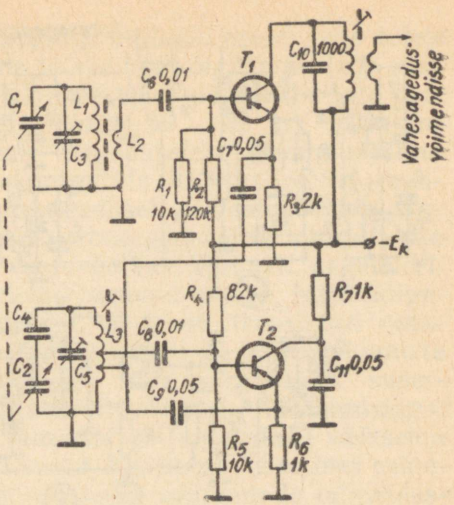
tori T_1 baasilt peab väljundvõimsusel $0{,}1P_n$ olema 2...3 μV.

Vahesagedustrakti läbilaskeriba ja selektiivsus naaberkanali suhtes määratakse kindlaks signaalgeneraatori häälestamisega resonantsisagedusest mõlemale poole kõrvale, kusjuures vastuvõtja väljundpinge hoitakse signaalgeneraatori väljundpinge reguleerimise abil konstantsena. Sealjuures peab vastuvõtja läbilaskeriba signaali tasemel 0,5 olema 6...9 kHz laiune [465 ± (3...4,5) kHz]. Sisendpinge tase, mis on vajalik endise väljundpinge saavutamiseks, kui signaalgeneraator on kõrvale häälestatud ±10 kHz võrra, peab olema 30...40 korda suurem esialgsest sisendpinge suurusest. Kui nõrgenemine naaberkanalis on vähem kui 30 korda ja läbilaskeriba laiem kui 9 kHz, siis tuleb kontrollida põhiselektsioonifiltri võnkeringide hüvetegurit ja sidestuskondensaatorite C_{15} ja C_{17} mahtuvust. Võnkeringide hüvetegurite halvenemine võib tekkida ühe kiu katkemise tõttu kiudtraadis, millest on tavaliselt mähitud poolid.

Vastuvõtja maksimaalne tundlikkus muundusastme sisendilt peab olema vahesageduspinge suhtes 2...3 μV. Kui vastuvõtja tundlikkus on väiksem, tuleb vähendada kondensaatori C_{11} mahtuvust. Lülitusest kõrvaldada seda kondensaatorit siiski ei tohi, sest siis võivad tekkida häired muundusastme töös, eriti keskklaineala alguses. Muidugi tekib kondensaatori C_{11} mahtuvuse muutmise korral vajadus täpsustada võnkeringi $L_{11}C_{14}$ häälestust. Kui signaali ja müra suhe vastuvõtja väljundis on 10:1, siis vastuvõtja tundlikkus võib olla 3...4 μV; kui tundlikkus on madalam, siis tuleb transistor T_1 vahetada väiksema mürateguriga eksemplari vastu.

Tuleb märkida, et supervastuvõtja vahesagedusvõimendi häälestamisel avastatud häired on analoogilised otsevastuvõtjate kõrgsagedustrakti töös esinevate häiretega. Seetõttu kõik, mis puudutab rikete kõrvaldamist otsevastuvõtjates, on kehtiv ka supervastuvõtjate vahesagedusvõimendi kohta.

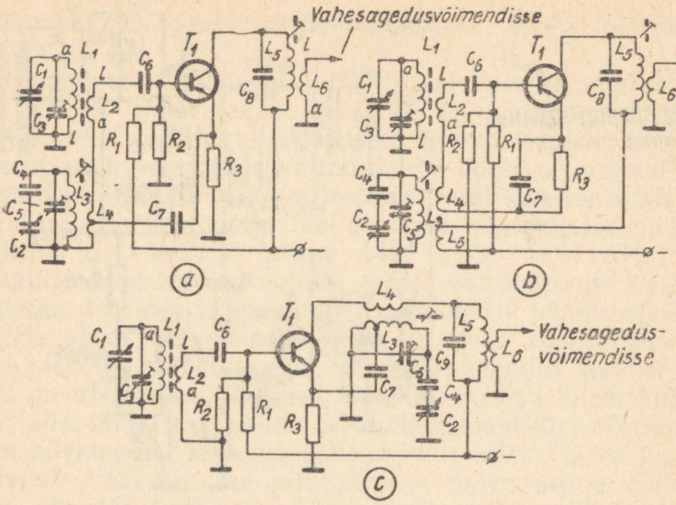
Muundusastme ja (eraldi ostsillaatoriga lülituse puhul) ka ostsillaatoriastme transistoride õige alalisvoolurežiimi valiku kõrval tuleb õigesti valida ja välja reguleerida ka vahelduvvoolurežiim. Olenevalt sagedusmuundusastme lülitusest esinevad nende režiimide valikul mitmesugused raskused. Eraldi ostsillaatoriga sagedusmuundis ei



Joon. 22. Eraldi ostsillaatoriga muundusastme skeem

tekita ostsillaatori väljareguleerimine erilisi raskusi. Kui sidestuspooli otsad on õigesti ühendatud transistori vastavate elektroodide külge, siis ostsillaator genereerib küllalt puhta siinuselise kujuga võnkumisi. Üheks ostsillaatori normaalse töö eeltingimuseks on õige sidestus muundusastme ja ostsillaatori võnkeringi vahel, mida reguleeritakse sidestuspooli keerdude arvu reguleerimisega ja muundusastme ning ostsillaatori transistoride alalisvoolurežiimi valikuga. Transistoride T_1 ja T_2 voolud joonisel 22 näidatud skeemis valitakse järgmiselt: transistori T_2 vool 0,5 ... 1 mA stabiilsete võnkumiste tekkimise järgi kõigil lainealadel ning transistori T_1 vool 0,3 ... 0,7 mA maksimaalse võimenduse järgi muundusrežiimis, kusjuures ei tohi esineda genereerimist vahesagedusele lähedastel sagedustel.

Sagedusmuundi häälestamine, mille puhul segusti ja ostsillaatorina töötab üks transistor, on mõnevõrra keerukam. Kõigepealt tuleb märkida, et juhul, kui esineb genereerimine vahesagedusele lähedastel sagedustel (kesklaine lõpus ja pikklaine alguses), tuleb järk-järgult vähendada muundusastme transistori voolu kuni endaergutuse katkemiseni. Kui genereerimine mingi laineala lõpus puudub, siis tuleb veidi suurendada ostsillaatori võnkeringi tagasisidestuspooli keerdude arvu transistori T_1 baasiahelas, kui



Joon. 23. Ühe transistoriga muundusastmete skeemid:
a — ostsillaator ühise kollektoriga lülituses; *b* — ostsillaator ühise emitteriga lülituses; *c* — ostsillaator ühise baasiga lülituses

skeem vastab joonisele 23, *a* ja *b* ning transistori T_1 kollektoriahelas, kui skeem vastab joonisele 23, *c*. Kui mingi laineala alguses esineb katkendlik genereerimine, tuleb nende poolide keerdude arvu vähendada. Keerdude arvu võib vähendada või suurendada mitte rohkem kui 1 ... 2 keeru võrra, sest nende poolide üldine keerdude arv on tavaliselt väike (5 ... 15). Kui need abinõud osutuvad mitteküllaldasteks, siis võib ühendada järjestikku sidestuspooliga emitteriahelasse 27 ... 51-Ω takisti. Ostsillaatori töös omab olulist tähtsust sisendvõnkeringi sidestuspooli otste õige ühendamine. Kui sidestuspool ja sisendvõnkeringi pool on mähitud ühes suunas, siis peavad nad olema ühendatud selliselt, nagu on näidatud joonisel 23.

Tuleb märkida, et sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringi vahel esinevate parasiitsidestuste vältimise seisukohalt tuleb eelistada joonisel 23, *a* näidatud skeemi. Kuna sidestuspooli keerdude arvud on kõigis näidatud skeemides praktiliselt võrdsed, siis võib joonistel 23, *b* ja *c* näidatud skeeme kergesti muuta joonisel 23, *a* näidatud skeemiks. Seda võib kasutada äärmise abinõuna.

Kui on olemas vahelduvpinge-millivoltmeeter, siis tuleb kontrollida muundusastme töörežiimi kõigi lainealade ulatuses. Transistori T_1 emitteril peab joonistel 23, *a* ja *c* näidatud skeemides esinema pinge 40...80 mV (suurem väärtus vastab kõrgemale sagedusele). Muundusastme režiimide õigsust saab kontrollida ka vastuvõtja tundlikkuse võrdlemisega vahesagedusel ja vastuvõetava signaali sagedusel. Tundlikkus vahesagedusel ei tohi olla üle 30...35% suurem kui vastuvõetava signaali sagedusel. Kui muundusastmes esinevad tugevad mürad, tuleb kõigepealt veenduda, kas tegemist on tõesti transistori omamüraga, mitte aga vahesageduslikkude parasiitvõnkumiste või relaksatsioonvõnkumistega, mis sarnanevad superregeneratiivrežiimis töötava transistori võnkumistega. Alles pärast seda tuleb transistor välja vahetada väiksema müratasemega eksemplari vastu. Kui muundusastmes esinevad relaksatsioonvõnkumised, tuleb suurendada lahtisidestusfiltri ahela kondensaatori mahtuvust ja takisti takistust, lahtisidestusfiltri puudumise korral aga ühendada see lülitusse. Muundusastme toiteahelas asuva filtri halva kvaliteedi korral võib lühilainel tekkida genereerimine, mis sarnaneb mikrofoniefektiga. Seda liiki genereerimise esinemist võib kindlaks määrata võimaliku akustilise sidestuse kõrvaldamisega vastuvõtja montaažiplaadi ja valjuhääldaja vahel. Montaažijuhtmed muundusastmes, eriti transistori emitteri- ja baasiahelates, peavad olema võimalikult lühikesed. Tuleb ka märkida, et katkendlik genereerimine laineala alguses võib olla tingitud sellest, et ostsillaatori võnkeringi sageduspiirid ei vasta ettenähtuile ning võnkering katab vajalikust palju laiema sagedusala. Seda tüüpi võnkumised katkevad, kui lülitada ostsillaatori võnkeringi pooliga paralleelselt 10...20-pF mahtuvusega kondensaator. Samuti võib esineda genereerimine keskmise lõpus või pikkmise alguses, mis on tingitud sellest, et nende lainealade sisendvõnkeringid on ebatäpse reguleerimise tõttu häälestatud vahesagedusele liiga lähedale. Nende võnkeringide häälestuse muutmise teel on kergesti võimalik veenduda muundusastme genereerimise põhjustes ning likvideerida genereerimine.

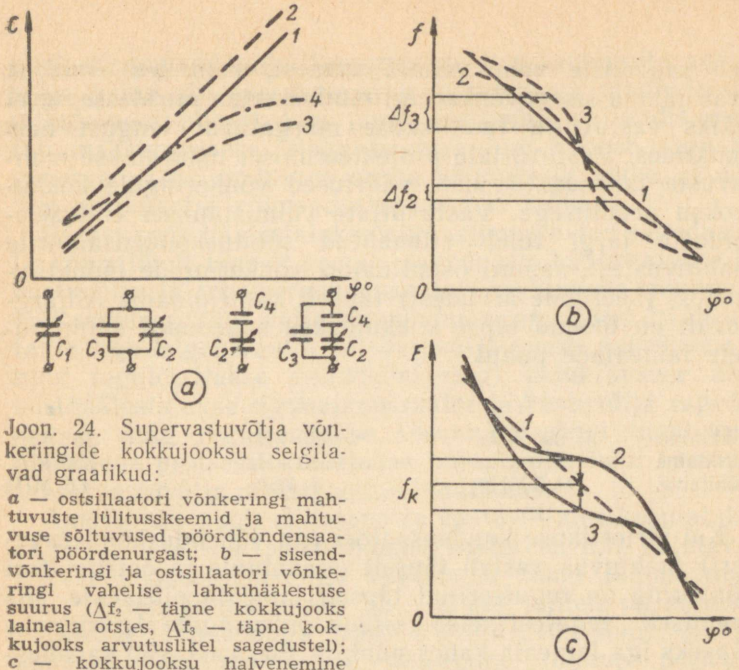
Pärast muundusastme transistori režiimi väljareguleerimist tuleb seada ostsillaatori sageduspiirkonnad ettenähtud piiridesse. Vastavalt raadiovastuvõtjate kohta kehtestatud riiklikule standardile on lainealade piirid ja neile

vastavate ostsillaatori võnkeringide sagedusalade piirid vahesagedusel 465 kHz järgmised:

Sisendvõnkering		Ostsillaatori võnkering	
Pikklaine	415...150 kHz	880...615	kHz
Kesklaine	1600...520 kHz	2065...985	kHz
Lühilaine	12,1...3,95 MHz	12,565...4,415	MHz

Juhul kui ostsillaatori võnkeringide poolid on lülitatud järjestikku, s. t. eelneva laineala pool moodustab osa järgneva laineala võnkeringi induktiivsusest, siis tuleb ostsillaatori võnkeringi sageduspiiride paigaleseadmist alustada kõrgema sagedusega lainealast. Kui aga iga laineala jaoks on eraldi ostsillaatoripool, võib sageduspiiride väljareguleerimist alustada ükskõik millisest lainealast. Sealjuures pole vaja pöörata tähelepanu sisendvõnkeringi häälestusele.

Ostsillaatori võnkeringide häälestamine toimub allkirjeldatud järjekorras. Signaalgeneraator sidestatakse väljundpingejaguri külge ühendatud sidestuskeeru abil või spetsiaalse raami abil, mille kirjeldus on toodud allpool, vastuvõtja ferriitantenniga. Vastuvõtja pöördkondensaator keeratakse maksimaalsele mahtuvusele vastavasse asendisse ja signaalgeneraator (30% modulatsiooniga) häälestatakse reguleeritava laineala alumisele piirsagedusele, kusjuures arvestatakse sageduse osas umbes 1% varu laineala laienemise suunas. Pärast seda keeratakse ostsillaatori võnkeringi pooli L_7 südamikku (joon. 12), kuni vastuvõetava signaali tugevus muutub maksimaalseks. Signaali tugevust võib hinnata kas kuulmise järgi või testeri abil, mis ühendatakse samuti nagu vahesagedusvõimendi häälestamisel. Siis keeratakse vastuvõtja pöördkondensaator minimaalse mahtuvuse asendisse, signaalgeneraator häälestatakse 1% varuga laineala ülemisele piirile ja ostsillaatori võnkeringi trimmerkondensaatori keeramise abil saavutatakse selle sagedusega signaali vastuvõtt. Muidugi nihkub sealjuures mõnevõrra paigalt ostsillaatori võnkeringi alumine piirsagedus. Seepärast tuleb nüüd pöördkondensaator uuesti keerata maksimaalse mahtuvuse asendisse, häälestada signaalgeneraator endisele alumisele piirsagedusele ja ostsillaatori võnkeringi pooli südamiku abil uuesti täpsustada häälestust. See nihutab omakorda laineala kõrgsagedusliku otsa häälestust kõrvale, nii et vastuvõtja häälestuskondensaator tuleb uuesti keerata minimaalse mahtuvusega asendisse, hääles-



Joon. 24. Supervastuvõtja võnkeringide kokkujooksu selgitavad graafikud:
a — ostsillaatori võnkeringi mahtuvuste lülitusskeemid ja mahtuvuse sõltuvused pöördkondensaatori pöördenurgast; *b* — sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringi vahelise lahkuhäälestuse suurus (Δf_2 — täpne kokkujooks laineala otstes, Δf_3 — täpne kokkujooks arvutuslikel sagedustel); *c* — kokkujooksu halvenemine ebaõigesti valitud sobituskondensaatori C_4 suuruse puhul.

tada signaalgeneraator endisele ülemise piirsageduse väärtusele ja trimmerkondensaatoriga täpsustada laineala selle otsa häälestust. Seda operatsiooni tuleb korrata 3—4 korda.

Kui kõigi lainealade piirid on kindlaks määratud, võib asuda sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringide häälestuste kokkujooksu reguleerimisele, sest supervastuvõtja maksimaalse tundlikkuse ja selektiivsuse saavutamiseks peab ostsillaatori sagedus erinema vastuvõetava signaali sagedusest täpselt vahesageduse väärtuse võrra.

Sealjuures on sisend- ja ostsillaatorivõnkeringide katteulatused (sageduse järgi) erinevad. Seepärast tuleb kokkujooksu tagamiseks muuta pöördkondensaatori ostsillaatori sektsiooni mahtuvuse muutumise karakteristikut sel teel, et temaga rööbiti ja järjestikku ühendatakse püsiva mahtuvusega sobituskondensaatorid. Sel juhul saavutatakse sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringi häälestuste täpne kokkujooks tavaliselt laineala kolmes punktis (kõver 2 joonisel 24, *b*). Kõikides teistes punktides eri-

neb sageduste vahe vahesagedusest, kuid see erinevus peab jääma sisendvõnkeringi läbilaskeriba piiridesse, et ei tekiks vastuvõtja tundlikkuse märgatavat langust neis punktides. Vastuvõtjate projekteerimisel määratakse mahtuvuste ja induktiivsuste väärtused võnkeringide kokkujooksu arvutusega. Vastuvõtjate valmistamisel ehituskirjelduste järgi tuleb ettenähtud sobituskondensaatorite mahtuvustest, samuti ostsillaatori võnkeringide induktiivsustest (keerdude arvudest) täpselt kinni pidada. Alljärgnevalt on toodud täpse kokkujooksu sagedused standardsete lainealade puhul:

	f_1	f_k	f_2
Pikklaine	395 kHz	280 kHz	165 kHz
KeskLaine	1510 kHz	1080 kHz	650 kHz
Lühilaine	11,5 MHz	8 MHz	4,5 MHz

Kui järjestikuse kondensaatori (nn. lühenduskondensaatori) mahtuvus vastab täpselt ettenähtule ja ostsillaatori võnkering on reguleeritud täpselt laineala piiridesse, siis tavaliselt reguleeritakse sisendvõnkeringide kokkujooks täpseks iga laineala kahes punktis, mis vastavad sagedustele f_1 ja f_2; kokkujooks punktis f_k kujuneb välja iseenesest, arvutuse ja sageduste f_1 ning f_2 väljareguleerimise tulemusena. Kokkujooks sagedusel f_k on seega kokkujooksu tagavate elementide, eriti järjestikuse kondensaatori valiku õigsuse kontrolliks.

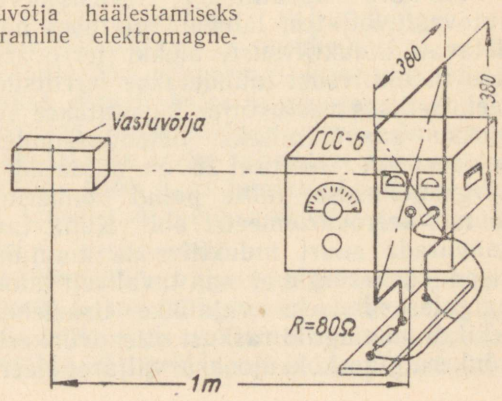
Sisendvõnkeringide kokkujooksu reguleerimisele asutakse niisiis pärast ostsillaatori võnkeringide seadmist ettenähtud sageduspiiridesse. Signaalgeneraator sidestatakse sisendvõnkeringiga nõrgalt kas sidestuskeeru abil või spetsiaalse raami abil, mis võimaldab ühtlasi mõõta ka vastuvõtja tundlikkust elektromagnetilise välja suhtes, väljendatuna mikrovoltides meetri kohta[1]. Raami gabariidid ja tema sidestamine vastuvõtjaga on näidatud joonisel 25. Järgnevalt häälestatakse signaalgeneraator sagedusele f_2 ja häälestuskondensaatori mahtuvuse muutmisega häälestatakse vastuvõtja täpselt sellele sagedusele. Pärast seda muudetakse sisendvõnkeringi induktiivsust (võnkeringi pooli nihutamisega piki ferriitantenni pulka,

[1] Juhul kui vastuvõtja ei ole ette nähtud ferriitantenniga töötamiseks, ühendatakse signaalgeneraator antenni- ja maanduspukside külge 100-pF mahtuvusega kondensaatori kaudu.

pooli magnetsüdamiku keeramisega ferriitantennita vastuvõtja puhul või keerdude arvu muutmisega magnetsüdamikuta pooli puhul), kuni pinge vastuvõtja väljundis muutub maksimaalseks. Reguleerimise juures peab signaalgeneraatori väljundpinge olema võimalikult väike, et vältida automaatse võimendusregulaatori mõju.

Pärast seda häälestatakse signaalgeneraator sagedusele f_1; võimalikult täpselt samale sagedusele häälestatakse ka vastuvõtja ja trimmerkondensaatori mahtuvuse muutmise abil reguleeritakse välja sisendvõnkering. Edasi häälestatakse signaalgeneraator ja vastuvõtja uuesti sagedusele f_2 ning reguleeritakse sisendvõnkeringi induktiivsuse abil, siis häälestatakse signaalgeneraator ja vastuvõtja sagedusele f_1 ning reguleeritakse sisendvõnkeringi mahtuvuse abil. Seda protsessi korratakse mitu korda, kuni saavutatakse vastuvõtja maksimaalne tundlikkus.

Amatööride poolt ehitatavates vastuvõtjates kasutatakse sageli endatehtud trimmerkondensaatoreid, mis kujutavad endast lakkisolatsiooniga vasktraadi tükki läbimõõduga 1 ... 1,5 mm ja pikkusega 1,5 ... 2 cm, millele on mähitud väiksema läbimõõduga traat (∅ 0,1 ... 0,2 mm). Sellise kondensaatori mahtuvuse muutmine toimub peenema traadi juurde- või mahakerimise teel. Juhul kui sisendvõnkeringide poolid on mähitud ferriitantenni pulgale, muudetakse nende võnkeringide induktiivsust tavaliselt poolide nihutamisega piki varrast. Mõlemal juhul raskendab tunduvalt häälestamist häälestaja käte mõju. Selleks et kindlaks teha, kas pärast järjekordset järelehäälestamist

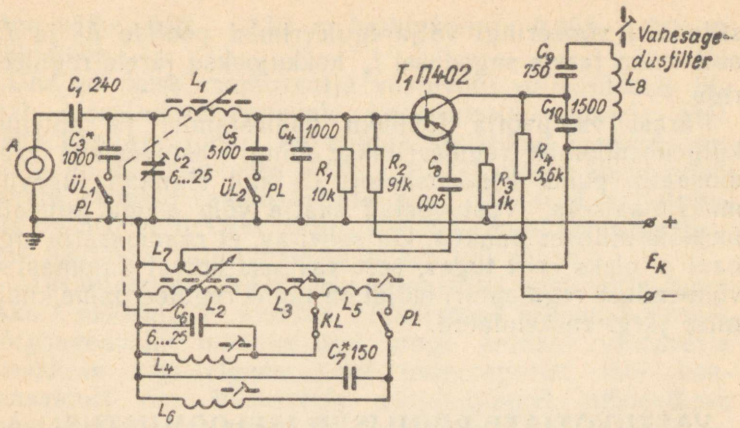


Joon. 25. Raam vastuvõtja häälestamiseks ning tundlikkuse määramine elektromagnetilise välja suhtes

on sisendvõnkeringid täpselt häälestatud, kasutatakse lihtsaid abivahendeid — ferriitpulka ja 1 ... 2 mm jämedusest vasktraadist lühisrõngast. Kui sisendvõnkeringi pooli lähedusse viia ferriitpulk, siis võnkeringi häälestussagedus väheneb, lühisrõnga lähendamisel aga suureneb. Seetõttu, kui näiteks ferriitpulga viimine häälestatava pooli lähedusse kutsub esile väljundpinge suurenemise, siis tuleb võnkeringi häälestussagedust vähendada induktiivsuse suurendamisega (sagedusel f_2) või mahtuvuse suurendamisega (sagedusel f_1). Väljundsignaali suurenemine vaskrõnga lähendamisel võnkeringi poolile näitab, et on tarvis suurendada võnkeringi häälestussagedust.

Pärast võnkeringide kokkujooksu väljareguleerimist kõigis lainealades tuleb kontrollida kokkujooksu täpsust sagedustel f_k. Kui selgub, et sisendvõnkering on tunduvalt kõrvale häälestatud, vastuvõtja tundlikkus on aga vähenenud, siis on tarvis muuta lühenduskondensaatori mahtuvust. Selleks on vaja teada, millises suunas on muutunud sisendvõnkeringi häälestus: kas madalamate või kõrgemate sageduste suunas. Kui võnkeringi resonantssagedus on ettenähtust kõrgem (signaal muutub tugevamaks ferriitpulga lähendamisel poolile), tuleb sobituskondensaatori mahtuvust suurendada, kui aga resonantssagedus on ettenähtust madalam (signaal muutub tugevamaks vaskrõnga lähendamisel), siis selle kondensaatori mahtuvust tuleb vähendada. Loomulikult tuleb pärast lühenduskondensaatori mahtuvuse muutmist uuesti täpsustada ostsillaatori sageduspiirkonda ja võnkeringide kokkujooksu.

Mõnikord kasutatakse transistorvastuvõtjates, eriti autovastuvõtjates, laineala ulatuses häälestamiseks muudetavate induktiivsuste blokki (ferrovariomeetrit), kus poolide induktiivsust muudetakse ferriitsüdamike liigutamise teel. Sellises vastuvõtjas kasutatakse võnkeringide kokkujooksu saavutamiseks lühenduskondensaatorite asemel sobituspoole. Joonisel 26 on näidatud vastuvõtja skeemi kõrgsagedusosa, mille puhul võnkeringide häälestamine toimub ferrovariomeetri abil. Kuna tavaliselt ei õnnestu saavutada suurt induktiivsuse muutumise kordsust, siis sisendvõnkeringid ei oma tavaliselt laineala alguse ja lõpu paigaleseadmiseks vajalikke lisaelemente. See asjaolu tekitab mõningaid raskusi sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringide kokkujooksu väljareguleerimisel. Seda tüüpi



Joon. 26. Muundusastme skeem, mille puhul võnkeringide häälestamine toimub induktiivsuse muutmise teel

vastuvõtjate häälestamine ilma mõõteriistadeta on väga raske, mõõteriistade olemasolul toimub aga järgmiselt. Signaalgeneraator ühendatakse aseantenni kaudu vastuvõtja sisendiga. Esimese transistori T_1 baasiga ühendatakse millivoltmeeter ning kondensaatori C_2 abil kesklainel ja C_3 abil pikklainel seatakse sisendvõnkeringi resonantsisagedused ettenähtud piiridesse. Pärast seda seatakse signaalgeneraatori skaalale kesklaine täpse kokkujooksu sagedus f_1 ja häälestatakse millivoltmeetri maksimaalse näidu järgi sisendvõnkering ettenähtud sagedusele. Siis vähendatakse signaalgeneraatori väljundpinget, et vältida vastuvõtja ülekoormamist, ja reguleeritakse pooli L_3 südamiku abil ostsillaatori võnkeringi, kuni vastuvõtja väljundis saavutatakse maksimaalse tugevusega signaal. Samasuguses järjekorras häälestatakse sisendvõnkering sagedusele f_2 ja saavutatakse sellel sagedusel kokkujooks ostsillaatori võikeringiga pooli L_4 südamiku abil. Juhul kui kontrollsagedusel f_k täpset kokkujooksu ei teki, tuleb veidi muuta kondensaatori C_6 mahtuvust.

Pikklaine puhul reguleeritakse välja võnkeringide kokkujooks sagedusel f_1 pooli L_5 induktiivsuse muutmise teel ja sagedusel f_2 pooli L_6 abil. Kui kesklainel on kokkujooks õigesti välja reguleeritud, siis pikklainel ei ole pärast ost-

sillaatori võnkeringi väljareguleerimist poolide L_5 ja L_6 abil enam tarvis sagedusel f_k kokkujooksu järele reguleerida.

Pärast vastuvõtja lõplikku häälestamist ja antenni külgeühendamist reguleeritakse mingi vastuvõetava raadiosaatja puhul kondensaatori C_2 abil signaali tugevus maksimaalseks. Vastuvõetav saatja võib asuda laineala ükskõik millises punktis. On soovitav, et raadiosaatja signaal ei oleks eriti tugev, sest vastasel korral automaatse võimenduse regulaatori mõjul on täpne reguleerimine kuulmise järgi raskendatud.

VASTUVÕTJATE PÕHILISED ISELOOMUSTUSSUURUSED JA NENDE MÕÕTMINE

Pärast seda kui vastuvõtja on välja reguleeritud, tekib kahtlemata soov hinnata vastuvõtja kvaliteeti ja võrrelda tema iseloomustussuurusi analoogiliste tööstuslike vastuvõtjate vastavate näitajatega.

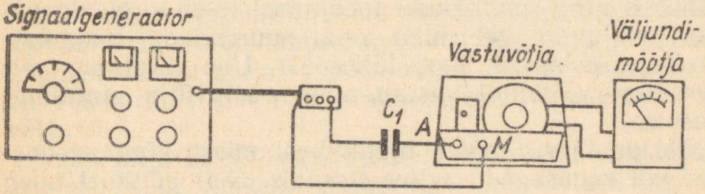
Vastuvõtja kvaliteeti hinnatakse Riikliku Üleliidulise Standardiga (ГОСТ) määratud elektriliste iseloomustussuuruste alusel. Standardid näevad ette ka Nõukogude Liidus toodetavate vastuvõtjate jaotuse klassidesse. Paljude standardiga määratud parameetrite mõõtmine ei ole raadioamatööri tingimustes teostatav spetsiaalse mõõteaparatuuri puudumise tõttu. Seetõttu peatume ainult kõige tähtsamate parameetrite juures, millest peab olema igal raadioamatööril selge ettekujutus.

Tundlikkus on võime vastu võtta nõrku signaale. Eristatakse tundlikkust vastuvõtja sisendpinge suhtes (välisantennist saadava signaali suhtes), mida mõõdetakse mikrovoltides, ning tundlikkust elektromagnetilise välja suhtes, mida mõõdetakse mikrovoltides meetri kohta. Väljatugevus on arvuliselt võrdne signaaliga, mis indutseeritakse antennis efektiivkõrgusega 1 m. Välisantenniga varustatud vastuvõtja sisendis esinev pinge (elektromotoorjõud) võrdub väljatugevuse ja antenni efektiivkõrguse korrutisega. Ferriitantenniga töötava vastuvõtja sisendvõnkeringil esinev pinge võrdub ferriitantenni efektiivkõrguse, väljatugevuse ja antennivõnkeringi pooli hüveteguri korrutisega. Ferriitantenni efektiivkõrgus on

väga väike: 0,01 ... 0,02 m kesklainel ja 0,005 ... 0,01 m pikklainel.

Ühe või teise raadiosaatja vastuvõtu võimalikkuse üle saab otsustada järgnevate ligikaudsete andmete abil. Väga hästi (valjusti) on kuulda kohalikud jaamad, mis tekitavad väljatugevuse 5000 ... 10 000 μV/m. Hästi kuuldavate kaugete raadiosaatjate poolt tekitatud väljatugevus on 500 kuni 1500 μV/m, keskmise kuuldavusega jaamad tekitavad väljatugevuse umbes 100 μV/m.

Välisantenniga töötamiseks ettenähtud vastuvõtja tundlikkust mõõdetakse joonisel 27 näidatud skeemi kohaselt. Kõrgsageduslik moduleeritud pinge antakse vastuvõtja sisendisse signaalgeneraatori pingejagurist läbi kondensaatori C_1. Vastuvõtja väljundpinget mõõdetakse vahelduvpinge-voltmeetriga. Kuna sõnaliste ja muusikaliste saadete vastuvõtul signaalinivoo (pinge vastuvõtja väljundil) muutub vastuvõetava signaali taktis tunduvalt, signaalgeneraatori modulatsioon sisaldab aga üldreeglina ainult üht, püsiva nivooga helisagedusest, siis on tundlikkuse mõõtmisel tinglik iseloom. Signaalgeneraatori modulatsioonitegur reguleeritakse võrdseks 30 protsendiga, kusjuures moduleeriva signaali sagedus on 400 või 1000 Hz. Sel juhul on madalsageduspinge detektorastme väljundis umbes 3 korda madalam maksimaalselt võimalikust pingest, mis esineb maksimaalselt lubatava 100-protsendilise modulatsioonitegur korral. Järelikult vastuvõtja väljundvõimsus, mis on võrdeline pinge ruuduga, väheneb 10 korda. Selleks et mõõta vastuvõtja tundlikkust mingil sagedusel, tuleb seada selle sageduse väärtus signaalgeneraatori skaalale. Pärast seda reguleeritakse välja kandesageduse nivoo. Sealjuures peab modu-



Joon. 27. Vastuvõtja tundlikkuse ja selektiivsuse mõõteskeem

latsioon olema välja lülitatud. Järgnevalt lülitatakse sisse modulatsioon ja reguleeritakse välja modulatsioonitegur 30%. Vastuvõtja häälestatakse ettenähtud sagedusele maksimaalse helitugevuse järgi või valjuhääldaja võnkepooliga rööbiti ühendatud mõõteriista osuti maksimaalse hälbe järgi. Vastuvõtja helitugevuse regulaator peab asuma maksimaalsele helitugevusele vastavas asendis. Kui amatöör ei tea katsetatava vastuvõtja tundlikkust ka ligikaudselt, siis peab pinge signaalgeneraatori väljundil olema esmakordse katsetamise puhul 1000 ... 5000 μV.

Signaalgeneraatorist saadava signaali tugevus peab olema selline, et vastuvõtja väljundisse lülitatud mõõteriist näitaks maksimaalselt lubatavast pingest 10 ... 15% võrra väiksemat pinget. See vastab vastuvõtja täiele väljundvõimsusele. Pärast seda vähendatakse signaalgeneraatori sujuva atenuaatori abil pinget, kuni pinge vastuvõtja väljundis väheneb 3 korda, ja registreeritakse signaalgeneraatori väljundpinge suurus. Saadud väärtus vastab vastuvõtja maksimaalsele tundlikkusele mikrovoltides. Mõnikord ei õnnestu tugeva signaali korral vastuvõtjat täpselt häälestada signaali sagedusele, seetõttu tuleb koos signaali vähendamisega sisendil vastuvõtjat perioodiliselt järele häälestada.

Heli kõrgekvaliteediliseks taasesitamiseks peab vastuvõtja omamüra tase olema tunduvalt madalam vastuvõetavate signaalide tasemest (vastavalt standardile mitte alla 10 korra). Selleks et määrata müritaset vastuvõtja väljundil, tuleb tundlikkuse mõõtmise juures signaalgeneraatori modulatsioon välja lülitada ning mõõta siis pinget vastuvõtja väljundil; pinge peab sel juhul olema vähemalt 10 korda väiksem maksimaalsest väljundpingest. Kui signaali ja müra suhe on väiksem kui 10, tuleb vähendada mürapinget vastuvõtja väljundil helitugevuse regulaatori abil. Sealjuures väheneb muidugi vastuvõtja tundlikkus ning tundlikkuse mõõtmisel tuleb signaalgeneraatori väljundpinget nüüd veidi suurendada (modulatsioon tuleb eelnevalt sisse lülitada!). Uus pinge signaalgeneraatori väljundil vastab nüüd vastuvõtja nimitundlikkusele.

Vahel on tarvis mõõta tundlikkust mingi kõrgsagedusastme või vahesagedusastme sisendis. Neil juhtudel tuleb signaalgeneraator ühendada vastava astme sisendisse eralduskondensaatori kaudu, et mitte häirida transistori

alalisvoolurežiimi. Selle kondensaatori mahtuvus peab olema nii suur, et kondensaatori mahtuvustakistus signaalgeneraatorist saadava kõrgsagedusvoolu suhtes oleks tunduvalt väiksem baasiahela sisendtakistusest, kuhu antakse see pinge.

Vastuvõtja üldise tundlikkuse mõõtmisel tuleb signaalgeneraator sidestada vastuvõtjaga selliselt, et oleks väldi-tud sisendvõnkeringi kõrvalehäälestus ja šuntimine. Tavaliselt teostatakse selline sidestamine ühel alljärgneval meetodil. Kui vastuvõtja on ette nähtud töötamiseks mitme meetri pikkuse välisantenniga, siis lülitatakse signaalgeneraatori väljundiga järjestikku aseantenn, mis koosneb mahtuvusest, induktiivsusest ja aktiivtakistusest. Amatööritingimustes ei õnnestu alati valmistada sellist aseantenni ning tavaliselt lülitatakse selle asemele 75... 150-pF mahtuvusega kondensaator. Kui vastuvõtja on ette nähtud töötamiseks ritvantenniga, siis lülitatakse selle asemele signaalgeneraatori väljundi ja vastuvõtja vahele 10... 15-pF kondensaator. Kui vastuvõtjas on olemas sisseehitatud ferriitantenn, siis lülitatakse signaalgeneraatori väljundisse juhtmekeerd, mis tekitab elektromagnetilise välja (vt. lk. 45).

Selektiivsus on vastuvõtja võime eraldada paljude signaalide hulgast vajalikku signaali. Kui vastuvõtja selektiivsus on halb, siis osutub vastuvõtja isegi suure tundlikkuse puhul kõlbmatuks, sest ta võtab korraga vastu mitme raadiosaatja signaale, mille sagedused on lähedased. Ringhäälingusaatja poolt hõivatud sagedusriba laius on tavaliselt ligikaudu 9 kHz. Vastavalt rahvusvahelistele kokkulepetele paiknevad ringhäälingusaatjate sagedused teineteisest 10 kHz kaugusel. Järelikult kõige lähemad ja häirete tekitamise seisukohalt kõige ohtlikumad on naaberkanalis paiknevad raadiosaatjad, s. t. sellised, mille sagedus erineb vastuvõetava saatja sagedusest ±10 kHz võrra. Kui häirivad signaalid on 10 korda nõrgemad kasulikest signaalidest, siis on naaberkanali raadiosaatja poolt tingitud häired veel küllalt hästi kuulda, kui aga nõrgenemine on 100-kordne, siis nad praktiliselt ei sega enam vastuvõttu.

Vastuvõtja selektiivsus sõltub häälestatud võnkeringide arvust. Mida rohkem võnkeringe on vastuvõtjas, seda suurem on vastuvõtja selektiivsus. Otsevõimendusvastuvõtjates ei õnnestu tavaliselt saavutada rahuldavat selek-

TRÜ Raamatukogu

tiivsust, arvestades käesoleval ajal töötavate raadiosaatjate suurt hulka. Tuleb märkida, et laineala ulatuses ümberhäälestatavate võnkeringide arvu suurendamine suurendab tunduvalt vastuvõtja gabariite ja muudab laineala ulatuses võimenduse ebaühtlaseks. Otsevõimendusskeemi järgi võib seetõttu ehitada vastuvõtjaid, mis on määratud ainult kohalike võimsate saatjate vastuvõtuks, mille signaalid on tunduvalt tugevamad häirete tasemest.

Supervastuvõtjad on suurel määral vabad otsevõimendusvastuvõtjate puudustest, sest nende puhul muundatakse kõik vastuvõetavad signaalid üheks ja samaks püsiva suurusega vahesageduseks. Vastuvõtja vahesagedusvõnkeringid on häälestatud kindlale sagedusele ja neid võib hästi varjestada kõrvaliste signaalide eest. Peale selle on need võnkeringid pöördkondensaatorite puudumise tõttu väikesegabariidilised, mistõttu pisivastuvõtjates on võimalik kasutada võrdlemisi suurt arvu võnkeringe ja saavutada seega head selektiivsust.

Vastuvõtja selektiivsuse määramiseks kasutatakse sama skeemi, mille abil mõõdeti tundlikkust (joon. 27). Kõige lihtsam on seda teha järgmisel viisil: olles määranud vastuvõtja tundlikkuse ja registreerinud väljundpinge suuruse, häälestatakse signaalgeneraator 10 kHz võrra kõrgemale või madalamale sagedusele ja suurendatakse tema väljundpinget seni, kuni vastuvõtja väljundis taastub esialgne pinge, mille puhul mõõdeti tundlikkust. Sealjuures peab signaalgeneraatori modulatsioonitegur olema niisama suur nagu tundlikkuse mõõtmise juures (30%). Signaalgeneraatori väljundil 10 kHz suuruse kõrvalehäälestuse puhul esineva pinge ja põhisagedusel esineva pinge suhe iseloomustabki vastuvõtja selektiivsust. Pärast seda häälestatakse signaalgeneraator teises suunas 10 kHz võrra kõrvale ja tehakse samasugune mõõtmine, sest häirete nõrgenemine vastuvõtja häälestussagedusest kõrgematel ja madalamatel sagedustel võib olla erinev.

Vastuvõtjate tehnilistes karakteristikutes väljendatakse selektiivsus tavaliselt detsibellides. Raadioamatööril tuleb oma vastuvõtja selektiivsuse võrdlemiseks tööstuslike vastuvõtjate näitajatega arvutada nõrgenemine 10 kHz suuruse kõrvalehäälestuse puhul (detsibellides) valemiga

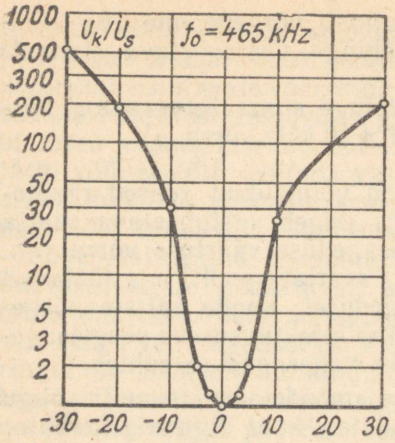
$$d = 20 \lg \frac{U_k}{U_s},$$

kus d — häiriva jaama signaali nõrgenemine dB;
U_s — vastuvõtja sisendpinge vastuvõetava signaali sagedusel, μV;
U_k — vastuvõtja sisendpinge signaalgeneraatori kõrvalehäälestamisel ±10 kHz võrra, μV.

Supervastuvõtjate puhul on võimalikud häired raadiosaatjate poolt, mille sagedus erineb vastuvõetava saatja sagedusest kahekordse vahesageduse väärtuse võrra (nn. peegelkanali häired), samuti saatjate poolt, mis töötavad vahesagedusega võrdsel sagedusel. Nende häirete nõrgenemist vastuvõtjas nimetatakse selektiivsuseks peegelsageduse suhtes ja selektiivsuseks vahesageduse suhtes.

Neid selektiivsuse eriliike mõõdetakse samuti nagu selektiivsust naaberkanali suhtes, kuid signaalgeneraator häälestatakse sealjuures alljärgnevatele sagedustele: sagedusele $f_s + 2f_v$, kui mõõdetakse selektiivsust peegelsageduse suhtes, ja sagedusele f_v, kui mõõdetakse selektiivsust vahesageduse suhtes (f_s — signaalisagedus, f_v — vahesagedus). Signaalgeneraatori skaala ebatäpsuse tõttu ei õnnestu tavaliselt otsekohe häälestada generaatorit mainitud sagedustele. Signaalgeneraatori skaalal valitakse esialgu ettenähtud sagedus ligikaudselt, siis suurendatakse tunduvalt (100...1000 korda) signaalgeneraatori väljundpinget ja, reguleerides signaalgeneraatori sagedust, saavutatakse vastuvõtja väljundis pinge maksimum. Siis reguleeritakse signaalgeneraatori pinge selliseks, et pinge vastuvõtja väljundis oleks niisama suur nagu tundlikkuse mõõtmisel. Generaatori väljundpinge sagedustel $f_s + 2f_v$ ja f_v, jagatuna pingega sagedusel f_s (vastuvõtja võrdsete väljundpingete korral), ongi vastuvõtja selektiivsus nende sageduste suhtes.

Ülalmainitud lihtsate selektiivsuse määramise meetodite kõrval võib vastuvõtja selektiivsuse täielikumaks hindamiseks üles võtta tema selektiivsuse kõver (joon. 28). Sel juhul häälestatakse signaalgeneraatorit järk-järgult põhisagedusest mõlemas suunas kõrvale, suurendades ühtlasi generaatori väljundpinget, nii et pinge vastuvõtja väljundis jääks konstantseks. Signaalgeneraatori kõrvalehäälestamise ala (umbes ±20...30 kHz) jagatakse 2...3-kilohertsisteks võrdseteks vahemikeks ning iga vahemiku alguses määratakse signaalgeneraatori väljundpinge. Nendes



Joon. 28. Vastuvõtja selektiivsuse kõver

punktides esinevate signaalgeneraatori väljundpingete ja resonantsisagedusel esineva pinge suhe kantakse graafikule tavaliselt logaritmilises mõõtkavas, sest lineaarne mõõtkava võtaks liiga palju ruumi (eriti hea selektiivsusega vastuvõtjate puhul).

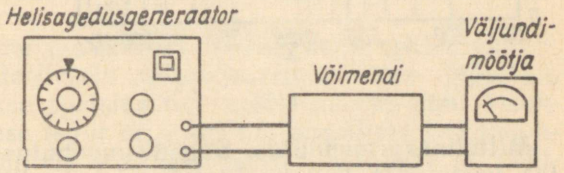
Supervastuvõtjates mõõdetakse selektiivsust naaberkanali ja peegelkanali suhtes vastava laineala maksimaalsel sagedusel. Selektiivsust vahesageduse suhtes mõõdetakse laineala nendel sagedustel, mis on kõige lähemad vahesagedusele. Kui vastuvõtja vahesagedus on 465 kHz, siis on sellisteks sagedusteks kesklaine lõpp (520 kHz) ja pikklaine algus (430 kHz).

Vastuvõtja väljundvõimsus on vastuvõtja valjuhääldajale antava helisagedussignaali võimsus. Väljundvõimsust võib tinglikult liigitada maksimaalseks väljundvõimsuseks, millest suuremat võimsust antud vastuvõtjas ei ole võimalik saada, nimiväljundvõimsuseks, mille puhul helisagedussignaalide moonutused on heli kvaliteetse taasesituse seisukohast veel lubatava suurusega, ja normaalvõimsuseks, mille suurus on 0,1 nimiväljundvõimsusest. Mõistet «normaalväljundvõimsus» kasutatakse vastuvõtja tundlikkuse mõõtmisel.

Väikesegabariidilistes vastuvõtjates on väljundvõimsus tavaliselt alla 1 W. Seetõttu on sobivam väljendada teda tuhandendikes vattides — millivattides. Väljundvõimsuse mõõtmise kohta vt. lk. 31.

Sagedusmoonutus. Heli taasesituse kvaliteet sõltub vastuvõetavate signaalide moonutuste tasemest. Need moonutused tekivad esiteks sellest, et vastuvõtja resonantsvõnkeringid nõrgendavad mitte ainult häirivate raadiosaatjate signaale, vaid osaliselt ka kasulikke signaale. Teiseks võimendatakse vastuvõtja võimendi eralduskondensaatorite olemasolu tõttu halvasti kõige madalama sagedusega võnkumisi. Moonutusi, mis on tingitud sellisest võimenduse ebaühtlusest, nimetatakse sagedusmoonutuseks ehk lineaarmoonutuseks. Sagedusmoonutuse suurust saab hinnata vastuvõtja sageduskarakteristiku järgi. Sageduskarakteristikut, mis hõlmab kogu vastuvõtjat, alates sisendist, nimetatakse summaarseks sageduskarakteristikuks ehk ülekandeheaduse karakteristikuks.

Joonisel 29 on näidatud skeem, mis võimaldab üles võtta madalsagedusvõimendi sageduskarakteristikut. Helisagedusgeneraatori väljundist antakse pinge vastuvõtja madalsagedusvõimendi sisendisse, pinget vastuvõtja väljundis mõõdetakse vahelduvpinge-voltmeetriga. Helisage-

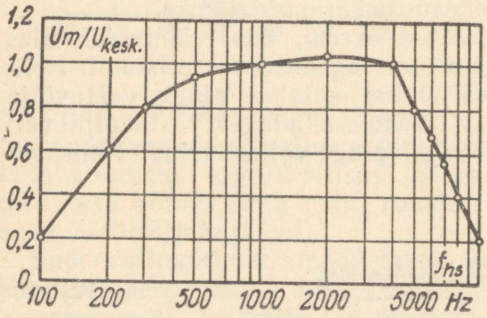


Joon. 29. Sageduskarakteristiku mööteskeem

dusgeneraatori skaalale seatakse sagedusala keskmine sagedus (800 ... 1000 Hz) ning reguleeritakse pinge võimendi väljundis võrdseks normaalsele väljundvõimsusele vastava pingega. Siis häälestatakse generaator kõige madalamale ülekantavale helisagedusele (50 ... 300 Hz) ning generaatori väljundpinge reguleerimisega taastatakse võimendi väljundisse ühendatud mõõteriista esialgne näit. Keskmisel sagedusel (näiteks 1000 Hz) esineva generaatori väljundpinge ja kontrollitaval sagedusel esineva pinge suhe kantakse graafikule. Korrates seda operatsiooni mitmesugustel helisagedustel, ehitatakse sageduskarakte-

ristik. Selleks tuleb leitud punktid ühendada sujuva joonega (joon. 30).

Amatööril on otstarbekas sageduskarakteristikut üles võtta ainult kõrgekvaliteediliste transistorvastuvõtjate ja võimendite puhul, mis on arvestatud koostööks heade valjuhääldajatega, juhul kui seadme kast on küllalt suur, sest kasti maht ja konstruktsioon mõjutavad tunduval määral heli taasesituse kvaliteeti. Väikesegabariidilistes ja taskuvastuvõtjates reguleeritakse heli kvaliteeti kuulmise järgi lülituse detailide (takistite ja kondensaatorite) elektriliste suuruste vastava muutmise abil.

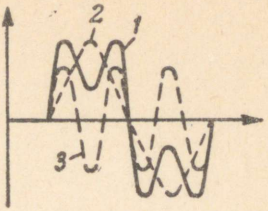


Joon. 30. Vastuvõtja sageduskarakteristik

Mittelineaarmoonutus. Sagedusmoonutuse kõrval mõjutab vastuvõtja heli kvaliteeti ka nn. mittelineaarmoonutus. See moonutuste liik, mis tavaliselt avaldub plärisemisena valjuhääldajas, on tingitud uute, vastuvõetavas saates mitteesinevate sageduste tekkimisest taasesitatavas signaalis. Need sagedused tekivad signaalisageduste harmooniliste komponentide kujul, kui signaali kuju moonutub võimendi tööreżiimi kõrvalekaldumisel normaalsest tööreżiimist.

Mittelineaarmoonutuse tekkimise põhjuste üle saab otsustada vastuvõtja amplituudikarakteristiku põhjal. Vastuvõtja madalsagedusvõimendi amplituudikarakteristikut saab üles võtta joonisel 29 näidatud skeemi abil.

Meenutame, et amplituudikarakteristikuks nimetatakse väljundpinge sõltuvust sisendpingest. Ideaalsel juhul peab nende pingete vahel kehtima võrdeline seaduspärasus.



Joon. 31. Kõvera *1* harmoonilised komponendid *2* ja *3*

Tegelikult aga, alates mingist väärtusest, järgib väljundpinge muutus ikka vähem ja vähem võrdeliselt sisendpinge muutusi. Alates mingist suuremast sisendpinge väärtusest lakkab väljundpinge üldse suurenemast, tekib väljundpinge piiramine ja mõnikord isegi langus. Juhul kui mittelineaarse amplituudikarakteristikuga võimendi sisendisse anda siinuselise kujuga pinge, on väljundpinge moonutatud. On teada, et kujunenud keerulise kujuga kõverat on võimalik koostada mitmest lihtsast siinuselisest kõverast, mille amplituudid on erinevad, sagedused aga põhisageduse kordsed. Nii koosneb näiteks keeruline kõver *1* (joon. 31) siinuskõverast *2*, mille sagedus võrdub keerulise kõvera sagedusega, ja kõverast *3*, mille sagedus on kolm korda suurem põhisagedusest (nn. kolmas harmooniline).

Uute sageduste osatähtsust lähtesignaali suhtes väljendatakse kvantitatiivselt mittelineaarmoonutuse teguriga, mida mõõdetakse spetsiaalsete mõõteriistade abil. Mittelineaarmoonutuse tegur on kõigi harmooniliste komponentide pingete ruutude summast võetud ruutjuure ja põhisagedusliku pinge suhe. Raadioamatööride praktikas määratakse mittelineaarmoonutuse tegurit tavaliselt ligikaudselt väljundpinge kuju järgi või siis lihtsalt vastuvõtja kõla loomutruuduse järgi.

SISUKORD

Väikevastuvõtja montaaži iseärasusi 3

Transistoride alalisvoolurežiimide väljareguleerimine 11

Madalsagedusvõimendite reguleerimine . . . 27

Kõrgsagedustrakti reguleerimine 32

Vastuvõtjate põhilised iseloomustussuurused ja nende mõõtmine 48

Евгений Борисович Гумеля

НАЛАЖИВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

На эстонском языке
Издательство «Валгус»,
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja L. Abo. Kunstiline toimetaja R. Tungla. Tehniline toimetaja L. Maidla. Korrektor S. Kõiv

Laduda antud 4. VIII 1967. Trükkida antud 24. XI 67. Paber 54+84/16. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik. Trükipoognaid 3,75. Tingtrükipoognaid 3,2. Arvestuspoognaid 3,12. Trükiarv 10 000. Tellimise nr. 7503. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk tn. 2. Hind 16 kop.

16 kop.

A-28888

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00449153 8