

R. M. TERESTSUK, R. M. DOMBRUGOV,
N. D. BOSSOI, S. I. NOGIN, A. B. TSAPLINSKI

RAADIOAMATÖÖRI KÄSIRAAMAT



KIRJASTUS "VALGUS"
TALLINN 1972

inaali tiite:

Терещук, Р. М. Домбругов, Н. Д. Босай, С. И. Ноги, В. П. Борозский, Чалынский
ВОЧНИК РАДИОЛЮБИТЕЛЯ
 шестое, переработанное и дополненное. Издательство «Техника»,
 1969

keelest tõlkinud H. Pedusaar ja J. Ristola
 tõeoriginid I. Eiskor, E. Hansen, V. Heinrichsen ja E. Schults
 kujundanud R. Keltu

äsiaramat sisaldab andmeid, mis on vajalikud raadioamatööridele gaadio-
 sõltajate, gaadioaastajate, võimendite ja magnetofonide konstrueerimiseks
 tegudeerimiseks. Käsitamist on otseselt mõeldud raadioarrastajatele, kes on
 ad elektro- ja gaadiotehnikat alustega. Raamatus toodud rikkalik teatme-
 ja alaga võib huvitada ka gaadioelektroonika alal töötajaid.

тонник радиолюбителя. Р. М. Терещук, Р. М. Домбругов,
 Босай, С. И. Ноги, А. Б. Чалынский. В справочнике содер-
 т необходимые радиолюбителям сведения по электро- и радиотехнике,
 ро- и радиоматериалам, радиодеталям, электрическим фильтрам, элект-
 им, ионным и полупроводниковым приборам, электроакустике, усилитель-
 радиопримам и радиопередающим устройствам, измерительной аппара-
 и электропитанию радиоустройств. Справочник рассчитан на подготовку
 радиолюбителей. Содержащийся в нем справочный материал может быть
 ен также техника и инженером, работающим в области радиоэлектро-
 Табл. 207, илл. 547, библи. 49.

alla Mikkoiloinen Терещук, Р. М., Домбругов, Николай Дмитриевич
 а. Савуля Исаконен Ноги, Александр Борисович, Чалынский, СПРАВОЧНИК
 ЮБИТЕЛЯ. На эстонском языке. Оформлено Р. Кельу, Издательство «Техника», Та-
 ллинское шестое издание. Т. Тоинен, Л. Або, Кустелине toimetaja P. Tungal, Tehnilised toime-
 M. Tamme ja J. Vahiro Korrektorid T. Eriksoo ja H. Uusmäe. Laidada aastal 14. V 1971. Trüki-
 lund 30. XI 1972. Läh. NSV Staalse Paberivabrik Trükipaber nr. 1 — 60/200/16. Trükoor-
 6. Arvutiiprogramm 63.31. Trükitav 10.000. Tehtimise nr. 3020. Hinn Meeldumisi nim. Trüki-
 Tarku, Olikooll 17/19. 1.

tbl. 2.95

SISUKORD

Eessõna eestikeelsele väljaandele	7	2. rea tük k. Elektri- ja raadio- materjalid	7
1. rea tük k. Teatmeid efekt- ro- ja raadiotehnikast		2-1. Elektrijuhid	37
1-1. Ohmi seadus	9	2-2. Vasest mähisetraadid	38
1-2. Kirchhoffi seadused	9	2-3. Takistusraadid	40
1-3. Takistite ühendamine	10	2-4. Montaažijuhitud	40
1-4. Elektrivoolu võimsus, töö ja soojuslik toime	12	2-5. Kõrgsageduskaablid	41
1-5. Elektrivälja iseloomustussuu- rused	15	2-6. Joodised ja räbusid	41
1-6. Elektrimahtuvus. Kondensaa- rite ühendamine	15	2-7. Elektroisoleermaterjalid	46
1-7. Termoelekter	16	2-8. Ferromagnetilised materjalid	74
1-8. Magnetvälja iseloomustussuu- rused	17	2-9. Püsoelektrilised materjalid	84
1-9. Induktiivsus ja vastastikune in- duktiivsus	17	3. rea tük k. Kondensaatorid ja takistid	
1-10. Induktiivsuse ühendamine	18	3-1. Kondensaatorele põhipara- meetrid	87
1-11. Siinuselise vahelduvvoolu ise- loomustussuured	18	3-2. Püstikondensaatorid	90
1-12. Aktiiv-, induktiiv- ja mahtu- vustaktiivsus	20	3-3. Trimmerikondensaatorid	108
1-13. Aktiiv- ja reaktiivaktiivsuse jada- ning rööpühendus	23	3-4. Pöörkondensaatorid	116
1-14. Siinuselise vahelduvvoolu võimsus. Elektri- ja magnetvälja energia	23	3-5. Takistite põhiparameetrid	117
1-15. Mittesinuseline vool	26	3-6. Mittetraatlakistid	120
1-16. Jadavõnkering	27	3-7. Traatlakistid	123
1-17. Rööpvõnkering	27	4. rea tük k. Induktiivpoolid	
1-18. Võnkeringi resonantsikõver, hüvitegur, ribalatus ja selektiiv- sus	28	4-1. Võnkeringide poolid	127
1-19. Sidesstatud võnkeringid	31	4-2. Variomeetrid	142
1-20. Varjestamine	32	4-3. Kõrgsagedus-paispoolid	143
1-21. Raadiolainete liigitus	36	5. rea tük k. Ferromagneti- liste südamikega trafod ja paispoolid	
		5-1. Magnetsüdamikud	144
		5-2. Mähised	150
		5-3. Väikese võimsusega toite- trafod	151
		5-4. Säsetrafod	155
		5-5. Madalsagedus-paispoolid	156

9-1. VÕIMENDITE PÕHILISED ISELOOMUS-
TUSSUURUSED

Pingevoimendus on võimendi väljund-
dist saadava pinge U_2 ja selle sisendisse
juhitava pinge U_1 suhe:

$$K = \frac{U_2}{U_1}$$

See on pingevõimendi põhiline iseloo-
musstsuurus. Mitmeastmelise võimendi
koguvõimendus võrdub selle üksikute ast-
mete võimenduste korrutisega:

$$K_{\Sigma} = K_1 K_2 K_3 \dots K_n$$

Sageli määratakse võimendus logarit-
mühikutes — deetsibellides. Pingevõimendus
deetsibellides väljendatult

$$K_{dB} = 20 \lg K = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

Kui üksikute astmete võimendused on
avaldatud deetsibellides, siis võimendi üld-
võimendus deetsibellides võrdub kõigi ast-
mete võimenduste summaga.

Lisaks pingevõimendusele kasutatakse
ka vooluvõimendust ja võimsusvõimen-
dust

Väljundvõimsus on lõppastmete (võim-
susvõimendusastmete) õulisim näitaja.
Maksimaalvõimsus võimendi väljundis on
signaali suurte amplituudide puhul piira-
tud lampide tunnusjoonte mittelineaarsu-
sust tingitud moonutusega.

Nimiväljundvõimsus on suurim võim-
sus, mille puhul mittelineaarmoonutus ei
ületa lubatud suurust.

Nimisendipinge on selline sisendisse
juhity pinge, mis on tarvilik nimiväl-
jundvõimsuse saamiseks.

Võimendi kasutegur võimaldab hinnata
selle ökonoomsust. Eristatakse elektrilist
ja üldist kasutegurit.

Võimendusastme elektriline kasutegur
võrdub selle kasuliku väljundvõimsuse ja
anoodtoiteallikast ammutatava võimsuse
suhtega.

Üldine kasutegur võrdub kasuliku väl-
jundvõimsuse ja kõikidest antud astme
toiteallikatest ammutatava võimsuse suh-
tega.

Võimendi sisendtakistus on vahelduv-
voolutakistus, millega sisendahel koor-
mab sisendsignaali liiket. Sisendtakis-
tus on sõltuv sisendis toimiva signaali
sagedusest.

Võimendatav sagedusala e läbilaske-
riba on sageduste vahemik, mille pii-
res võimendus ei muutu rohkem kui sead-
me kohta püstitatud tehnilistes tingimus-
tes on lubatud.
Läbilaskeriba piirsagedused mõnele
ülekandefraktide kohta:

Telefoniside	300 ... 2500 Hz
PL-, KL-, LL-ringhaaling	50-100 ... 5000 Hz
ULL-ringhaaling	50 ... 15 000 Hz
Kõrgekvantiteediline helisalvestus	30 ... 18 000 Hz

Dünaamikapiirkond on kõige tugevama
ja kõige nõrgema signaali amplituudide
suhe deetsibellides. Kõige nõrgema ülekan-
tava signaali amplituudi piirab võimendi
omamüra või häirete niivoo. Maksimaalse
ülekanitava pinge suurus on piiratud
moonutusega, mis tekib võimendis lau-
pide transistoride ja muude skeemiele-
mentide tunnusjoonte mittelineaarsusest.
Ühekanne osutub heaks, kui seade repro-
ditseerib miljon korda erinevaid heli-
võimsusi. Selleks tuleb üle kanda pingeid,
mis erinevad üks teisest 1000 korda (dü-
naamikapiirkond on siis 60 dB).

Moonutus madalsagedusvõimendites.
Moonutus, mis tekib võimendites elektri-
ronlampide ja transistoride tunnusjoonte
mittelineaarsusest, samuti ka trafosadami-
ke magnetimiskarakteristikute mitteline-
aarsusest, nimetatakse mittelineaarmoonu-
tuseks.

Võimendite põhilised iseloomustusuurused

Võimendis esinevat mittelineaarmoonu-
tuse puhul ilmuvad selle väljundsignaa-
lis need (harmoonilised) sagedused, mis
siseandsignaalis puuduvad.

Mittelineaarmoonutuse määra saab ise-
loomustada mittelineaarmoonutuseguriga:

$$V = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1}$$

kus U_1 on põhissageduse pinge ampli-
tuud, U_2, U_3, \dots — seadmes tekkinud
harmooniliste sagedustega signaali kompo-
nente pingeamplituudid.

Praktiline tähtsus on vaid teisel ja kol-
mandal harmoonilisel. Mittelineaarmoo-
nutustegur väljendatakse tavaliselt prot-
sentides. Raadiovastuvõtjate ja magnetoo-
lonide võimendite V ei tohi ületada
0...7%, raadiotelefonisides 15...20%.

Kombinatsioonitoonid tekivad siis, kui
mittelineaarmoonutus põhjustava või-
mendi sisendisse juhitakse üheaegselt
mitme sagedusega võnkumisi. Sel juhul
ilmuvad väljundis lisaks nendele sagedu-
satele ja nendele vastavatele harmooni-
lsetele ka ühe sageduse mistahes har-
moonilise (sealhulgas ka põhissageduse)
ning teise sageduse mistahes harmooni-
ilise sageduse omavahelised kombinat-
sioonid (summad ja vahed).

Moonutus, mis on tingitud sellest, et

mitmesuguse helisagedusega pingete või-
mendus on erisugune, nimetatakse sagedu-
samoontuseks ehk lineaarmoonutuseks.
Lineaarmoonutus saab hinnata võimendi
sageduskarakteristika kaudu. Sagedus-
karakteristik väljendab graafiliselt või-
menduse sõltuvust sagedusest (või võimen-
duse hälbimist mingist keskväärtsusest).
Madalsagedusvõimendit sageduskarakteris-
tikku üks võimalike kujesid on jooni-
sel 9-1. Võimenduse erinevus erinevate
sagedustel keskmistel sagedustel arenda-
tava võimenduse K_0 suhtes on väljenda-
tud deetsibellides. Sagedustelg on logarit-
milises mõõtkavas.

Lineaarmoonutusegur on keskmistel sa-
gedustel esineva ja antud sagedusel tek-
kiva võimenduse suhe. Lineaarmoonutus
madalate sageduste piirkonnas

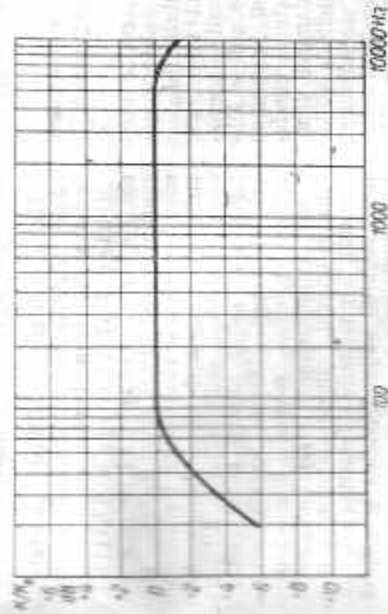
$$M_{\text{m}} = \frac{K_0}{K_{\text{m}}}$$

ja kõrgete sageduste piirkonnas

$$M_{\text{h}} = \frac{K_0}{K_{\text{h}}}$$

kus K_0, K_{m} ja K_{h} on vastavalt võimen-
dus läbilaskeriba keskmistel, madalatel
ja kõrgetel sagedustel.

Moonutus, mis tekib väljundpinge
komponentide faasi nihkest sisendpinge
komponentide suhtes, nimetatakse faasi-



Joon 9-1. Madalsagedusvõimendi tüüpiline sageduskarak-
teristik

moonutuseks. Faasimoonutuse puudumise tingimus on samasugune nagu filtrite puhul (vt. 6. ptk.).

Ristmodulatsioonimoonutus põhjustab kõrgemate helisagedustega pingete moodustumine madalamatega võimendustrakti ja akustilise süsteemi mittelineaarsuse tagajärjel. Sel puhul tekivad kombinatsioontoonid, mis annavad taasesitatavale helile ebameeldiva, moonutatud kõla.

Siirdamoonutus tekib stabiliseerumata siirdprotsesside lisandumisel taasesitatavale signaale. Eriti olulisteks osutuvad selles mõttes valjuhääldajate võrkkesusteemides ilmnevad siirdenähitused. Siirdamoonutuse vähendamiseks tuleb vähendada võimendi väljundtakistust.

Mikrofoniefekt tekib häirepinge sattumisel võimendi ahelatesse šassiile ja lam-pidele mõjuva mehaanilise võnkumise, s. o. helilaine, vibratsioon, löökide jms. mõjul.

Vahelduvvooluvõrgust toidetava võimendi väljundis võib ilmuda toitevoolu parasitine pingeline sagedusega 50, 100 Hz jne.), mille tagajärjel valjuhääldajas kuulub võrgumürä.

Ringhäälinguvastuvõtjate koostatud riiklik standard fikseerib võrgumürä pin-ge seadme väljundis kohustuslikult väiksemana kasuliku signaali maksimaal-amplituudist I klassi vastuvõtjates vähe-malt 316 korda (50 dB), II klassi vastu-võtjates 200 korda (46 dB) ja III klassi vastuvõtjates 60 korda (36 dB).

9-2. TRANSISTORIDE AHELATE TOITMINE JA TALITLUSPUNKTI STABILISEERIMINE

Transistoride lülitusviisid, nende ekvi-valentskeemid ja valemid skeemipara-meetrite arvutamiseks on tabelis 9-1.

Ohise baasiga lülitus ehk baasilülitus annab ainult pingevõimendust. Vooluvõimendus on sellise lül-lituse korral ühest väiksem ja muutub talitusreežiimi ning temperatuuri muutu-misel või transistori asendamisel vähe. Võimsusvõimendus on suhteliselt väike, kuid muutub transistoride asendamisel, nende vananemisel ja temperatuuri muu-tumisel tunduvalt vähem kui teiste lül-litusviiside korral.

Baasilülituses transistorivõimendusast-

me sisendtakistus on väiksem kui teiste lülitusviiside puhul ja asetseb mõne kümnendiku oomi (võimsustransistorid) ning mõnekümne oomi (väikese võimsu-suga transistorid) vahel. Koormustakis-tus suurenemisel kasvab ka sisendtakis-tus. Baasilülituse väljundtakistus on suu-rem kui teiste lülitusviiside kasutamisel ning kasvab signaaliilika takistuse suu-renemisel.

Mittelineaarmoonutus baasilülituses ta-vallisel ei ole üle mõne protsendi ka siis, kui transistori kasutatakse täielikult läbi-tüürina. Seepärast on baasilülitus sageli kasutusel helisagedusvõimendite lõppast-metes.

Ohise emitteriga lülitus ehk emitterlülitus annab signaaliile ni voolu, kui ka pingevõimendust. Võim-susevõimendus on niisugusel juhtumil suurim, kuid muutub väga märgatavalt talitusreežiimi ja temperatuuri muutumisel või transistori asendamisel.

Emitterlülituses transistoristme sisend-takistus on tunduvalt suurem kui baas-lülituse kasutamisel ja asetseb piirides mõnest oomist (võimsustransistorid) tu-handele oomideni (väikesevõimsuselised transistorid). Koormustakistuse suurene-misel sisendtakistus väheneb. Väljund-takistus on siin väiksem kui baasilülitusel ja väheneb signaaliilika takistuse suure-nemisel.

Mittelineaarmoonutus on emitterlülitu-ses võimendusastmel suurim ning kümb transistori täielikult läbitüürimisel 10... ..15%.

Ohise emitteriga lülitust kasutatakse kõige sagedamini eelvõimendusastmetes ja üsna tihti lõppastmetes.

Ohise kollektoriga lülitust ehk kollektorlülitust iseloomustab suurim sisendtakistus (kuni sadade kilo-oomideni väikese võimsusega transistoride puhul), mis suureneb väga kiiresti koos koormustakistuse suurenemisega. Väljund-takistus on sellise lülituse puhul väiksem kui ülejäänud lülituste kasutamisel ja asetseb piirides mõnest kümmandikust oomist (võimsustransistorid) kuni mitme tuhanda oomini (väikese võimsusega tran-sistorid). Signaaliilika takistuse suurene-misel muutub väljundtakistus kiiresti sa-muti suuremaks.

Kollektorlülituses võimendusastme pin-gevõimendus on väiksem ühest (0,7...0,9),

Tabel 9-1

Transistoride põhilülitused ja ekvivalentiskeemid

Lülitus	Skeem	Ekvivalentiskeem	Ekviva-lentgene-raatori emj.-eigen
Ohise baasiga (baasilülitus)			αr_{be}
Ohise emitteriga (emitterlülitus)			βr_{be}
Ohise kollektoriga (kollektorlülitus)			βr_{be}

Märksid: 1. R_b — signaaliilika sisetaktistus, R_c — koormuse takistus.

2. Transistoride parameetrid saab määrata § 8-2 toodud valemite ja tabelite järgi.

vooluvõimendus mõnevõrra suurem kui emitterlülituse puhul ning muutub välgatavalt talitusreežiimi ja tempera-tuuri muutumisel ja transistori asendami-sel.

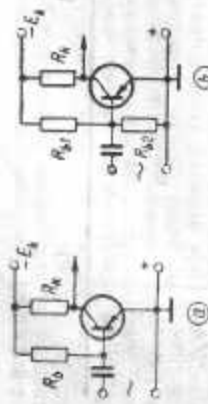
Ohise kollektoriga lülitust kasutatakse eelvõimendusastmetes nendel juhtumitel, kui vajatakse suurt sisendtakistust ja väikest sisendvõimsust. Võimsusvõimendus-astmetes kasutatakse seda lülitusviisi vaha-dusel saada väike väljundtakistus või väi-ke mittelineaarmoonutus (alla 1% transis-tori täielikult läbitüürimisel).

Transistori ahelate toidmine. Toiteallika valiku määrab eelkõige võimendi ülesanne. Toiteallika valikul tuleb ühtlasi arvesse võtta selle sisetaktistust. Suure sisetaktis-

tuse korral tugenevad parasitised tagasi-sidestused võimendi astmete vahel, mis ilmuvad toiteallika kaudu. See võib põhjus-tada võimendi ebastabiilsust või kaiduvust eneseergutamiseks. AB- ja B-reežiimis lõpp-astmetega võimendites suureneb toite-astme alla suure sisetaktistuse toime mit-te-lineaarmoonutus.

n-p-n-tüüpi transistori toidmine normaalsel võimendusreežiimi korral seisneb negatiivse pingel andmises kollektorile ja väikese positiivse pingel andmises emitterile (baasi suhtes). n-p-n-transistori toidmine erineb sellest ainult toitepingete polarita-suse poolest.

Emitteri positiivse pingel (baasi negatiivse eelpingel) võib saada ühest toite-



Joon. 9-2. Baasi eelpingestamine

allikast eelkaktisiti R_b (joon. 9-2, a) või pingejaguri R_b, R_{b2} abil (joon. 9-2, b). Takisti R_b takistus on palju kordi suurem transistori baasi ja emitteri vahelisest alalisvoolutakistusest ja seetõttu nimeatakse eelkaktisiti eelpingestamist fikseeritud baasivooluga eelpingestamiseks. Baasi eelpingestamine pingejaguriga tagab baasi ja emitteri vahelise pinge suurema püsivuse temperatuuri muutumisel, transistori vananemisel või asendamisel.

Transistori baasile saab eelpinget anda nii signaaliatlikuga rööbiti (joon. 9-2, a ja b) kui ka sellega järjestikku (joon. 9-2, c). Kui pingejagurist saadava eelpinge võib baasile juhtida signaaliga järjestikku. Selle jaoks tuleb joonisel 9-2, c rööbiti kondensaatoriga C_0 ühendada takisti.

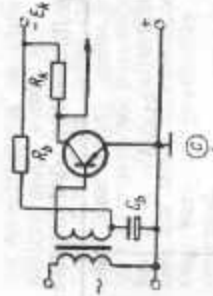
Eelpingestusahela takistite takistused määratakse valemitega:

$$R_b = \frac{\alpha(E_k - U_{be0})}{I_{b0}(1-\alpha) - I_{cs}} \approx \frac{E_k - U_{be0}}{I_{b0}(1-\alpha) - I_{cs}}$$

$$R_{b2} = \frac{E_k - U_{be0}}{I_{p2} + I_{b0}}; R_{b2} = \frac{U_{be0}}{I_{p2}}$$

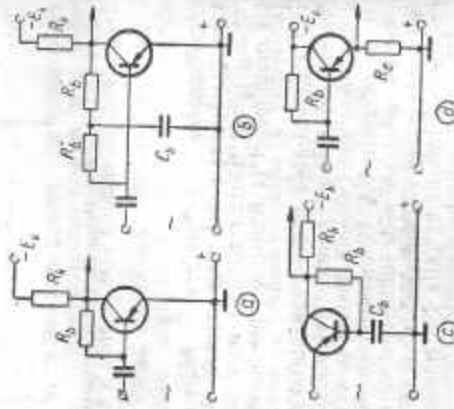
kus α on baasilülituses transistori staatlise vooluvõimendustegur madalatel sagedustel, E_k — toiteallika pingeline, I_{b0} — kollektori algvool, I_{cs} , I_{b0} ja I_{p2} — talituspunktile vastavad kollektori, emitteri ja baasi tarvilikud voolud, U_{be0} — talituspunktile vastav baasieelpinge emitteri suhtes, I_{p2} — pingejaguri vool (vool takistis R_{b2}).

Tavaliselt valitakse $I_{p2} = (0,5 \dots 3) I_{cs}$, mis, sõltuvalt astme võimsusest ja talitlusrežiimist, Pingejaguri voolu suurendamisel suureneb transistori talituspunkti

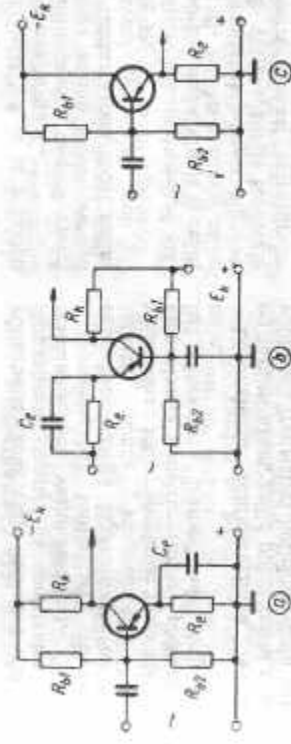


asendi stabiilsus, kuid väheneb astme sisendtakistus (kui eelpinge antakse signaaliga rööbiti) ja võimendi kasutegur.

Transistori talituspunkti asendi stabiliseerimine on vajalik selle tõttu, et transistoride staatilised karakteristikud erinevatel eksemplaridel ja muutuvad temperatuuris on väga erinevad. Talituspunkti asendi stabiliseerimise lihtsaimaks vahendiks on negatiivse lagasiside rakendamine alalisvoolu osas, selleks et sisendpinge või -voolu need muutused, mida põhjustab lagasiside, mõjuksid vastu de-stabiliseerivate tegurite toimete väljundahelas. Paraku halveneb niisuguse stabiliseerimise puhul kasutegur energiatkadude



Joon. 9-3. Transistori kollektorstabiliseerimine; a, b — emitterilülitus, c — baasilülitus, d — kollektorilülitus



Joon. 9-4. Transistori emitterstabiliseerimine; a — emitterilülitus, b — baasilülitus, c — kollektorilülitus

tõttu lagasisideahelates. Parima stabiilsatsoonim loob termokompensatsioon. Sel juhul viiakse transistori toiteahelasse elemendid, mille takistus sõltub temperatuurist (näiteks termotakistid). Termokompensatsioonmeetodit peamiseks puuduseks on kompensatsioonihela elementide termiliste karakteristikute hoolika valiku ja sobitumise vajadus.

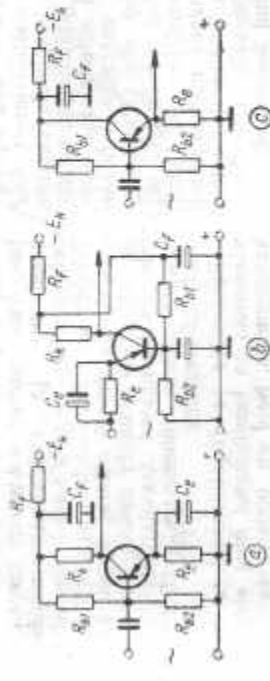
Transistorvõimendite temperatuurstabiilsus paraneb märgatavalt räimtransistoride kasutamisel.

Talituspunkti asendi stabiliseerimise kõige lihtsamaks skeemideks negatiivse alalisvoolu-lagasiside (shik -vastuste) kasutamise on kollektorstabiliseerimine (joon. 9-3). Emitterilülituse puhul (joon. 9-3, a) vähendab kollektorstabiliseerimise astme võimendust ja sisendtakistust, sest astme väljundist satub signaal läbi

takisti R_b sisendisse, luues astmes vastuste ka vahelduvvoolule. Selle äras-tamiseks kasutatakse takisti R_b asemel kahle järjestikust takistit ja nende vahelt lähtuvat küllaldaselt suure mahuvusega blokeerikondensaatorit C_0 (joon. 9-3, b).

Talituspunkti asendi parema stabiilsuse annab emitterstabiliseerimine (joon. 9-4). Siin on stabiilsus seda parem, mida suurem on takisti R_e takistus ja mida väiksemad on takistite R_{b1} ning R_{b2} takistused. Takisti R_e takistust ei saa siiski muuta väga suureks, sest niisugusel juhul osutub kollektori ja emitteri vaheline pingeline liiga väikeseks. Takistite R_{b1} ja R_{b2} liiga väikeste takistuste korral suureneb pingejaguri poolt toiteallikast tarbitav võimsus ning väheneb astme sisendtakistus.

Vahelduvvoolu-vastuste äras-tamiseks



Joon. 9-5. Transistori kombineeritud stabiliseerimine; a — emitterilülitus, b — baasilülitus, c — kollektorilülitus

on skeemides joonistel 9-4, a ja b takisti R_c sillatud kondensaatoriga C_c . Transistori talitluspunkti asendi veelgi suurema stabiilsuse annab *kombineeritud stabiliseerimise lülitus* (joon. 9-5), milles negatiivse alatisvoolu-tagasistide loob nii takisti R_c kui ka R_f .

Kollektor-, emitter- ja kombineeritud stabiliseerimist saab kasutada ainult A-režiimis. Ta ei sobi B- ja AB-režiimis, mille puhul voolu keskvaartus on suurem signaali amplituudist. AB- või B-režiimis töötavate astmete transistoride baasi eelpingestamine peab toimuma väikese takistusega pingejagurilt (joon. 9-2, b), mis tagab ka transistori voolu väikese muutumise talitluspunktis transistori asendamisel. B- või AB-režiimis töötavates astmetes, kui need alluvad suurematele temperatuurikoikumistele, kasutatakse termokompensatsioon. Selleks peab üks pingejaguri R_{c1}, R_{c2} takistitest olema temperatuurist sõltuva takistusega. Takisti asemel võib kasutada pooljuhtidit.

9-3. HELISAGEDUSVÕIMENDITE LÕPPASTMED

Lõppastmete iseärasused. Põhinõudeks, mis esitatakse võimendi lõppastmele, on tarviliku signaali võimsuse andmine võimendi kasutajale koormusele. Väga oluline on rakendada lõppaste tööle maksimaalse kasuteguriga, sest see aste tarbib toiteallikast suurimat toitevõimsust. Selle nõude rahuldamiseks peavad lambid ja transistorid töötama lubatud maksimaalrežiimis.

Tavaliselt erineb võimendi lõppastme kasuliku koormuse takistus selle lõppastme soodsaimast koormustakistusest, mis vastab maksimaalsele kasulikule võimsusele teatava lubatud mittelineaarhoonutuse juures. Seepeärast sidestatakse lõppastmed koormusega enamasti trafoode (harvemini autotrafoode) abil. Transistorivõimendites ühendatakse sootustrafod sageli ka lõppastme sisendisse. Sel juhul saab eelnev aste arendada maksimaalset võimsusvõimendust ja minimaalset mittelineaarhoonutust võimendite ettenähtud kasuliku võimsuse puhul koormusele.

Kuivõrd odavaid väikesemõtmelisi ja väikeste kadudega trafosid on raske valmistada, on väikesemõtmeliste transistor-

võimendite jaoks välja loodatud trafodefa lõppastmete skeemid ja spetsiaalsed suurtakistuselised valjuhääldajad.

Transistoride töötamisel võimendite suure võimsusega lõppastmetes on paratamatult nende kuumenemine suure võimsuskao tõttu; seepeärast tuleb võimsate lõppastmete konstrueerimisel pöörata erilist tähelepanu transistoride soojusrežiimile.

Lõppastmete talitlusrežiimid. A-režiim on talitlusrežiim, mille puhul lambi anoodvoolu või transistori kollektorvoolu vahelduvkomponent osutub sisendsignaali kuju küllaldaselt täpseks kooptaks ja anoodvool või kollektorvool on olemas signaali terve perioodi vältel.

AB-režiim on talitlusrežiim, mille puhul lambi anoodvool või transistori kollektorvool kulgeb vähem kui signaali terve perioodi vältel, kuid siiski rohkem kui poolperioodi vältel.

B-režiim on talitlusrežiim, mille puhul lambi anoodvool või transistori kollektorvool esineb poolperioodi vältel signaali igast perioodist.

C-režiim on talitlusrežiim, mille puhul lambi anoodvool või transistori kollektorvool esineb vähem kui poolperioodi vältel signaali igast perioodist.

Indeksid 1 ja 2 (näiteks A1, AB2 jne.) osutavad lampidega võimendusastme kasutamisele võrevooluga (2) või ilma (1).

Lõppvõimendusastme lampide ja režiimi valik. Võimsusvõimendusastmetes kasutatakse küllaldase võimsusega trioode, tetraode ja pentoode.

Võimendusastmed lampritöödidega on vähem tundlikud koormuse muutumise suhtes ning põhjustavad vähem moonutusi, kuid omavad suhteliselt madalamat kasutegurit ja väiksemat tundlikkust (väljundvõimsuse ning sisendpinge suhet). Trioode on tulus kasutada siis, kui koormustakistus suurel määral on erinev sagedusest või on muutlik, näiteks võimendites, mis on koormatud translatsoonilainiga, aga ka väikese võimsusega (või murdosad) võimendites.

Pentoode ja jugatetraodeidega lõppvõimendid on tundlikumad ning kõrgema kasuteguriga. Neid on otstarbekas kasutada väiksemates seadmetes, kuid ka kõrgel nendel juhtudel, mil nõutakse küllalt suurt võimsust kõrge kasuteguri juures.

9-4. LIHTLÜLITUSES LÕPPASTMED

Lampidega astmed. Lihtlülituses lõppastme tüüpe on joonisel 9-6.

Lambi anoodahelasse vahetult ühendatava koormusega lülitust (joon. 9-6, a) kasutatakse väikestel võimsustel. Sellisel juhendatakse kõrgeomnilisi telefone ja väikese võimsusega elektromagnetilisi valjuhääldajaid kõige lihtsamates võimendites. Tänukslikum eeliseks on paispoolvõimendiga lülitus (joon. 9-6, b), mida iseloomustavad järgmised eelised: 1) tühine alispingelaad paispooli, 2) koormuse isoleeritus anoodpingest eralduskondensaatoriga C.

Selliste lülituste punduseks on lambi energietiliselt halb kasutamine väga väikeste ja väga suurte koormustakistuste puhul (kasutegur osutub madalaks).

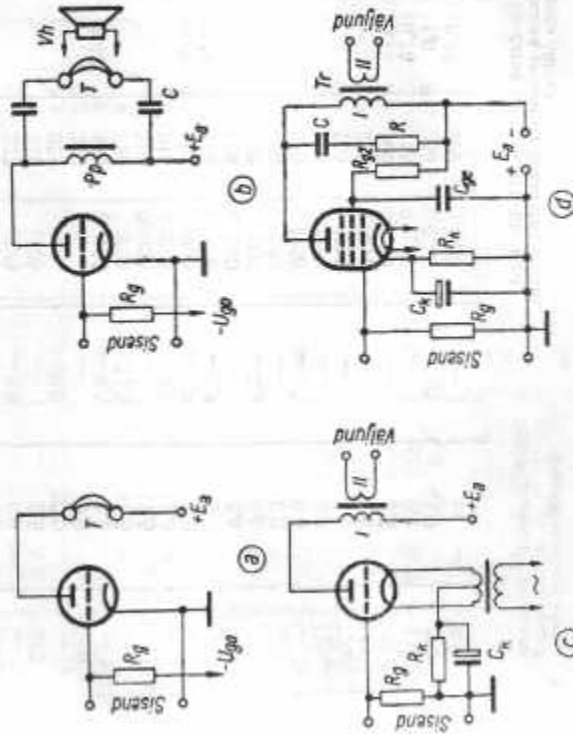
Kõige sagedamini kasutatakse lõppastmetes trafoilülitust (joon. 9-6, c ja d), mille puhul koormustakistus võib praktiliselt olla mistahes suurusega. Koormuse sobitamiseks lambi sisetaktisusega kasutatakse väljundtrafoot T_r .

Lihtsate võimsusvõimendusastmete tüüpreežimid on esitatud tabelis 9-2. Kui mingil põhjusel ei saa kasutada tüüpreežimile vastavat anoodpinget, tuleb astme režiim antud pinge jaoks ümber arvutada.

Trioodega lihtsa lõppastme režiimi arvutamine. Kui U_{a0} valitud väärtus vastab antud lambi tüüpreežimile, siis U_{g0} , I_{a0} , I_{g0} , R_c ja mõnikord ka R_g väärtused saab leida elektronseadiste kataloogidest. Muudel juhtudel tuleb kasutada antud lambi anoodarakteristikute aarja.

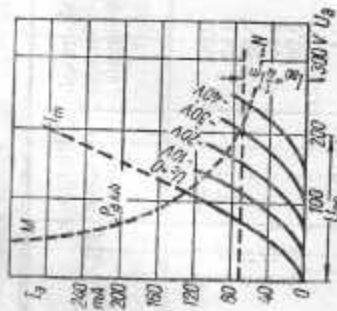
Talitluspunkti valitakse selliselt, nagu on näidatud joonisel 9-7. Vool I_m leitakse valitud anoodpingel U_{a0} ja $U_g=0$ puhul. Selleks tuleb mõnikord vorepingele $U_g=0$ vastaval karakteristikul pikendada. Vool talitluspunktis on ligikaudu $0,25I_m$. Kui sellise konstrueerimise tulemusena talitluspunkt peaks asetuma lambi maksimaalselt lubatavat anoodkaovõimsust tähistavast joonest (MN joonistel 9-7 ja 9-8) kõrgemale, tuleb see punkt nihutada joonest vastavalt madalamale.

Talitluspunkti vaikul määratakse I_{a0} ,



Joon. 9-6. Lihtlülituses lõppastmete skeeme

Järgnevalt leitakse $R_a = \alpha R_t$ ja konstateeritakse dünaamiline karakteristik $U_a - I_a$ -koordinaadistikus. Tegur α tuleb valida piirides 3...5. Dünaamilise karakteristiku konstrueerimine $R_a = 3 \text{ k}\Omega$ puhul on näidatud joonisel 9-8. Teisele U_a asetatakse pinge väärtus U_a' ja sealt viiakse sirgjoon koordinaadistiku püsttelje punkti $I_a = U_a'/R_a$ (joon A'B'). Rõõbiti selle joonega tõmmatakse läbi talitluspunkti sirge, mis osutubki dünaamiliseks karakteristikuks (joon AB). Dünaamiliselt karakteristikult määratakse anoodvoolu vahelduvkomponendi amplituud



Joon. 9-7. Trioodiga lõppastme talitluspunkti määramine

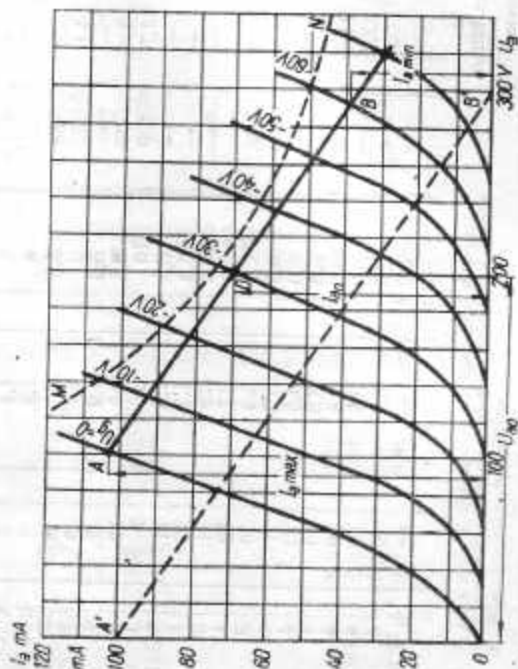
$$I_{ma} = \frac{I_{a, \max} - I_{a, \min}}{2}$$

U_{g0} ja ka R_t väärtused talitluspunktis (vt lk. 223). Vahelduvpinge amplituud võrel loetakse võrdseks võre-eelpingega:

$$U_{ma} = U_{g0} = 0,5(I_{a, \max} + I_{a, \min}) - I_{a0}$$

$$U_{ma} = U_{g0}$$

Koormusele antav võimsus



Joon. 9-8. Trioodiga lihtlülituses lõppastme dünaamilise karakteristiku konstrueerimine

$$P_n = \frac{I_{ma}^2 R_a \eta_{tr}}{2000} \text{ W,}$$

kus I_{ma} on milliamprites, R_a — kiloomides, η_{tr} — väljundtrafo kasutegur (vt 5. ptk).

Mittelineaarmoonutus ainult teist harmoonilist arvestades

$$\gamma = \frac{I_{ma2}}{I_{ma}} \cdot 100\%.$$

Näide (vt joon. 9-8). $U_{g0} = 300 \text{ V}$, $U_{g0}' = -30 \text{ V}$,

$$I_{g0} = 70 \text{ mA}, R_t = 750 \Omega, \alpha = 4, R_a = 3 \text{ k}\Omega, U_{mg} = -U_{g0} = -30 \text{ V}, \eta_{tr} = 0,8.$$

$$I_{ma} = \frac{103 - 39}{2} = 32 \text{ mA,}$$

$$I_{ma2} = \frac{0,5(103 + 39) - 70}{2} = 0,5 \text{ mA,}$$

$$P_n = \frac{32^2 \cdot 3 \cdot 0,8}{2000} \approx 1,3 \text{ W,}$$

$$\gamma = \frac{0,5}{32} \cdot 100 \approx 1,5\%.$$

Pentloodiga või jugatetroodiga lõppastme režiimi arvutamine. 1. Värivõrel on konstantne pinge U_{g2} . Sagedi $U_{g2} = U_{a0}$.

2. Lambi anoodkarakteristikutele saab vastavalt valitud värivõrepingele U_{g2} määrata (joon. 9-9):

a) maksimaalse anoodvoolu $I_{a, \max}$ (karakteristiku kõverusel $U_{g1} = 0$ pühul), tavaliselt saadakse see vool $U_{a0} = (0,1 \dots 0,25) U_{g0}$ juures,

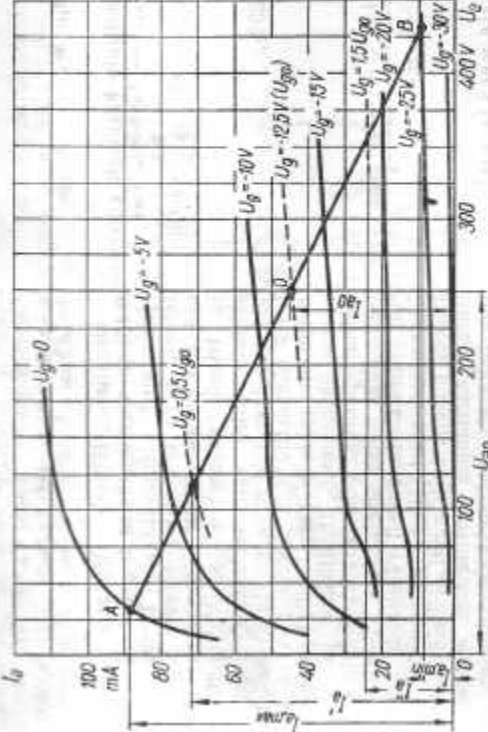
b) minimaalse anoodvoolu $I_{a, \min}$ — $= 0,1 I_{a, \max}$.

Tüürvõrepinge, mis vastab ligikaudu suurusle $I_{a, \min}$, loetakse selle pinge maksimaalseks negatiivseks väärtuseks $U_{g1, \text{max}}$.

3. Määratakse negatiivne võre-eelpinge:

$$U_{g1,0} = \frac{U_{g, \max}}{2}.$$

$$P_{a, \max} \geq P_{a0} = \frac{U_{a0} I_{a0}}{1000},$$



Joon. 9-9. Pentloodiga lihtlülituses lõppastme dünaamilise karakteristiku konstrueerimine

kus $P_{a, \max}$ on anoodi lubatud hajuvõimsus W , U_{av} — anoodipinge V , I_{a0} — anoodivool talitluspunkti M .

Kui see nõue ei osutu täidetaks, tuleb valida uus talitluspunkt.

5. Ehitatakse dünaamiline karakteristik — sirge, mis läbib talitluspunkti O ning lõikub karakteristikuga $U_{a0} = 0$ ja $U_{a1} = U_{a1 \max}$. Dünaamilise karakteristika kalle valitakse sellisel, et ta lõikaks karakteristikuga $U_{a1} = 0$ punktis A (valitud voolu $I_{a, \max}$ juures).

5. Lefakse vahelduvpinge amplituud täidvõrel:

$$U_{mgt} = U_{a1, 0}$$

7. Määratakse vahelduvpinge amplituud väljundtrafo primaarühisel:

$$U_{ma} = \frac{U_{a, \max} - U_{a, \min}}{2}$$

8. Määratakse anoodivoolu vahelduvkomponendi amplituud:

$$I_{ma} = \frac{I_{a, \max} - I_{a, \min}}{2}$$

9. Määratakse koormusele antav võimsus:

$$P_a = \frac{U_{ma} I_{ma}}{2000} \eta_{tr} W,$$

kus η_{tr} on väljundtrafo kasutegur ($\eta_{tr} = 0,7 \dots 0,8$), U_{ma} — voltides, I_{ma} — milliamprites.

10. Määratakse mittelineaarmoonutus:

$$\gamma = \sqrt{\gamma_2^2 + \gamma_1^2} \cdot 100\%,$$

kus

$$\gamma_2 = \frac{0,5(I_{a, \max} + I_{a, \min}) - I_{a0}}{I_{a, \max} - I_{a, \min}}$$

$$\gamma_1 = \frac{2(I_{a0}' - I_{a0}') - (U_{a, \max} + I_{a, \min})}{2(I_{a, \max} + I_{a0}' - I_{a, \min} - I_{a0}')}$$

Suuruste I_a' ja I_a'' määramise meetod on kujutatud joonisel 9-9.

11. Määratakse koormustakistus

$$R_a = \frac{U_{ma}}{I_{ma}} \text{ k}\Omega,$$

kus U_{ma} on voltides, I_{ma} — milliamprites. Kui arvutus annab mitteküllaldase P_a või liiga suure mittelinearmoonutusteguri γ , tuleb katselisel muna dünaamilise karakteristika kallel (pöörates seda punkti O ümber, s. o. muutes takistust R_a , võtta uus talitluspunkt või suurendada pinget U_{a0} , kuid mitte üle antud lambitüübi maksimaalselt lubatud pinge ja nii, et

$$P_{a, 0} \leq P_{a, \max}$$

Kui maksimaalne lubatud anoodipinge $U_{a, \max}$ puhul ei õnnestu saada nõutavat võimsust P_a lubatud γ juures või kui pole võimalik suurendada pinget U_{a0} , siis tuleb valida võimsam lamp.

Näide (vt. joon. 9-9). $U_{a0} = U_{a0} = 250 \text{ V}$;
 $I_{a, \max} = 20 \text{ mA}$; $I_{a, \min} = 9 \text{ mA}$;

$$U_{tr, \max} = 25 \text{ V}; U_{tr, 0} = 12,5 \text{ V};$$

$$I_{a0} = 45 \text{ mA}; P_{a0} = 11,2 \text{ W} < 12 \text{ W}; U_{mgt} = 12,5 \text{ V};$$

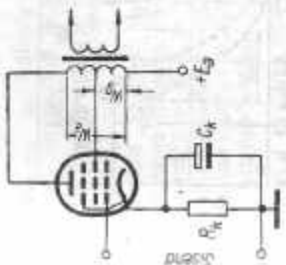
$$U_{ma} = 20 \text{ V}; I_{ma} = 40 \text{ mA}; P_a = 3,2 \text{ W};$$

$$\gamma_1 = 0,05; I_a' = 72 \text{ mA}; I_a'' = 24 \text{ mA}; \gamma_2 = 0,06;$$

$$\gamma = 7,8\%$$

Ultralineaarlülituse lõppaste (joon. 9-10) on varivõreahelas negatiivselt tagasisidetatud võimendusaste. Pentood või tetood saab misuguses skeemis omadused, mis parameetritel osutuvad pentoodi ja trioodi vahepealseteks. Väljundtrafo primaarühise varivõreahelasse ühendatud osa keerdtude arvu w_p ja anoodahelasse ühendatud osa keerdtude arvu w_a optimaalse suhte p korral säilib pentoodile omae ökonoomsus, tundlikkus ja suur väljundvõimsus, kuid sardakse trioodile iseloomulik väike sisetakistus. Samaaegselt õnnestub tunduvalt vähendada mittelineaarmoonutust (isegi väiksemaks kui trioodi puhul). Eriti suuri eeliseid pakub ultralineaarlülituse kasutamine AB -režiimis töötavas vastastakt-lõppastmes.

Suurus p on eri tüüpi lampide puhul erinev. Näiteks lambile 6T14H, mis on rakendatud tüüpreehimis, sobib $p = 0,42$.



Joon. 9-10. Ultralineaarlülituses lõppaste

Ultralineaarastmete väljundtrafodele esitatakse spetsiifilisi nõudeid, millede täitmata jätmisel muutuvad kasutuks kõik lülituse eelised. Väljundtrafo mahiste pulsteinduktiivsused ja parasitmahtuvused peavad olema minimaalsed. Eriti olulised on puisteinduktiivsused varivõreahelase vahel. Kui mahised on sektsioneeritud, siis ei tule mahutada ühe öla mahise anood- ja varivõreahelasse kuuluvaid osi erinevatesse sektsioonidesse.

Kui ultralineaarvõimendusaste on hõlmatud negatiivse tagasisidega, suurenevad väljundtrafo esitatavad nõuded veelgi. Praktiliselt hõlmatud väljundtrafo kvaliteet pilrama negatiivse tagasiside sügavust ja koos sellega püstitab võimendi

kui terviklo talitlusandmete parendamise ette püü.

Transistoridega lihtlülituses lõppastmeid kasutatakse valdavalt osas lihsamates väikesemootmelistes seadmetes, mille väljundvõimsus on väga väike (mitte üle 100 mW), kuid samuti ka nendel juhtudel, kui lihtsus on ökonoomsusest tähtsam. Selliste võimendusastmete kvaliteetindujad ei ole kõrged, praktiliselt saavutatav kasutegur on 47...48%.

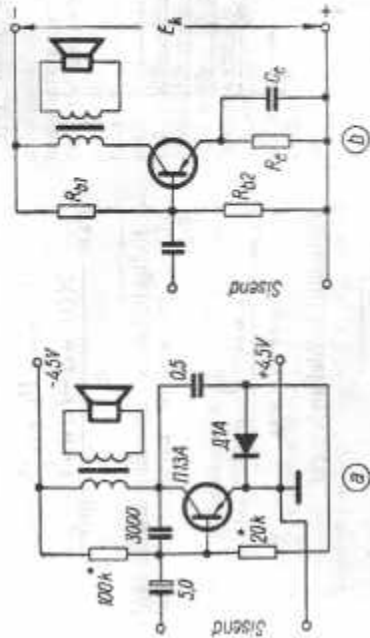
Põhiliselt kasutatakse emitterlülitust, mis tagab maksimaalse võimsusvõimenduse. Lihtlülituses lõppastme koormuse võib ühendada transistori kollektorihelasse kas vahetult (kui koormustakistus on optimaalselt lähedane) või siis läbi sobitustrafa (joon. 9-11).

Transistori valimine lihtlülituses lõppastmesse toimub sellisel, et oleksid rahuldavad järgmised nõuded:

$$P_{a, \max} \geq \frac{2P_k}{\eta_{tr}}, \quad U_{a, \max} > 2E_k,$$

kus $P_{a, \max}$ on maksimaalne lubatud hajuvõimsus kollektoril, P_k — kasulik võimsus koormusel, η_{tr} — trafo kasutegur (vt. 5. ptk.), $U_{a, \max}$ — lubatav maksimaalne kollektoripinge, E_k — toiteallika pingeline.

Jahul kui pole täidetud ainult teine tingimus, on sageli kohane vähendada toiteallika pinget.



Joon. 9-11. Lihtlülituses transistorilõppastmete skeeme:

a — liigava talitluspunkti; b — režiim stabiiliseerimisega emitterlülit

Kollektorihela tarviliku koormusaktiivsuse saab orienteerivalt määrata valemiga

$$R_A = \frac{(E_A - \Delta E)^2}{2,5 P_{A, \text{norm}}} \eta_{tr}$$

kus ΔE on see pinge kollektoril, millest lähtub kollektorivoolu karakteristikute sirgosa. Emitterilülites väikese võimsusega transistoride П13... П115 puhul on see pinge 0,5... 1 V.

Väljundtrafo primaarmähise takistus

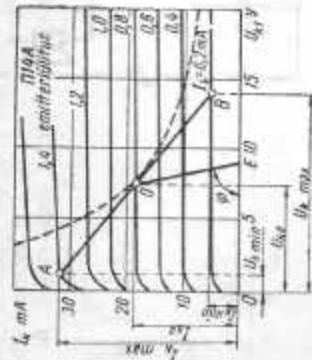
$$r_1 = (0,2 \dots 0,3) (1 - \eta_{tr}) R_A$$

Transistori talituspunkti valimiseks kantakse kollektorivoolu karakteristikute sirgale (joon. 9-12) alalisvoolu-kogutaktiivsele vastav koormussirge. Selle sirge kaldenurga tangens (arvestades telgede mõõtkaava)

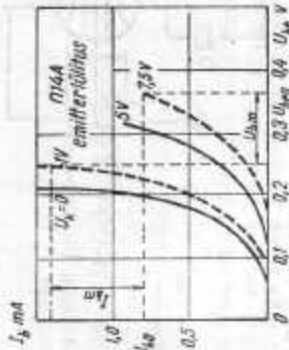
$$\operatorname{tg} \psi = \frac{I}{R_A + r_1}$$

kus R_A on emitterihela takistus, mis on valitud režiimi stabiliseerimise tingimusest (vt. § 9-8).

Koormussirget valitakse talituspunkt ja dünaamiline karakteristik sellisel, et punkt A paikneks staatilise karakteristikute pölvikute läheduses ja et kaugused OA ning OB (määratuna baasivooludena I_b) võrduksid. Talituspunkt peab asetsema allpool transistori kollektori lubatud maksimaalse koormususe joont (kriips-



Joon. 9-12. Lihtlülites transistorilõppastme dünaamilise karakteristikute määramine



Joon. 9-13. Transistori sisendkarakteristikud

joon joonisel 9-12). Kui see joon on tunnusjoonte sarja kandmata, tuleb kontrollida tingimust

$$U_{A, \text{min}} < P_{A, \text{max}}$$

kus $U_{A, \text{min}}$ ja $I_{A, \text{min}}$ on talituspunkti vastavad kollektoripinge ja -vool ja $P_{A, \text{max}}$ - lubatud maksimaalne hajuvõimsus kollektoril W.

Kui see nõue pole täidetud, tuleb valida teine talituspunkt. Valitud talituspunkti jaoks määratakse baasivool $I_{b, \text{min}}$ ja leitakse sisendkarakteristikult, mis on üles võetud $U_{A, \text{min}} = U_{A, \text{min}}$ jaoks, transistori baasipinge $U_{b, \text{min}}$ (joon. 9-13).

Koormusele antav võimsus

$$P_A = \frac{(U_{A, \text{max}} - U_{A, \text{min}}) \times (I_{A, \text{max}} - I_{A, \text{min}})}{8} \eta_{tr}$$

Kollektorihela koormustakistus määratakse dünaamilise karakteristikute kalde järgi:

$$R_A = \frac{U_{A, \text{max}} - U_{A, \text{min}}}{I_{A, \text{max}} - I_{A, \text{min}}}$$

Väljundtrafo ülekanalitegur

$$\eta = \sqrt{\frac{R_{A, \text{norm}}}{\eta_{tr} R_A}}$$

Trafoga vastastakt-lõppastmed

kus $R_{A, \text{norm}}$ on väljundtrafo sekundaarmähisele ühendatud koormuse takistus. Takistite R_{b1} , R_{b2} ja R_b takistused määratakse režiimi stabiliseerimise tingimustest (vt. lk. 368).

Eelmises astmes tarviliku võimsuse määramiseks leitakse joonisel 9-12 baasivoolu amplituud $I_{b, \text{min}}$ ja sisendkarakteristikult pingeamplituud baasil $U_{b, \text{min}}$.

Eelastme nõutav väljundvõimsus (lõppastme sisendvõimsus)

$$P_A = 0,5 U_{b, \text{min}} I_{b, \text{min}}$$

Lõppastme sisendtakistus

$$R_A = \frac{U_{b, \text{min}}}{I_{b, \text{min}}}$$

Näide. Arvutades transistoriga П114A lõppastme talitlikku pinget on 9 V. Koormusele antav võimsus on 25 mW, koormuse takistus 5 Ω. Väljundtrafo kasutegur on 0,6.

Arvutame:

$$R_b = \frac{(9-1)^2}{3,5 \cdot 0,025} = 0,6 \text{ k}Ω$$

$$r_1 = (0,2 \dots 0,3) (1 - 0,6) \cdot 610 = 65 \text{ Ω}$$

Oligu $R_{e1} = 15 \text{ Ω}$, siis

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{2 \sqrt{2} \text{cm}}{0,05 \text{ A/cm}} \cdot \frac{1}{65 + 15} = 5, \text{ siis } \psi = 79^\circ$$

Joonisel 9-12 leiame:

$$U_{A, \text{max}} = 14 \text{ V}, U_{A, \text{min}} = 1,2 \text{ V}, I_{A, \text{max}} = 32 \text{ mA}$$

$$I_{A, \text{min}} = 5,5 \text{ mA}$$

$$P_A = \frac{(14 - 1,2)(32 - 5,5)}{8} = 0,6 - 0,7 \text{ mW}$$

$$R_A = \frac{(14 - 1,2) \cdot 10^3}{32 - 5,5} = 485 \text{ Ω}, n = \sqrt{\frac{6}{485 \cdot 0,6}} = 0,14$$

$$\text{Joonisel 9-13 määrame } U_{b, \text{min}} = 0,37 \text{ V}, U_{b, \text{min}} = 0,12 \text{ V}, I_{b, \text{min}} = 0,5 \text{ mA}$$

$$R_b = \frac{0,12}{0,5} = 0,2 \text{ k}Ω = 200 \text{ Ω}$$

Transistori režiim: $U_{b0} = 7,5 \text{ V}, I_{b0} = 19 \text{ mA}$,

$$I_{b0} = 0,8 \text{ mA}$$

Lihtlülites lõppastmele ökonomisuse suurendamiseks kasutatakse asendit muut-

va talituspunkti režiimi. Sellise võimendusastme skeem on joonisel 9-11, a. Transistori kollektorivooluks valitakse 2,0...2,5 mA. Kollektoril saadav signaal alandatakse dioodiga ja niiviisi saadud talituspinge antakse transistori baasile, moodustades sellisel positiivse pingetagasisel. Täiendava eelpinge ahela ajakonstant valitakse sellisel kaalutusel, et eelpinge jõuaks järgida signaali amplituudi muutumist. Diodi baasiga ühendatava takisti takistus valitakse signaali vähima moonutuse järgi. Astme koormuseks võib olla elektromagnetiline kapsel ДЭМIII.

9-5. TRAFOGA VASTASTAKT-LÕPPASTMED

Võrreldes lihtsate lõppastmetega on vastastakt-lõppastmetel järgmised eelised: 1) väljundtrafo väiksemad sagedus- ja mitteinsarmonootused, sest puudub südamiku magnetilise voolu alaliskomponent, 2) väiksemad moonutused tänu magnetvoo paarisarvuliste harmooniliste omavahelisele kompenseerumisele väljundtrafos (see on eriti märgatav trioodidega võimendusastme puhul), 3) väiksem tundlikkus toitepinge puliseerimise suhtes, 4) võimendi suurem stabiilsus, sest toiteallikat ei läbi põhisagedusega vool.

Elektronilampidega vastastakt-lõppastmed. Trafoga vastastakt-lõppastmete skeeme tutvustab joonis 9-14. Skeemi sobitustrafo sisendis (joon. 9-14, a) kasutatakse nendel juhtudel, kui lõppastme töötab verevooluga režiimis ($A B_2$ - ja B_2 -režiim). Takistit R_{e2} varivõreahelas tuleb kasutada siis, kui varivõrepinge peab olema väiksem kui lampide anoodil. Nende eelaktistite kasutamisel tuleb lampide varivõred ühendada katoodidega läbi umbes 10-mikrofaradise mahtuvusega kondensaatorite. Skeemis joonisel 9-14, c ühendatakse vahetult koetavate lampide küttenõite pingemadalusitrafo sekundaarmähisest saadava vahelduvvooluga. Mähis on varustatud keskväljavõttega.

Kondensaatorid C ja takistid R joonisel 9-14, a ja b on vajalikud anoodkoormustakistuse muutmise kompenseerimiseks erinevatel sagedustel. Selline kompenseerimine on tarvilik astme sageduskarakteristiku ühtlustamiseks. Trioo-

Vastastakt-õppastmete tüüpreežimid

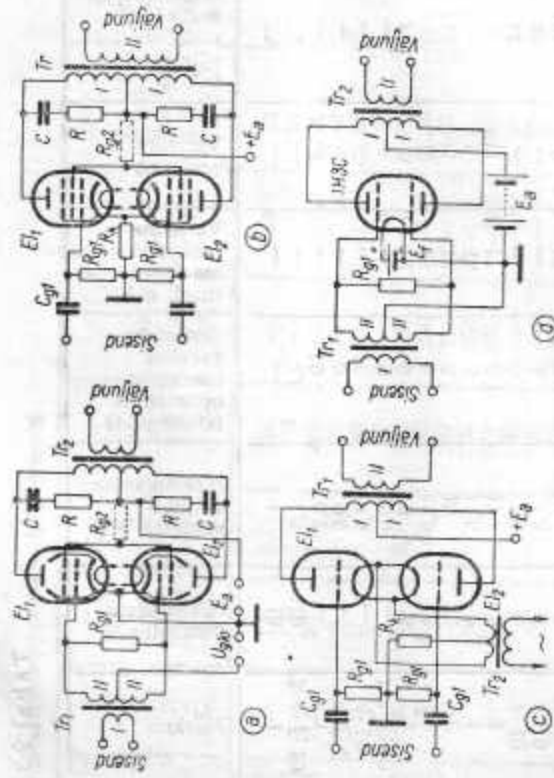
Lampitüüp	Klass	Käitepinge V	Käitevool A	Anoodite- pinge V	Variõre- pinge V	Tüüriõre- eelpinge V	Pingeampli- tund tüür- võrede va- hel, V	Del'pingsus- takist katood- ahelas, Ω
3C	AB ₂	1,2	0,12	120	—	-8,5	24	—
III	AB ₁	1,2	0,24	100	—	0	60	—
I, I	AB ₂	2,1	1,3	240	160	-13,2	26,4	—
	AB ₁			240	160	-13,2	42	—
	AB ₂			240	—	-26	52	—
	AB ₁			240	—	-26	78	—
II	AB ₂	6,3	0,9	250	250	—	30	200
IC	A	6,3	1,8	250	250	—	35,6	123
	"			270	270	—	40	125
	"			250	250	-16	32	—
	"			270	270	-17,5	35	—
	"			250	—	-20	20	—
	AB ₁			250	—	—	20	490
	"			360	270	—	57	250
	"			360	270	-22,5	45	—
	"			360	270	-22,5	45	—
	"			400	250	—	44	190
	"			400	300	—	57	200
	"			400	300	-20	40	—
	"			400	250	-20	40	—
	"			400	250	-20	40	—
	"			400	300	-25	50	—
	AB ₂			400	300	-18	52	—
	"			360	225	-22,5	72	—
	"			400	250	-20	57	—
C	AB ₁	6,3	0,9	250	250	-15	30	200
	"			250	250	—	30	—
	"			285	285	-19	38	—
	"			300	300	-20	40	—
	"			275	255	-8,5	7	—
II	B ₁	6,3	1,52	250	250	-11	15	120
	AB ₁			300	—	-62	—	780
	"			300	—	—	—	250
	AB ₁			250	250	-35	70	—
7	A	4,0	4,0	500	—	-50	100	—
	"			750	300	-32	92	—
7	AB ₂	6,3	1,8	600	300	-30	78	—

Märkus I. Püsiva eelpinge puhul. 2. Automaateelpingega takistid, mis on ühendatud astme mpide ahelasse katoodahelasse. 3. Võrreldatav pinge ahelasse tüür- ja varivõredele; varivõredid arvoregulaatoriga ühendatavate takistite takistus on 10 kΩ. 4. On lubatud ainult trafostidestis eelast-ega; kannnagi öla võreahelas võib olla takistus mitte üle 500 Ω, 5...9. Eelastme minimaalne nõu- v võimsus vastavalt 100, 350, 180, 60 ja 600 mW. 10. Treooodidüüsus.

Tabel 9-3

Anoodivool signaaliga, mA	Anoodivooli keskikäitatus võimsusel, mA	Variõre- vool mA	Variõre- vool maks- imaalvõim- susel, mA	Anoodide- vahelise koormuse optimaalne takistus kΩ	Maksimaalne väljund- võimsus W	Mittelineaar- moonutus %	Märkus
5	23	—	—	—	1	10	1
0,04	29	—	—	4,8	1,4	10	3; 4; 5; 10
30	—	4	—	10	6,2	—	—
30	—	4	—	8	9,0	—	4; 8
30	—	—	—	10	4,3	—	1; 10
30	—	—	—	9	10,0	—	1; 4; 9; 10
70	80	5	12	9	8	5	2
120	130	10	15	5	13,5	2	2
134	145	11	17	5	18	2	2
120	140	10	16	5	14,5	2	2
134	155	11	17	5	17	2	1
40	44	—	—	5	14	5	1; 10
40	42	—	—	6	1,3	5	2; 10
88	100	5	17	9	24	4	—
88	140	5	11	3,8	18	2	—
88	132	5	15	6,6	26	2	—
96	110	4,6	11	8,5	24	2	—
112	128	7	16	6,6	32	2	—
88	124	4	12	8,5	26	2	—
88	126	4	9	6	20	1	—
102	152	6	17	6,6	34	2	—
102	155	6	12	3,8	23	1	—
78	142	3,5	11	6	31	2	1; 4; 6
88	205	5	16	3,8	47	2	1; 4; 7
88	168	4	13	6	40	2	1; 4; 7
70	79	5	12	10	8,5	—	—
84	—	8	8	10	10	5	—
70	92	4	14	8	12	5	—
78	90	5	14	8	14	4	—
52	58	5,2	7,6	7	6	3	—
58	74	6,6	14,8	8	11	4	—
20	75	2,2	15	5	12	4	—
80	—	—	—	3	10	5	—
80	—	5	—	6	15	3	—
200	—	—	—	8	9	7	—
160	240	5	10	10	12	3	—
60	200	5	10	3,2	120	3	—
60	200	5	10	3,2	80	—	1; 7
							1; 5

Voolud ja väljundvõimsus on aritud astme kui terveko kohta, s. o. pentoodeid, juugastriodeid ja trioodeid töötava astme puhul kahe lambi ja kalaltrioodil töötava astme puhul ühe lambi kohta.



Joon. 9-14. Vastastaklütütuses lõppastmete skeeme

didega asfimes võib need elemendid ära jätta. Takisti R_{a1} skeemis joonisel 9-14, a on samuti sagedusarakteristiku parandamiseks.

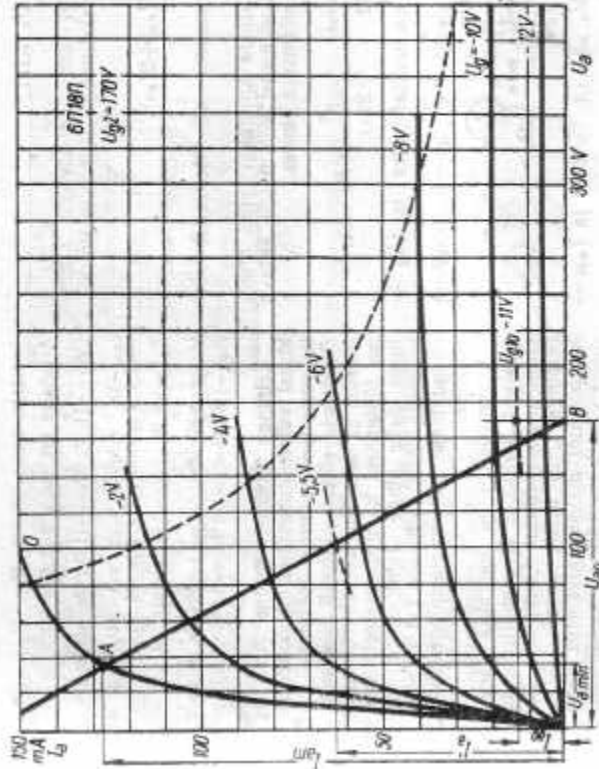
Vastastakt-lõppastmete tüüpreežimilid on tabelis 9-3. Selliste anoodpingete jaoks, mis erinevad tabelis toodutist, tuleb režiim arvutada.

A-režiimis vastastakt-lõppastme arvutamine. Aigul arvutatakse välja lülituse üks pool ($\omega t = \pi$) täpselt samuti kui lihtsa võimendusastme puhul. Seejärel võetakse arvesse vastastaklütütuse iseärasused:

- 1) saadav võimsus $P \sim$ kahekordistub,
- 2) anoodtoiteallikast võetav vool kahekordistub,
- 3) anoodkoormuse takistus anoodide vahel $R_{ea} = 2R_a$,
- 4) üldine mittelineaarvõimendustegur $\gamma = \gamma_0$ (täieliku sümmeetril korral),
- 5) automaatepingestusega lülituses peab katoodtakisti takistus olema kaks korda väiksem kui lülitituse puhul.

AB-režiimis vastastakt-lõppastme arvutamine.

1. Tüürvõre-eeplinge $U_{a1,0}$ määratakse graafiliselt joonisel 9-15 kohaselt.



Joon. 9-16. Vastastaktlütütuses pentoodidega lõppastme dünaamilise karakteristiku konstrueerimine

2. Valitud pingetele U_{a0} ja U_{a1} vastavalt anoodkarakteristikult määratakse signaalivaba anoodvool I_{a0} .

3. Väheiduvpinge maksimaalamplituud tüürvõrel

$$U_{m a 1} = U_{a 1, 0}$$

$$\gamma = \frac{I_{a m} - 2I_{a 0}'}{2(I_{a m} + I_{a 0}')}, 100\%$$

4. Ehitatakse summaarse voolu dünaamiline karakteristik. Pentoodide ja jüga-telsoodide puhul läheb see staatilise karakteristiku punkti $U_{a1} = 0$ kohas, kus karakteristik hakkab koverduma (punkt A joonisel 9-16). Teiseks punktiks, mida läheb summaarse voolu dünaamiline karakteristik, on U_{a1} -leju punkt B, mis vastab pingele U_{a0} .

5. Kahe lambi poolt koormusele antav võimsus

$$P \sim \frac{I_{a m} (U_{a 0} - U_{a e, m i n})}{2000} \eta_{tr}$$

kus η_{tr} on väljundtrafo kasutegur (vt 5. pkt) ja ülejäänud suurused on näidatud joonisel 9-15.

6. Mittelineaarvõimendus

kus $I_{a 0}'$ on dünaamilise karakteristiku ja pingele $U_{a1} = 0.5U_{a1,0}$ vastava staatilise karakteristiku lõikumispunktiga määratud anoodvool.

Võttes arvesse lülituse õlgade mõningat ebasümmeetrilisust, tuleb saadud väärtust suurendada 20...25% võrra.

Kui saadud $P \sim$ ja γ väärtused ei rahulda esitatud nõudeid, siis tuleb valida punkt A sobivam asend, lähtuda teisest pingest $U_{a1,0}$, suurendada pinget U_{a0} või kasutada teist tüüpi lampe.

7. Pinge amplituud väljundtrafo primaarmähise ühel poolel

$$U_{m1} = U_{a0} - U_a, \text{ mV.}$$

8. Kummagi lambi anoodvoolu alalis-komponent maksimaalse võimsuse juures

$$I_{a0 \text{ max}} = \frac{1}{4} (I_{am} + 2I_{a0}).$$

Astme summaarne anoodtoitevool võrdub $2I_{a0 \text{ max}}$.

9. Kontrollitakse kummagi lambi anoodil eraldavat võimsust koormusele antava maksimaalse võimsuse juures:

$$P_a = \frac{U_{a0} I_{a0 \text{ max}}}{1000} \leq P_{a \text{ max}},$$

kus $I_{a0 \text{ max}}$ on nulliamprites ja U_{a0} — voltides.

10. Anooditevahelise koormustakistuse vajalik väärtus

$$R_{aa} = 4 \frac{U_{a0} - U_a, \text{ mV}}{I_{a0 \text{ mV}}} \text{ k}\Omega,$$

kus U_{a0} ja $U_a, \text{ mV}$ on voltides ja $I_{a0 \text{ mV}}$ — milliamprites.

11. Automaateelpingestusega lülituse puhul katoodikasti takistus

$$R_k = \frac{0,5U_{g1,0}}{I_{a0 \text{ max}} + I_{g2}}$$

Näide. Lamp 6T11H, $U_{a0} = U_{g2} = 170 \text{ V}$.

Arvutame (vt. joon. 9-15 ja 9-16):

$$U_{p,0} = -11 \text{ V}; U_{mp} = 11 \text{ V}; I_{a0} = 13 \text{ mA};$$

$$I_{am} = 128 \text{ mA}; I_{a0}' = 62 \text{ mA} \quad (U_{p,0} = 0,5 \quad U_{p,0} = -5,5 \text{ V puhul}); U_a, \text{ mV} = 35 \text{ V};$$

$$P_a = 6,9 \text{ W} \quad (\eta_r = 0,8 \text{ puhul}); U_{m1} = 135 \text{ V};$$

$$I_{a0 \text{ max}} = 38 \text{ mA}; P_{a0} = 4 \text{ W} < P_{a \text{ max}} = 12 \text{ W};$$

$$R_{aa} = 4,3 \text{ k}\Omega; R_k = 110 \Omega; \eta = 1,5\%.$$

Eelpinge stabiliseerimine AB- ja B- klassi võimendusastmes. Anoodvoolu alalis-komponendi suurus töötamisel AB- ja B-režiimis sõltub signaali tasemest tuurvõredel ja seetõttu hakkab võimendusastme töötamisel ka automaateelpinge muutuma. Selle pinge stabiliseerimiseks võib kasutada ränistabiiltrone (vt. 8. ptk.), mis ühendatakse automaateelpingestustakistite asemel.

Stabiiltroni tüüp valitakse järgmistest nõuetest lähtudes: 1) stabiiltroni talituspinge peab võrduma lampide tarviliku eelpingega; 2) astme anoodvoolu alalis-komponendi maksimaalväärtus peab võrduma või olema väiksem stabiiltroni maksimaalvoolust.

Kui automaateelpinge stabiliseerimiseks kasutada ränistabiiltroni, siis võib katoode vahel kondensaator ära jätta, sest stabiiltroni vahelduvvoolutakistus on väga väike.

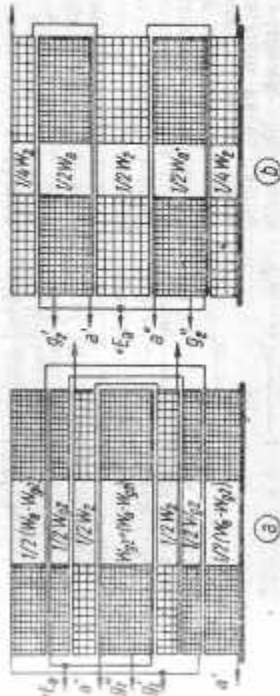
Tabel 9-4

Vastastaktliituses ultralineaarvõimendite tüüpreežiimid

Lambi tüüp	Anood-pinge V	Katood-takistus Ω	Koormus-takistus k Ω	Tegur ρ	Väljund-võimsus W	Mittelineaar-moortus %
6T11H	250	430	10	0,22...0,23	8	0,5
6T13C	385	350	6,6	0,42...0,45	20	0,7
6T16C	300	470	10	0,22...0,23	10	0,5
6T14H	300	130	8	0,42...0,45	10	0,5

Märkus. Mittelineaarmoonutusegur on antud juhaks, kui võimendi on hõimatud 30-dB negatiivse tagasisidega.

Trafoaga vastastakt-lõppastmed



Joon. 9-17. Ultralineaarastme väljundtrafo mähiste seksioneerimine

Ultralineaarliituses vastastakt-lõppastmel on paremad kvaliteedinäitajad kui avalistel vastastaktastmetel või lihtliituses ultralineaar-lõppastmetel (vt. lk. 376).

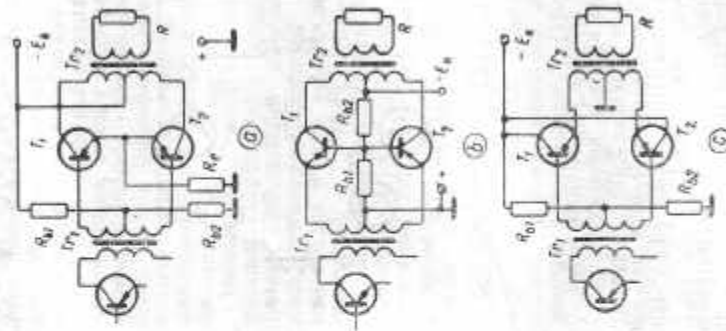
Ultralineaarliituses lõppastme skeem on joonisel 9-50 ja vastastakt-ultralineaar-lõppastmete tüüpreežiimid tabelis 9-4.

Vastastakt-ultralineaarastmete väljundtrafole esitatakse veelgi rangemaid nõudeid kui lihtsate ultralineaarastmete puhul (vt. lk. 377). Ene öla anoodi-väljavõlg ja teise öla varivõre-väljavõlg valeline mahtvõimsustest väljundtrafo peab olema minimaalne. Näiteid vastastakt-ultralineaarväljundastmete väljundtrafo mähiste kerimviisist esitab joonis 9-17.

Transistoridega vastastakt-lõppastmetes kasutatakse võimendi kui terviku kasuteguri suurendamise huvides eelistatult AB- ja B-režiimi. Transistoride töötamisel B-režiimis saadakse lõppastme maksimaalsignaali korral kõrge kasutegur (kuni 78%) ja toiteallika energia sääst nõrga või puuduva signaali korral. Ideaalset B-režiimi ei kasutata peaaegu kunagi seoses mittelineaarmoonutusega, mis ilmub baasi-eelpinge puudumisel. Selle moonutuse põhjuseks on baasivoolu karakteristliku nõrkadele vooludele vastava osa mittelineaarneus. Moonutuse vähendamiseks antakse transistoride baasidele väike püsisuunaline eelpinge.

Trafoaga vastastakt-lõppastmetes kasutatakse transistoride ühendamiseks mitne-suguseid skeeme (joonis 9-18). Transistoride baasidele antakse eelpinge pingegajuri R_b, R_{b2} abil. Skeemil joonisel 9-18, a kasutatakse kõige sagedamini,

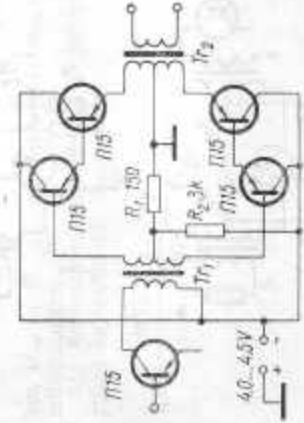
26 Raadioamatööri käsiraamat



Joon. 9-18. Vastastaktliituses lõppastmeid transistoridega:
a — emitterliitus, b — baasliitus, c — kollektorliitus

sest see lagab suurima võimsusvõimenduse. Transistoride võimalikult ühtlaslikuma läbivõimenduse ja maksimaalse võimsuse saamise vajaduse puhul on tulus kasutada joonisel 9-18, b esitatud skeemi. Baasliituses transistorid lubavad valida maksimaalselt võimaliku toiteallika pinget ja ka tugevate kollektorivoolude korral hoida mittelineaarsuse suhteliselt väikse. Transistoride asendamisel astme karakteristikud peaseguga ei muutu, järelikult puudub ka tarvidus valida astme kummagi öia jaoks täpselt ühesuguste parameetritega transistorid.

Kui on vaja hoida mittelineaarsuutlus väga väike, tuleb kasutada skeemi joonisel 9-18, c, kus transistorid on kollektoriliituses. B-režiimi puhul tagab see skeem võimendi hea kasutegur. Astme õlgade voolude ühustamiseks võib transistoride baasiahelatesse ühendada väikese takistusega takistid.



Joon. 9-19. Vastastaktaste liittransistoridega

Madala pingega toiteallikate puhul on otstarbekas kasutada kollektoriliitust ja liittransistori (joon. 9-19). Väga tugeva negatiivse tagasiside tõttu on siin mittelineaarsuutlus väike ka nõrkade sisendpingete korral.

Sisendtrafo T_1 võib mähkida permalliofindist valmistatud toroidsüdamikule, mille välisläbimõõt on 23 mm, siseläbimõõt 12 mm ja indilatus 12 mm. Primaarmähisel on 700 keerdu (13,7 0,11) ning sekundaarmähisel 1600 + 1600 keerdu (13,7 0,07). Induktivsus on primaar-

mähisel umbes 1,5 H ja sekundaarmähisel 25 H.

Väljundtrafo T_2 võib valmistada südamikul III9x5. Primaarmähise moodustab 200+200 keerdu 0,15-mm läbimõõduga ja sekundaarmähise (6-oomise koormuse puhul) — 50 keerdu traati П3,7 0,5.

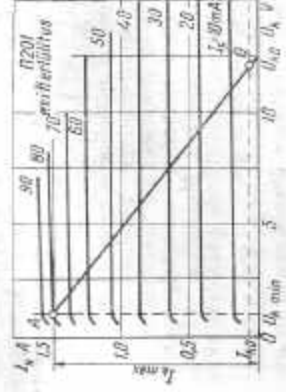
Transistoride valikul B-režiimis vastastakt-lõppastme jaoks tuleb juhinduda nõudest

$$P_A \text{ max} > \frac{P_1}{5,5\eta_{tr}}; U_A \text{ max} > 2E.$$

kus P_1 on kasulik võimsus koormusel, η_{tr} — väljundtrafo kasutegur (vt 5. ptk.), $P_A \text{ max}$ — maksimaalne lubatud kaovõimsus kollektoril, $U_A \text{ max}$ — maksimaalne lubatud kollektoringe, E — toiteallika pinget.

Transistoride režiimi valikute tuleb määrata staatiliste väljundarakteristikute sarjast (joon. 9-20) lineaarse ala piiiril. Minimaalpinge kollektoril $U_{k \text{ min}}$ peab vastama kollektorivoolu karakteristikute lineaarosa algusele (väikese võimsusega transistoride П13...П15 ja П8...П11 $U_{k \text{ min}} = 0,5 \dots 1,0$ V). Kollektorivooluks talituspunktil I_{k0} valitakse 3...5% antud tüüpi transistori maksimaalvoolust (transistoride П13...П15 ja П8...П11 puhul $I_{k0} = 0,6 \dots 1,0$ mA).

Talituspunkt paikneb sirge $U_A = U_{k0} \approx \approx E$ ja sirge $I_A = I_{k0}$ lõikepunktis (O joonisel 9-20). Transistori baasile tarvilik eelpinge määratakse sisendkarakteristi-



Joon. 9-20. Vastastaktliitluses transistoriõppastme õnaamilise karakteristikute määramine

kult. Maksimaalsele moonutusvabale võimsusele vastab vahelduvvoolu koormussingele lõik OA.

Maksimaalne koormusele antav kasulik võimsus

$$P_1 = \frac{(U_{A0} - U_{k \text{ min}})(I_{k \text{ max}} - I_{k0})}{2} \eta_{tr}$$

Transistori kollektoril vähenev suurim kaovõimsus

$$P_A \approx 0,1 E I_{k \text{ max}}$$

Koormustakistus transistoride kollektorile ahelas

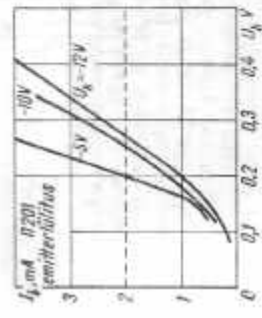
$$R_A = \frac{E - U_{k \text{ min}}}{I_{k \text{ max}} - I_{k0}}$$

Väljundtrafo ülekandegur

$$n = 0,5 \sqrt{\frac{R_v}{\eta_{tr} R_A}}$$

Transistoride baasiahelates leiduvate takistite takistus valikul lähtutakse režiimi stabiilsuse nõudeist (vt lk. 398). Juhul kui võimendi on kavandatud töötamiseks kitsamas temperatuurintervallis, tuleb lema õknoomsuse suurendamise huvides valida baasiahelate pingejaguri arvutamisel jaguri läbivool võrdne või pisut väiksem ühe transistori maksimaalsest baasivoolust.

Näide. Valida transistori П201 optimaalne režiim töötamiseks vastastaktluses baasiliitkul pingel 12 V. Koormuse takistus on 5 Ω.



Joon. 9-21. Transistori П201 sisendkarakteristikud

Võtame $U_k \text{ min} = 1$ V, $I_{k0} = 0,05$ A (joon. 9-20) ja määrame orienteeritult baasivoolu $I_{b0} = 2$ mA. Sisendkarakteristikult (joon. 9-21) leiame taas orienteeritult $U_{k0} = 12$ V jaoks baasieelpinge $U_{b0} = 0,3$ V. Transistoride П201 maksimaalne kollektorivool $I_{k \text{ max}} = 1,5$ A. Eeldame, et $\eta_{tr} = 0,5$.

$$P_1 = \frac{(12 - 1)(1,5 - 0,05)}{2} \cdot 0,6 = 4,5 \text{ W}$$

$$R_A = \frac{12 - 1}{1,45} = 7,6 \Omega, n = 0,5 \sqrt{\frac{5}{0,5 \cdot 7,6}} = 0,52$$

Baasieelpinge täpsustataks võimendi väljareguleerimisel.

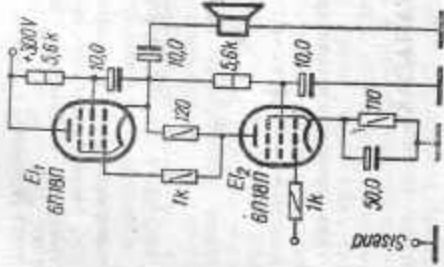
9-6. TRAFOTA VASTASTAKTI LÕPPASTMED

Trafota lõppastmetele on iseloomulik skeem lihtsus, traafoga astmega võrreldes suurem stabiilsus, väikesed mõõtmed ja mass. Trafota lõppastmete puuduseks on suurem mittelineaarsuutlus ja transistortõrjendite puhul ka väiksem võimsusvõimendus.

Trafota lõppastmetes võib kasutada tugevamat negatiivset tagasisidet kui traafoga astmetes. See võimaldab vähendada mittelineaarsuutlust väärtuseni, mis ei ületa traafoga astmete mittelineaarsuutlust.

Elektronlampidega traafota lõppastmed. Levinum on nn järjestikune vastastakt-aste (joon. 9-22 ja 9-23). Sellise astme puuduseks on tarvidus kasutada kahekordset anoodtoitepinget, sest alalisvoolu suhtes on lambid ühendatud järjestikku. Võimendi tööerakendamiseks tavalisest toiteallikast saadaval pingel (250...300 V) tuleb kasutada lampe, mis madalal anoodpingel (120...150 V) omaksid väikset sisetaktistust ja annaksid piisava võimsuse. Selliseks lambiks võib olla 6П18Л. Järjestikune vastastaktaste lampidega 6П18Л annab toitepingel 300 V ja 800-Ω koormustakistuse puhul vahelduvvõimsust 6...8 W.

Trafota võimendites osutub lambi EL1 varivorehelas paikneva skeemi järgi ülemine takisti (joon. 9-22) vahelduvvoolu jaoks rõõbitiseks koormusega, mistõttu väheneb kasulik väljandvõimsus. Selle varivõrktakisti takistuse suurendamisel langeb pinget varivõrel ning järelikult



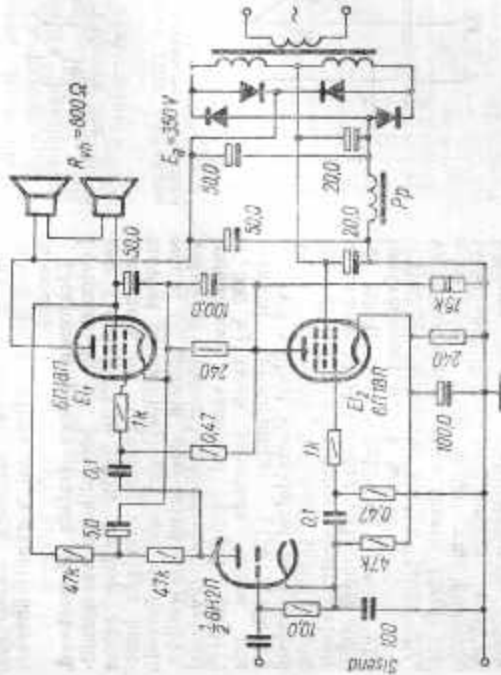
Joon. 9-22. Lihtsaima trafota lõppastme skeem

väheneb ka lampide arendatav väljundvõimsus. Varivõretaktisti võib asendada paispooliga, mille induktiivsus on vähemalt 5 H. Lambi EL_2 varivõret pole samuti

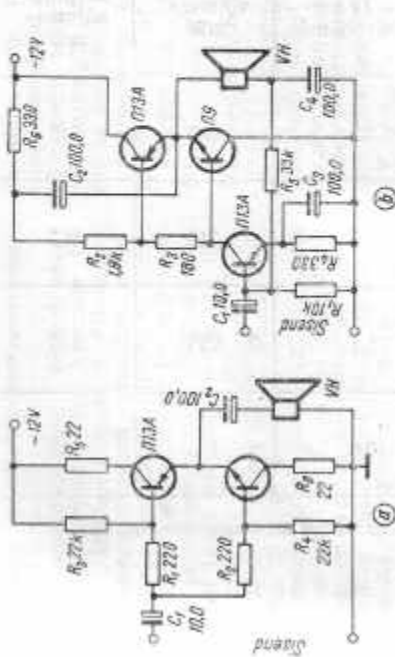
soovitav toita suure takistusega eel-takisti kaudu, sest siis suureneb mitte-lineaarmoonitus. Sobivamaks tuleb pida-da sellele elektroodi toitmist iseiselsvast aladist.

Joonisel 9-23 on faasipööramisastme ja trafota lõppastme skeem, milles lambi EL_1 varivõret toidetakse läbi väljuhäälda ja ning lambi EL_2 varivõret spetsiaalselt aladist. Läbiöögi võimaluse kõrvaldamiseks võnkepooli ja magnetisüsteemi vahel tuleb väljuhääldaja kest ühendada anooditoiteallika plussklemmiga. Anood-toiteallika pingel 250 V on selle võimendi väljundvõimsus umbes 3 vatti ja pingel 350 V kuni 10 vatti. Sellist võimendit on sobiv kasutada kõrgema klassi radioaia-des ja vastuvõtjates.

Transistoridega trafota lõppastmed.
Lihtsaimad trafota lõppastmete skeemid saadakse erinevat juhtivustüüpi transistoride paari kasutamisel (*r-p-n*- ja *p-n-p*-transistorid), sest nende puhul puudub vajadus faasipööramisastme järele. Joonisel 9-24 on erinevat juhtivustüüpi transistoridega vastastakt-emitterjärgijate skeemid. Baasidele vajalikud väikesed eel-pinged luuakse baaside vahele ühendatud takistitega.

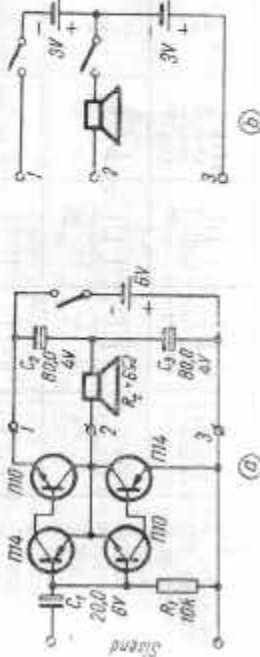


Joon. 9-23. Faasipööraja ja trafota lõppastme skeem



Joon. 9-24. Vastastaktlihtuses emitterjärgijad:

a — mahtuvusidestus eelneva astmaga, b — vahetu sidestus



Joon. 9-25. Erinevat juhtivustüüpi transistoridega trafota lõppaste:

a — skeem, b — koormuse ühendamise variant

Selliste astmete väljundvõimsus koormuse takistuse 30...40 Ω puhul on 100...150 mW.

Erinevat juhtivustüüpi transistoride paariga trafota lõppastmete tundlikkus on lään suuremale võimsusvõimendusele suurem kui tavaste lülituste puhul ja mitteäärmoonitus on väiksem. Joonisel 9-25, a on kõrge (kuni 70%) kasuteguriga lõppastme skeem. Aste töötab β -režiimis ja signaali pindumisel voolu peaaegu ei tarbi. Nimiväljundvõimsus on 250 mW. Taasesitav sagedusala on 200...10 000 Hz. Sisendtakistus on 5...8 kΩ.

Transistoride 7M4 ja 7M10 asemel võib kasutada vastavaid transistore 7M13 ja 7M18, samuti ka ränitransistore 7M102 ja 7M104 või 7M103 ja 7M105. Paarideks ei tohi liita germaanium- ja ränitransistore, kuid võrd nende karakteristikud on tunduvalt erinevad.

Joonisel 9-25, b on esitatud lõppastme koormuse ühendamise variant. Sellises skeemis ei vajata suure mahtuvusega kondensaatoreid, samuti pole nõuded transistoride karakteristikute identsusetele nii ranged, kuid tekib vajadus kahe toiteallika järele. Seda skeemi on otstarbekas rakendada juhtumitel, kui toiteallikana

Tabel 9.5

Toite- pinge V	Elektr. rood	Mittespinge transistori elektroodidel V				Transistoride T ₁ ja T ₂ kol- lektorvool mA	Tartitav võimsus mW	Kasulik võimsus mW
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄			
12	A e b	-11,6 -6,2 -0,75	-0,16 -6,2 -6,0	-6,2 -1,2 -11,6	-6,2 -1,2 -11,6	-6,2 0 -0,16	600	345
9	A e b	-4,8 -0,43 -0,57	-0,15 -4,8 -4,8	-1,85 -9 -4,8	-1,85 -9 -4,8	-1,85 0 -0,15	315	185
8	A e b	-4,3 -0,37 -0,52	-0,13 -4,3 -4,14	-4,3 -8 -7,8	-4,3 -8 -7,8	-4,3 0 -0,14	250	140
6	A e b	-3,45 -0,35 -0,48	-0,13 -3,5 -3,4	-3,5 -6 -3,4	-3,5 -6 -3,4	-3,5 0 -0,13	155	85

Märkus 1. Tabelis on keskised andmed. Transistoride erinevate eksemplaride puhul võivad need mõnevõrra erineda.
2. Tähisted: A — kollektor, e — emitter, b — baas.

kasutatakse paarisarvu galvaanielementide või akude.

Mittelineaarmoootuse vähendamiseks trafola lõppastmetes võib kasutada AB-režiimi. Joonisel 9-26, a on AB-režiimis lõppastmega võimendi praktiline skeem. 9-võimendit toitepingel suudab võimendit anda koormusele võimsust 190 mW kasutegurijäures umbes 60%. Signaali puudumisel tarbib võimendi voolu 2,5 mA. Oskantav sagedusala on 50...20 000 Hz, sisendtakistus umbes 300 Ω ja väljundtakistus 20...25 Ω.

Võimendi töötab korralikult vaid siis, kui transistoride T₁ ja T₂ toitepingete võrdsus on tagatud ka toiteallika pingele võimalkul muutumisel. Selle tingimuse täitmiseks on võimendi hõimatud tugeva negatiivse alatisvoolu-tagasisidega (läbi takisti R₁).

Transistoride alatisvoolurežiim reguleeritakse välja takisti R₁ takistuse valikuga (transistori T₁ antud kollektorivoolu juures) või transistori T₁ kollektorivoolu muutmiseiga teatavates piirides (takisti T₁ valitud väärtuse juures). Transistoride režiimid erinevate toitepingete jaoks on tabelis 9-5.

Joonisel 9-26, b on transistoride ühendamise variant võimendi lõppastmes. Sellise ühendusviisi korral võimendi tehnilised andmed ei muutu. Skeemil eelistaks on võimalkul kasutada lõppastmes sama juhtivustüüpi transistore. Eriti oluline on

see võimsamate võimendite konstrueerimisel (käesoleval ajal ei toodeta suurema võimsusega n-p-n-transistore). Transistoride analoogilist ühendusviisi on kasutatud ka skeemides joonistel 9-63 ja 9-65.

Allpool toome andmeid trafola transistorilõppastmete arvutamise kohta.

Maksimaalne pingeaampitvud koormusel

$U_{max} = 0,5E - \Delta E$, kus E on toiteallika pinge, ΔE — pinge kollektoril, millest algab kollektorivoolu karakteristilise lineaarne osa. Pinge ΔE oleneb kollektorivoolust ja transistori tüübist (tavaliselt $\Delta E = 0,5 \dots 1,5$ V).

Koormusele antav võimsus

$$P_t = \frac{U_{max}^2}{2R_t}$$

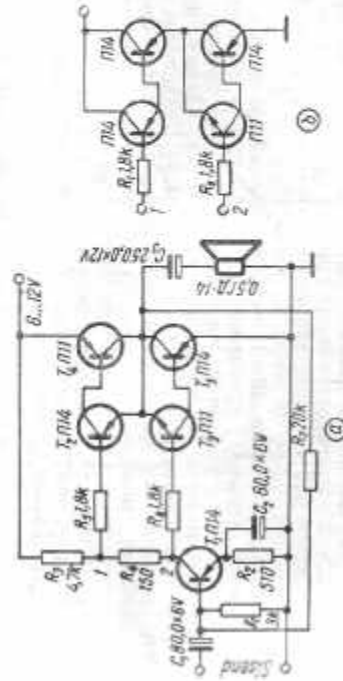
kus R_t on koormuse takistus.

Maksimaalne kollektorivool

$$I_{h, max} = \sqrt{\frac{2P_t}{R_t}}$$

Toiteallikast tarbitav keskmine vool

$$I_{h, s, m} = 0,32I_{h, max}$$



Joon. 9-26. Erinevat juhtivustüüpi transistoridega lõppastel omad madalsagedusvõimendid:
a — skeem, b — lõppastne transistoride ühendamine variant

Kastitegur

$$\eta = 0,78 \left(1 - 2 \frac{\Delta E}{E} \right)$$

Transistori kollektori kaovõimsus

$$P_h = P_i \frac{1 - \eta}{2\eta}$$

Kui toiteallika pinget pole määratud, siis saab seda arvutada valemiga

$$E = 2(\sqrt{2}P_i R_i + \Delta E)$$

Väärtused P_h , $I_{h, max}$ ja maksimaalne kollektoripinge ei tohi ületada valitud transistori puhul ettenähtud maksimaalselt lubatud väärtusi. $U_{h, max}$ trafota astmetes ei ületa toitepinget E .

Näide. Määrata transistoride tüüp, autoraadio võimendi trafota lõppastme joht. Toitepinge on 12,0 V ja koormuse takistus 6 Ω.

$$U_{max} = 0,5 \cdot 12,0 = 6,0 \text{ V}; P_i = \frac{E^2}{2 \cdot 6} = 2 \text{ W};$$

$$I_{h, max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{6}} = 0,83 \text{ A};$$

$$I_{keskm} = 0,32 \cdot 0,83 = 0,26 \text{ A};$$

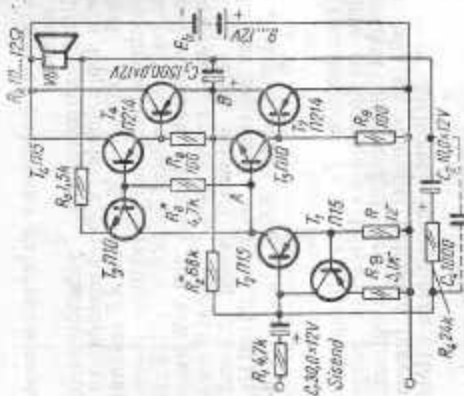
$$\eta = 0,72 \left(1 - 2 \frac{1,3}{12,0} \right) = 0,66;$$

$$P_h = 2 \cdot \frac{1 - 0,66}{2 \cdot 0,66} = 0,62 \text{ W}.$$

Sobivad on transistorid П301, П302, П303 või П113.

Trafota lõppastmete temperatuuristabiilsus on nõutav võimendis, mis peavad tööama temperatuuril kuni 40...50 °C. Stabiilsesimata võimendite puhul, milles on trafota lõppastmed toimimise ümbriseva õhu temperatuuril kõrgemisel 30...40 °C-ni korraga mitmes transistoris soojuslik läbitõkk.

Trafota transistorvõimendite temperatuuristabiilsuseimiseks on lisaks alalisvoolu-tagasiteele (vt joon. 9-24, b ja 9-26), mis stabiliseerib lõppastme voolu signaali puudumisel, vajalik veel täiendav stabiilsesimüsteem. Emmitterialhase stabiilsesimistakisti ühendamine antud juhul kohane pole, sest see vähendaks järsult kasuliku väljundvõimsust. Lõppastme transistoride voolu stabiliseer-



Joon. 9-27. Trafota võimendi, kus temperatuuristabiilsesimiseks on täiendav traansistor

imiseks tuleb temperatuuri fookusimisel vähendada baasi-eeipinget. Selleks võib kasutada täiendavat transistori T_3 (joon. 9-27). See transistor peab olema monteeritud võimsust transistoride lähedusse (nendega ühisele radiaatorile), sest ta reguleerib eeipinget sõltuvalt nende kuumemiseast.

Signaali puudumisel võimendi sisendis määrab transistori T_3 kollektorivoolu takisti R_5 takistus ja toitepinge. Sel juhul on transistor T_3 peaaegu täiesti avatud. Tema baasivool, mis läbib takistit R_6 , tekitab lõppastme transistoridele tarviliku eeipinge.

Umbruse temperatuuri fookusimisel või võimsust transistoride kuumemisel transistori T_3 vooluvõimendustegur kasvab ja baasivool väheneb, stabiliseerides niivõisi lõppastme režiimi.

Jõudseisundis (signaali puudumisel) hoitakse pinget lõppastmel transistori T_1 abil ja takisti R_7 kaudu toimiva alalisvoolu-tagasiteele abiliigitaudu võrdne poolega toiteallika pingest. Astme voolu signaali puudumisel saab määrata takisti R_8 takistuse sobiva väikse teel. Selle takistuse suurendamisel halveneb stabiilsus, ülemäärastel vähendamisel võib aga ilmuda ülekoormuseerimine.

Takistus-mahtuussidestuses eelvõimendusastmed

Takisti R_0 takistus valitakse selliselt, et transistoride T_6 ja T_7 vool jõudseisundis oleks normaaltemperatuuril (+20 °C) puhul piirides 10...20 mA.

Joonisel 9-27 esitatud skeemiga võimendil väljundvõimsus oleneb toiteallika pingest ja koormuse takistusest. Seda saab arvutada ülalolevat valemitega. Oletame, et väljundvõimsus on 30...20 000 Hz ebaühtlusega ±3 dB. Kasulades kondensaatorit C_4 (skeemil punktirõng), võib lüüsaagedusarakteristikku languse 8 kHz ülevõimendusele.

9-7. LÕPPASTME JA VALJUHÄÄLDAJA VAHELINE MÕJU

Valjuhääldaja näivtakistus sõltub suurel määral sagedusest. Ta on vähim 400 herts lähedastel sagedustel, mille juures seda avaliselt ka moodetakse. Võnkesüsteemi resonantsisagedusel (alla 100 Hz) ja sagedusel 10 000 hertsit lähikonnas on valjuhääldaja näivtakistus mitu korda suurem (joon. 9-28). Seetõttu tõuseb väljundpinge, s.o. pinget valjuhääldaja võnkesüsteemi resonantsisagedusel ja kõrgetel helisagedustel (trioodide puhul vähemärgatavalt, kuid pentoodide ja jugatetroodide puhul väga järsult).

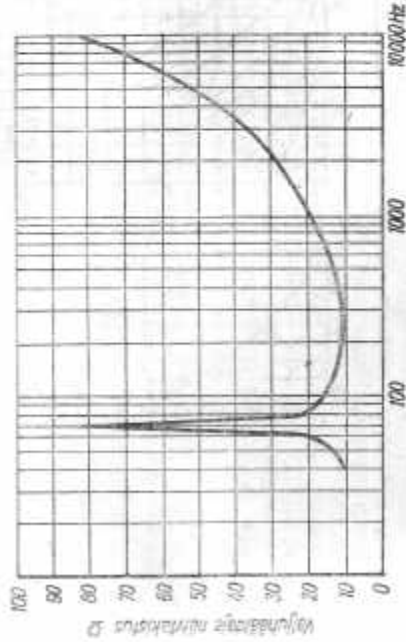
Valjuhääldaja takistuse suuremiste kompensatsiooniks kõrgetel helisagedustel on olstarbikas kasutada pentoodi või jugatetroodi anoodalavas korrigeerivat kondensaatorit ja takistit (vt joon. 9-6, d). See vähendab kõrgetel sagedustel ni liinear- kui mitte lineaarvõimendust. Takisti R takistus on tavaliselt 8...30 kΩ ja kondensaatori C mahtus 0,01...0,05 μF.

Valjuhääldaja talitlusingimused parenevad ka võimendi väljundtakistuse vähendamisel, sest see sildab valjuhääldajat ja suurendab niivõisi võnkesüsteemi summaarvõnkesüsteemi sagedusarakteristikku ning väheneb siirdemoonutus.

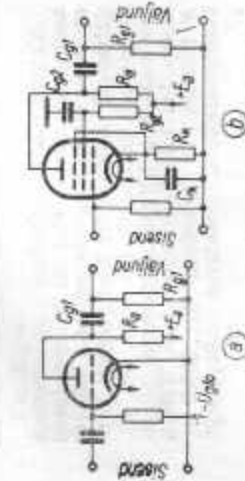
Võimendi väljundtakistuse vähendamiseks võib lõppastmes kasutada trioode. Võimendi väljundtakistus väheneb tunduvalt, kui lõppastmes on kasutatud negatiivset pingetagasitist.

9-8. TAKISTUS-MAHTUUSIDESTUSES EELVÕIMENDUSASTMED

Lampidega takistus-mahtuussidestuses võimendusastmete tüüpkoemid on joonisel 9-29 ja andmed nende astmele kohta tabelites 9-6 ning 9-7. Astme koormuseks



Joon. 9-28. Dünaamilise valjuhääldaja näivtakistuse sõltuvus sagedusest

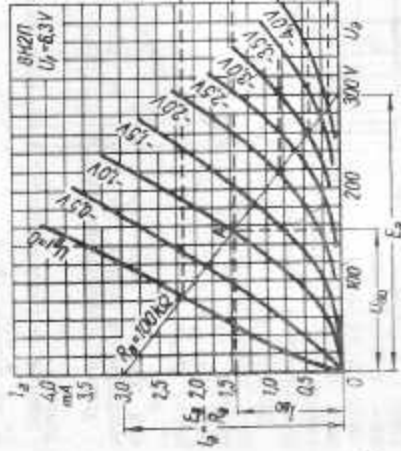


Joon. 9-29. Takistus-mahitvussidesustuses võimendite skeemid: a — trioodiga; b — pentoodiga

vahelduvvoolule osutub rõõplülitus anoodihela takistist R_0 ja sidestusahelast ning järgneva astme võretakistist $R_{\#1}$. Lambi võre saab kafoodahelasse ühendatud takistist automaateelpinge.

Takistus-mahitvussidesustusega võimendusastmeis, mis töötavad helisagedusalas (kuni 10...15 kHz), kasutatakse enamasti suure võimendusvõimega trioode, mis puhul võib saada kuni 50...70-kordse võimenduse. Kui astme võimenduseks peab olema 100...200, tuleb kasutada pentoode.

Lambi talitusrežiim takistus-sidesustuses töötavas astmes määratakse anoodkoormustakisti takistuse R_0 , anoodil mõjuva



Joon. 9-30. Takistus-mahitvussidesustuses karakteristliku konstrueerimine

pinge U_a , tüürvõre-eelpinge $U_{\#0}$ ja varivõrepinge $U_{\#3}$ väärtusega.

Trioodide puhul valitakse takistus R_0 tavaliselt 2...4 korda suurem sisetakistusest R_i , pentoodide puhul aga piirides 50...500 kΩ. Takistuse R_0 suurendamisel kasvab võimendus, kuid koos sellega suureneb sagedusmõnutus kõrgematel sagedustel.

Pingete U_a ja $U_{\#0}$ määramiseks tuleb staatiliste anoodkarakteristikute sarjas konstrueerida dünaamiline karakteristlik (joon. 9-30). Dünaamiline karakteristlik on sirge, mis peab ühendama anoodjoonlika valitud pingele E_a vastavat rõhtteije punkti ja püstteije punkti, mis vastab voolule $I_a = E_a/R_0$.

Talituspunkti määramiseks konstrueeritakse dünaamiline karakteristlik võrepinge-anoodvoolu koordinaadistikku. Talituspunkt A asetatakse dünaamilise karakteristliku sirgosa keskele. Joonisel 9-30 esitatud konstruktioonis saame, et $U_{\#0} = -1$ V, $U_{a0} = 155$ V, $I_{a0} = 1,4$ mA. Vahelduvpinge maksimaalne amplituud tüürvõrel, mille puhul võrevool praktiliselt puudub ja moonutus võimendamisel on väike,

$$U_{\#0\#1} = U_{\#0} - (0,3 \dots 0,5) \text{ V.}$$

Pentoodi talitusrežiimi valikul tuleb R_0 suure takistuse puhul (üle 200...300

Table 9-6

Madalsagedusvõimendi lampitrioodiga eelastmete andmed

Lambi tüüp	E_a , V	R_0 , kΩ	R_0 , kΩ	K
6H11T	180...230	47 100 220	1,0	11...15
			2,2	
			6,2	
6H21P	230...280	47 100 220	1,0	16...22
			1,5	
			4,7	
6H31T	180...230	100 220	1	30...45
			2	
			—	
6F31T	150...200 200...280	100 100	—	35...40 40...50
			—	
			—	
6Φ11T (trioodsüsteem)	150...250	47 100 220	1,0	14...20
			3,0	
			4,7	
6Φ31T (trioodsüsteem)	150...250	47 100 220	1,0	25...35
			2,2	
			2,2	
6H11T (trioodsüsteem)	150...250	47 100 220	1,0	11...15
			1,5	
			3,3	

Märkus 1. Lambi 6F31T andmed on antud maandatud katoodiga liitluse jaoks; võreäravoolu-takisti takistus 10 MΩ.
2. Kafoodahela kondensaatori C_k mahitvus peab olema vähemalt 30 nF.

kΩ) valida käsiraamatutes loodud nimivõimendusest väiksem varivõrepinge. Vastasel korral kujuneb dünaamiline karakteristlik lamendaks, võimendus väikeseks ja moonutus suureks. Dünaamilise karakteristliku konstrueerimiseks madalaladul vari-võrepingel $U_{\#0}$ tuleb kasutada sellele pingele vastavat anoodkarakteristiku sarja. Seda võib üles võtta võt ümber-arvutamise teel saada olemasolevast sar-

ja. Viimasel juhul tuleb arvestada, et anoodvoolu sõltuvus varivõrepingest on 3/2-astme funktsioon.

Režiimi valimise järel määratakse lambi parameetrid μ ja R_0 talituspunktis (vt. 8. ptk.).

Lambiga astme arvutamine. Võretakisti takistus $R_{\#1}$ valitakse 5...10 korda suurem takisti R_0 takistusest, kuid mitte üle

Tabel 9-7

Madalsagedusvõimendi pentoodiga eelastmete andmed

Lambi tüüp	E_0 V	R_n kΩ	R_a Ω	R_{g2} kΩ	K
6Ж3П	100...150	100 220 470	560...680 560...680 1500...2200	470...680 470...680 1000...2000	100...140 150...180 180...220
	200...250	100 220 470	560...680 560...680 1500...2200	470...680 470...680 1000...2000	150...190 200...280 280...340
	150...250	100 220 470	560...680 560...680 1000...2000	470...680 470...680 1000...2000	100...150 160...200 200...240

2...3 MΩ. Eelastne (s.o. lõppastet tüüriva astme) puhul ei tohi R_{a1} takistus ületada lõpplambi võreahelas lubatud taoliste maksimaalset väärtust. Näiteks lambil 6П13С ei tohi R_{a1} olla suurem kui 0,25 MΩ.

Sidesfusioonisaatori mahtuvus

$$C_{g1} \geq \frac{150}{f_m R_{g1}} \mu\text{F}$$

$$f_m R_{g1} \sqrt{M_m - 1}$$

kus f_m on sageduspiirkonna madalaim sagedus Hz, R_{g1} — võretakisti takistus kΩ, M_m — lubatud sagedusmoonutustegur madalate sageduste piirkonnas (tavaliselt $M_m = 1,1 \dots 1,3$).

Sidesfusioonisaatoriteks tuleb valida hea isolatsioonitakistusega kondensaatorid. Kõige sobivamad selleks on viik- ja kilekondensaatorid (vt. 3. ptk.).

Automaatlepingestustakisti takistus

$$R_A = \frac{U_{g0}}{I_{a0} + I_{g2}} \cdot 10^3 \Omega,$$

kus U_{g0} on filüüvõre-ehelinge V, I_{a0} — anoodivoolu alaliskomponent mA, I_{g2} — varivõre vool mA.

Automaatlepingestustakistit süldava kondensaatori mahtuvus

$$C_A \geq \frac{1 \dots 2}{f_m R_A} \cdot 10^6 \mu\text{F}$$

kus f_m on antud sageduspiirkonna madalaim sagedus Hz, R_A — automaateelpeingestus- (katood-) takisti takistus Ω.

Varivõreahelas asetseva eeltakisti takistus

$$R_{g2} = \frac{E_a - U_{g2}}{I_{g2}} \text{ k}\Omega,$$

kus E_a on anooditoiteallika pingeline V, I_{g2} — varivõre vool mA.

Takisti R_{g2} takistuse saab leida ka tabelist 9-7.

Pentoodi varivõreahela kondensaatori mahtuvus

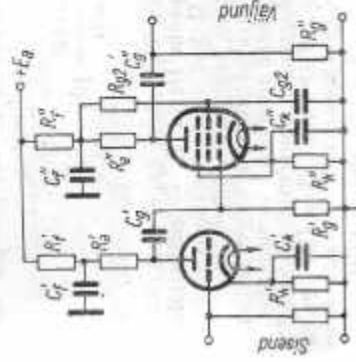
$$C_{g2} \geq \frac{1 \dots 2}{f_m R_{g2}} \mu\text{F}$$

kus f_m on antud sageduspiirkonna madalaim sagedus Hz, R_{g2} — varivõre eeltakisti takistus MΩ.

Astme võimendus keskmiitel sagedustel

$$K_0 = \frac{\mu}{1 + \frac{R_a}{R_n} + \frac{R_i}{R_{e1}}}$$

Mitmeastmelised võimendid. Kui ühe astme võimendusest ei piisa, siis ühendatakse järjestikku kaks või enam astet, nii nagu on kujutatud joonisel 9-31. Täiendavaks elementideks üheaastmelise võimendiga võrreldes on selles lülituses kummalgi astme anoodahelasse ühendatud lahtisidestusfiltrid $R_f C_f$. Nende filtrite ülesandeks on kõrvaldada võimendusastmete vahel anooditoiteallika kaudu tekkinud parasiline tagasisidesüsteem.



Joon. 9-31. Kaheaastmelise takistussidesüsteem võimendi skeem

Lahtisidestusfiltri takisti R_f takistus valitakse tavaliselt piirides (0,1...0,2) R_{a0} .

Kondensaatori C_f mahtuvus

$$C_f = \frac{20 \dots 50}{f_m R_f} \mu\text{F}$$

kus f_m on antud sageduspiirkonna madalaim sagedus Hz, R_f — filtertakisti takistus MΩ.

Transistoridega takistus-mahtuvussidesüsteemide võimendid on skeemil lihtsad välise kee massi ja mõõtmega, pika tööeaga ja alalisvoolu osas hõlpsasti stabiliseeri-

tavad. Neid kasutatakse kõige rohkem, kuigi nende puuduste hulka tuleb lugeda järgneva astme sisendi ja eelneva astme väljundi halba sobitavust. Levinum on silni emitterlülitus, sest see tagab maksimaalse võimenduse. Et astme koormustakistus vahelduvvoolule on järgneva astme sisendtakistuse näol antud, on võimendusvõimenduse maksimumiga ka pingevõimenduse maksimumiks.

Lihtsamad takistus-mahtuvussidesüsteemidele skeemid on joonisel 9-2, a ja b. Neid võib rakendada võimendites, mis töötavad väikeses talitus temperatuuride vahemikus (10...20°C). Juhul kui võimendi peab töötama avaramas temperatuurivahemikus, tuleb kasutada režiimi stabiliseerimist (vt. § 9-2).

Kui toiteallika pingeline ei ole antud, siis tuleb tema voolikut juhindada seltest, et suurema toitepinge puhul suureneb astme võimendus, sest siis saab kollektorihelata takisti R_k takistust suurendada. Kuid samaaegselt väheneb astme kasutegur. Kõrgema toitepinge korral saab suurendada emitteriahela takistust R_e , sellega transistori režiimi stabiliseeritud parandades. Võimaluse korral tuleb toitepinge valida piires 8...12 V.

Transistori talitusrežiimi voolikut tuleb arvestada, et kollektorivoolu vähenemisel suureneb astme kasutegur, kuid halveneb režiimi temperatuurstabiilsus. Tavaliselt valitakse ökonoomilistel kaalutlustel eelvoimendusastmete transistoride kollektorivool 1...2 mA piirides. Sel juhtumil peab baasi ja emitteri vaheline ehelinge olema 0,1...0,5 V (väikese võimsusega transistoride, näiteks П13...П16 korral). Pingeks kollektoril valitakse umbes pool toiteallika pingest. Kollektoripingeline väheneb kahaneb astme võimendus. Selle pingeline vähendamine (mõnikord alla 2...3 V) on otstarbekas esimestes võimendusastmetes, kus tüüpinged on väikesed. Sellega saab märgatavalt kahan-dada transistoride omamiratasel.

Termostabiiliseeritud astme lülituselementide elektrilised suurused valitakse joonisel 9-4, a toodud skeemi puhul orientiivalt järgmistele valemitele.

Kollektori-emitteriahelas paiknev takistus

$$R_{k0} = R_k + R_e = \frac{E_k - U_{k0}}{I_{k0}} \text{ k}\Omega,$$

kus E_k on toiteallika pinge V , U_{k0} — pingepinge kollektoril V , I_{k0} — kollektorivool mA.

Basiaahela pingesuguri ekvivalenttakistus

$$R_{b, ek} = \frac{R_{b1}R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = \frac{3 \dots 10}{\beta_{112}}$$

kus β_{112} on transistori parameeter (vt. 8. ptk.). Takistuse $R_{b, ek}$ suurendamisel kasvab astme sisendtakistus, kuid väheneb võimendus (eeldusel et ebasabiilsustegur jääb muutumatuks). Liiga suure $R_{b, ek}$ puhul et õnnestub saada nõutavat stabiilsust.

Emitteriahela takisti R_e takistus

$$R_e \approx \frac{R_{b, ek}}{S_m - 1}$$

kus S_m on mittestabiilsustegur. Tavaliselt amatöörkonstruktsioonide puhul võib võtta $S_m = 3 \dots 6$.

Kollektoriahela takisti takistus

$$R_k = R_{b1} - R_e$$

Basisi pingesuguri takistite takistused

$$R_{b1} = \frac{E_k R_{b2}}{E_k - U_{k0}} \left(1 + \frac{R_b}{R_c} \right)$$

$$R_{b2} = \frac{R_{b1} R_{b2}}{R_{b1} - R_{b2}}$$

Astme pingevõimendus

$$K_x = \frac{y_{21e}}{y_{22e} + y_t}$$

kus y_{21e} ja y_{22e} on transistori parameetrid (vt. 8. ptk.) ja y_t — astme koormuse juhtivus. Kui koormuseks osutub järgmine aste, siis

$$y_t = \frac{1}{R_{k2} + R_k}$$

kus R_{k2} on järgmise astme sisendtakistus. Vaadeldava astme sisendtakistus

$$R_{s1} \approx \frac{R_{b1}R_{b2}}{y_{11e}R_{b1}R_{b2} + R_{b1} + R_{b2}}$$

Sama astme väljundtakistuse võib lugeda võrdseks kollektoriahela takisti R_k takistusega.

Eeldades, et sidestuskondensaatori C_d mõjul kahaneb astme võimendus ülekanalava sagedusala madalalimal sagedusel f_m 10%, võib määrata selle kondensaatori mahtuvuse seosest

$$C_d \geq \frac{0,37 \cdot 10^9}{f_m (R_k + R_e)} \mu\text{F}$$

kus R_e on järgmise astme sisendtakistus Ω ja R_k — kollektoriahela takisti takistus Ω .

Eeldades, et emitteriahelas leiduva kondensaatori mõjul kahaneb astme võimendus ülekanalava sagedusala madalalimal sagedusel 30%, võib määrata selle kondensaatori mahtuvuse

$$C_e \geq \frac{0,73 \cdot 10^6}{f_m R_e} \mu\text{F}$$

kus f_m on ülekanalava sagedusala madalaim sagedus Hz ja R_e — emitteriahela takistus Ω . Kui valida mahtuvus suurem, siis väheneb sagedusnoornitus.

Ülekanalava sagedusala kõrgeima sageduse määravad transistori võimendusomadused kõrgematel sagedustel. Transistoreid III3...III6 ja III8...III11 puhul on see tavaliselt mitukümmend kilohertsi.

Näide. Määrata transistoriga III5 temperatuurühilise astme läbilaskevõimendus. Takistus sagedusala on 100...7000 Hz, toitepinge 9 V ja astme koormustakistus on 500 Ω .

Võtame $I_{k0} = 2$ mA, $U_{k0} = 4$ V, $S_m = 3$.

Transistori parameetrid: $\beta_{112} = 1000$ sS,

$\beta_{21e} = 30000$ sS, $\beta_{22e} = 25$ sS,

$R_{k2} = R_k + R_e = \frac{9-4}{3-1} = 2000$ Ω ,

$R_{b2} = \frac{3 \dots 10}{1000 \cdot 10^{-3}} = 3 \dots 10$ k Ω .

Võtame $R_{b1} = 10$ k Ω ;

$R_e = \frac{10}{3-1} = 5$ k Ω , $R_k = 2500 - 5000$ Ω .

Märkib, et aas S_m ja R_{b2} valitud väärtuste korral tähta esitatud nõuded. Kui võtta $R_{b2} = 3$ k Ω , siis $R_e = 1,5$ k Ω ja $R_k = 1$ k Ω .

Trafosidestuse eelvoimendussagedused

Võib vähendada ka nõudeid temperatuur-stabiilsuse osas, võttes $S_m = 6$. Siis $R_{b2} = 10$ k Ω puhul saame:

$$R_e = 2$$
 k Ω , $R_k = 0,5$ k Ω .

Selle varianti korral osutub astme sisendtakistus suuremaks. Niisiis, võtame $S_m = 6$ ja $R_{b2} = 10$ k Ω järgmisena määrame:

$$R_{b1} = \frac{9 \cdot 10}{9-1} \left(1 + \frac{0,5}{2} \right) = 22$$
 k Ω .

$$R_{b2} = \frac{22 \cdot 10}{22-10} = 18$$
 k Ω ;

$$y_t = \frac{1}{500} + \frac{1}{200} = 4000$$
 sS;

$$K_U = \frac{30000}{25+4000} = 7,5;$$

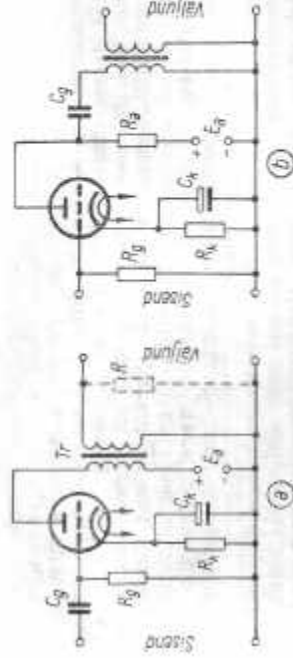
$$R_{e1} = \frac{22 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^{-3} \cdot 22 \cdot 10^3 + 20 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3} = 0,9$$
 k Ω ;

$$C_d \geq \frac{0,37 \cdot 10^6}{100(300+500)} = 7,4$$
 μF ;

$$C_e \geq \frac{0,73 \cdot 10^6}{100 \cdot 200} = 3,65$$
 μF .

Kui võtta $S_m = 5$ ja $R_{b2} = 5$ k Ω , kasvab võimendus 10-m ja sisendtakistus väheneb 0,8 kiloomini.

Võimendusastmete temperatuurühilise astme suurendamiseks võib kasutada termotakistoid. Tavaliselt ühendatakse need rööbiti takistitega R_{b2} (vt. joon. 9-14, a). Niisugusel juhul võib mitte-stabiilsustegur S_m olla väiksem ühest



Joon. 9-32. Trafosidestuse võimendi lihtsusi. a — jadetollega, b — rööplitega

või isegi negatiivne. Termotakistite kasutamisel võib suurendada baasi pingesuguri R_{b2} ekvivalenttakistust ja takisti R_e takistust, tänu millele suureneb astme kasutegur, sisendtakistus ja võimendus. Termotakistite asemel võib kasutada ka tõkkesuunas lülitatud pooljuhtidioode.

9-9. TRAFOSIDESTUSES EELVOIMENDUS-ASTMED

Astmetevahelise trafosidestusega lampvõimendi eeliseks takistus-mahtuvussidestuses võimendiga võrreldes on: 1) võimetus saada ühes võimendusastmes lambi võimendusitegurist ja suuremat võimendust, 2) võimetus saada signaali, mille pinget ületab anoodtoiteallika pinget, 3) võimetus saada madalatel või kõrgetel sagedustel tõusvat sagedusomadust, 4) võimetus saada sünteesilist väljundit. Trafosidestuse eelvoimendusastme ja sellele järgneva võimendusega režiimis löbitava vastastaktilõppastme vahel annab parimaid tulemusi.

Võrreldes takistusidestuses astmeiga on trafosidestuse puudusteks: ühiline võimenduse saamise raskus avaras sagedusala, keerukam konstruktsioon, suurem mass ja mõõtmed ning kõrgem hind.

Trafosidestuses võimendis rakendatakse jadetolget (joon. 9-32, a) või rööplite

toidet (joon. 9-32, b). Rööptoitega lülituses püüdnud lampidevahelise sidestuse trafo südamiku eelmagneetumine lambi aarivoolu pooli, mis võimaldab vähendada trafo südamiku mõõmeid. Rööptoitega lülituse püüdnud on alalisvõimselangu tekitamine takistil R_0 .

Jadaliitusega trafosidestuses võimendit kasutatakse sageli pafareitritega seadmetes.

Välkese lineaarvõimenduse saamiseks tuleb trafosidestuses astmetes kasutada väikese sisetakistusega lampe. Sobivalmateks osuvad trioodid 6C11, 6C6B, 6C28B, 6C3B, kaksiktrioodid 6H11, 6H31, 6H15Π, 6H18E, kuid ka pentoodid 6X1B, 6X2B, 6X4II, 6X5II, 6X9Π (trioodidena kasutamisel) jt.

Trafosidestuses võimendusastmetes kasutatakse peamiselt lampide tüüprezime (vt. 8. ptk.).

Jadaliituga trafosidestuses lampvõimendusastme arvutamine. Trafo üleandeguriks $n = w_2/w_1$ võetakse 1,5...4. Ülekandegurit suurendamisel kasvab küll võimendus, kuid suureneb kõrgematel helisagedustel ilmuv lineaarvõimendus.

Trafo primaarmähise takistus

$$r_1 = (0,1 \dots 0,15) R_1$$

Võimendus suureneb r_1 vähendamisel, kuid sellega kaasneb trafo mootmete ja nassi suuremine.

Trafo primaarmähise induktiivsus

$$L \geq \frac{R_1 + r_1}{\omega} \quad \text{II,}$$

$$6,3 f_m \sqrt{M_m - 1}$$

kus R_1 on lambi sisetakistus Ω , r_1 — primaarmähise takistus Ω , f_m — madalaimekantsantv sagedus Hz, M_m — lineaarvõimendustegur madalatel sagedustel ($M_m = 1,1 \dots 1,3$).

Trafo sekundaarmähise takistus

$$r_2 = r_1 n^2$$

Sagedusvõimenduse vähendamiseks kõrgel helisagedustel tuleb püüda vähendada sidestatrafo puisteindaktiivsust a trafo mähiste omamahtuvust. Seda rõõb saavutada mähiste sektsioneerimise

sega ja primaar- ning sekundaarmähise sektsioneerimise vaheldumisi järjekorraga. Ka väheneb sagedusvõimendus juhu, kui rööbiti trafo sekundaarmähisega ühendada takisti R (joon. 9-32, a). Sel puhul väheneb siiski ka võimendus.

Astme võimendus keskmistel sagedustel (takistita R)

$$K_n = \mu n$$

Trafosidestuses võimendi kateodtakisti takistus ja kateodkondensaatori mahtuvus määratakse samal viisil kui takistus- mahtuvussidestuses võimendi puhul (vt. § 9-8).

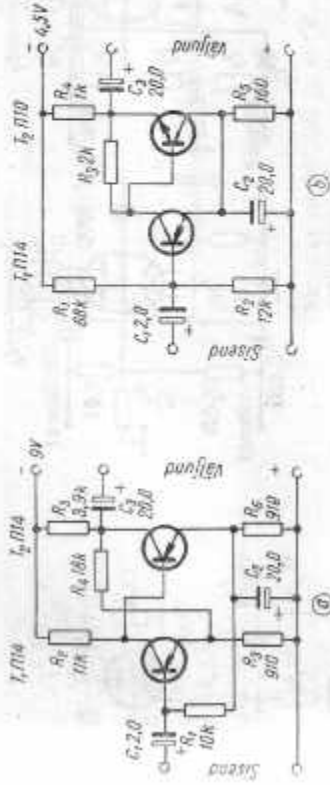
Trafosidestuses transistorvõimendid lubavad sobitada järgmise astme väikesest sisendtakistusest eelmine astme suure väljundtakistusega, millega saab maksimaalse võimendusvõimenduse. Täoliselt võimendite püüdnud on trafodest tingitud suurend mõõtetud ja mass ning kõrgem hind.

Trafosidestuses transistorastmeid kasutatakse peamiselt lõppastmetele eelnevate ning nad ehitatakse samasuguse skeemi järgi nagu lihtsast lõppastmetel (vt. § 9-4). Antud juhtumil osutub kasulikuks võimenduseks see võimendus, mida tarbib lõppastme sisendmähis. Takistite takistused ja kondensaatorite mahtuvused määratakse samal viisil kui takistus-mahtuvussidestuses võimendusastmetes (vt. § 9-8).

9-10. VAHETULT SIDESTATUD VÕIMENDUSASTMED

Transistorvõimendite astmete vahel kasutatakse sageli vahetult (galvaanilist) sidestust. Vahetu sidestusega transistorvõimendites on skeemilelemente vähem, need on kerge reguleerida, ka on mõnusesid väikesemad kui muudelt transistorvõimenditel. Samuti on need tõovõimeiliselt toitenalika pingel tunduvalt muutumisel. Vahetu sidestusega võimendites on kerge saavutada head temperatuurastabiilsust.

Vahetu sidestusega võimendite eeltoetletud eeliseid saab realiseerida ainult tugeva alalisvoolu-lagasisidestuse kasutamisel võimendi väljundist selle esimesse astmesse. Temperatuurstabiilsus on seega parem, mida suurem on üldvõimendus ja



Joon. 9-33. Astmete vahetu sidestus

mida tugevam on alalisvoolu-lagasisidestus.

Joonisel 9-33, a on skeem kahe lagasisidestusega väljundist sisendisse. Režiimi stabiliseerimine toimub pinge andruisega takistil R_5 esimese transistori baasil ja esimese astme emitterpinge muutmisega sõltuvalt takistil R_4 läbivast voolust. Selle võimendi režiim määratakse takistite R_5 ja R_4 väärtustega. Takistid R_5 ei ole kondensaatoriga sillatud, toimub võimendis negatiivne vahelduvvoolu-lagasisidestus, mis vähendab oluliselt mittelineaarvõimendust.

Joonisel 9-33, b on kabestimelise vahetu sidestusega võimendi skeem, milles on

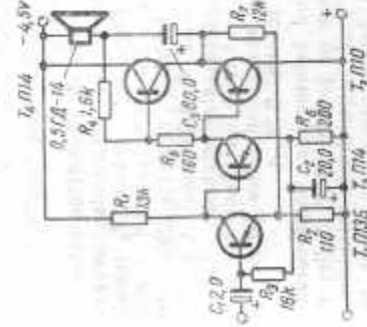
kasutatud erineva juhtivusega transistore. Transistoride režiimi reguleeritakse siin takist R_1 takistuse väikse teel.

Kõrgeastmelise vahetu sidestusega võimendi skeem on joonisel 9-34. Selles skeemis on kasutatud samasuguseid lagasisidestusi nagu skeemis joonisel 9-33, a. Täoline võimendi sobib näiteks lihtsasse kantavasse vastuvõtjasse. Teda iseloomustavad järgmised andmed: maksimaalne väljundvõimsus 80 mW sisendpinge 30 mV puhul, sisendtakistus 7 k Ω , tarbitav vool signaali puudumisel 2,2 mA, kasutegur üle 70%, taasesitav sagedusala 100...10 000 Hz, sagedus karakteristliku ebaühtlas 13 dB.

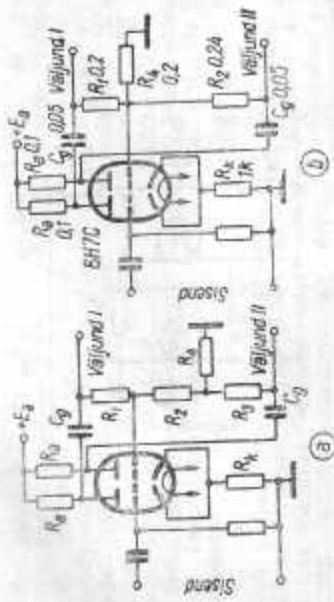
9-11. FAASIPÖÖRAMISASTMED

Faasi-pööramisastmeks nimetatakse võimendusastet, mille kahest väljundist saab kaks võrdset, kuid omavahel faasis 180° võrra nihutatud signaali pingel. Faasi-pööravaks astmeks võib olla trafosidestuses võimendusaste, kui selle sidestustrafo sekundaarmähis on varustatud keelväliatallal nendel juhtumitel, kui järgneval etappil töötah võrevooluga režiimis. Lülituse püüdnud on suuregabariidiline ja kaali trafo kasutamise vajadus.

Isetasakaalustava faasi-pööramisastme skeemid on kujutatud joonisel 9-35. Nendes saab kasutada lampe 6H11, 6H2Π, 6H31, 6H15Π jt. Joonisel 9-35, a esitatud skeemis antakse signaali pingel lambi skee-



Joon. 9-34. Vahetus sidestuses võimendi



Joon 9-35. Isetasakaalustava faasipööramisastme skeemid

m järgi parempoolse trioodüsteemi tüürvõrele pingelaguri $R_1 R_2 R_3$ kaudu. Skoosim läheleku sümmetria korral ei teki takistil R_4 pingelang. Kui sümmetria on rikunud, siis ilmub sellel takistil pingelang, mis olenevalt asümmeetria määrast suurendab või vähendab pinget lülituse parempoolse öla võrele. Skeemis joonisel 9-35, b täidavad pingelaguri ja tasakaalustamise ülesannet takistid R_1 ja R_2 . Takistite R_3 ja R_4 takistused viitakse mittevõrdsed. Nisuguse skeemi kasutamisel saadav sümmetria on pisut halvem.

Joonisel 9-35, a esitatud skeemi kohta selgitatakse järgmiselt:

1) lähtutakse takistustest R_2 (vt. § 9-8) ja $R_3 = R_1 + R_2$ vastavalt lõplampidele esitatud nõuetele (lk. 396);

2) võetakse $R_4 = (0,15 \dots 0,25) R_3$;

3) koormuse vahelduvvoolutakistus

$$R_a = \frac{R_a (R_1 + R_2)}{R_a + R_1 + R_2};$$

4) astme võimendus

$$K_a = \mu \frac{R_a}{R_1 + R_a};$$

kus μ on lambi staatiline võimendusregulaatoripunktis. Talituspunkt valitakse samal viisil kui takistusastmestuses võimendusastme puhul (vt. § 9-8);

5) määratakse takistite R_1 ja R_2 takistused:

$$R_x = \frac{R_x}{K_a}; \quad R_1 = R_2 = R_x;$$

6) automataatepingestustakisti takistus

$$R_k = \frac{U_{gr}}{2I_{gr}};$$

7) sidestuskondensaatori mahtuvus

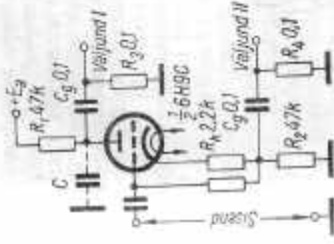
$$C_g \geq \frac{150}{f_m R_a} \sqrt{M_m - 1} \mu F.$$

kus f_m on hertsides ja R_a — kilo-ohmid.

Suurus M_m valitakse tavaliselt 1,05 ... 1,2 piiroides.

Joonisel 9-35, b kujutatud skeemiga faasipööramisastme arvutamise iseärasused on järgmised: takisti R_2 takistus määratakse sõltuvalt lõplambi tüübist, takisti R_1 takistus valitakse 20% võrra väiksem takisti R_2 takistusest, s. o. $R_1 = 0,8 R_2$, tasakaalustustakisti takistus $R_3 = 0,3 R_2$. Lülituse ülejäänud elemendid arvutatakse samuti kui astme jaoks, mille lülitus on joonisel 9-35, a.

Poolitatud koormusega faasipööramisastme skeem on joonisel 9-36. Selles astmes on pool anoodkoormustakistusest ühendatud lambi anood, ja teine pool katoodahelasse. Selle lülituse eeliseks joonisel 9-35 esitatuga võrreldes on



Joon 9-36. Poolitatud koormusega faasipööramisastme skeem

ühel trioodi puudumine ja parem sagedusarakteristik, puuduseks võimenduse puudumine ($K_v < 1$). Vastamata sellele, et tooline aste ei anna võimendust, kasutatakse seda siiski sageli, eeskätt kõrge- ja vaheldussageduste vaheldussagedusvõimendites ja lairibavõimendites. Oigade sageduskarakteristikute mittedünaamilisuse vältimiseks kõrgetel sagedustel (lairibavõimendites) ühendatakse anoodi ja sässi vahel kompensatsioonikondensaator, mille mahtuvus on mõned pikofaradid.

Poolitatud koormusega aste arvutatakse järgmiselt:

1) lähtutakse koormusest $R_1 = R_2 = 0,5 R_a$ (vt. § 9-8) ja takistite $R_3 = R_4$ takistustest kooskõlas kasutatavatele lõplampidele esitatud nõuetega;

2) koormuse vahelduvvoolutakistus peab olema anood- ja katoodahelas ühesuurune:

$$R_a = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3};$$

3) astme võimendus kestmistel sagedustel

$$K_a = \frac{R_a}{R_1 + (2 + \mu) R_a};$$

4) lambi sisetakistus, võttes arvesse neelativse tagasiside mõju,

$$R_1' = \frac{R_1 + R_a}{\mu};$$

5) ühe öla ekvivalenttakistus

$$R_{obv} = \frac{R_1 - R_1'}{R_a - R_1'};$$

6) katoodkoormustakistit siidav mahtuvus

$$C_{zka} = C_{k1} + C_m + C_{sis}, \text{ dFm};$$

kus C_{k1} on katoodi ja kütteniidi vaheline mahtuvus, C_m — montaaži mahtuvus, C_{sis}, dFm — vastastakistuse ühe öla dünaamiline sisendmahtuvus;

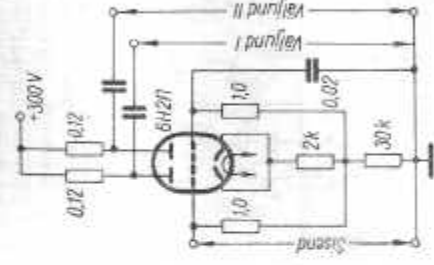
7) sagedusmuutusregulatsioonikõrgematele sagedustele

$$M_A = 1 + (2\pi f R_{obv} C_{zka})^2.$$

Et sagedusmuutused anoodölas oleksid sama suured, tuleb tagada, et

$$R_{obv} C_{zka} = R_{obv} C_{zka};$$

8) konstrueeritakse dünaamiline karakteristik, määratakse lambi talitusregiim ja skeemi ülejäänud elemendid (vt. § 9-8).



Joon 9-37. Parafasastme skeem

Parafasaste (joon. 9-37) ühendab eneseseisvaks kaalustuva ja poolitatud koormusega faasipööramisastme eelised. Sel juhul erilülitust iseloomustab suur võimendus ja hea stabiilsus. Parafasilülituse puuduseks on tarvidus lülituselemente väga hoolikalt valida.

Parafasilülitust kasutatakse sageli osillograafide võimendite lõppastmetes.

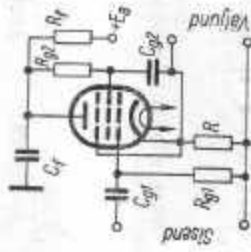
9-12. SUURE SISENDTAKISTUSEGA ASTMED

Katoodkoormusega astme (katoodjärgija, ühtise anoodiga lülituse) omaparaks on suur sisend- ja väike väljundtakistus, samuti ka väike sisendmahtuvus. Katoodjärgija pingevõimendus on alati ühest väiksem, väga stabiilne ning praktiliselt ei muutu toiteallika pingete või lambi parameetrite (selle vananemisel) muutumisel.

Katoodjärgija sisendisse võib anda sellise suurusega sisendpinge, mis tundub vält ületab teiste astmele lubatava. Katoodjärgija suudab läbi headele sageduse- ja faasikarakteristikele moonutusvabalt üle kanda väga avara sagedusala — mõnest hertsist mitme megahertsini.

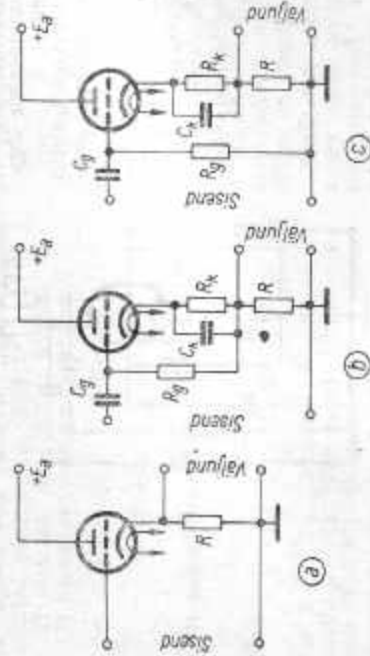
Katoodjärgija kolm lülitusvarianti on joonisel 9-38. Esimese variandi (joon. 9-38, a) võib valida ainult juhul, kui pingele aliskomponent koormustakistil R võrdub lambi anodi režiimis vajaliku eel-

pingega. Kui pingelanguga aliskomponent on nõutavast eelpingest väiksem, võib täiendavat eelpinget ammutada kas iseseisvast pingeaallikast või takistil R_0 kasutades (joon. 9-38, c). Kui pingelanguga aliskomponent koormustakistil on nõutavast eelpingest suurem, siis antakse eelpinge võrele koormustakistil osalt (väljavõttel) või spetsiaalselt takistil R_0 (joon. 9-38, b).



Joon. 9-39. Katoodväljundiga astme skeem pentoodiga

Joonisel 9-39 on katoodjärgija skeem, kus kasutatakse pentoodi. Sel juhul toimul on sisendmahtuvus veelgi väiksem kui triodi puhul. Katoodjärgijat on ostarbekas kasutada eraldi asetsevate võimendite (näiteks mikrooni eelvõimendite) väljundastmena. Katoodjärgija väikese väljundtakistuse tõttu vähenevad olulisel



Joon. 9-38. Katoodväljundiga astmete (katoodjärgijate) skeeme trioodiga

Suure sisendtakistusega astmed

eraldi asetsevat võimendit püüvõimendil sisendiga ühendavale kaablile mõjuvad häired ja kaabli sisemahtuvuse toime seadine sageduskarakteristikule. Katoodjärgija väljundtakistuse vähendamise huvides on tulus kasutada suure tõusuga lampe.

Katoodjärgija arvutus toimub järgmiselt.

1. Väljalitakse koormuse takistus ja konstantseks dünaamiline karakteristik (vt § 9-8). Koormus oleb astme talitlustingimustes. Kui katoodjärgija leiab kasutamist madalsagedusvõimendis, siis erinõudeid koormuse takistuse osas tavaliselt ei esitata. Seepärast tuleb koormustakistil R takistuse ja lambi talitlustingimuste vahel lähtuda tingimusest, et alalispingelang takistil R looks ka nõutava eelninge tüürvõrel, s.o. kasutada joonisel 9-38, a kujutatud skeemiga lülitust.

2. Pingevõimendus

$$K = \frac{SR}{1+SR},$$

kus S on lambi tõus $\mu A/V$ ja R — koormustakistil takistus $k\Omega$.

3. Katoodjärgija ekvivalentne sisetakistus madalatel sagedustel

$$R_i' = \frac{1}{S};$$

joonisel 9-38, b kujutatud skeemi jaoks signaallühika suure sisetakistuse R_0 korral

$$R_i' = \frac{R_0}{1+\beta\mu},$$

kus

$$\beta = \frac{R_{e1}}{R_{e1}+R_0}.$$

4. Katoodjärgija väljundtakistus

$$R_o = \frac{RR_i'}{R+R_i'}$$

5. Sagedusmuutustegur ülekantava sageduspiirkonna kõrgemal sagedustel

$$M_k = \sqrt{1 + (2\pi f_s C_x R_o)^2},$$

kus

$$C_x = C_k + C_{A1} + C_{eA} + C_m,$$

siin C_k on koormuse sisemahtuvus, C_{A1} — lambi katoodi ja kütteniidi vaheline mahutuvus, C_{eA} — lambi anoodi ja katoodi vaheline mahutuvus, C_m — montaažiimahutuvus.

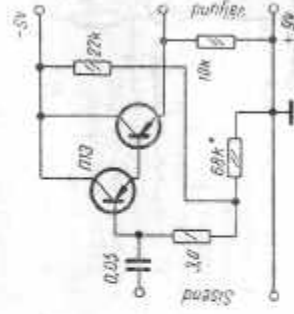
6. Katoodjärgija dünaamiline sisendmahtuvus

$$C_{a, \text{dya}} = C_{eA} + C_{eA}(1-K).$$

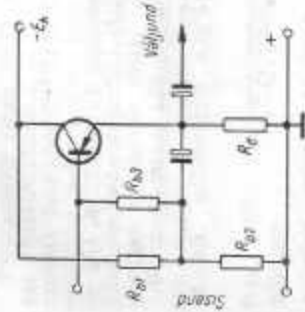
kus C_{eA} on anoodi ja tüürvõre vaheline mahutuvus, C_{eA} — tüürvõre ja katoodi vaheline mahutuvus, K — pingevõimendus.

Suure sisendtakistusega võimendusastmed transistoridega. Suurim sisendtakistus saadakse kollektorlülituses transistoriga (joon. 9-4, c ja 9-5, e). Sellise astme sisendtakistus suureneb transistori võlvõimendusteguri ja koormuse takistuse suurenemisel. Kui koormuseks on emitterlülituses aste, osutub sisendtakistuseks 40...50 $k\Omega$. Kollektorlülituses astme sisendtakistuse suurendamist piirab transistori režiimi määrava baasi eelpingestava pingelaguri takistus. Pingelaguri takistuse suurendamine halvendab astme temperatuurstabiilsust.

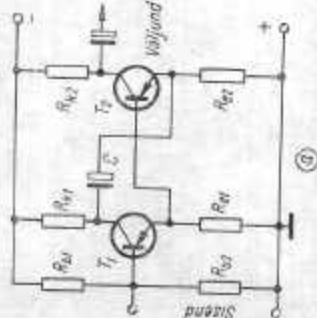
Kollektorlülituses astme sisendtakistuse suurendamiseks kasutatakse m. kaskoodlülitust kahest transistorist (joon. 9-40). Sellise astme sisendtakistus koormuse (järgmine aste emitterlülituses transistoriga) takistuse $1 k\Omega$ puhul küübib 500 kilo-oomini. Astme normaalse talitlusre-



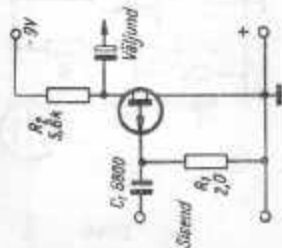
Joon. 9-40. Liittransistoridega kollektorlülituses võimendusaste



Joon 9-41. Suure sisendtakistusega võimendusastme skeem



Joon 9-42. Suure sisendtakistusega võimendusastmete skeemid



Joon 9-43. Väljalastistoriga võimendusastme skeem

õlmi tagamiseks on vaja liik, et esimene transistori vooluvõimendusastme tegur oleks piisavalt suurim teise transistori vooluvõimendusastmest.

Joonisel 9-41 esitatud skeemi puhul saab suurendada transistori baasihela vahelduvvooltakistust pingejaguri takistust muutmata. Selles skeemis antakse baasile eelpinge pingejaguri R_{B1} , R_{B2} vahivõttel läbi läendava takisti R_{B3} . Koormuse takistuse puhul umbes 10 kΩ võib madalatel sagedustel saada mitme megoomi suuruse sisendtakistuse.

Joonisel 9-42 on selliste astmete skeemid, mille sisendtakistus käib mitmekümnete ja isegi sadade megoomideni. Joonisel 9-42, a esitatud skeem isäärastorihelasse paigutatud astme kollektorihelasse paigutatud takisti. Skeemis joon. 9-42, b on kasutatud keskkoordlülitust

ühise kollektoriga ja ühise baasiga transistorides.

Suure sisendtakistusega võimendusastmeid saab konstrueerida väljalastistoridega (joon. 9-43). Selline skeem on kasutatav suure sisendtakistusega signaallikatega (piezoelektriline mikrofon, grammofooni helipea vms.) lõõtvate võimendite sisendastmetes. Astme pingevõimendus on 1,5-lärgmise astme 4-kΩ sisendtakistuse puhul.

9-13. TAGASISIDEASTUS HELISAGEDUSVÕIMENDITES

Tagasisideastuseks nimetatakse mingi võimenduslülituse väljund- ja sisendihela vahelisi sidestusi. Kui tagasisideastuse arvutatakse, võetakse arvesse ka sisendihelal olev signaali võimendus suureneb, siis sellist sidestust nimetatakse *positiivseks tagasisideaks* ehk *koostõuks*. Vastupidisel juhul, kui signaali võimendus väheneb, on tegemist *negatiivse tagasisidega* ehk *vastastõuga*. Tagasisideastused võivad olla kasulikud (stabiilsust ja spetsiaalset kasutatav) ning kahjulikud (parasitised). Teostatult eristatakse rööp-, järjestik- e. jada- ja segatagasisideastusi. Tagasiside võib esineda kas ainult vahelduvvoolu (-pinge), ainult alalisvoolu (-pinge) või samaaegselt alalis- ja vahelduvvoolu (-pinge) osas.

Negatiivne tagasiside parandab võimendi talitlust. Lampide ja transistoride talituspunkti asend muutub negatiivse alalisvoolu-tagasiside toimel stabiilsemaks, see on aga eriti oluline transistoridega võimendites ja lampidega alalisvooluvõimendites. Sellise tagasiside kasutamise on vältimatu vahetu sidestusega transistorvõimendites (vt § 9-10).

Lagasuse negatiivse vahelduvvoolu-tagasiside kasutamisel paranevad võimendite talitlusomadused, parimaid tulemusi pakub negatiivne rööptagasisideastamine. Selle õigel teostamisel vähenevad võimendite põhjuslikud mitteläinar-, lineaar- ja faasimoomitused, paraneb võimenduse ning väljundpinge stabiilsus transistoride ja lampide parameetrite, temperatuuri ning koormuse muutumisel jne, samuti väheneb ka võimendi väljundtakistus. Negatiivse vahelduvvoolu-tagasisidega võimendite puuduste hulka tuleb arvestada võimenduse kahanemine ja võimalus teataval sagedusel kulduda endaeergutumisele.

Negatiivse vahelduvvoolu-tagasiside saamine võimalused lampvõimendites on esitatud joonisel 9-44 toodud skeemides.

Transistoridega võimendusastmetes lunakse negatiivne rööptagasiside joonisel 9-3, a toodud skeemi kohaselt läbi takisti R_b ja järjestiktagasiside skeemides joonisel 9-4, a ja 9-5, a, kui takisti R_b pole kondensaatoriga sillutatud.

Joonisel 9-45 on kaheastmelistes transistorvõimendites kõige sagedamini kasu-

latavad negatiivse tagasisideastamise skeemid. Skeemis joonisel 9-45, a antakse teise transistori vooluga võrdeline tagasisideastuspinge läbi takisti R_c esimese transistori baasile. Sellega stabiliseerub võimendi vooluvõimendus, kuid väheneb sisendtakistus. Skeemis joonisel 9-45, b antakse osa väljundpingest esimese transistori emiteerihelasse. Pingevõimendus stabiliseerub ja sisendtakistus suureneb.

Mitmeastmelistes võimendites kasutatakse negatiivset tagasisidet nii üksikutes astmetes (s. o. ühe astme piires) kui ka mitut (kahte-kolme) astet või terve võimendit hõlmavaid tagasisideastuseid.

Negatiivse pingetagasisidega võimendite arvutamine. Kvantitatiivselt saab negatiivse tagasiside mõju iseloomustada tagasisideastuseguriga A , mis näitab, mitu korda tagasisideastus vähendab sellega hõlmatud astmete võimendust. Tagasisideastusegur A sõltub negatiivset tagasisideastust astmete koguvõimendusest K ja *ülekanalitegurist* β , mis näitab, milline osa negatiivset tagasisideastust võimendi viimase astme väljundpingest mõjub tagasisideastuspingena tagasi nende esimese astme tüürvõreihelasse:

$$A = 1 + \beta K.$$

Koguvõimenduses K tuleb arvestada ka väljundtrafo ülekanalitegurit, kui see tralo on hõlmatud tagasisideastusega.

Tagasisideastuse *ülegenus* on tegur A , väljendatud detshelides:

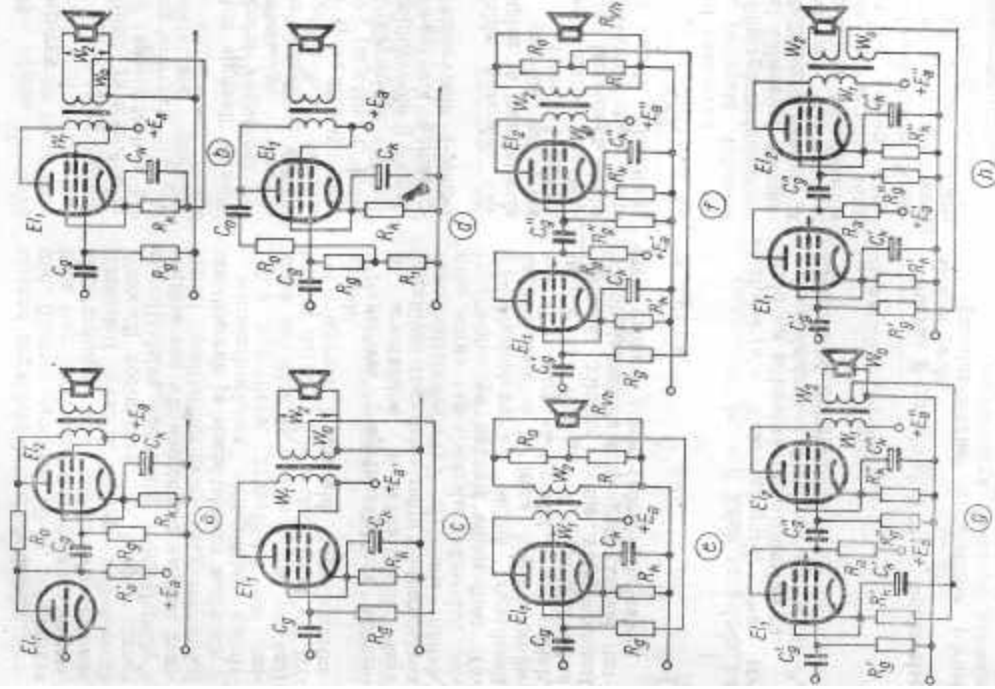
$$A_{db} = 20 \lg (1 + \beta K).$$

Suurus β arvutatakse iga konkreetse skeemi jaoks.

Tagasisideastusehel arvutatakse pärast võimendi tagasisidega hõlmatud astmete arvutamist alhesitatud järjeshuses.

1. Vallitakse A suurus. Enamasti $A = 2 \dots 3$ ja üksnes kõrgevõimendilistes võimendites, kus kasutatakse erivahendeid faaslkarakteristliku parendamiseks (vt allpool), võib valida $A = 4 \dots 6$ ja enam.
2. Määratakse ülekanalitegur

$$\beta = \frac{A-1}{K}.$$

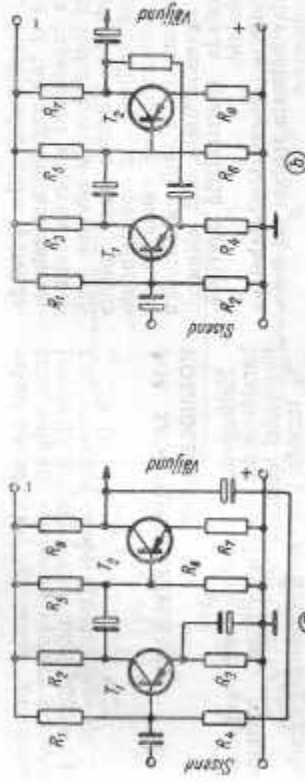


Joon. 9-44. Negatiivse tagasisidetamise skeeme

3. Iga konkreetse lülituse jaoks arvatakse tagasisidetussahela elemendid, säiteks takisti R_0 takistus või tagasisidesisemise keerdude arv w_0 .

Joonisel 9-44, a toodud lülituse puhul kus R_{11} on lambi EL_1 sisetakistus.

$$R_0 = \frac{R_{11} R_{01}}{R_{11} + R_{01}} \cdot \frac{1 - \beta}{\beta}$$



Joon. 9-45. Negatiivne tagasiside kaheastmelistes transistorvoimendites

Joonisel 9-44, b ja 9-44, g toodud skeemidega lülituse puhul

$$\omega_0 = \beta \omega_a$$

joonistel 9-44, c ja 9-44, h toodud skeemide puhul

$$\omega_0 = \beta \omega_a \frac{R_s + R_z}{R_s}$$

ning joonistel 9-44, d, 9-44, e ja 9-44, f toodud skeemide puhul

$$\frac{R}{R_0} = \frac{R_s}{R_s + R_z} \frac{\beta}{1 - \beta}$$

kus R_s on signaaliilika väljundtakistus. Kui signaali ilikaks on eelnev võimendusaste, siis

$$R_s = \frac{R_i R_0}{R_i + R_0}$$

kus R_i on selle astme lambi sisetakistus, R_0 — selle anoodkoormustakisti takistus.

Takistite R ja R_0 takistused (joon. 9-44, e ja 9-44, f) valitakse selliselt, et oleks täidetud nõue

$$R + R_0 \geq 20R_{01}$$

kus R_{01} on väljuhääldaja takistus.

4. Määratakse negatiivselt tagasisidetatud astme võimendus:

$$K_p = \frac{K}{A}$$

5. Määratakse mittelineaarvõimendus negatiivselt tagasisidetatud võimendi väljundis:

$$Y_p = \frac{Y}{A}$$

kus Y on mittelineaarvõimendite sama väljundvõimsuse puhul, kuid negatiivse tagasisidega.

6. Määratakse tagasisidesusega hõlmatud võimendi väljundastme lambi ekvivalentne sisetakistus

$$R_{ip} = \frac{R_i}{A}$$

Negatiivselt tagasisidetatud võimendi stabiilsus. Tugeva negatiivse tagasiside puhul ($A > 3 \dots 5$) võivad kõrgetel ja madalatel sagedustel ilmnevad faasimihed viia positiivse tagasiside ilmnemiseni, mis kutsub esile võimendi ebastabiilsuse ja isegi endaergumise. Sellega tuleb tugeva negatiivse tagasisidega võimendite faasimõõnust vähendada, s.o. avardada sageduspiirkonda, mille ulatuses faasimihked on väikesed.

Võimendi faasikarakteristiku parendamiseks huvides ei tule tagasisidestusahelase paigutada sagedusest sõltuvaid liitussidemeid ega traatsid, välja arvatud muulgi väljundtrafo. Viimane peab olema konstrueeritud selliselt, et peisteinduktiivsus ja primaarmähise omamahtuvus oleksid minimaalsed. Faasikarakteristiku äändamiseks õgvendamiseks võib võimendi skeemis kasutada spetsiaalset korrigeerivaid RC-ahelaid.

Ohe negatiivse tagasisidestusahelaga pole soovitatav hõlmata rohkem kui kaheksa võimendusastet.

Parasiitsete tagasisidestuste mõju. Suhteliselt nõrkade parasiitidestuste puhul ilmneb täiendav sagedus- ja laastroomutus ning sageli ka mütilnearmonoonutus, ügevama tagasisidestuse puhul võib tekkida võimendi endaergutus.

Helisagedusvõimendites esinevad peamiselt järgmist liiki parasiitsete tagasisidestused

1. Elektrostaatliline sidesus ahelate vahel.
 2. Magnetiline sidesus astmete vahel, mille loob võimendi liituses paiknevate idestustrafode puisteoogude aheldumine. Magnetilise parasiitidestumise nõrgendamiseks tuleb erinevate astmete traafidonteerida seadmesse teineteisest eemal või kasutada magnetilist varjestamist vt. § 1-20.
 3. Tagasisidestus toiteallika kaudu. Selle sidestumise nõrgendamiseks tuleb nooditoiteallikas sillata suure mahtuvusega kondensaatoriga ja kasutada lahtidestusfiltreid (vt. joon. 9-5 ja 9-31) 'eale selle ei tule lubada asjatu võimendustagavara olemasolu madalatel sagedustel.
 4. Tagasisidestus, mida põhjustab mikrofonitekt. Mikrofonitekti nõrgendamiseks tuleb esimese astme lambi pesa konteerida amortisaatorite ja asetada ambli helivõnkumisenegiat neelavastatorjalist (vilt. vatt vms.) kübar. Valjuääridat ei või samal põhjusel monteeda võimendi ässait külge.
- Geneerimine ultrahelisagedustel** ilmneb kõige sagedamini lõppastmetes. Selle vältimiseks ühendatakse lõppastmetide anoodide ja katoodide vahele 200...500-pikofaradise mahtuvusega kondensaatorid, mille ühendusjuhtmed peavad olema võimalikult lühikesed. Lisaks

selele ühendatakse iga lambi anoodahelasse vahetult lambipesa vastava kontakti juurde järjestikku väike induktiivsus- ja mahtuvusvaba tukisti (takistusega 50...200 Ω).

9-14. SAGEDUSKARAKTERISTIKU KORRIGEERIMINE

Helisagedusvõimendites võib sageduskarakteristiku korrigeerimine toimuda järgmistel eesmärkidel:

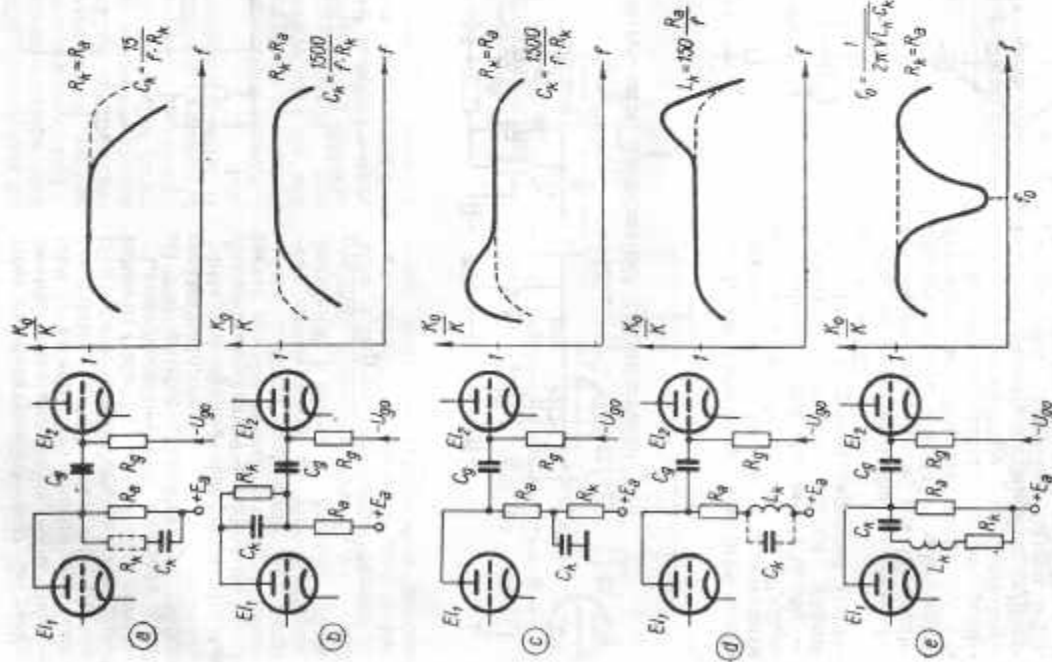
- 1) lameda, ühtlase sageduskarakteristiku saamiseks. Sel juhul kompenseeritakse teatavates astmetes või traakti osades tekkivat mõnede sageduste võimenduse vähenemist (või suurenemist) võimenduse vastava suurendamise (või vähendamise)ga teistes astmetes samadel sagedustel;
- 2) erikujulise sageduskarakteristiku saamiseks;
- 3) sujuvalt või astmeliselt reguleeritava kujuga sageduskarakteristiku saamiseks kolavarvingu reguleerimisel.

Joonisel 9-46 on takistus-mahtuvusidestuses võimendis kasutatavate lihtsaimate korrigeerimisahelate skema. Samas on võimendite nõidis-sageduskarakteristikud korrektsiooniga ja ilma ning valemid, mille järgi saab orienteerivalt määrata korrigeerimiselementide elektrilisi suurusi võimenduse muutmiseks antud sagedusel f kaks korda.

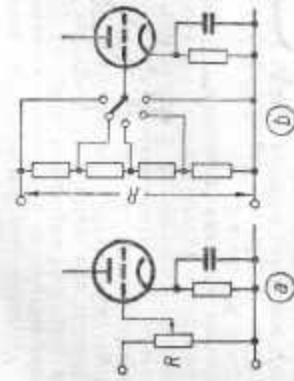
9-15. VÕIMENDUSE JA KOLAVÄRINGU REGULEERIMINE

Võimendusregulaatorid võivad olla toimet sujuvad või astmelised. Esimesel juhul kasutatakse regulaatorina liugkontaktiga potentsiomeetrit, mis on ühendatud pingejagurina (joon. 9-47, a). Teisel juhul kasutatakse püsiaktsiitset koostatud pingejagurit (joon. 9-47, b) koos paljukontaktlise ümberlülitiga (valimislülitiga).

Väikese elektromotoorjõuga signaali-alkatega (mikrofon, fotoelement, magnetlõhepa jt.) töötavates võimendites tuleb võimendusregulaator asetada esimese ja teise astme vahele, kus signaal on tugevam kui sisendis. Sel puhul paraneb võimendi kasutliku signaali ja ornamura suhe.



Joon. 9-46. Sageduskarakteristiku korrigeerimise skema (kriipsjoonega on sageduskarakteristik korrektsiooni puudumisel)



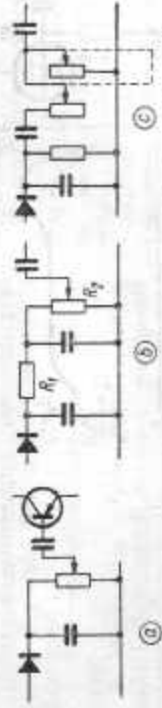
Joon. 9-47. Võimendusregulaatori lülitusi:
a — sujuv reguleerimine; b — astmeline reguleerimine

vides kasutada joonisel 9-47, a toodud skeemis potentsiomeetreid, mille liugkon-takti ja skeemi järgi alumise otsa vaheline takistus muutub olenevalt liugkon-takti pöördenurgast eksponentsfunktsiooni kohaselt (tüüp B).

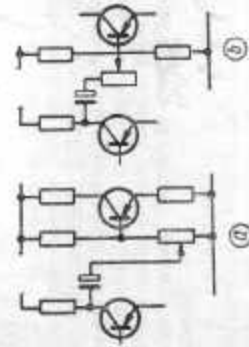
Lampvoimendites võib kasutada joonisel 9-47 esitatud skeemidega võimendusregulaatoreid.

Lineaarvoimenduse seisukohalt lubatav võimendusregulaatori maksimaalne takistus

$$R = \frac{2 \cdot 10^6 \sqrt{M_1^2 - 1}}{f_a C_s} \approx R_s \text{ M}\Omega$$



Joon. 9-48. Heitugevusregulaatori ühendusviisid transistorvastuvõtjates



Joon. 9-49. Heitugevusregulaatori ühendamine võimendite astmele vahel

Kui signaaliilikas suudab anda pinget, mis ületab võimendi sisendis lubatud pinge, siis tuleb võimendusregulaator paigutada sisendisse.

Kui võimendust muudetakse heitugevuse reguleerimise eesmärgil, siis tuleb heitugevuse reguleeritava sujuvuse hu-

kus f_a on ülekanava sageduspiirkonna kõrgeim sagedus Hz, C_s — regulaatorile järgneva astme sisendmahituvus pF, R_s — signaaliilika sisetakistus M Ω , M_1 — lineaarvoimenduseguri lubatud väärtus ülekanaval kõrgeimal sagedusel (tavalt-selt $M_1 = 1,05 \dots 1,2$).

Kui võimendusregulaator on ühendatud pentoodiga astme järele, siis tuleb valemis suurus R_s asendada selle astme anoodkoormustakisti takistusega R_a .

Transistorvoimendites, mis võimendavad raadiovastuvõtja detektorastmest saadavat signaali, paigutatakse heitugevusregulaator sisendisse (joon. 9-48). Nendest lihtsaim skeem (joon. 9-48, a) ei saa tagada detektori koormuse konstant-sust võimenduse reguleerimisel, mis ahendab reguleerimispiirkonda ja suurendab moonutust detekteerimisel. Sellist skeemi kasutatakse ainult suure sisend-takistusega esimese madalsagedusastme korral (joonisel 9-48, b kujutatud skeemis moodustub detektori koormus kahest ta-

lisist (R_1 ja potentsiomeeter R_2), mis-tõttu võimendi esimese astme sisendtakis-tuse mõju detektori koormusele on väik-sem kui eelmises skeemis. Mõningatel juhtudel võib reguleerimisulatuse suurendamiseks rakendada skeemi joonisel 9-48, c. Selle skeemi paarduseks on tarvidus kasutada kaksipotentsiomeetrit.

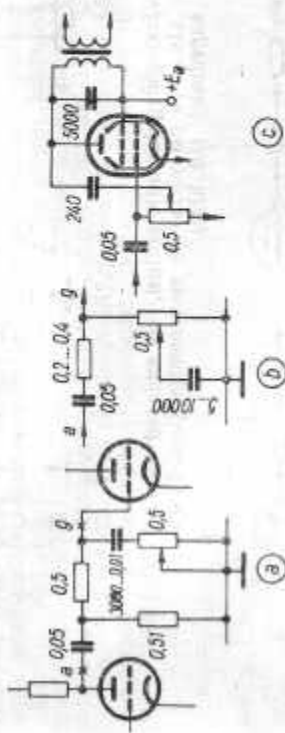
Joonisel 9-49 on näidatud võimendus-regulaatori ühendamine transistorvoimen-did astmete vahel. Joonisel 9-49, a toodud skeemis tagab regulaatori takistus sama-aegselt ka transistori vajalikku alalis-voolirööri. See on tavalise skeemi puu-duseks, kui võrd katkestus regulaatori ahelas võib rikkuda transistori. Regulaa-tori ühendusskeemil joonisel 9-49, b seda puudust pole. Reguleerimispiirkonna avat-damiseks peab regulaatori takistus olema

nüi suur kui võimalik. Siin ei saa võimen-dust nullini vähendada.

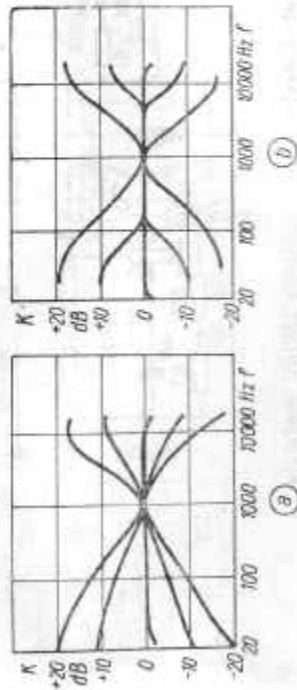
Kvaliteetsemates võimendites kasutatakse nn. kompensatsiooniga heitugevus-regulaatoreid. Sellised regulaatorid muu-davad üheükselt heitugevusega ka või-mendi sagedusomadust kätkestuse läbisea või ligikaudses vastavuses võrdse helivaljuse koverallega (vt. joon. 7-1). Kõlavärving ei osutu siis sõltuvaks regulaatori asen-dist.

Kompensatsiooniga heitugevusregu-laatorite jaoks valmistatakse spetsiaalseid ühe või kahe väljavõttega potentsiomeet-reid. Väljavõttega ühendatakse sagedu-sest sõltuva takistusega korrigeerimis-ahelad (vt. joon. 9-59 ja 9-65).

Kõlavärvingu reguleerimine põhineb võimendi sagedusomaduste muutmisel



Joon. 9-50. Lihtsaimate kõlavärvinguregulaatorite skeemid:
a — esimese varianti; b — teise varianti; c — kolmas variant (negatiivse tagasi-aidega)



Joon. 9-51. Kõlavärvinguregulaatorite sagedusomadustekujud:
a — esimest tüüpi; b — teist tüüpi

9-16. SEGUSTUSSOSTEEMID MADALSAGEDUSSEADMETES

Madalsagedussaadmetes kasutatakse segustussüsteeme kahes või enamast signaallikast saabuvalt signaaliide segustamiseks (kokkuliitumiseks). Signaalide segustamiseks on soovitatav, et kõikidest kanalitest saadavast sisendpinged oleksid võimaliselt ühes suurusjärgus, s. o. et helitugevuse regulatorite ühesugusele asendile puhul saadavast väljundpinged poleksid suuruselt kuigi erinevad. Kui helipeast saadavast signaali segustada mikrofonil madalapingelise signaaliga, siis on soovitatav mikrofonil ja segustussüsteemi vahel ühendada üks eelvoimendusaste.

Joonisel 9-55 on segustussüsteem, mis võimaldab segustada kahe mikrofonil ja kahe grammofoonil helipea signaale. Saadavast väljundpinge on 25 V.

9-17. MORAD VÕIMENDITZ

Võimendi maksimaalne dünaamikapiirkond on määratud parasitüübiga (mida madalam on müravõimenduskoefitsient, seda ulatuslikum võib olla kasutatav dünaamikapiirkond). Võimendis tekitavad müra esmajoonese esimehe võimendusaste ja sisendahelad. Võimendi soojuslik müra ja võimenduslementide tekkiv müra on ekvivalentselt sisendpinge kujul väljendatuna ligikaudselt arvatavast valemiga

$$U_{h,0} = \sqrt{U_{h,0}^2 + U_{h,0}^2},$$

kus $U_{h,0}$ on sisendahelate soojusliku müra pinged, $U_{h,0}$ — võimendi esimese astme võimenduslementi mürapinge.

Soojuslik müra võimendi sisendahelates

$$U_{h,0} = 0,13\sqrt{(f_h - f_m)R} \mu V.$$

kus f_h ja f_m on vastavalt talitlussagedusala kõrgeim ja madalaim sagedus kHz, R — sisendahela takistus (selle aktiivkomponent) kΩ.

Võimenduslementide müra. Elektronlampide müra toimet arvestatakse tavajäl-

selt võreahelasse ühendatava ekvivalentse müra takistuse $R_{h,1}$ kaudu. Sel puhul vaadeldakse lampi ideaalse seadiseana, mille anoodahelasse müra ei teki.

Mürataktustust saab oksüidkatoodiga trioodidel praktilisteks vajadusteks piisava täpsusega määrata valemiga

$$R_{h,1} \approx \frac{2,5}{S} \text{ k}\Omega,$$

kus S on trioodi fõus talituspunktiis mA/V.

Pentoodidel on müra suurem kui trioodidel. Pentoodi mürataktustust saab määrata valemiga

$$R_{h,1} \approx \frac{2,5}{S} \cdot \frac{I_{a0}}{I_{a0} + I_{g,0}} \times \left(1 + 8 \frac{I_{g,0}}{S}\right) \text{ k}\Omega,$$

kus I_{a0} ja $I_{g,0}$ on vastavalt anood- ja varivõrevoolu alafisikomponendid mA.

Lambi mürapinge

$$U_{h,1} = 0,13\sqrt{(f_h - f_m)R_{h,1}} \mu V.$$

Transistoride müra toimet hinnatakse müraregulaatoriga (vt tabel 8-33). Transistori müra võimsus läbilaskeriba latuse ühiku kohta on ligikaudu pöördvõrdeline sagedusega (elektronlampidel ja takistitel ei sõltu see sagedusest).

Transistori müra ekvivalentne võimsus selle sisendis

$$P_{h,1} = 0,9 \cdot 10^{-10} \cdot \nu \cdot N_A \cdot \lg \frac{f_h}{f_m} \text{ W},$$

kus N_A on müraregulaator, f_h ja f_m — talitlussagedusala kõrgeim ja madalaim sagedus. Käsitlusearvutuse detseibelfides antud müraregulaator N_{av} tuleb siin tšimber arvutada suhtearvaks valemiga

$$N_A = 10^{\nu \cdot N_{av}}.$$

Teades transistori sisendtakistust $R_{h,1}$ saab leida mürapinge ekvivalentse efektiivväärtuse transistori sisendis valemiga

$$U_{h,1} = \sqrt{P_{h,1} R_{h,1}}.$$

Elektronlampi müra vähendamiseks tuleb esimeses võimendusastmes kasutada võimalikult suure fõusuga trioodi (või trioodiliituse pentoodi). Vähiima müra annab lamp 6K32P. Mõnevõrra suurem on lambi 6H3P müra küttepingel 6,8...7,0 V ja anoodpingel 40...60 V.

Transistorvõimendite esimeses astmes tuleb kasutada võimalikult väikese müra- teguriga transistore. Väikese võimsusega transistoril saadakse madalam müraivõu kollektorivoolul 0,1...0,3 mA, kollektori ja baasi vahelisel pingel 0,5...2,0 V ning signaallika takistuse puhul 300...1000 Ω. Sel puhul on spetsiaalselt müra- väeste transistoride (116A, 1113B, 1127A, 1112B, 1113B jt.) müra suurus suurusjärgus elektronlampide müraga.

Lambi ja võreahela juhtmete mikrofoniektid põhjustatud müra. Selle müra lekitajaks on lampide elektroodide ja montaažiühikute mehaaniline vibreerimine, mis muhtavuslikul teel kutsus esile anoodvoolu kõikumise.

Mikrofoniektid vähendamise võimalused:

- 1) jääga siselonstruktiooniga lampide kasutamise võimendi esimeses astmes, näiteks ülminiatuurdid lambid või sõrm- lambid (6C65, 6H23P, 6H24P, 6H16B);
- 2) sisendastme lambi pesa amortiseerimine vedruka, pehme kummiga või sobivakujulise veitruva kummitasubiga;
- 3) sisendastme lambi akustiline varjefamine vildist või vahukummist kattega;
- 4) võnkuva maasi suurendamine sisendastme lambi baltooni asetatava pliikõhara abil;
- 5) võimendite mõjuva vibratsioonil nõrgendamine või võimendi eemaldamine vibratsiooniallikast (väljuhääldajaast).

Lampide kütte-, anood- ja varivõreahelate toitepingete pulseerimise põhjustatud müra. Anoodpinge pulseerimise mõju ja nõrgendamiseks tuleb suurendada toitepinge silumiskõikumise ja kasutada suurt ajakonstanti omavaid lahtrisidestusfiltreid (vt. § 9-8).

Anoodpinge lubatud pulseerimisastgur

$$U_{e,0} = \frac{m \cdot K}{DE_s} \cdot \frac{R_0 + R_1}{R_1},$$

kus $U_{e,0}$ on signaalpinge väikseim amplituud sisendastme lambi võrel V, K — sisendastme võimendus, D — sig- naali ja võrgumüra suhe, E_s — sisend-

astme anoodtoiteallika pinged V , R_0 ja R_1 — sisendastme lambi anoodkoormus- takisti takistus ja sisetakistus kΩ.

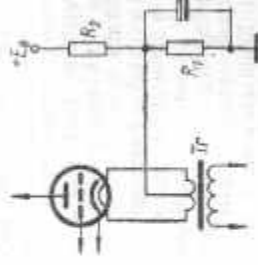
Suurus D sõltub võimendi võimendusest ja võib küündida tuhandeni. Kälteahelatest põhjustatud müra (võrgumüra) vähendamiseks võib kasutada järgmisi vahendeid:

- 1) kasutada sisendastmes trioodi; keskpunkt või ühendada mahiseaga rööbi maandatud liugkontaktiga potentsio- meeter (liugkontakti asend tuleb määrata katseliselt);
- 2) vähendada esimese astme lampide vastu- võimile joonisel 9-56;
- 3) anda kütteniidile katoodi suhtes po- sitivne potentsiaal (või katoodile kütte- niidi suhtes negatiivne potentsiaal) vasta- valt skeemile joonisel 9-56;
- 4) vähendada esimese astme lampide küttepinget 5,5...5,8 voltini;
- 5) mitte kasutada võimendi metallšas- siid juhtmena; võimendi filtrimusega ühendatavast detailid tuleb šassiga ühen- dada ühesaisas katseliselt määratavas punktis.

Väljste häireallikate poolt tekitatud elektrilistest ja magnetilistest mõjutustest põhjustatud häired. Magnetiliste mõjutus- te allikaks võivad olla elektrimootorid, elektromagnetid, elektromagnetilised re- leed, toitefradid, aladive filtrite paispoo- lid, traatkaablid jne.

Magnetiliste häirete kõrvaldamise va- hendid:

- 1) võimalike häireallikate oistarbekas paigutamine sendme monteerimisel sisend- ahelate ja esimese astme suhtes;
- 2) võimendi šassi valmistamine mitte- magnetilisest materjalist (alumiinium, duraalumiinium, valgevask jt.);



Joon. 9-56. Lühitus katoodile kütteniidil suhtes negatiivse potentsiaalil andmiseks

regulaator, millega vajaduse korral saab muuta helitugevuste suhet kummaski kanal, s. o. muuta kõlalist tasakaalu. Võimendid sageduskarakteristikute erinevused ei lohi üldtada 2...3 dB ja faasikarakteristikute erinevused 15...20°, see pärast tuleb kasutada väikese tolerantsiga filtridestruktuur. Helitugevus- ja kõlaväringiregulaatorite karakteristikute identisuse tagamiseks tuleb kasutada kahekorrasel potentsiomeetridel, mille takistuse (lugukontakti ja ühe otsklemmi vahel) sõltuvus luugukontakti pöördnurkast on ühesugune.

Võimendusseadme kummaski kanalil loodavad kõlarid peavad heli taasesitamisel tavalises elutoonis olema teineteisest vähemalt 1,5 meetri kaugusel. Kui kumbki võimenduskanal on mäeldud kogu ülekantava helisageduspiirkonnas reproduktseerimiseks, kujuneb seadimestik suhteliselt kogukeaks, sest kõlarite kastide mõõtmised määratud ülekontaktava sageduspiirkonnas madalaima sagedusega. Seadimestikku saab lihtsustada, kui kasutada asjaolu, et inimkõrva suunataju ilmneb usaldatavalt alles 300...400 hertsist kõrgemal sagedusel. Järelikult võib madalaid sagedusi taasesitada ühekanaliliselt.

Lihtsustatud akustilise süsteemiga stereofoonilise taasesituse puhul reproduktseeritakse kummagi kanali madalaid helisagedusi ühises kõlaris, millesse juhitakse summeeritud signaal. Keskmised ja kõrgemad helisagedused, sealhulgas ka bass-instrumentide heli, koostisse kuuluvad ületoonid, juhitakse kummaagi kanali jaoks iseseisvatesse valjuhääldajatesse. Jaotussagedus valitakse tavaliselt piires 250...300 Hz.

Joonisel 9-57 on madalaid sagedusi ühekanaliliselt reproduktseeriva stereofoonilise võimendi skeem. Sagedusriba jaotamine ja kummaski kanalist pärinevate madal-sageduslike helisignaalide liitmine toimub lõppastme lampide anoodahelates väljundtrafoode abil. Sageduslül 500 Hz kuni 10 kHz on ülekoostvussumbumus kanalite vahel parem kui 30 dB. Lülitus näeb ette stereofekti süvendamise võimendust kesk- ja kõrgeid helisagedusi reproduktseerivate lisakõlarite kasutamise feel, mis ühendatakse võimendiga kontaktipukside K₁ ja K₂ kaudu.

3) sisenjuhtmete kokkukeerutamine, peenikes juhine kasutamine;
4) sisendastme magnetiline varjestamine (vt. § 1-20);
5) sisendtrafo varjestamine (vt. § 5-6).
Elektrilised häired ilmuvad võimendavaesse signaali montaaži parasitmahtuvuse kaudu. Elektrilise häirete alikaks võimendis eneses võivad olla toiteralfo väljavõrgujuhtmed, võrgujuhe, küttejühmed jne.

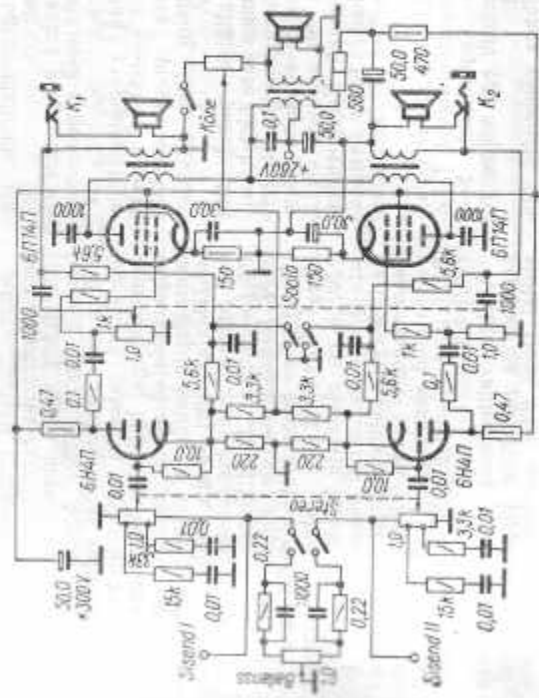
Elektriliste häirete mõju vähendamiseks varjestatakse võimendi sisendahelad, s. o. paigutatakse need elektrit hästi juhtivast materjalist (vask, alumiinium) katetesse. Kattid ühendatakse võimendi šassiiga või üljühitmeaga. Signaalid kandvad juhtmed isoleeritakse keerutatasse kokku ja kasutatakse varjestussukaga, mis ühendatakse šassiga. Teise, mõnikord ka kolmanda võimendusastme üksikult asetatavad võrejuhtmed ümbritsetakse samuti varjestussukaga. Potentsiomeetrite ja teiste detailide metallkestad ühendatakse šassiga. Sisendastme lambi pesa ja selle juurde kuuluvad detailid varjestatakse lülitsemisega osast šassiiga ühendatud metallplaadiga.

3) sisenjuhtmete kokkukeerutamine, peenikes juhine kasutamine;
4) sisendastme magnetiline varjestamine (vt. § 1-20);
5) sisendtrafo varjestamine (vt. § 5-6).
Elektrilised häired ilmuvad võimendavaesse signaali montaaži parasitmahtuvuse kaudu. Elektrilise häirete alikaks võimendis eneses võivad olla toiteralfo väljavõrgujuhtmed, võrgujuhe, küttejühmed jne.

9-18. STEREOFONILISED VÕIMENDID

Stereofoonilise programmi võimendamiseks tuleb kasutada kaht iseseisvat madalsagedusvõimendit, mis loivad kalit identset valjuhääldajate gruppi. Stereofoonilisele võimendusstrahstile esitatakse mõningaid erinevusi. Ühe kanali signaali ülekoostvus teise kanalisse peab olema viidud miinimumini, vastasel korral kahekanal saadav stereofekt. Stereofekti halvenemine pole kuulduslülil veel määratav juhu, kui ülekoostvussumbumus trakti ulatuses ületab 20 deetsibelli. Sealjuures peab võimenditvaheline ülekoostvussumbumus olema vähemalt 30 dB.

Ranged nõuded esitatakse kummaagi kanalil identsele. Võimendite sagedus- ja faasikarakteristikud, samuti ka helitugevus- ja kõlaväringiregulaatorite reguleerimis-karakteristikud peavad vastavalt olema ühesugused. Kuna stereofekti loob eeskätt helisageduspiirkonna kõrgem osa, siis on eriti oluline täita need nõuded eelkõige keskmistel ja kõrgetel helisagedustel. Samuti on tarvilik stereobalansi



Joon. 9-57. Stereofoonilise madalsagedusvõimendi skeem

9-19. KÕRGEKVALLITEEDILISED MADALSAGEDUSVÕIMENDID (HIFI-VÕIMENDID)

Tavaliselt elutoonis kasutatavate monofooniliste HIFI-võimendite kvaliteedindikaatorid peavad olema järgmised: väljundvõimsus vähemalt 10 vatti, reproduktseerilav sagedusriba 30...40 hertsist kuni 15...20 kilohertsini, omamüraatuse -60 dB või alla selle. Võimendi faasikarakteristik peab taasesitavate sageduste piirkonnas olema lineaarne.

Kvaliteetse võimendite rakendatakse reeglina sageduskarakteristiku kuju ulatuslikku reguleerimist nii madalale kui ka kõrgele sagedusele piirkonnas eraldi, mis lubab valida ülekanalide summaarse sageduskarakteristiku iseloomu vastavalt riigi akustilistele omadustele, ülekanalivale programmile ja kuulajate individuaalsele maitsele. Reguleerimise ulatus närimisel sagedustel peab olema ±(15...20) dB.

Moontuste vähendamiseks kasutatakse võimendites rohkem negatiivset tagasiühendust. Kõrvuti peamiseks negatiivse la-

gasiside ahelaga, mis hõlmab võimendi viimaseid astmeid, kasutatakse ka täiendavaid ahelaid, mis hõlmavad üht-kaht astet.

Kvaliteetsetel madalsagedusvõimenditel peab olema tunduvalt väljundvõimsuse reserv, et saavutada avarat dünaamikapiirkonda ja suurendada stabiilsust normaalse väljundvõimsuse puhul. Väljundvõimsuse reserv soodustab impulsshelide puhtust.

Universaalsed madalsagedusvõimendid võivad moodutada ühe või kahe konstruktiivset blokki — viimase juhul on eelvõimendi ja võimsusvõimendi eraldi. Kõik reguleerimisorganid asetatakse eelvõimendisse. See blokk on suhteliselt väikesemõõtmeline. Eelvõimendi varustatakse vajaduse korral mitme sisendiga erinevate programmiliikate kasutamiseks. Programmiliikate kasutamiseks võib kasutada ka varjandit, mis võimaldab kasutada ka vastavalt ümberlülitit. Teatud programmiliikate puhul võib tarvis minna sobitavaid korrigeerimisahelaid või täiendavaid eelvõimendusastmeid.

Korrigeerimisahelad võimendi sisendis võimaldavad

1) võrdsustada programmi liikate signaalide keskmiist taset;

2) kompenseerida antud programmi kaanali eelnev as osas tekkiivaid sagedusmootusi;

3) nõrgendada antud programmi ülekardekanalis ilmuvaid spetsiifilisi häireid.

Iga ülalnimetatava programmi liikala väljundsignaali keskmine tase valitakse tavalliselt 0,2...0,5 V.

Nende programmi liikate puhul mille väljundsignaali keskmine tase ületab väljundsignaali (raadiovastuvõtja, televiisor), tuleb kasutada signaalihelas pingelagurit; nende puhul, mis annavad madalama tasemega signaali (magnetofoni taasesituspea, mikrofon), tuleb kasutada täiendavaid eelvõimenditeid või eelvõimendustmeid.

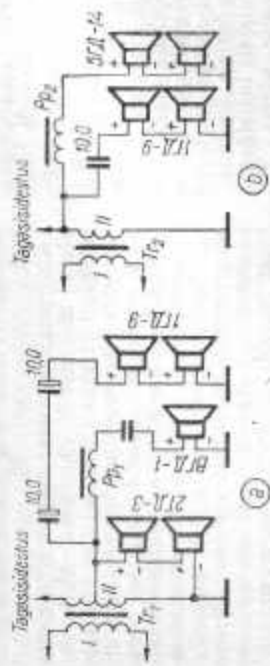
Võimsusvõimendi blokk koosneb tavalliselt ühest pingevõimendusastmest, faasibloki sagedusarakteristikk ega võimendus ei ole reguleeritavad.

Jaotatud sagedusribaga võimendid. Madalate ja kõrgete sagedustega helide eraldi võimendamisel ja taasesitamisel saab tunduvalt kahandada ristmodulatsioonist põhjustatud moonutust ning märgatavalt laendada efektiivselt reprodutseeritavat sageduspiirkonda, sest üks valjuhääldaja pole võimaline rahuldavalt töötama küllaldaselt evaras sagedusalas (40...60 kumilaste sagedustega helide eraldi reprodutseerimine on tarvilik ruumilise heli taasesitusseadmetes (vt. § 7-6).

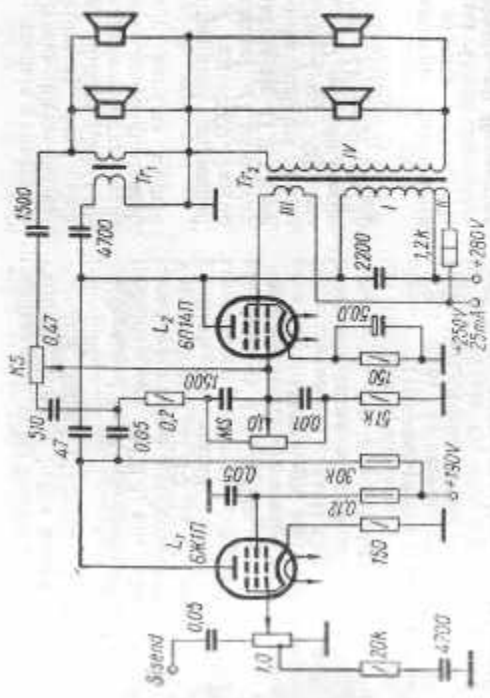
Ruumikõlaefekti loomiseks ja taasesitavata sagedusriba avardamiseks liigitakse jaotusfiltrid sageli üksnes lõppastme väljundisse (joon. 9-58). Skeemis loomisel 9-58, a on madalate helide valjuhääldajad ühendatud vahetult väljundtrafo sekundaarühmaga, keskmise kõrgusega helide valjuhääldajad suure mahutusega kondensaatoriga kaudu ja kõrgete helide valjuhääldajad filtrile kaudu, mille moodustavad paispool ja kondensaator. Paispool P_{Pi} mahitakse 10-millimeetri läbimõõduga kerriitõundamikule, mille magnetiline läbivõim on 600. Mahisel on 40 keeru (traat ПЭЛ 0,41). Skeemis loomisel 9-52, b on madalate helide valjuhääldajate grupp ühendatud paispooli P_{Pi} kaudu ja kõrgete helide valjuhääldajate grupp kondensaatoriga kaudu. Paispool P_{Pi} on valmistatud samasugusel südamikul nagu P_{Pi} , kuid sisaldab 150 keeru traati ПЭЛ 0,93.

Veeilgi kvaliteetsema taasesituse annab sagedusriba jaotamine lõppastme anoodahelas (joon. 9-59) kondensaatoriga ja kahe väljundtrafo abil. Kondensaatoriga mahitus valitakse selline, et koos trafo T_1 primaarühmaga induktiivsusega tekkiiv resonants ilmiks sagedusala 3000...4000 Hz.

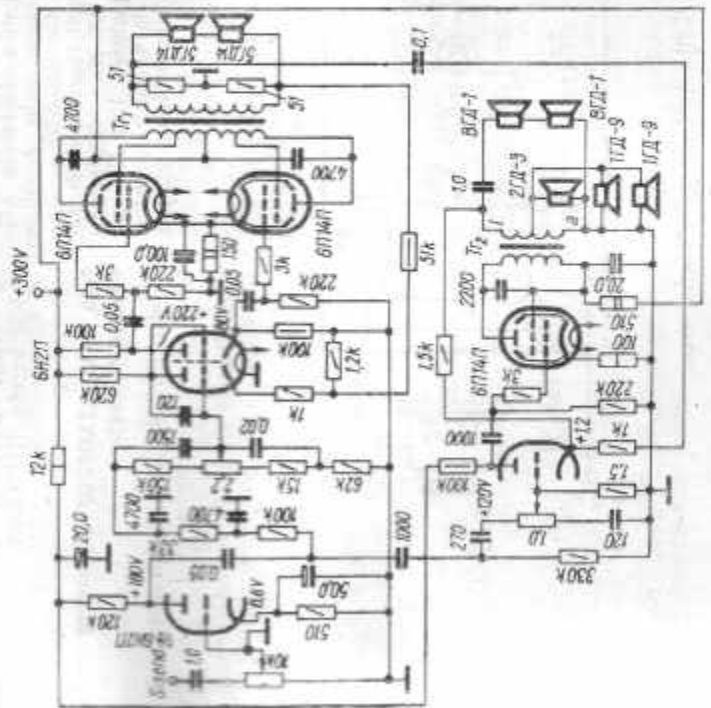
Sagedusriba jaotamisel väljundtrafole abi nende konstruktsioon lihtsustub. Kõrgete helide kanalit trafo ei pea ilmselt üle kandma madalaid helisagedusi ja niiviisi osutuvadki selle mootmed väikesteks. Puitinduktiivsus väheneb, mis omakorda parandab kõrgete helide reprodutseerimise efektiivsust. Madalate helide kanalit trafo



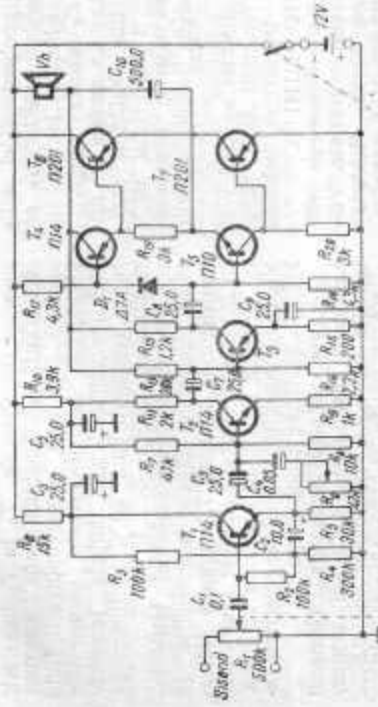
Joon. 9-58. Sagedusriba jaotamine võimendi väljundis: a — televiisoris «Rubin-202» (valjuhääldajate 17Z-9, helitas olav paine: poolne elektrooniline kondensaatoriga, tuleb ühendada skeemil näidatule vastupidise polarisatsiooniga); b — televiisoris «Almaz-10». Märksõnaga «+» ja «-» on tähistatud valjuhääldajate iseseering



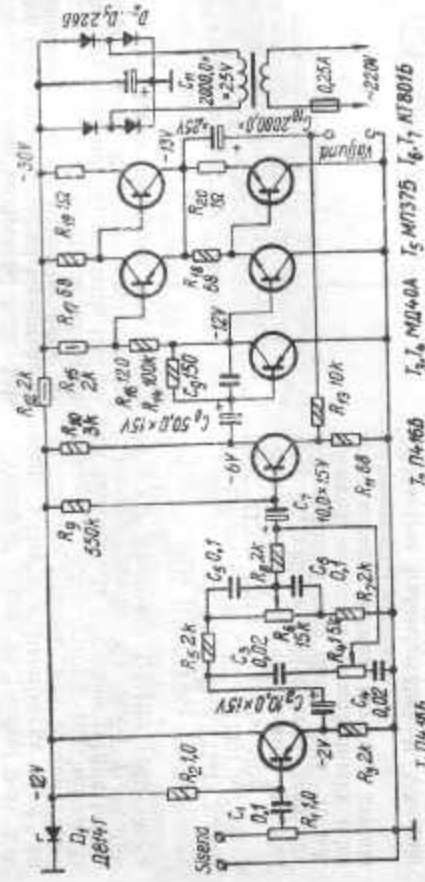
Joon. 9-59. Raadioala «Latvija» madalsagedusvõimendi skeem



Joon. 9-60. Kahekanalilise monoauralilise madalsagedusvõimendi skeem



Joon. 9-63. 1-W vääjundvoimsusega madalsagedusvoimendi skeem.

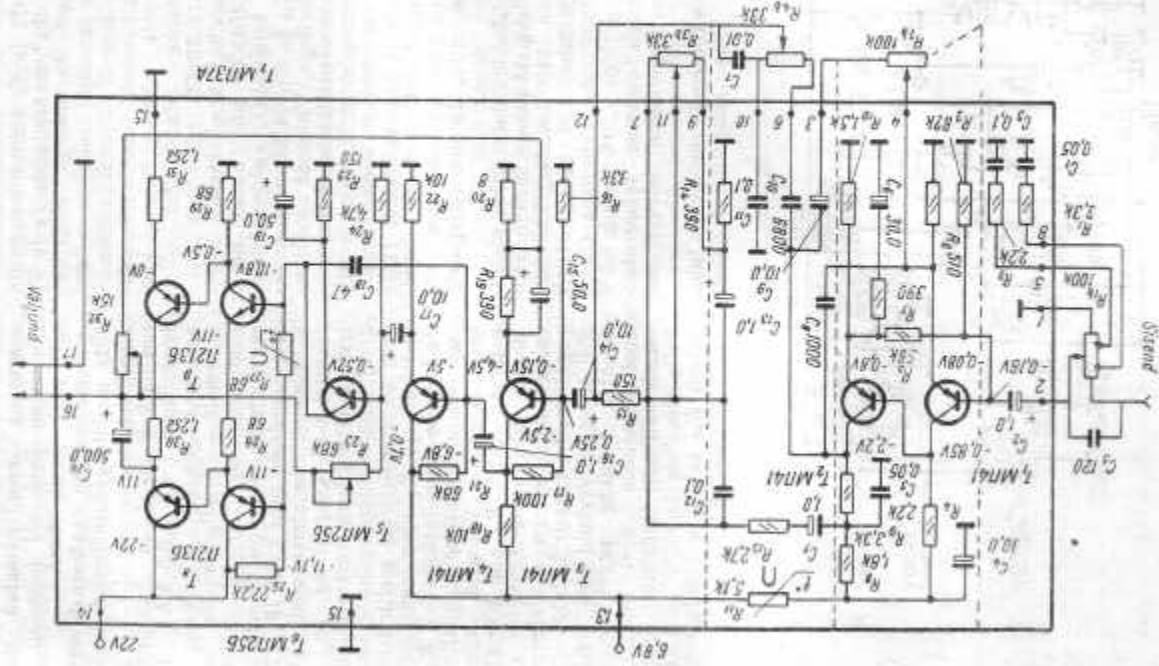


Joon. 9-64. Lineaarse madalsagedusvoimendi skeem

dil on suur siseendtakistus. See võimaldab kasutada mistahes signaallikalt, sealhulgas ka grammofooni pieoelektrilist helisignaali. Kõlavärvi reguleerimise ahelad on etteantud esimese astme järele. Kõrgle helisageduste võimendust muudeks sagedusteks võimendust potentsiomeetriga R_1 ja madalate sageduste võimendust potentsiomeetriga R_2 . Temperatuurstabiilsiooni takistid on etteantud transistori T_1 emitteriahe-

lasse ja transistori T_3 kollektorihelasse. Kahe esimese transistori toitepinget stabiliseerib stabiiltron D_1 . Kondensator C_5 hoiab ära voimendi endaergutuse ultrahelisagedusel. Faasipõrajana toimivad erineva juhtivussüsteemiga transistorid T_2 ja T_3 . Lõppaste $n-p-n$ -tüüpi ränitran-sistoridega T_2 ja T_3 on vastastakt-rõõp-fililtuses. Faasipõramisastme ja lõpp-astme transistorid tuleb valida nii, et

Joon. 9-65. Vastuvõtja «Riga-101» madalsagedusvoimendi skeem (ühe kanali osas)



transistoride T_1 ja T_2 võimendusreguleerimiseks võrdsustatakse transistoride T_1 ja T_2 korruktis võrdluseks korruktisega. Mittelineaarvõimendustegude ja väljundtakistuse vähendamiseks on võimendi väljundi ja transistori T_2 emitteri vahele ühendatud negatiivse tagasiside ahel (R_{12}). Võimendi väljundisse ühendatakse kolmaristastikusse 8...10 D. Võimendi monteeritakse šassile mõõtmega $225 \times 108 \times 50$ mm. Šassil peale paigutatakse toitetrafo, elektroliitikon-densaatrid C_{10} ja C_{11} ja võimsustransistorid radiaatoritega. Viimased mõõtmega 80×60 mm valmistatakse 4 mm pak-susest alumiiniumplekist. Keskele puuri-takse 3,2-mm läbimõõduga augud transistori väljaviikude ja kinnituskruvide jaoks ja äärtesse augud radiaatori enda kinnit-amiseks. Radiaatorid paigaldatakse pak-side vahendusel 10...15 mm kõrgusele šassile.

Toitetrafo südamik valmistatakse plekki-dest III-26 (plektpaki paksus 26 mm). Pri-maarmähisel on 1400 keerdu (II-9/1 0,2) ja sekundaarmähisel 150 keerdu (II-9/1 0,51). Elektroliitikon-densaatritena C_{10} ja C_{11} kasutatakse tüüpi K50-6 pingele 25 V (see pingeline ümbritse temperatuur-rile 70 °C; tootemperatuuril taluvad need pinged 40 V).

Võimendi väljareguleerimiseks tuleb transistoride baasitakistuste väärtusga

saavutada skeemil näidatud töörežiimid. Lõppastme jõudevool (signaali puudumi-sel) peab olema 40 mA.

Stereofoonilise raadiovastuvõtja «Riga-101» madalsagedusvõimendi. Seadme ni-miväljundvõimsus on 1,5 VA sisend-signaali 0,2 V puhul ja maksimaalne väl-jundvõimsus 4,5...5,5 VA. Elekantav-sagedusala on 30...12 000 Hz, müratase vähemalt -50 dB, kanalite ülekandevõim-sus 30...40 dB, kolavärvingu-regulaatorite toime nii kõrgele kui ma-da-late sageduste osas kuni 18...20 dB.

Võimendi ühe stereoanalil skeem on joonisel 9-66. Lõppastmes on kasutusel trafota järjestikune vastastaktilisus. Re-žiimi temperatuurstabiilsuse suurendami-seks on transistoride emitterahelates ta-kestid R_{20} ja R_{21} ning transistoride T_2 ja T_1 baaside vahel termotakistid R_{27} , mis on monteeritud lõppastme transistoride vahe-tusse lähedusse. Võimendi kolm viimast astet on takistid R_{24} abil hõlmatud nega-tiivse alalisvoolu-tagasisiddega. Kaks esimest astet on samuti alalisvoolu osas negatiivselt tagasisidestatud takistid R_3 abil ja vahelduvvoolu osas kondensaatri C_3 abil. Põhiline negatiivse vahelduv-voolu-tagasiside ahel sidestab võimendi väljundit transistori T_1 emitteriga. Selle sidestuse tugevust saab reguleerida takistid R_{22} takistuse muutmisega. Kõla-värvinguregulaatorid madalate sagedus-

te osas R_{20} ja kõrgete sageduste osas R_{10} on taise ja kolmanda astme vahel ning stereoanalilise regulaatori R_{23} — ne-gatiivse tagasiside ahelaks. Kahel esi-mese astme temperatuurstabiilsust pa-remab termotakistid R_{21} .

Lihtsa kaheastmelise lampidega madal-sagedusvõimendi (skeem joonisel 9-66) andmed on järgmised: väljundvõimsus 2,5 VA, mittelineaarvõimsus alla 4%, tundlikkus 25...30 mV, omamüratase -48 dB, ülekanav sagedusala 40...15 000 Hz sagedusarakteristiku eba-ühtlusega äärmistel sagedustel mitte üle 1 dB. Anoodpingel 300 V kasvab väl-jundvõimsus 3,5 voltampriini.

Lõppaste on AB₁-režiimis. Väre-elpinge andakse iseseisvast aladist droodiga D_2 . Faasipööramisaste on poollitatud koorma-sega. Kõlavärvinguregulaator R_0 muu-dab võimendi sagedusarakteristikut kõr-gestel sagedustel. Võrgumüra vähendamiseks on toitetrafo küttemähis šassil suh-tes 1:40-voidise pingele all (ta on ühenda-tud lambi EL_1 varivõrega).

Võimendis tekkivat mittelineaarvõimu-tust saab vähendada negatiivse tagasi-side abil. Selleks tuleb võimendi väl-jund sidestada pentoodi katoodiga umbes 20-kilo-ohmise takistusega takisti kaudu ja kondensaatori C_2 ära jätta.

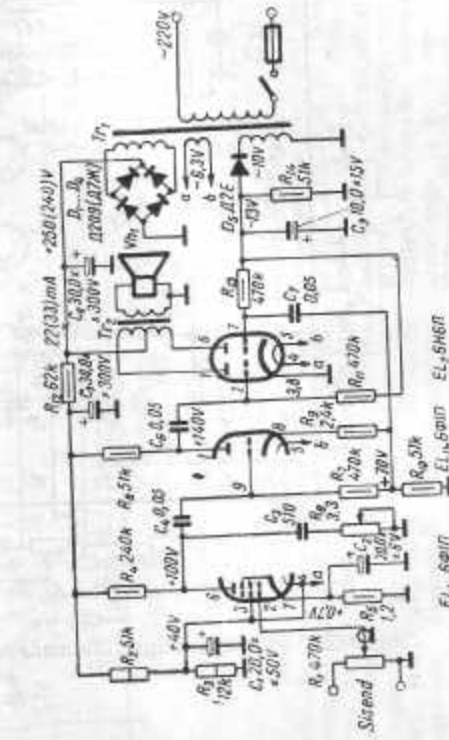
Väljundtrafo võib kasutada südamikku III12X30 ahela mõõtmetega 12×30 mm.

Primaarmähiseks on 2300+2300 keerdud 0,12-mm läbimõõduga traati ja sekun-därmähiseks 74 keerdud 0,74-mm tran-si-iti II-9B. See on mõeldud 3...5-ohmise koormuse jaoks. Sekundaarmähis keritakse primaarmähise poolte vahele ja isoleeri-takse hoolikalt. Trafoplekid monteeritakse pluta, s.o. vahelili.

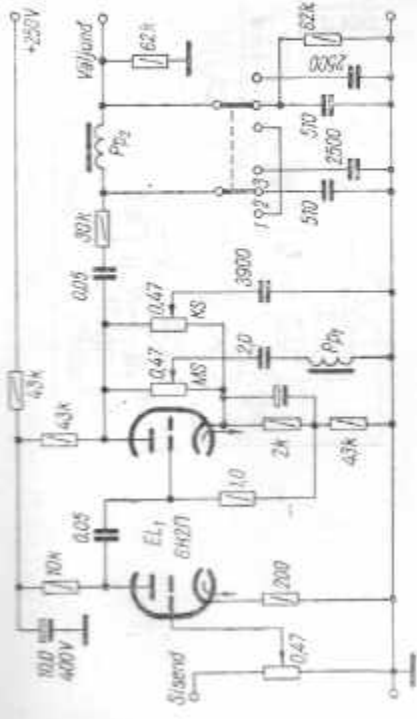
Toitetrafo võib kerida südamikule III16X32, mille akna mõõtmel on 16×30 mm. Primaar- (võrgu-) mähis sisaldab 2080 keerdud (II-9B 0,23), anoodtoitemähis 2040 keerdud (II-9B 0,16) ja küttemähis 68 keerdud (II-9B 0,84). Eelpingevaldi mä-hisel on 97 keerdud (II-9B 0,12).

Kombineeritud raadioseadme eelvõim-en-di. Kombineeritud raadioseadme eelvõi-mendi skeem on joonisel 9-67. Võimendis on iseseisvad kolavärvinguregulaatorid, mille abil saab sujuvalt reguleerida või-mendust sagedusala äärmistel sagedustel vähemalt ± 20 dB piires. Lisaks sellele on võimendis täbilsakeriba ümberliititi, mille asendit on: 1 — kuni 20 kHz, 2 — kuni 10 kHz ja 3 — kuni 5 kHz. Lineaarvõim-endus sagedusalas 20...20 000 Hz ei üle-ta 0,5 dB (kolavärvinguregulaatorite keskasendi puhul).

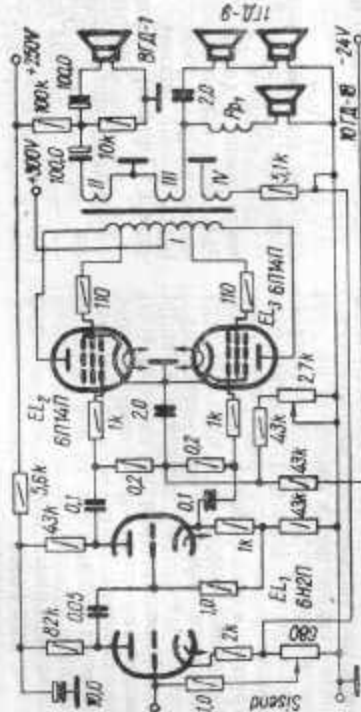
Paispool P_1 võib olla koostatud per-malioist südamikil III7X7 ning selle in-duktiivsus peab olema 17 H. Paispool P_2 võib konstrueerida toroidsüdamikul, ta induktiivsus peab olema 1 H.



Joon. 9-66. Lihtsa madalsagedusvõimendi ja toitealadi skeem



Joon. 9-67. Kombineeritud raadioseadme eelvõimendi skeem



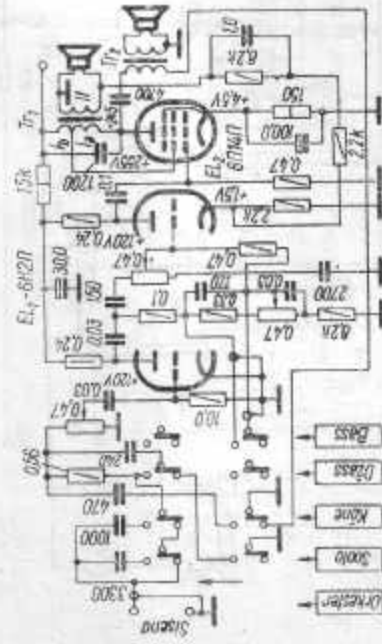
Joon. 9-68. Kombineeritud raadioseadme võimsusvoimendi skeem.

Kombineeritud raadioseadme lõppvoimendi. Võimendi skeem on joonisel 9-68. Tä koosseis eelvõimendusastmest ja poolitatud koormusega liituses faasipööravõimsust. Sellele järgnev võimsusvoimendusaste on ultratähtsuse ning toimib AB₁-klassi režiimis. Lõppastme lampidele antakse võre-eelepinge iseseisvast pingevaldkast. Võimendusaste on hõlmatud 20 deitsibelli tagevuse negatiivse tagasisidega. Võimendi on ühendatud kolmekanalilise akustilise süsteemi. Sagedusriba aotamine kanaliteks toimub liitritega. Võimendi väljund-

võimsus on 10 W, sel puhul on mitte-lineaarsootlus alla 0,5%.

Väljundtrafo võib olla koostatud sädemikul III25X37. Primaarmähis I peab sisaldama 800+600+600+800 keerdude (II3I 0,18), mähis II — 70+70 keerdude (II3I 0,9), kusjuures sektsioonid ühendatakse rööbiti, mähis III — 70+70 keerdude (II3I 0,9), kusjuures sektsioonid ühendatakse järjestytki, ja mähis IV — 50+50 keerdude (II3I 0,18). Trafo peab olema mähiitud vastavuses § 9-5 toodud soovitustega.

Paispooili P_{p1} induktiivsus



Joon. 9-60. Kõlavärvingu klahviliitliga madalsagedusvoimendi skeem

$$L = \frac{R}{4,5} \text{ mH,}$$

kus R on väljuhääldaja 10ГД-18 võnkepooli faaktus Ω . Paispooili aktiivtakistus peab olema 10...20 korda väiksem väljuhääldaja võnkepooli aktiivtakistusest.

Klahviliitiga kõlavärvinguregulaatorit («kõlaregistrit») omav võimendi. Võimendi skeem on joonisel 9-69. Seadme väljundvõimsus on 2 W ja mitelineaarsootlus alla 2,5%, väljundvõimsusel 5 W suureneb mitelineaarsootlus 6 protsendini. Võimendi tundlikkus on 100 mV, läbilaskeriba 30...12 000 Hz. Anoodtoitepinge on 250 V.

Võimendi lõppaste on ultratähtsuse, sagedusribade jaotamine loimub astme väljundis. Mähisel I_4 on 2000 keerdude ja vahemik. Mähisel I_6 on 600 keerdude (II3I 0,12), mähisel I_7 — 94 keerdude (II3I 0,64) (kui koormuseks on kaks isadühenduses väljuhääldajat 2ГД-3). Trafo T_2 on vahelili laotud plekkidest III2X12 koostatud sädemikul (vt § 5-1). Mähis I_1 sisaldab 2000 keerdude (II3I 0,12), mähis I_2 — 32 keerdude (II3I 0,51) (kui on kasutusel kaks rööpühenduses väljuhääldajat 1ГД-9).

Klahvi Orkesster allavajutamisel (see asend on kujutatud skeemil) on voi-

mendi sagedusarakteristikul madalate ja kõrgete sageduste piirkonnas 8...10-dB lõus. Klahviliitli asendi $S_{00/0}$ puhul on see touts 5...6 dB ja asendi $Kõne$ puhul 2...3 dB. Asendi D_{kass} puhul on sagedusarakteristik madalate sageduste piirkonnas praktiliselt sama kui asendi $Orkesster$ puhul, kuid sagedustel 3...4 kHz on võimendus mõnevõrra suurenenud. Klahvi B_{kass} allavajutamisel on võimendus 100 Hz juures 18 dB. Sujuvate kõlavärvinguregulaatorite abil saab võimendi sagedusarakteristikut reguleerida veel umbes 6 dB ulatuses.

Trafo T_1 on koostatud sädamikul III19X28, mille magnetringi jäetakse 0,12-mm mittemagnetilisest materjalist vahemik. Mähisel I_4 on 2000 keerdude ja vahemik. Mähisel I_6 on 600 keerdude (II3I 0,12), mähisel I_7 — 94 keerdude (II3I 0,64) (kui koormuseks on kaks isadühenduses väljuhääldajat 2ГД-3). Trafo T_2 on vahelili laotud plekkidest III2X12 koostatud sädamikul (vt § 5-1). Mähis I_1 sisaldab 2000 keerdude (II3I 0,12), mähis I_2 — 32 keerdude (II3I 0,51) (kui on kasutusel kaks rööpühenduses väljuhääldajat 1ГД-9).