

TARTU RIIKLIK ÜLIKOO



L. UIBO

**PRAKTILISED TÖÖD
RAADIOTEHNIKAS
JA
ELEKTROONIKAS
II**

TARTU 1964

TARTU RIIKLIK ÜLIKOO

EKSPERIMENTAALFÜÜSIKA KATEEDER

L. Uibo

PRAKTLISED TÖÖD RAADIOTEHNIKAS
JA ELEKTROONIKAS

II

Tartu 1964

Тартуский государственный университет
ЭССР, г. Тарту, ул. Пликооли, 18

Л. Уйбо

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО РАДИОТЕХНИКЕ
И ЭЛЕКТРОНИКЕ II
На эстонском языке

—
Vastulav toimetaja V. Veimer
Korrektdor A. Norberg

TRÜ rotaprint 1964. Trükipoognaid 6,75.

Arvestuspoognaid 4,36. Trükdary 200.

Paljundamisele antud 16. IV 1964

MB 02897 Tell. nr. 1364.

Hind 14 kop.

Töö kord praktikumis.

Töö eripraktikumie eeldab küllaldasi teadmisi uuritava nähtuse teooriast, mõttemetoodikast ja aparatuurist. Selleks peavad üliõpilased eelnevalt, väljaspool praktikumiks ettenähtud aega, iseseisvalt põhjalikult tutvuma vastava laboratoorse töö (tööde) teoreetiliste alustega ning töö teostamise käiguga juhendi ja juhendis näidatud kirjanduse abil.

Enne tööle asumist (kas eri ajal või vahetult töö juures) toimub tentamen (eelkats) teostatava töö teoreetiliste aluste ja töö käigu kohta. Üliõpilane peab tundma töö eesmärgi ja teooriat, olema võimeline joonistama katseseadme skeemi ja selgitama selle tööpõhimõtte, olema kodus eksperimendi metoodikas, oskama ümber käia antud tööke vajalike mõõteriistadega.

Üliõpilasi, kes ei ole tööks valmistunud, ei lubata tööst osa võtta.

Tunniplaanis praktikumiks ettenähtud aeg tuleb kasutada ainult graafikukohase praktilise töö teostamiseks. Praktikumiks ettenähtud aega ei ole lubatud kasutada teoreetiliseks ettevalmistumiseks.

Hilinejad ei saa tööst osa võtta, nad märgitakse puudujaks ning neist tsatatakse dekaanile.

Grupp töötab laboratooriumie ainult tunniplaanis ettenähtud ajal.

Laboratooriumie töötamise ajal tuleb rangelt täita ohutustehnika reegleid.

Tööd protokollitakse lehtedele formaadis A-4 (soovitav liinierimata), mis on kildetud kausta. Juba tööks valmistu-

mise käigus tehakse esmane protokoll, kuhu kantakse rida vajalikke andmeid (skeemid, tabelid, eelnevad arvutused jne.). Pärast töö lõppu, kuid enne katseseadme lahtivõtmist, märgistatakse primaarne protokoll praktikumi juhataja poolt. Lõplikult vormistatakse tehtud töö järgmiseks praktikumiks (selle juurde kuulub ka primaarne protokoll). Üliõpilasi, kes ei ole esitanud eelmise töö aruannet, uut tööd tegema ei lubata.

Joonised ja graafikud joonestatakse tušiga (tehniline), esimesed valgetel lehtedel (A-4) ja teised samas formaadis millimeetripaberil.

Graafikutel kasutatakse mastaape 1-, 2-, 5- ja 10^{+n} -kordsetena. Igal graafikul (joonisel) on nimi. Otse eksperimentist (või viimasest arvutusliku ümbertöötlusega) saadud punktid tähistatakse nullikeste või ristikestega. Telgedel näidatakse mõõdetav suurus ja selle ühik.

Laboratoorse töö protokoll (aruanne) peab sisaldama järgmisi materjale:

1. Töö nimetus ja ülesanne.
2. Töö käik, arvutusvalemid ja töö juures vajalikud teoreetilised andmed.
3. Katseseadme skeem. Skeemil tuleb ära märkida skeemi elementide suurused (takistite takistused, kondensaatorite mahtuvused jne.), toiteallikate pinged, mõõteriistad (nende tüüp), tüüppiirkonna individuaalne number, abiseadmed, lampide tüübid ja nende soklilülitused. Mõnel juhul tuleb ära näidata ka lülituse lähteskeemid.
4. Vaatluste tulemused ja arvutustest saadud tulemused kujundada tabelisse või esitada graafikuna. Iga graafiku või tabeli korral on vaja ära näidata töö teostamise režiim.
5. Saadud tulemuste analüüs ja vajalikud seletused.

MADALSAGEDUSVÕIMENDI UURIMINE.

I. Töö ülesanne.

Tutvuda madalsagedusvõimendite omaduste, parameetrite ja karakteristikutega. Töös määratakse takistusmahtuvusliku sidestusega madalsagedusvõimendi sagedus-, faasi- ja amplituud-karakteristikud ning uuritakse võimenduse sõltuvust mitmesugustest skeemi parameetritest.

Võrreldakse eksperimentidist saadud tulemusi teoreetiliselt arvutatutega.

II. Töö vahendid.

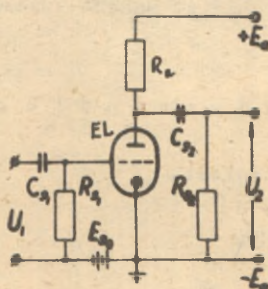
1. Madalsagedusvõimendi makett.
2. Helisagedusgeneraator 3Г-10.
3. Katoodotsillooskoop 30-7.
4. Lampvoltmeeter.
5. Akumulaator 40 v.
6. V_1 voltmeeter 300 v =.
7. V_2 - " - 30 v =.
8. Reostaat 2000 Ω .
9. Avaldi 250 v = ; 6,3 .

III. Üldosa.

Raadiotehnikas kasutatakse laialdaselt võimendeid pingete, voolude või võimsuste võimendamiseks. Helisagedusvõimendid võimendavad pingeid (voole), mille sagedused on helisageduste piirkonnas (sageduste vahemik 20 Hz kuni 20 kHz).

Kõige enam levinud võimendiks on nn. takistusmahtuvusliku sidestusega võimendi, mida tänapäeval kasutatakse nii pingete, kui ka võimsuste võimendamiseks. Sellised võimendid on konstruktsioonilt lihtsad, odavad, on vähe tundlikud mitmesuguste segavate häirete suhtes, mida tekitavad välised elektromagnetilised väljad, ja nende jaoks on kerge saavuta-

da laia läbilasstavate sageduste riba. Sageli on vajalik võimalus nii suur, et seda ei ole võimalik saavutada ühe võimaldusastme abil. Sel juhul kasutatakse võimaldamiseks mitut järjestikku lülitatud võimaldusastet. Kui võimaldusastmete jaoks kasutada ühesuguseid skeeme, siis võib arvutada ja analüüsida võimaldendi tšõd ainult ühel võimaldusastmel. Saadud tulemusi on lihtne kasutada ka teiste võimaldusastmete juures.



Joon. 1.

Joonisel 1 on esitatud takistusmahtuvusliku sidestusega võimaldendi ühe võimaldusastme põhimõtteline skeem:

EL on võimaldendi elektronlamp (triood),

Ra - anoodkoormustakisti ja

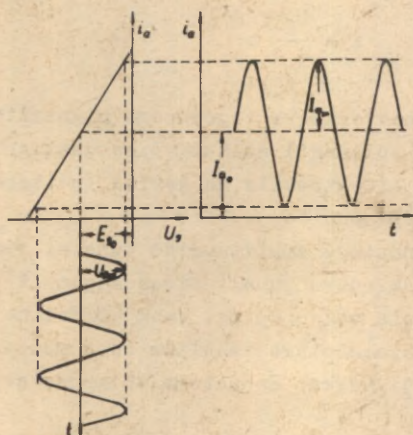
Cg₁, Rg₁ ja Cg₂, Rg₂ - sidestusahelad, mille abil võimaldusaste sidestatakse teiste astmetega. Skeemil ei ole anoodtoitering ja võre-selplinge vooluring eraldi kujutatud.

Võimaldendi tšõdreežiimist.

Sõltuvalt tšõdreežiimist võimaldendid tšõdada A klassis, AB klassis, B klassis, C klassis.

A klassi võimendis töötab elektronlamp niisuguste alalispingetega võrel ja anoodil, et tüürpinge mõjutusel muutub anoodvool kogu perioodi kestel ning anoodvoolu kõver praktiliselt sarnaneb tüürpingekõveraga. Lambi režiim on määratud võre-eelpinge E_{g0} valikuga.

A klassi võimendis jääb elektronlambi tüürvõre potentsiaal alati negatiivseks, s.t. tüürpinge amplituud ei ületa negatiivse võre-eelpinge absoluutväärtust.



Joon. 2.

- E_{g0} - võre-eelpinge,
- V_{gm} - võre vahelduvpinge amplituudväärtus,
- I_{a0} - anoodvool signaali puudumisel võrel,
- I_{am} - anoodvoolu vahelduvkomponendi amplituudväärtus.

A klassis valitakse võre-eelpinge selline, et lambi tööpunkt 0 oleks karakteristiku sirgjoonelise osa keskkohas. Peale selle

$$|U_{gm}| < |E_{g0}|.$$

Et amplituudmoonutused oleksid võimalikult väikesed, töö-

tavad võimendid peamiselt A klassis.

AB, B ja C võimendusklassid saame, kui muudame võre-
eelpinget negatiivsemaks nii, et lambi anoodvool kestab
mitte kogu perioodi vältel. Moonutused neil juhtudel on
tunduvalt suuremad, nii et võimendit nendes režiimides võib
kasutada ainult eriliste lülituste puhul (näiteks vastas-
taktlülitus).

Peamiseks parameetriks, mis iseloomustab võimendi tööd,
on võimendustegur K , mis on võrdne väljundpinge (U_2) ja si-
sendpinge (U_1) amplituudide suhtega

$$K = \frac{U_2}{U_1} . \quad (1)$$

Võimendustegur on erinev erineva sagedusega signaalide jaoks.
Takistusmahtuvuslikul võimendil sõltub võimendustegur sagedu-
sest vähem kui teiste sidestusviiside korral (näiteks trans-
formaatorsidestusega võimendites).

Väljund- ja sisendpinge amplituudide suhe ei jää alati
samaks ka konstantse sageduse puhul. Sisendsignaali suure
amplituudi juures ei ole väljundpinge enam võrdeline sisend-
pingega; väljund- ja sisendpinge vaheline seos muutub mitte-
lineaarseks ja võimendi hakkab moonutama võimendatavaid sig-
naale.

Seetõttu kirjeldatakse võimendi tööd karakteristikute
abil, mis näitavad võimendusteguri võltuvust kas signaalide
sagedusest või amplituudist.

Sageduskarakteristikaks nimetatakse võimendusteguri suu-
ruse sõltuvust võngete sagedusest.

$$K = f(\omega) .$$

Amplituudkarakteristikuks nimetatakse võimendi väljund-
pinge amplituudi sõltuvust pinge amplituudist võimendi sisen-
dis konstantse sageduse juures.

$$U_2 = f(U_1) .$$

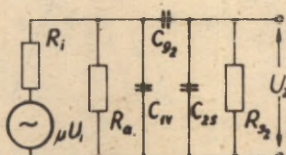
Mõnel juhul omab suurt tähtsust võimendi faasikarakteristik-

võimendi väljundpinge faasinihke (sisendpinge faasi nurga suhtes) sõltuvus sagedusest:

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = f(\omega).$$

Raadiotehniliste skeemide töö analüüsimisel kasutatakse nn. ekvivalentseid skeeme, milles kõik erinevad skeemi elemendid on asendatud takistitega, mahtuvustega, induktiivsustega ja pingeallikatega (pingegeneraatoritega).

Joonisel 3 on esitatud võimendi (vt. joonis 1) ekvivalentskeem voolude ja pingete vahelduvkomponentide jaoks.



Joon. 3. Pinge võimendusastme ekvivalentskeem.

Ekvivalentskeemi tähistused:

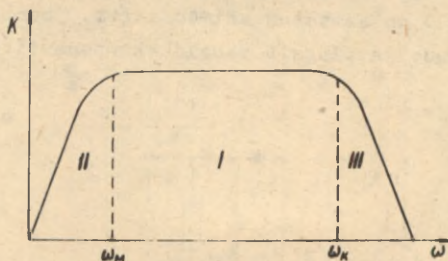
- U_1 - vahelduvpinge võimendi lambi võrel,
- μ - võimendi lambi võimendustegur,
- R_1 - võimendi lambi sisetakistus,
- R_a - oomiline anoodkoormus.

Ekvivalentskeemis lamp on asendatud ekvivalentse generaatoriga, mille pinge on μU_1 , ja sisetakistus R_1 .

- C_{IV} - ekvivalentne mahtuvus, mis on võrdne elektronlambi elektroodidevaheliste parasüitamahutuvustega,
- C_{2S} - ekvivalentne mahtuvus, mis vastab koormuse mahtuvusele (peamiselt järgmise võimendusastme lambi elektroodidevahelised mahtuvused).

Võimendi töö analüüsimisel jagatakse kogu võimendatavate sageduste piirkond kolmeks alaks: keskmiste sageduste ala

- I, madalamate sageduste ala - II ja kõrgemate sageduste ala - III (vt. joon. 4; need piirkonnad kehtivad ainult võimendi analüüsi puhul - mitte segada tavaliste madal- ja kõrgsageduste mõistetega).



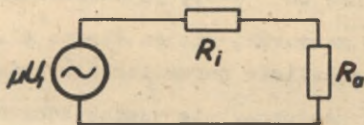
Joon. 4. Võimendi sagedusarakteristik.

ω_M - Madalamate sageduste piirkonna piirsagedus;

ω_K - kõrgemate sageduste piirkonna piirsagedus.

Üksikute võimenduspiirkondade jaoks võib ekvivalentskeemi tunduvalt lihtsustada - rida skeemi elemente võib mitte arvesse võtta nende väikese mõju tõttu võimendusele.

I. Keskmiste sageduste piirkonna jaoks kasutatakse järgmist lihtsustatud ekvivalentskeemi (joon. 5).

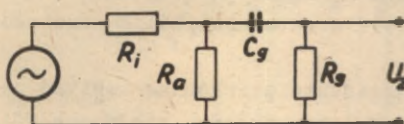


Joon. 5. Võimendi ekvivalentskeem keskmise sageduspiirkonna jaoks.

Selle piirkonna jaoks on võimendi võimendustegur

$$K = \frac{U_a}{U_g} = \frac{R_a}{R_1 + R_a} \quad (1)$$

II. Madalamate sageduste piirkonnas võime arvestamata jätta kondensaatorid C_{IV} ja C_{2S} , millede takistus vahelduvvoolule on selles piirkonnas tunduvalt suurem R_a -st ja R_g -st, mis on lülitatud nendega paralleelselt. Sel juhul näeb ekvivalentne skeem välja nii nagu on kujutatud joonisel nr. 6.



Joon. 6. Ekvivalent skeem võimendi madalamate sageduste piirkonna jaoks.

Sel puhul pinge anood koormustakistil

$$U_a \approx I_a R_a = \mu \frac{U_1 R_a}{R_1 + R_a}$$

jaguneb kahe takistuse vahel: sidekondensaatori C_g mahtuvusliku takistuse ja oomilise võretakisti R_g vahel. U_2 on väiksem U_a -st pingelanguse võrra kondensaatori C_g takistusel. Sageduse vähenemisel suureneb kondensaatori takistus ($X_C = \frac{1}{\omega C}$) ja see on üheks põhjuseks, miks sageduse vähenemisel langeb ka võimendi võimendustegur.

Madalate sageduste piirkonnas leiame võimendusteguri (sagedusel ω_m) järgmiselt

$$|K_M| = \frac{U_2}{U_1} = \mu \frac{R_a}{R_1 + R_a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega_m^2 \cdot C_g^2 R_g^2}}} \quad (2)$$

Võimenduse vähenemist madalamate sageduste piirkonnas hin-

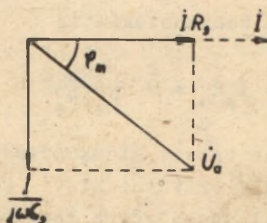
natakse sagedusmoonutuste teguri (M_M) abil, mille all mõistetakse võimenduse suhet keekmise sageduste piirkonnas K_0 võimendusse madalamate sageduste piirkonnas

$$|M_M| = \frac{|K_0|}{|K_M|} = \sqrt{1 + \frac{1}{\omega_M^2 C_g^2 R_g^2}} \quad (3)$$

Tavaliselt on võimendi jaoks kindlaks määratud lubatav sagedusmoonutuste tegur M_M ja võimendi poolt läbilastav sagedusriba (s.t. ka ω_M). Seosest (3) võib leida korrutise $C_g R_g$. Tavaliselt määratakse R_g mõistlikkudes piirides (0,5 - 1 MΩ) ja vastavalt sellele arvutatakse välja kondensaatori C_g mahtuvus.

Madalamate sageduste piirkonnas tekivad peale sagedusmoonutuste veel faasimoonutused - seejuures võib moonduda suhteline faasiväärtus erinevate sagedustega signaalide jaoks.

Faasimoonutusi võib arvutada vektordiagrammi abil (vt. joon. 7).



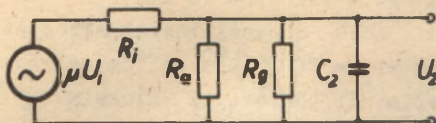
Joon. 7.

C_g ja R_g ringi vool I on ees pingest U_a nurga φ_M võrra.

$$\varphi_M = \arctan \frac{1}{\omega_M C_g R_g} \quad (4)$$

seepärast $\dot{M}_M = \frac{\dot{K}_0}{\dot{K}_M} e^{j\varphi_M}$, s.t. moonutustegurit võib kujutada kompleksarvuna.

Ekvivalentskeem kõrgemate sageduste jaoks on esitatud joon. 8.



Joon. 8. Võimendi ekvivalent skeem kõrgema sageduspiirkonna jaoks.

Skeemil $C_2 = C_{IV} + C_{2S}$.

Piirjuhuseks võib mitte arvestada nii R_g kui ka isegi R_a

$$(R_1 \gg \frac{1}{\omega_k C_2} \text{ ja } R_a \gg \frac{1}{\omega_k C_2}) .$$

Sel juhul saame võimendusteguri (mooduli) järgmiselt:

$$K_k \approx \frac{\mu}{\sqrt{1 + \omega_k^2 C_2^2 R_1^2}} . \quad (5)$$

Sagedusmooduluste mooduli leiame järgmiselt

$$\left| \frac{\dot{K}_k}{\dot{K}_k} \right| \approx \frac{\left| \dot{K}_0 \right|}{\left| \dot{K}_k \right|} = \frac{\sqrt{1 + \omega_k^2 C_2^2 R_1^2}}{1 + \frac{R_1}{R_0}} . \quad (6)$$

Valides kindlad K_k ja ω_k väärtused võib arvutada R_a .

Faasinurga ligikaudne väärtus kõrgemate sageduste piirkonnas on järgmine

$$\varphi_k \approx \arctan \frac{1}{\omega_k C_2 R_1} . \quad (7)$$

T ü ü k ä i k .

1. Tutvuda töö põhimõtetega. Võrrelda võimendi maketti joon. 1 skeemiga.

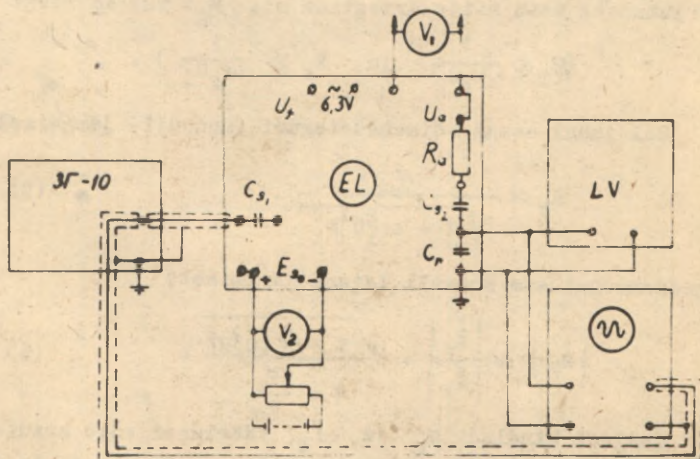
2. Koostada skeem vastavalt joonisele 9.

Valida anoodkoormuse takistus $10 \text{ k}\Omega$.

Määrata trioodi 6C2C dünaamiline karakteristik.

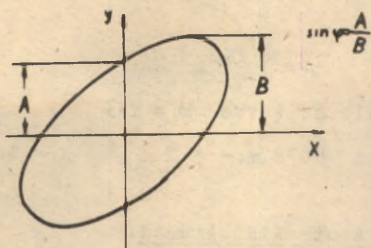
Ehitada graafik $I_a = f(U_g)$ ja valida selline võre-eelpinge, et võimendi töötaks A klassis.

3. Võimendi sagedus- ja faasikarakteristikute uurimiseks koostatakse skeem vastavalt joon. 9. Skeemis peavad olema võimalikult lühikesed ühendused. Võreeringi ühendamiseks kasutada varjestatud juhet, mille varje peab olema maandatud.



Joon. 9. Skeem võimendi eagi, lus- ja amplituud-karakteristikute määramiseks.

Faasinurga määramiseks kasutatakse interferentskujundeid (Lissajous' kujundeid). Selleks tuleb anda ostsillooskoobi ühele plaadipaarile (parem X-teljele) signaal võimendi väljundist ja teisele (Y-teljele) võimendi sisendisse antav signaal. Selle tulemusena saame ostsillooskoobi ekraanile ellipsi, mille parameetrite järgi võib määrata ka faasinurga (vt. joon. 10).



Joon. 10.

Selge ja küllaldaste mõõdetega ellipsi kujutise saamiseks ostsilloskoobi ekraanil on vaja vastavalt välja reguleerida horisontaal- ja vertikaaltelgede võimendite võimendus. Töö teostamisel sisendpinge $U_1 = 1\text{ V}$ hoida konstantsena (kontrollida iga mõõtmise ajal). Uurida sagedus- ja faasikarakteristikute sõltuvust mahtuvustest C_g ja C_s . Selleks määrata sõltuvused

$K = f(\omega)$ ja $\varphi = f(\omega)$, kui $G_g = 4000\text{ pF}$, 10000 pF

20000 pF ($C_s = 150\text{ pF}$) ja $C_s = 2500\text{ pF}$ ($C_g = 10000\text{ pF}$).

4. Uurida võimendusteguri K sõltuvust keskmistel sagedustel ($\omega = 1000\text{ Hz}$) R_a -st ja R_g -st.

1. Arvutada välja võimendustegur järgmiste R_a väärtustega jaoks: $3,0\text{ k}\Omega$; $5,0\text{ k}\Omega$; $10\text{ k}\Omega$; $20\text{ k}\Omega$; $27\text{ k}\Omega$; $50\text{ k}\Omega$; $100\text{ k}\Omega$.

2. Määrata katseliselt sõltuvus

$$K = f(R_a).$$

R_a muuta piirides $3,0\text{ k}\Omega - 100\text{ k}\Omega$.

Anoodpinget hoida konstantsena 200 V . Võrrelda katseandmeid arvutueandmetega. Iga koormuse takistuse väärtuse jaoks arvutada välja väljundvõimsus P_v

$$P_v = \frac{U_v^2}{R_a}.$$

Ehitada graafikud $K = f(R_g)$,

$$P_v = f(R_g).$$

3. Määrata katseliselt eõltuvus $k = f(R_g)$.

R_g muuta piirides $50 \text{ k}\Omega - 1 \text{ M}\Omega$, $R = 40 \text{ k}\Omega$.

Kontrollküsimused.

1. Missugusel juhul on takistusmahtuvusliku sidestusega võimendis otstarbekohane kasutada trioodide asemel tetroode või pentoode?
2. Seletada takistusmahtuvusliku sidestusega võimendi ekvivalentskeemi?
3. Millised võimendi elemendid määravad lineaarmoonutuste suuruse?
4. Millest oleneb mittelineaarmoonutuste suurus võimendis?
5. Kuidas määratakse mittelineaarmoonutuste suurust?
6. Milliseid võimendeid nimetatakse lairibavõimenditeks?
7. Seletada faasimoonutuste mõiste ja faasimoonutuste seos sageduemoonutustega?
8. Kuidas määratakse faasimoonutusi?
9. Mis tähendab võimendi töö A, AB, B ja C klassides?

Kirjandus.

1. Эрглис, К.Э., Степаненко, И.П., Электронные усилители, Физматгиз, 1961.
2. Власов, В.Ф., Курс радиотехники, Госэнергоиздат, 1962.
3. Цыкин, Г.С., Усилители электрических сигналов, Госэнергоиздат, 1961.

ALALISVOOLU FOTOELEKTRONVÕIMENDI UURIMINE.

I. Töö ülesanne.

Töö ülesandeks on tutvuda alalisvoolu võimendi rakendusega fotovoolude võimendamisel.

Töös tutvutakse fotodioodi ja võimendi lambi omadustega, uuritakse võimendi töörežiimi valgusele ja pimedusele fotovoolude võimendamisel.

II. Töö vahendid.

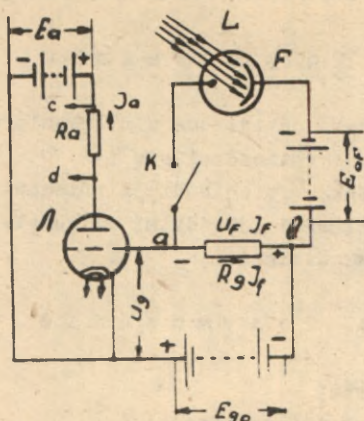
1. Võimendi makett;
2. Fotodiod koos toiteseadmega;
3. Alaldi 250 v - ; 6,3 v ~ ;
4. Akumulaator 40 v ;
5. Reostaat 2000 Ω ;
6. Voltmeetrid 300 v -
450 v -
40 v -
7. Milliampermeeter 10 mA -
8. Hõõglamp optilisel siinil ja toitetrafo.

III. Üldosa.

Fotoelektronvõimendi tööd võib kirjeldada järgmiselt: väikestel fotodioodile (fotorakule) langeva valgusvoo I muutustel tekivad ka väikesed fotovoolu muutused. Väikesed fotovoolu muutused aga põhjustavad tunduvalt suuremaid voolu muutusi elektronlambi anoodringis.

Joonisel 11 kujutatud võimendis on takistus R_g üheaegselt lülitatud kahte vooluringi: fotodioodi anoodvooluringi ja trioodi tüürvõreringi. Nimetame seda takistit sidetakistikks.

Kui sidetakistit R_g läbib fotodioodi vool I_p , siis tekib sellel takistil pingelangus.



Joon. 11.

$$U_F = \pm I_F R_g .$$

Pinge U_F märk lambi võreahelae oleneb fotovoolu I_F suunast sidetakistis R_g . Kui voolu suund on selline nagu on näidatud joonisel 11, on võrele antav potentsiaal U_F negatiivne. Vastupidise voolusuuna puhul on ta positiivne. Nagu jooniselt näha, võrdub trioodi võrepinge

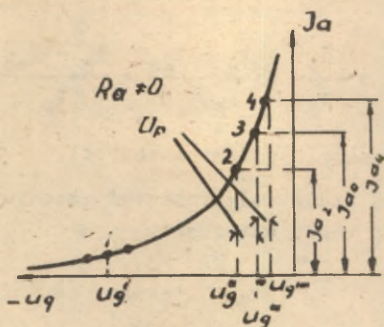
$$U_g = E_{go} + U_F = E_{go} \pm I_F R_g ,$$

kus E_{go} on konstantne pinge nn. võre-eelpinge, mis määrab lambi "alg tööpunkti". Võimendite lampidel on võre-eelpinge tavaliselt negatiivne. Pinge U_F võib seda negatiivset pinget kas suurendada või vähendada sõltuvalt fotovoolu suunast. Sellele vastavalt sõltub lambi anodvoolu tugevus I_a fotovoolu suunast ja tugevusest sidetakistis. Sellel põhinebki fotoelektrilise võimendi töö.

Joonisel 12 on esitatud trioodi dünaamiline võrekarakteristik:

$$I_a = f(U_g), \text{ kui } R_a \neq 0.$$

Oletame, et kui lüliti K on avatud, on lambi võrepinge U_g''' . Seejuures $U_g''' = E_{g0}$, sest $I_p = 0$. Sellele vastab karakteristikul punkt 3 ja anoodvool I_{a0} .



Joon. 12.

Kui sulgeda lüliti K , ning kui valgusvoog $L \neq 0$, siis esineb fotovool ($I_p \neq 0$) ja võrepinge on erinev pingest E_{g0} . Joonisel 11 näidatud fotovoolu I_p suuna puhul muutub võre negatiivsemaks. Oletame, et võrepinge on U_g'' . Sellele vastab karakteristikul punkt 2 ja lambi anoodvool $I_{a2} < I_{a0}$. Kui muuta I_p suunda takistis R_g , võib võrepinge saavutada väärtuse U_g''' . Sellele võrepingele vastab karakteristikul punkt 4 ja anoodvool $I_{a4} > I_{a0}$. Fotoelektrilise võimendi töörežiimi nimetatakse juhul kui trioodi võrepinge ja anoodvool vähenevad fotodiiodi voolu vähenemisel, tööks pimedusele. Töörežiimi, kus võrepinge ja anoodvool suurenevad fotodiiodi voolu kasvamisega, nimetatakse tööks valgusele.

Algtööpunkti määrab võre-eespinge valik. Valides kindla võre-eespinge väärtuse, valitakse sellega ka kasutatava karakteristiku osa. Kui võre-eespinge on võrdne U_g''' , on algtööpunktiks punkt 3 karakteristikul ja tööpiirkonnaks karakteristiku osa punktide 2 - 4 vahel. Seejuures on karakteristiku tõus S võrdlemisi suur. Kui võre-eespinge on

U_g , on alatõõpunktika punkt 1 ja karakteristiku tõus on väike.

Alalisvoolu võimendi töötliseloomustatakse vooluvõimendusteguriga K_1

$$K_1 = \frac{I_a}{I_p} = \frac{I_a - I_{a0}}{I_p - 0} = \frac{I_a - I_{a0}}{I_p},$$

kus I_{a0} - algtõõpunktile vastav anoodvool,

I_a ja I_p - üksteisele vastavad anoodvoolu ja foto-
voolu väärtused.

$$I_a = I_{a0} + K_1 I_p,$$

kus plussmärk vastab töötle valgusele ja miinusmärk töötle pimedusele. Tõestame, et K_1 sõltub fotoelektronvõimendi skeemi parameetritest

$$\frac{I_a R_a}{I_p R_g} = \frac{U_a}{U_g} = K,$$

kus K - võimendi pingevõimendustegur,

U_a - pingelanguse muutus takistil R_k ning

$$K_1 = K \frac{R_g}{R_a} = S_d R_a \frac{R_g}{R_a} = S_d R_g,$$

siin on S_d trioodi võrekarakteristiku dünaamiline tõus.

Võrekarakteristiku mittelineaarsuse tõttu on ka S_d erinev erinevate karakteristiku osade jaoks.

IV. Töö ülesanne.

Fotovoolude võimendamine alalisvoolu võimendi abil.

Uurimise käigus tuleb lahendada järgmised ülesanded:

1. Määrata eksperimentaalselt võimendi elektronlambi dünaamiline karakteristik ja fotodioodi dünaamiline valguskarakteristik. Mõlemad riistad kuuluvad uuritavasse võimendisse.

2. Määrata eksperimentaalselt elektronlambi anoodvoolu ja vooluvõimendusteguri K_1 sõltuvus fotodioodile langevast valgusvoost lambi dünaamilise karakteristiku väikse ja suure töusuga osade töötamisel valgusele ja pimedusele.

3. Arvutada elektronlambi vooluvõimendustegur K_1 ja anoodvoolu tugevus I_a . Võrrelda saadud tulemusi eksperimentaalsete andmetega.

4. Arvutada võimendi maksimaalne väljundvõimsus ja lambi anoodi kaovõimsus tühijooksul ja maksimaalse anoodvoolu juures.

Fotoelektronvõimendi väljundvõimsus tühijooksul, s.t. siis, kui $L = 0$ ja $I_p = 0$, on

$$P_{vo} = I_{ao}^2 R_a.$$

Maksimaalne väljundvõimsus on siis, kui L ja I_p on maksimaalsed,

$$P_v = I_{am}^2 R_a.$$

Trioodi anoodi kaovõimsus on tühijooksul

$$P_{ao} = I_{ao} U_{ao}$$

ning maksimaalse võimsuse puhul

$$P_a = I_{am} U_{am},$$

kus U_{ao} ja U_{am} on trioodi anoodpinge väärtused, kui anoodvool on I_{ao} ja I_{am} .

V. T ö ö k ä i k .

Fotoelektronvõimendi töökorra seadmiseks on vaja teada võimendi lambi dünaamilist võrekarakteristikut ja fotodioodi dünaamilist valguskarakteristikut. Mõlemad karakteristikud tuleb määrata tingimustes, mis vastavad reaalsetele töötingimustele, s.t. esimest karakteristikut tuleb määrata sa-

ma E_a ja K_1 väärtuste juures, mis esinevad skeemis, kuna teise karakteristiku puhul peavad samad olema E_{aF} ja R_g (vt. joonis 10). Kasutades neid karakteristikuid, tuleb vajalik võre-eelpinge E_{go} määrata eraldi töötamisel valgusel ja töötamisel pimedusele.

Võre-eelpinge E_{go} määramisel tuleb eelnevalt määrata (vaetavalt lambi tüübile) maksimaalne anoodvool I_a , mida võib omada kaetud elektronlamp, kui fotorakule langeb maksimaalne valgusvoog (hämleetusel valgusele) või valgusvoo puudumisel (hämlestusel pimedusele).

Määratud vajaliku I_a väärtuse, leiame elektronlambi dünaamilise võrekarakteristiku abil võrepingete U_g väärtused, mis vastavad leitud I_a väärtusele.

Teades U_g ja I_F suurust, leiame E_{go}

$$E_{go} = U_g + I \cdot R_g,$$

kue miinusemärk vastab töötamisele valgusele ja plussmärk töötamisele pimedusele. Katsemeadme skeem on esitatud joonisel 13. Katseskeem koosneb fotodiodist F ja pentoodist B , kusjuures sidetakistiks on takisti R_g . Fotodiod on paigutatud kinnisesse karpis ja teda valgustatakse hõõglambi abil. Muutes vahemaad l fotoraku ja hõõglambi vahel võib muuta valgusvoogu L . Fotodiod ja pentood lülitatakse tavaliselt. Pentoodi anoodahelasse on lülitatud koormus R_a , nii et pentood töötab dünaamilises režiimis. Ümberlülitati F abil on võimalik muuta fotovoolu I_F suunda sidetakistis R_g , nii et lülitus lubab teostada mõlemaid töörežiime: tööd pimedusele ja valgusele.

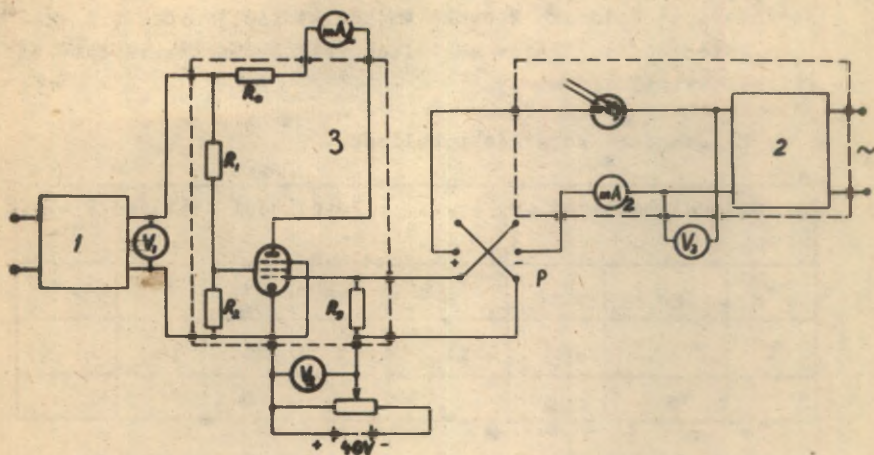
Peale skeemi koostamist tuleb määrata kasutatava pentoodi dünaamiline võrekarakteristik

$$I_a = f(U_{g1})$$

$$E_a = E_a \text{ nomin.}$$

$$U_{g2} = U_{g2} \text{ nomin.},$$

$$\text{seejuures } R_a = R_a \text{ ja } R_g = R_g.$$



Joon. 13.

Katseseadme skeem.

1 - reguleeritav alaldi 0 - 250 v = ; 6,3 v ~ .

2 - fotodioodi toiteosade.

3 - võimendi makett.

V₁ - voltmester 300 v = .

V₂ - -- 30 v = .

V₃ - -- 450 v = .

mA₁ - milliampermester 10 mA = .

mA₂ - -- 0,1 mA = .

Reostaat 2000 Ω .

Võrepinget tuleb muuta nullist sellise negatiivse võrepinge väärtuseni, mille juures $I_g \approx 0$. Ümberlülititi P peab olema välja lülitatud.

Fotodioodi jaoks tuleb määrata dünaamiline valgusarakteristik

$$I_F = f(L)$$

$$E_{aF} = E_{aF} \text{ nomin.},$$

kus E_{aF} ja I_p on vastavalt fotodiodi toiteallika pinge ja fotevool. Potoraku koormus on konstantne ja võrdub R_g -ga.

Fotodiodile langev suhteline valgusvoog arvutatakse tavalisel viisil ($S = \frac{I_p}{R_g}$).

Katseandmed koondada tabelisse.

Pentoodi näitajad. $R_g = \dots$ $R_a = \dots$				Fotodiodi näitajad. $R_g = \dots$			
E_g	U_{g2}	U_{g1}	I_a	E_{aF}	l	L	I_p
V	V	V	mA	V	sm	lm	A

Fotoelektronvõimendi tööd uuritakse mõlemate režiimides (töö valgusele, s.o. karakteristiku osas, kui tõus on väike ja töö pimedusele, s.o. selles osas, kus tõus on suur).

1. Väikeses tõusus puhul. Kasutades elektronlambi dünaamilist võrekarakteristikut, valime selle võre-eelpinge, mille juures tõus S_d oleks väike (vt. punkt 1, joonis 12).

Anname pentoodile vastava võre-eelpinge E_{g0} ja välja-lülitatud lüliti P juures mõõdame anoodvoolu I_{a0} .

Järgnevalt tuleb määrata pentoodi anoodvoolu sõltuvus valgusvoost

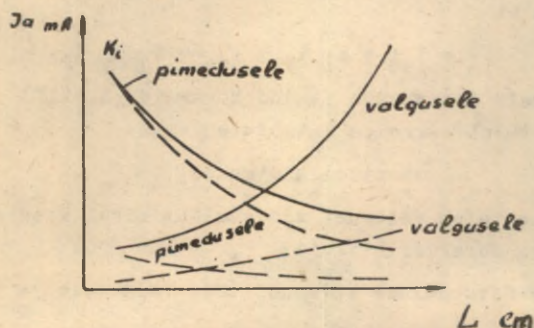
$$I_a = f(L) \quad R_a = \text{const}$$

eraldi töö puhul valgusele ja pimedusele (vastavate lüliti P asendite juures).

Selle karakteristiku mõõtmisel mõõdame samaaegselt ka fotodiodi voolu I_p . Mõõta tuleb selleks, et kontrollida, kas fotodiodi juures ei esine väsimuse nähtu. Saadud andmed koondada tabelisse ja esitada graafikuna $K_1 = f(L)$ mõlemate režiimide jaoks.

$R_g = \dots \quad R_a = \dots \dots$ $U_{g0} = \dots \dots \text{ v}$					$E_{aF} = \dots \dots \text{ V} \quad E_a = \dots \dots \text{ v}$ $E_{g0} = \dots \dots \text{ V}$					
Katseandmed					Arvutusandmed					
1	L	I_F	I_a	K_1	I_F	$I_F R_g$	U_{g1}	S_1	K_1	I_a
cm	lm	A	mA	-	A	v	V	mA/v	-	mA

2. Suure töusu puhul. Töö kasutatud pentood 6K7 kuulub nn. muutuva töusuga lampide hulka. Väikeste võrepingete puhul (vt. joonis 12) on võrekarakteristiku tõus tunduvalt suurem kui suurte negatiivsete võrepingete puhul. Valides tööpunkti suure tööuga võrekarakteristiku piirkonnas uurime võimalikult eraldi mõlemate režiimide jaoks analoogiliselt eelnevale. Kõverate näide on esitatud joonisel 14. Ülemised kõverad on suure S_d jaoks, alumised väikese S_d jaoks. I_a sarnaselt muutub ka K_1 .



Joon. 14.

Arvutame uuritava fotoelektronvõimendi jaoks seosed

$$K_1 = f(L) \text{ ja } I_a = f(L).$$

Selleks ehitame tabeli 2 andmete põhjal kõvera

$$U_{g1} = f(L) ,$$

kus $U_{g1} = E_{g0} I I_F R_g$.

Dünaamiline tõus määratakse karakteristiku erinevate punktide jaoks ja saadakse kõver

$$S_d = f(U_{g1}) .$$

Kasutades saadud kõveraid koostame kolmanda kõvera

$$S_d = f(L) ,$$

mille alusel võib ehitada kõvera

$$K_1 = f(L) ,$$

sest $K_1 = S_d R_g$,

kus R_g on sidetakisti. Meie juhul $R_g = R_g$.

Saadud kõvera põhjal võib välja arvutada pentoodi anoodvoolu sõltuvuse valgusvoost

$$I_a = f(L) ,$$

arvestades, et

$$I_a = I_{a0} + K_1 I_F = I_{a0} + S_d R_g I_F .$$

Arvutuste tulemusena saadud kõveraid $K_1 = f(L)$ ja $I_a = f(L)$ tuleb võrrelda kateetulemusega.

Kontrollküsimused:

1. Mispärast tuleb võimendi töö analüüsimisel kasutada dünaamilisi karakteristikuid?
2. Seletada fotovoolude võimendi tööd valgusele ja pimedusele?
3. Seletada muutuva tõueuga lampide tööd.
4. Seletada fotodioodi dünaamilise karakteristiku iseloomu.

Kirjandus:

1. Брейдо, И.Я., Ламповые усилители сигналов постоянного тока, Госэнергоиздат, 1961.
2. Бонч-Вруевич, А.М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, ГИИТЛ, 1955.

ALALISVOOLU VÕIMENDI UURIMINE.

I. Töö ülesanne.

Tutvuda alalisvoolu võimendi tööga, tema reguleerimisega.

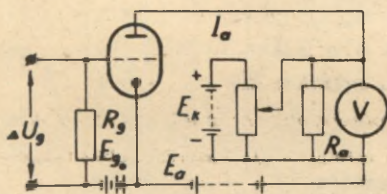
II. Töö vahendid.

1. Alalisvoolu võimendi makett.
2. Stabiliseeritud alaldi.
3. R_1 - Takistusemagasin 10 - 100 k Ω .
4. R_2 - Takistusemagasin 0,1 - 10000 Ω .
5. E_1 - Aku 6 v - 60 ah.
6. E_2 - Aku 1,3 v.
7. G - Silla tasakaalu indikaator.
8. V_1 - Voltmester 1,5 v - .
9. V_2 - -" 10 v .
10. V_3 - -" 300 v - .
11. R - reostaat 10 Ω .

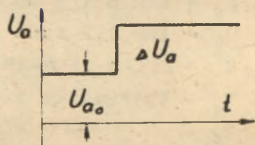
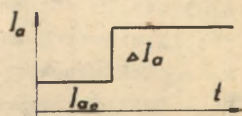
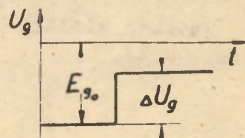
III. Ü l d o s a .

Harilikke võimendeid (madaleagedusvõimendeid) ei saa kasutada aeglaselt muutuvate või alalisvoolude (pingete) võimendamisel. Neid voole (pingeid) saab võimendada eriliste nn. alalisvoolu (või alalispinge) võimendite abil. Madalsagedusvõimendites sidestatakse kõige sagedamini võimendusastmeid nn. sidestuskondensaatorite abil. Alalispinge puhul on nende kondensaatorite takistus lõpmatu suur, seepärast tuleb siin sidestust teostada teisiti. Alalisvoolu võimendites kasutatakse otsesidestust, mispärast ka neid võimendeid sageli nimetatakse otsesidestusega võimenditeks. Alalisvoolu võimendid leiavad laialdast kasutamist mõõteseadmetes (lampvoltmeestrid, lampgalvanomeestrid, lampelektromeestrid jne.).

Tutvume alalisvoolu võimendi tööpõhimõttega. Selleks vaatame, kuidas joonisel 15^a esitatud skeemil muutub pinge anoodkoormastel R_a kas võrepotentsiaali või võretakisti R_g muutumisel.



a



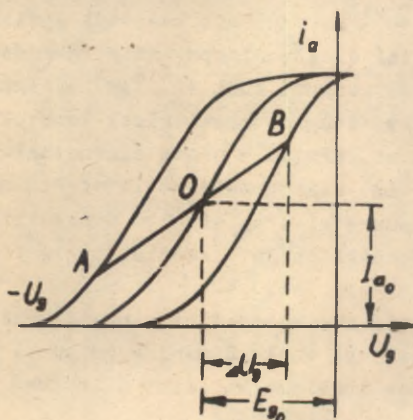
b

Joon. 15.

Oletame, et võrepotentsiaal katoodi suhtes muutus ΔU_g võrra. Selle tulemusena muutub lambi anoodvool ΔI_a võrra ja pingelang takistil $R_a \Delta U_a$ võrra (joonis 15 b)

$$U_a \gg U_g.$$

Seejuures muutub skeemi anoodvoolu tööpunkt vastavalt võre dünaamilisel tunnusjoonel AOB. Signaali puudumisel on võrel võre-eelpinge E_{g0} ja vastav anoodvoolu tugevus I_{a0} ning anoodkoormusel tekib pingelang U_{a0} . Seda pingelangu võib kompenseerida kompensatsioonpingeallika E_K abil, mille pinge peab olema vastasmärgiline pingelanguga takistil R_a ja arvuliselt võrdne $U_{a0} = I_{a0} R_a$. Algpinge kompenseerimine on väga oluline, sest ainult sel juhul saame mõõtmisel kasutada kogu mõõteriista skaalat (kompensatsiooni puudumisel esineks alati alghälve U_{a0}). Teist algpinge kompensatsiooni meetodit kasutatakse sageli lampvoltmeetrites.



Joon. 16.

Kui mõõteriistana kasutatakse milliampermeetrit, siis ta lülitatakse järjestikku takistiga R_a , nii nagu on näidatud joonisel 17 ja mõõteriista alghälve kompenseeritakse pingeallika E_K abil. Takisti R_a lülitatakse ahelasse, et ära hoida mõõteriista ülekoormamist kompenseerimata voolu poolt.

Lampvoltmeetri mõõtepiirkondade laiendamiseks lülitatakse voltmeetri sisendahelasse kalibritud pingejagaja ehk attenuaator.

Tutvume alalisvoolu võimendite kasutamisega lampvoltmeetrites.

Võib märkida, et lampvoltmeetrite pingetundlikkus ei ole suurem kui pöördpoolvoltmeetritel.

Oluline on lampvoltmeetrite suur voolutundlikkus.

Kõige tundlikumatel osutiga

pöördpoolvoltmeetritel on vool mitte väiksem kui 10^{-6} A

kogu skaala kohta. Halvematel lampvoltmeetritel on aga voolutarvidus 10^{-9} - 10^{-10} A. Kui aga kasutada spetsiaalseid nn. elektromeetrilisi elektronlampe, võib vähendada mõõteriista voolutarvidust koguni kuni 10^{-16} A. Seega osutub, et elektromeetriliste lampide kasutamisel lampvoltmeetrid praktiliselt voolu ei tarvita - nende sisendtakistus on väga suur (kuni 10^{16} A). Niisuguseid voltmeetreid on otstarbekohane kasutada suure sisetakistusega pingellikate pingete mõõtmiseks. Nendeks on fotodiodid, ionisatsioonikambriid, rida elektronskeeme jne.

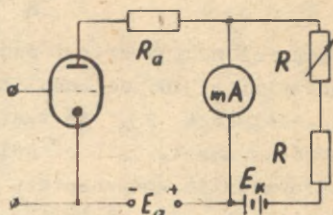
Ühelambilise elektronvoltmeetri pingevõimendus on tavaliselt väga väike, aga vooluvõimendus on suur. Peale väikese pingevõimenduse loetleme ka teisi niisuguse voltmeetri puudusi:

1. Voltmeetris on vaja kasutada spetsiaalseid kompensatsioonitoiteallikaid.

2. Konstruktsioon on kompensatsiooniskeemi tõttu keeruline.

3. Suur nulli triiv.

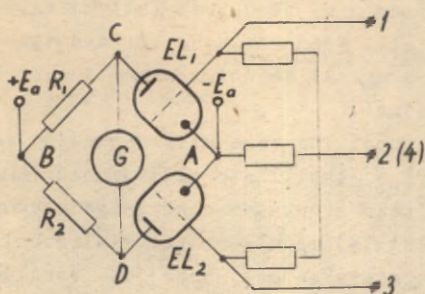
4. Skaala on mittelineaarne.



Joon. 17.

Lampvoltmeetrite oluliseks eeliseks on nende suur voolutundlikkus.

Alalisvooluvõimendites kasutatakse väga sageli nn. sild- või balansslülitusi. Niisugustes lülitustes kasutatakse Wheatstone'i silla põhimõtet (vt. joonis 18).



Joon. 18.

Silla tasakaalustamiseks tuleb lambid (eelnevalt kontrollitakse lampide parameetrite võrdsust) ja takistite R_1 ja R_2 arvvahtused õigesti valida. Kui sild on tasakaalus, ei näita silla diagonaali CD lülitatud galvanomeeter voolu. Kui lambi L_1 (punktid 1 - 2) või L_2 (punktid 3 - 4) võrele anda mingisugune signaalpinge, siis muutub silla tasakaal. Diagonaalis CD tekib vool, mis on võrdeline signaalpingega.

Sildlülituste puhul jääb ära vajadus kompenseerida lambi algvoolu I_{ao} .

Üheks alalisvoolu võimendite puuduseks on nullpunkti triivimine. Nähtus seisneb selles, et tavaliselt esineb aeglase anoodvoolu muutus (vaatavalt sellele ka mõõteriista hülbe muutue) ka siis, kui tema sisendisse ei ole lülitatud mingisugust signaalpinget. Selle nähtuse põhjuseks on kas skeemielementide (peamiselt elektronlampide) parameetrite või toiteallika pinge muutused. Sildlülitustes on nulli

triiv palju väiksem: leviva lülitusviisi juures toitepinge muutused ei põhjusta silla tasakaalu rikkumist. Ka mõlema lambi parameetrite võrdsed muutused ei põhjusta silla tasakaalu rikkumist, s.t. need muutused ei põhjusta nulli triivi.

Suurema võimenduse saamiseks kasutatakse mitmeastmelisi alalisvooluvõimendeid. Seejuures tekivad raskused võimendusastmete toitmisel. Need raskused kõrvaldatakse, kui kasutatakse eraldi pingegaallikaid iga astme jaoks või erilisi pingegaotuse lülitusi.

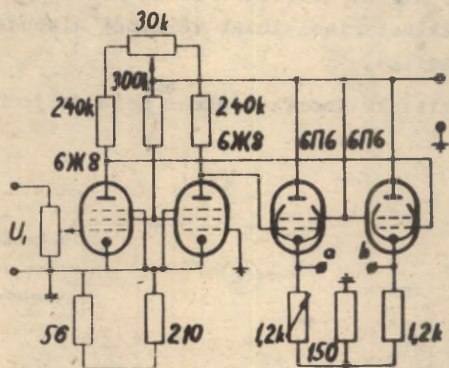
Praktikas kasutatakse väga mitmesuguseid lahendusi suure võimendusteguriga stabiilsete alalisvooluvõimendite ehitamiseks. Nii näiteks kasutatakse kõrgsagedusvõngete (või ka madalsagedusvõngete) moduleerimist alalisvoolu signaaliga. Võimendust teostatakse seejuures juba vahelduvvoolu võimendiga. Hiljem vahelduvvoolu signaal detekteeritakse ja mõõdetakse saadud alaliskomponent, mis on võrdeline moduleeriva alalispingega. Toitepinge muutustest ning skeemi ja lampide parameetrite muutustest tingitud nulli triiivimise vähendamiseks kasutatakse ka mitmesuguseid teisi vahendeid, näiteks sügavat negatiivset tagasisidet, suuri anoodkoormustakisti väärtusi (kümned $M\Omega$), rakendatakse skeemis katoodjärgijaid jne.

IV. T ö ö k ä i k .

Skeem (joon. 19) on nn. tasakaalustatud tüüpi, sisen-dis on kaks lampi $6\text{M}8$, milledest ühel on võre maandatud ja teisel on ühendatud potentsiomeetri liikuva kontaktiga, millega reguleeritakse sisendpinget. Anoodkoormustakistid on mõlemal lambil võrdsed - $240\text{ k}\Omega$. Varivõred on lülitatud paralleelselt. Eelpinge antakse mõlemale lambile ühise katoodtakisti (256Ω) kaudu, mille kaudu toimub ka negatiivne tagasiside. Kaht esimest lampi tasakaalustatakse anoodringis oleva $30\text{ k}\Omega$ -se potentsiomeetri abil.

Signaal esimestelt lampidelt antakse teise astmesse, mis sisaldab kaks lampi $6\text{H}6\text{C}$ ja on katoodjärgijana tõstatav

sümmeetriline diferentsiaalvõimendi. Viimased lambid on skeemis trioodidena. Mõõteriist lülitatakse viimaste lampide katoodide vahele (punktid a, b). Kui antakse sisendpinge, siis võimendi I astme tasakaal rikutakse, mistõttu läheb tasakaalust välja ka diferentsiaalvõimendi ja katoodide vahel tekib potentsiaalide vahe.



Joon. 19. Alalisvooluvõimendi.

Seda potentsiaalide vahet registreeritakse vaetava mõõteriista (voltmeetri) abil.

V. Ü l e s a n d e i d .

1. Võrrelda juhendis esitatud skeemi (joonis 19) võimendi maketiga.

2. Ühendada toiteallikad. Toiteks kasutatakse hästistabiliseeritud anoodpinget ja kütteks (kui võimalik) alalisvoolu. Kontrollida anood- ja küttepingete õigsust ($U_a = 250$ v ja $U_f = 6,3$ v).

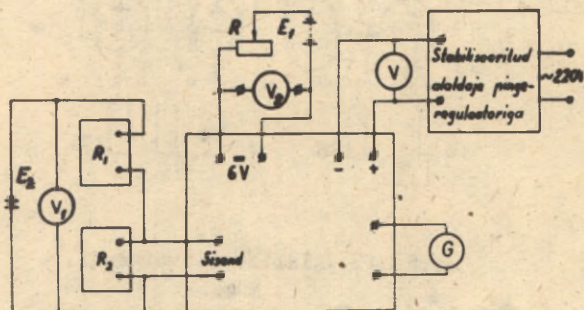
Kontrollida skeemi kõikide lampide anood-, varivõre-, võre- ja katoodpinged. Anoodpingeid lugeda (ja mõõta) katoo-

diet, võre- ja katoodepinget - maast (sassisist). Mainitud pingete mõõtmist tuleb teostada tasakaalustatud skeemi puhul. Skeemi tasakaalustamiseks lülitatakse punktide a - b vahele voltmeeter piirkonnaga 3 v.

Mõõtmiste tulemused kanda tööaruandeesse.

Paljupiirkonnalise voltmeetriga tuleb mõõta ettevaatlikult - voltmeeter tuleb lülitada tundlikumale piirkonnale ainult pärast skeemi täielikku tasakaalustamist. Esialgsel skeemi tasakaalustamisel tuleb võimendi sisendklemm ühendada maaga (sassisiga).

3. Mõõtmisteks koostada skeem nagu on joonisel 20.



Joon. 20. Katseseadme lahterskeem.

Sisendpinge U_s reguleeritakse kahest takistusmagasiniist koosneva pingejagajaga (magasinide takistused - $R_1 = 10000\Omega$ ja $R_2 = 100\,000\Omega$).

Sisendpinged arvutatakse valemist

$$U_s = \frac{U_h}{R_1 + R_2} R_2$$

ja vool valemist

$$I_g = \frac{U_h}{R_g},$$

kus U_h on akumulaatori pinge ja

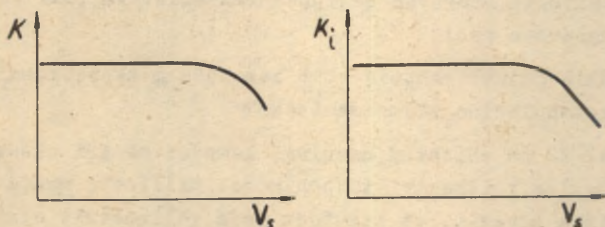
R_g - potentsiomeetri takistus ($R_g = R_1 + R_2$).

Mõõteriista läbiv vool määratakse osuti hälbe ja mõõteriista passiandmete järgi.

Seejärel määratakse võimendustegurid pingele (K) ja voolule (K_i). Saadud väärtusi tuleb võrrelda valemite abil teostatud arvutuste tulemustega.

4. Seejärel võetakse amplituudkarakteristikud nominaalsete anood- ja küttepingete juures. Mõõtmiste tulemused koondatakse tabelisse ja koostatakse graafikud

$$K = f(U_a) \quad \text{ja} \quad K_i = f(U_a)$$



Joon. 21.

5. Uurida võimendustegurite K ja K_i sõltuvust anood- ja küttepingete väärtustest. Algul tuleb seada nominaalne küttepinge, muuta anoodpinget E_a ja märkida ära väljundpinge U_v väärtused, hoides U_g konstantsena. Hiljem muuta (vähe) kitsas piirkonnas küttepinget nominaalse anoodpinge juures.

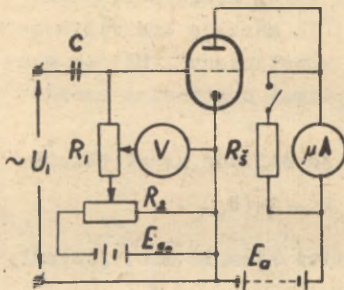
Tulemused koondada tabelisse ja esitada graafikutena

$$K_i = \varphi(E_a) \quad \text{ja} \quad K = \varphi(U_k).$$

6. Kontrollida nullpunkti triivi ajas 30 min. jooksul.

Kontrollküsimused.

1. Nimetada sellise alalisvooluvõimendi peamised eelised ja puudused, milles kasutatakse kandevsageduse moduleerimist alalispingega.
2. Voltmeetrite üheks tähtsamaks parameetriks on nende takistus - nimelt takistuse väärtus mõõdetava pinge ühe voldi kohta. Võrrelda takistuse suhtes lampvoltmeetreid alalisvooluvõimenditega, pöördpoolvoltmetritega ja elektrostaaatiliste voltmeetritega.
3. Kas lampvoltmeetrid kardavad ülekoormamist?
4. Milline on alalisvooluvõimendi sageduskarakteristik? Millised faktorid määravad sageduskarakteristiku piiri kõrgete sageduste poolt?
5. Kas alalisvooluvõimendeid võib kasutada mitteperioodiliste pingeimpulsside võimendamiseks?
6. Joonisel 22 on esitatud Hessingi lampvoltmeetri skeem. Selgitada selle voltmeetri tööpõhimõtte. Milliseid muudatusi tuleb teha skeemis, et kasutada seda voltmeetrit alalispingete mõõtmiseks?
7. Milliseid tavalisi lampe võib kasutada elektromeetriliste lampidena?



Joon. 22.

8. Millised peavad olema elektromeetriliste lampide omadused? Mis tüüpi elektromeetrilisi lampe valmistatakse Nõukogude Liidus?

Kirjandus.

1. Бокч-Вруевич, А.М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, ГИТТЛ, 1955.
2. Допатин, В.А., Ламповые гальванометры постоянного тока, Госэнергоиздат, 1952.
3. Брейдо, И.Я., Ламповые усилители сигналов постоянного тока Госэнергоиздат, 1961.

KÕRGSAGEDUSGENERAATORI UURIMINE.

I. Töö ülesanne.

Omaergutusega sinusoidaalsete võngete kõrgsagedusgeneraatorite uurimine ja tutvumine amplituudmodulatsiooniga. Töö käigus uuritakse kolmpunktlülitusega autotransformatoorse tagasisidega generaatorit. Gradueeritakse generaatorit, uuritakse anoodvoolu, võrevoolu ja võnkeringi voolu sõltuvust skeemi mitmesugustest parameetritest. Tutvutakse võremodulatsiooniga.

II. Töö vahendid.

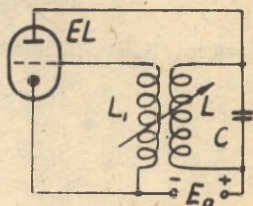
Kõrgsagedusgeneraatori makett, lainemõõtja, toiteallikad, ampermeetrid (50 mA =; 10 mA =; 0,5 mA =), mõõteriist termopaariga 0,5 mA,

R_k = takistid võnkeringis (5 - 50 Ω , 5 W-masstakistid), amplituudvoltmeeter kõrgsageduste pingete mõõtmiseks, antenni ekvivalent.

III. Ü l d o s a .

Generaatori töötamise põhimõtte selgub jooniselt 23. Oletame, et mingil põhjusel lambi anoodahela võnkeringis LC tekib pingeimpulss (näiteks anoodtoits E_a sisselülitamisel). See impulss põhjustab võnkumiste tekkimist võnkeringis. Tekkinud võnkumiste sageduse ja sumbuvuse määravad võnkeringi parameetrid.

Kui poolid L_1 ja L_2 on omavahel sidestatud, siis ka elektrilambi EL võrel tekib signaal, mis peale võimendamist lambis satub uuesti võnkeringi



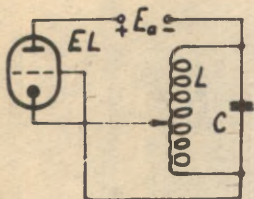
Joon. 23.

LC. Kui L ja L_1 keerdude suund on valitud nii, et võimendatud signaal on faasis võnkeringis LC mõjuva impulsi, siis küllalt tugeva tagasisidestuse puhul võime kompenseerida sumbumisest tingitud võnkumise kahanemise ja generaator võngub pidevalt. Seejuures tekivad ka s u m b u m a t u d v õ n k u m i s e d .

Niisuguseid generaatoreid nimetatakse endaergutusega generaatoriteks. Joon. 23 on esitatud omaergutusega induktiivse tagasisidega anoodahelas asuva võnkeringiga generaatori skeem. On olemas veel terve rida teisi lülitusskeeme. Joonisel 24 on esitatud laialt kasutatava nn. kolmpunktlülituse põhimõtteline skeem. Siin on lambi võre, anood ja katood ühendatud ühe võnkeringi külge (kolmes punktis). Tagasisidestuse suurust reguleeritakse katoodühenduse ümberpaigutamisega poolil. Tavaliselt generaatorid töötavad klassis C, s.o. suure negatiivse võrepingega. Välisest pingeallikast võetava eelpinge puhul anoodvool ei saa tekkida, mistõttu ei teki ka endaergutust. Endaergutuse skeemides tekitatakse eelpinget võretookistuse abil. Siin on võrevool algmomendil null - on olemas anoodvool ja saavad tekkida ka võnkumised. Võnkumiste amplituudi kasvades kasvab võrevool

ja suureneb ka võre-eespinge. Seega skeemis toimub võnkumiste automaatne reguleerimine. Skeemi reguleerimist tuleb te-

ha vähendatud anoodpinge juures, kuna võnkumiste puudumisel tek-
kiv suur anoodvool või kahjus-
tada lampi.



Joon. 24.

litatud lõpplamp (6П3С). Generaatori koormusena kasutame mõne keeruga võnkeringiga sidestatud aktiivtakistust R_a , antenni ekvivalenti (50 - 100Ω). Võimsuse sellel saame arvutada valemi järgi

$$P = I^2 R_a .$$

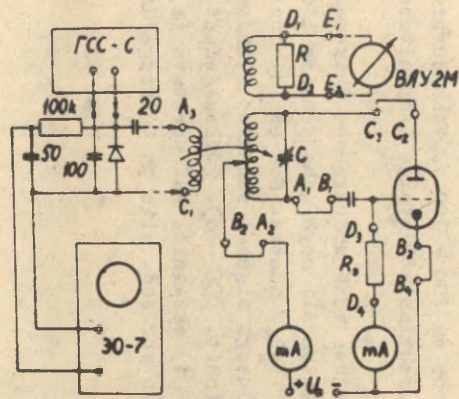
Toitepinge E_a suurus on 200 - 300 v. Vahelduvpingeid anoodi-, võre- ja koormusahelas mõõdetakse lampvoltmeetriga (tüüp БМВ- 2М).

Võnkumiste sageduse võib määrata nn. tuikemeetodil. Selleks koostatakse lülitis nii nagu näha joonise 25a vasakpool-
ses osas klemmidest A_3C_1 alates. See on dioodsegusti. Võr-
reldav, tuntud sagedusega signaal saadakse standard-signaa-
lide generaatorist (näit. ГСС - 6). Tuikesagedust jälgitakse
ostsillooskoobi (СМ- 1) ekraanil. Kui uuritava ja võrdlus-
signaali sagedused on võrdsed, siis on tuikesagedus 0 .

Uuritav lülitis.

Uuritavad skeemid on esita-
tud joonistel 25, 26, 27, 28.

Lambike sobib hästi mõni võrdle-
misi suure võimsusega triood
(näiteks 6Н5С) või trioodiks lü-

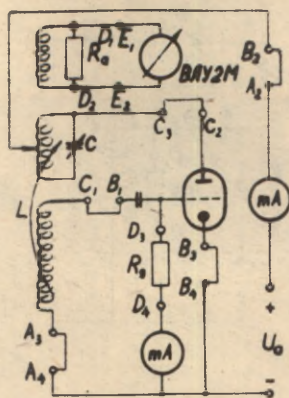


a

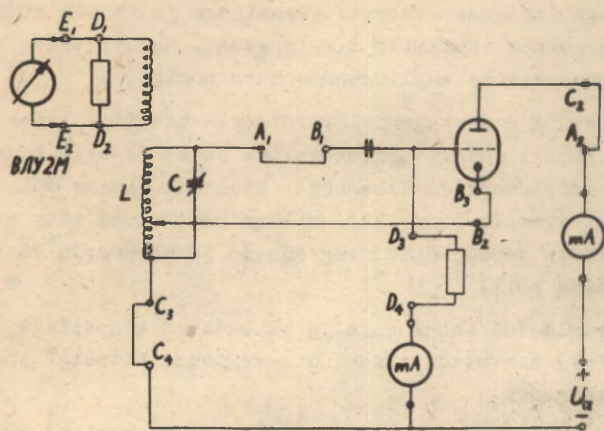
	A	B	C	D	E
1	☐	☐	☐	☐	☐
2	☐	☐	☐	☐	☐
3	☐	☐	☐	☐	☐
4	☐	☐	☐	☐	☐

b

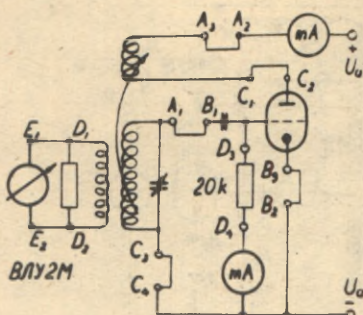
Жоон. 25.



Жон. 26.



Жон. 27.



Joon. 28 .

IV. Ü l e s a n n e .

1. Enne töö algust tuleb tutvuda (kirjanduse abil) endaergutusega lampgeneraatorite skeemidega ja tööpõhimõttega ning endaergutuse tekkimise tingimustega. Samuti tuleb tutvuda lampgeneraatori amplituudmodulatsiooniga.

2. Tutvuda generaatori laboratoorse maketiga. Joonistada tööprotokolli maketi põhimõtteline skeem ja selgitada üksikute skeemielementide ülesanded. Koostada seadme täielik tööskeem (vaatavalt joon. 25), milles peab olema ette nähtud võimalus mõõta anoodpinget ning anood- ja võrevoolu vastavate mõõteriistade abil.

3. Remaldatud koormusega ja vähendatud anoodpingega (150 - 200 v) saavutada skeemi endaergutus. Määrata generaatori võnkesagedus.

4. Normaalse toitepinge juures leida võnkesageduse olemine võnkeringi pöördkondensaatori mahtuvusest (või pöördkondensaatori skaalast).

Mõõtmiseks on vaja saavutada generaatori stabiilne töö kõigi mahtuvusväärtuste juures, valides selleks vastavad võretakisti väärtused ja tagasiside. Generaatori võnkesagedus

määratakse nn. tuikemeetodil. Mõõtmise tulemused koondatakse tabelisse:

$C_{(pF)}$	
$I_k (Hz)$	

Saadud andmete põhjal ehitada kalibrimiskõverad:

$$f = F_1(C) \quad \text{ja} \quad = F_2(C) .$$

Kui kondensaatori mahtuvuse absoluutväärtusi on raske määrata, võib leida seosed vastavalt lainepikkuse või sageduse ja kondensaatori skaalajaotuste vahel.

5. Normaalise toi. inge puhul ja koormuse puudumisel võtta üles

- anoodvoolu alaliskomponendi,
- võrevoolu --" ,
- võre-eelpinge --" ,
- väljundi vahelduvpinge olenevused

võretakisti R_g suurusest.

Sõltuvused määrata mingieuguse kindla sageduse juures, võimalikult generaatori võnkepiirkonna keskosas.

Mõõtmiste tulemused koondada tabelisse 2.

$X = \text{const}$	$V_a = \text{const}$	$R_k = \text{const}$
R_g		
I_a		
I_g		
V_g		
V_v		

Joonistada vastavad kõverad. Jälgida ostsilloskoobiga võnkumiste režiimi.

6. Uurida, kuidas mõjub koormus anoodvoolule, võrevoolule, võre-elpingele, pingele koormusel.

T a b e l 3 .

$I = \text{const}$	$R_g = \text{const}$	$V_a = \text{const}$
R_k		
W_k		
I_a		
I_g		
V_g		
V_v		

Mõõtmistulemused koondada tabelisse 3. Kujutada I_a , I_g , V_g , V_v kõveratena olenevalt võimsusest väljundis. Kujutada graafiliselt kasuteguri olenevust väljundvõimsusest.

7. Võtta üles samad kõverad, kuid olenevalt võretakistist R_g suurusest konstantse koormuse juures.

8. Võtta üles samad kõverad olenevalt anoodpingest.

9. Muuta generaatori tagasisidestust ja uurida selle mõju kõikidele vooludele ja pingetele.

10. Koostada katoode tagasisidega (joon. 25), anoodvõnkeringiga (joon. 26) ja võrevõnkeringiga (joon. 27) Ks generaatori skeemid.

11. Uurida nendega samu parameetreid, mis p. 6 all loetletud.

12. Ühendada diodsegesti (vt. joonis 24) klemmidega $D_1 D_2$ ($E_1 E_2$) ja määrata erinevates lülitustes töötavate generaatorite võnkesagedused pöördkondensaatori mingi kindla mahutuvuse juures.

13. Moduleeritud võnkumiste saamiseks võib joonistel 24-27 esitatud lülitustes kasutada anood- või võremodulatsioonil.

Anoodmodulatsiooni teostamiseks tuleb ühendada vastavalt klemmidega $B_2 - A_3$ (joonis 24, 25), $C_2 - A_2$ (joonis 26) ja $A_2 - A_3$ (joonis 27) madalsagedustransformaator. Kui trafo sekundaarahelas vahelduvpinge ületab alalispinge, siis on võimalik saavutada 100 %-list modulatsioonitegurit.

Võremodulatsioonis tuleb madalsagedustrafo ühendada näiteks võrevoolu mõõtmiseks ettenähtud millivoltmeetri asemel.

Moduleeritud (ka moduleerimata) võngetega generaatori väljundsignaali võib jälgida ostsillooskoobi CM - 1 abil. Viimase võib lülitada koormuse kohale klemmidega $D_1 D_2$ ($E_1 E_2$).

Kontrollküsimused.

1. Milliseid võnkumisi nimetatakse sumbuvateks võnkumisteks ja milliseid sumbumatuteks?
2. Kuidas töötab endaergutusega generaator? Millised on võnkumiste tekkimiseks vajalikud tingimused?
3. Mida tähendavad generaatori tööklassid A, B, C?
4. Kuidas võib teostada võre-eelpingestamist generaatorites?
5. Mis vahe on generaatori anoodahela järjestikuse ja paralleelse toiteahela skeemide vahel?
6. Loetleda generaatorite tüüpe, milliseid te tunnete.
7. Mis vahe on endaergutusega ja sundergutusega generaatorite vahel?

Kirjandus.

1. Власов, В.Ф., Курс радиотехники, Госэнергоиздат, 1962.
2. Молчанов, А.А., Курс электротехники и радиотехники, Физматгиз, 1961.
3. Бонч-Бруевич, А.М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, ГИИЛ, 1955.

RELAKSATSIOONVÕNGETE TÜRATRONGENERAAITORI UURIMINE.

I. Tööülesanne.

Tutvuda türatroni hammaspingegeneraatoriga.
Uurida türatrongeneraatori tööd.

II. Töövahendid.

1. Hammaspingegeneraatori makett.
2. Helisagedusgeneraator.
3. Katoodostsilloskoop $\Theta 0 - 7$.
4. Toitepingeallikad $= 0 - 300 \text{ v}$, $= 0 - 150 \text{ v} = \text{ja}$
 $6,3 \text{ v} \sim$.
5. Võre-eelpinge aku 5 v .
6. Voltmeeter $450 \text{ v} =$.
7. Voltmeeter $300 \text{ v} =$.
8. Voltmeeter $150 \text{ v} =$.
9. Voltmeeter $3 : 15 \text{ v} =$.
10. Reostaat 2000Ω .
11. Takistite komplekt.
12. Mahtuvuste komplekt.

III. Üldosa.

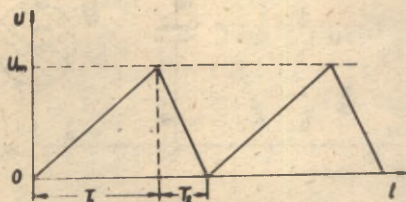
Relaksatsioonvõnkumisteks nimetatakse mittesinusoidaalse te võnkumiste liiki, mille puhul voolud või pinged muutuvad järsult, hüppeliselt. Relaksatsioonvõnkumisi esitavad kõverad võivad olla väga mitmesuguse kujuga.

Väga laialdast kasutamist leiab saehambakujuline relaksatsioonvõnkumiste liik ehk nn. h a m m a s p i n g e .

Hammaspinget kujutav kõver on esitatud joonisel 29.

Ajavahemiku T_1 jooksul kasvab pinge lineaarselt nullist kuni maksimaalse väärtuseni ($U_{\max}$) ja siis langeb kiiresti nullini ajavahemiku T_2 vältel.

Selline hammaspinge leiab kasutamist näiteks katood-
ostsilloskoopides, kus tema abil saavutatakse nn. ajatelje
laotus.



Joon. 29.

IV. Relaksatsioonigeneraatorite tööpõhimõtted.

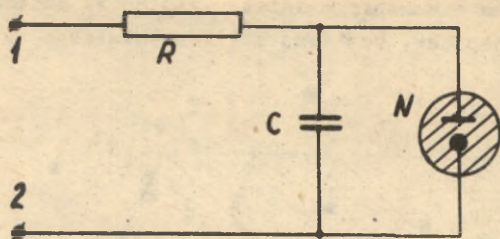
Iga relaksatsioonvõnkumiste generaator koosneb elektri-
energiat varuvaat elemendist (sellisteks elementideks või-
vad olla mahtuvus või induktiivsus) ja aktiivtakistist. Vas-
tavalt võib eraldada kaks relaksatsioonigeneraatorite klassi
- RC- ja RL-generaatorid.

Skeemid, millega meie tutvume käesolevas töös, kuulu-
vad esimesse klassi.

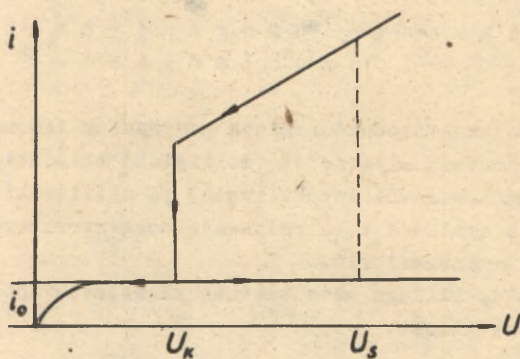
1. Hammaspingegeneraator gaaslahenduslambiga.

Vaatleme skeemi, mis on esitatud joon. 30a. Siin N on
gaasilahenduslamp, mille voltamperkarakteristik on esitatud
joon. 30b. Kui klemmidele 1 ja 2 lülitada mingisugune kons-
tantne pinge E_0 , siis kondensaator C laadub läbi takis-
ti R kuni lambi süttimispingeni U_s . Süttimise momendil
hakkab lamp juhtima voolu ja kondensaator C tühjeneb sel-
le tõttu kiiresti. Mingisuguse pinge V_k juures (kustumis-
pinge) muutub lamp uuesti mittejuhtivaks ja kondensaatori
tühjenemine kestab.

Kondensaatori klemmidel tekivad hambakujulised pinge-
imпульsid (hammaspinge) (vt. joon. 31), mille kuju on veidi
erinev joonisel 29 esitatud ideaalsest kujust. Kondensaato-
ri laadimine toimub ajavahemiku T_1 vältel. Tühjenemine

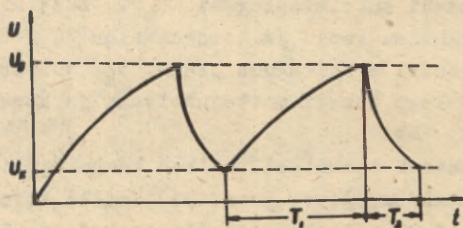


a



b

Joon. 30.



Joon. 31.

ajavahemiku T_2 vältel, kusjuures $T_1 \gg T_2$.

Võnkeperlood on määratud T_1 ja T_2 summaga

$$T = T_1 + T_2 \approx T_1. \quad (1)$$

Pinge arvvaätus muutub kondensaatoril, kui teda laadida läbi takisti, eksponentsiaalse seaduse järgi. Kirchhoffi seadust esitava võrrandi

$$iR + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = E_0 \quad (2)$$

lahenduseks on

$$i = k e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (3)$$

Kui lambiga järjestikku lülitatud takisti R on küllalt suur, on kaarlahendus ebastabiilne (võivad tekkida võnkumised).

Integreerimiskonstant K määratakse algtingimusest: kui $t = 0$, siis $iR = E_0$, kust $i_{t=0} = \frac{E_0}{R}$, s.t. ahela siselülitamise hetkel kogu pinge võrdub pingelanguga takistil R ja $k = \frac{E_0}{R}$.

$$\text{Saame } i = \frac{E_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (4)$$

Et pinge kondensaatoril

$$U_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt,$$

siis, kasutades avaldist (4), saame, et

$$U_C = E_0 (1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (5)$$

Siit on näha, et pinge kondensaatoril kaevab ekeponentsiaalselt.

Järgnevalt vaatame, kuidas relaksatsioonvõnkumiste periood oleneb skeemi parameetritest ja lambi süttimise ning kustumise pingetest. Oletame, et lamp kustub ajamomendil t_1 , kui kondensaatori pinge on võrdne kustumispingega U_k ja süttib ajamomendil t_2 , siis kui kondensaatori pinge on võrdne süttimispingega U_s . Siis saame

$$U_k = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} \frac{E_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} dt = E_0 (1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}),$$

$$U_s = \frac{1}{C} \int_0^{t_2} \frac{E_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} dt = E_0 (1 - e^{-\frac{t_2}{RC}})$$

ja

$$RC \ln \frac{E_0 - U_k}{E_0 - U_s} = T_1 \approx T. \quad (6)$$

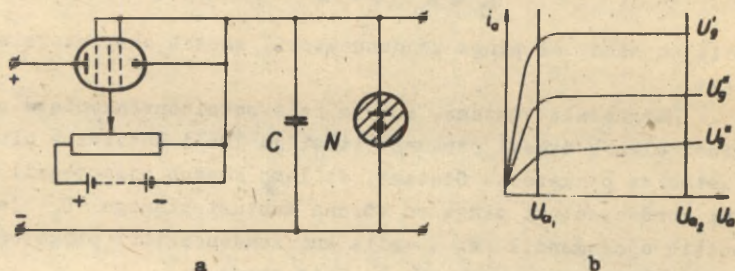
Võnkeperiood oleneb nii korrutisest RC kui ka lambi süttimis- ja kustumispingest. Korrutatist RC nimetatakse takistist ja mahtuvusest koosteva ahela ajakonstantandiks.

Võib kergesti näha, et korrutis RC on võrdne ajaga, mis on vajalik, et laadida kondensaatorit C läbi takisti R kuni 0,67 osani tema täislangust antud pinge puhul. Tõesti, asetatades avaldisse (5) $t = RC$, saame

$$U_C = RC = E_0 (1 - \frac{1}{e}) \approx 0,67 E_0.$$

2. Skeem, milles kondensaatorit laetakse läbi pentoodi.

Sel juhul, kui soovitakse, et pinge kondensaatoril muutuks mitte eksponentsiaalse, vaid lineaarse seaduse järgi, asendatakse takisti R elektronlambi-pentoodiga. Vastav skeem on esitatud joon. 32.



Joon. 32.

Pentoodi anoodvool peaaegu ei sõltu anoodpingest, kui tema võrede potentsiaalid on konstantsed. Joonisel 32b on esitatud pentoodi anoodtunnusjoonte sari. Siit on selgesti näha, et vahemikus U_{a_1} kuni U_{a_2} anoodvool sõltub anoodpingest vähe.

Joonisel 32a esitatud skeemis on pentood lülitatud järjestikku kondensaatori ja alalispinge allikaga ning kondensaatori laadimisel pentoodi anoodpinge vastavalt väheneb. Voolu väärtus, mis läbib pentoodi ja laadib kondensaatorit, jääb konstantseks ning seetõttu muutub kondensaatori pinge ajas lineaarselt.

Tõesti

$$U_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{I_0}{C} \int_0^t dt = \frac{I_0}{C} t ,$$

kus I_0 on pentoodi anoodvool.

Arvestades ülesande ääretingimusi, võime kirjutada

$$\int_{U_k}^{U_s} dU_C = \frac{I_0}{C} \int_0^t dt = \frac{I_0}{C} T$$

ehk

$$T = T_1 + T_2 \approx T_1 = \frac{C}{I_0} (U_s - U_k) .$$

Muutes variõre potentsiaali, võib muuta pentoodi anoodvoolu ja sellega ka kondensaatori laadimisaega, s.t. ka generaatori võnkeperioodi.

Skeem türatroniga.

Skeemil gaaslahenduslambiga on rida puudusi. Üheke puuduseks on see, et kondensaator ei tühjene täielikult (pinge muutumine kondensaatori plaatidel oleneb lambi süttimis- ja kustumispotentsiaalidest) ning sellistõttu toiteallika pinget ei kasutata selles lülituses täielikult ära.

Kasutades hammaspingegeneraatoris türatroni, saadakse paremaid tulemusi.

Alguses, pinge suurenemisel türatroni anoodil on türatroni juhtivus väga väike (ta anoodvool on seejuures 10^{-6} -

10^{-7} A) seni, kuni anoodpinge ei muutu võrdseks süttimis-
potentsiaaliga U_g . Lampi täitva gaasi molekulide ionisat-
siooni tõttu kasvab vool türatronis süttimismomendil lavi-
nina. Vool võib kasvada väga suureks - teda piirab ainult
takisti, mis on lülitatud anoodahelasse. Seepärast peab ala-
ti olema türatroni anoodahelasse lülitatud küllalt suure ta-
kistusega takisti vastavalt lubatud anoodvoolu väärtusele.
Kui see takisti puudub või kui ta on väike, võib türatron
rikneda. Kui pärast süttimist vähendada türatroni anoodpinget,
siis süllitab türatron oma juhtivusoleku niikaua, kuni anoo-
di potentsiaal muutub võrdseks kustumispotentsiaaliga U_k
(tavaliselt 15 - 20 V). Türatroni süttimispotentsiaal U_g
sõltub võre negatiivsest potentsiaalst (mida suurem on võ-
re negatiivne potentsiaal, seda suurem on ka U_g).

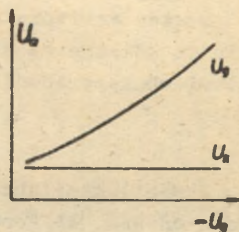
Pärast süttimist võre negatiivne potentsiaal varjesta-
takse võret ümbritsevate positiivsete ionide pilve poolt ja
võrepotentsiaal ei avalda enam mõju anoodvoolu suurusel ning
kustumispotentsiaal U_k ei sõltu türatroni võrepotentsiaa-
list.

Joonisel 33 on esitatud türatroni süttimis- ja kustu-
miskarakteristikud.

Võre kaitsmiseks võimali-
kust suurest positiivsete iooni-
de voolust lülitatakse võreahel-
lasse küllalt suur takistus.

Türatroni võib kasutada kui
inertsivaba releed tema omaduste
tõttu muuta praktiliselt hetkeli-
selt oma juhtivust suurtes pii-
rides. Kui türatroni võrele,
millele on antud negatiivne
eelpinge, anda positiivne pin-
ge (või pingeimpulss), saavutab

võrepotentsiaal väärtuse U_g , mille juures türatron süttib.
Seejuures võimsus, mida kulutatakse võreringis, on väga väi-
ke, vool aga sisselülitavas vooluringis (anoodvooluringis)
võib olla väga suur.



Joon. 33. Türatroni sütti-
mis- ja kustumiskarakteris-
tikud.

Türatroniga töötamisel tuleb kinni pidada reast reeglist selleks, et türatron ei langeks rivist välja. Ettevõtte vajadus on põhjendatud asjaoluga, et pingelangus türatronis, mis normaalsetes töötingimustes on 15 - 20 v, võib tunduvalt kasvada, kui katoodi küttemperatuur ei ole küllaldane. Suure pingelanguse juures suureneb katoodi pommitamine positiivsete ioonidega, mis võib põhjustada katoodi riknemist. Seepärast lülitatakse türatronil sisse küttepinge ja alles mõne minuti pärast anoodpinge. Ka väljalülitamisel tuleb enne välja lülitada anoodpinge ja alles siis küttepinge.

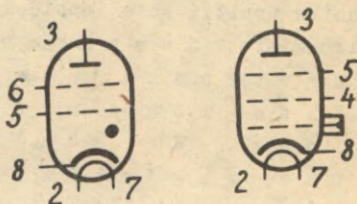
Hammaspingegeneraatori (maketi) skeem on esitatud joonisel 35, kus T on türatron, C - kondensaator, millel tekitab võnked, r - kaitsetakisti türatroni võreahelas. Laadimislambi kasutatakse pentoodi 6K7. Laadimisvoolu ja vastavalt ka relaksatsiooniperioodi kestvuse reguleerimiseks muudetakse pentoodi varivõre potentsiaali. Pentoodi ülejäänud võred on ühendatud katoodiga. Selles skeemis voltmeeter U_2 mõõdab pentoodi varivõre pinget, mis praktiliselt määrabki pentoodi sisetakistuse. Milliampermeeter mA mõõdab laadimisvoolu tugevust. Negatiivne võre-eelpinge antakse türatroni võrele eraldi akumulaatorist ($E_1 = 5$ v) ja seda pinget reguleeritakse potentsiomeetri R_0 abil ning mõõdetakse voltmeeter U_1 abil.

Türatroni võrepotentsiaali muutumisel muutub ka süttimis-
potentsiaal ning vastavalt muutub ka hammaspinge võnkumiste amplituud. Üheaegselt sellega, kui laadimislambi anoodvool jääb konstantseks, muutub teatud määral türatroni süttimismoment ja selle tõttu võnkeperiood oleneb ka tüürvõre potentsiaalist. Kuid tunduvalt suurem mõju võnkumiste sagedusele (perioodile) on laadimislambi voolutugevusel.

V. Ü l e s a n n e .

Uuritavas skeemis kasutatakse türatroni TГ 1 - 01/03. Laadimislabina kasutatakse pentoodi 6K7. Joonisel 34 on esitatud nende lampide sokliülitused.

1. Pentoodi 6K7 anoodkarakteristikute määramine. Nende karakteristikute määramiseks kasutatakse joonisel 35 esitatud skeemi. Klemmidega 1-2 ühendatakse voltmeeter V_3 ja klemm 3 ühendatakse klemmiga 4.



Joon. 34.

Määratakse pentoodi 6K7 anoodtunnusjoonte sari $I_a = f(U_a)$ konstantse varivõre (U_{g2}) ping juures, kusjuures sulgvõre ja tüürvõre on ühendatud katoodiga. Mõõtmisi teostada järgmiste U_g väärtuste juures: 70 v, 90 v, 110 v, 130 v ja 150 v. Esitada saadud tunnusjoonte sari graafiliselt.

Sama skeemi abil määrata pentoodi anoodvoolu - varivõre ping tunnusjoonte sari $I_a = f(U_{g2})$, muutes varivõre pinget 0 - +150 v. Mõõtmised teostada järgmiste fikseeritud anoodpinge U_a väärtuste juures: 25 v, 75 v, 125 v - 175 v. Mõõtmiste tulemuste põhjal ehitada graafikud

$$I_a = f(U_{g2}) \quad U_a = \text{const.}$$

2. Türatroni süttimis- ja kustumiskarakteristikute määramine. Ka nende karakteristikute määramiseks kasutatakse joonisel 35 esitatud skeemi. Milliampromeeter tuleb lülitada 100 mA-lisele piirkonnale, klemmide 1-2 vahele lülitatakse takisti $R = 10 \text{ k}\Omega$ ja klemmidega 3-4 ühendatakse voltmeeter V_4 (mõõtepiirkonnaga 400 v).

Määrata türatroni süttimise ja kustumise tunnusjooned

$$U_{\text{ask}} = f(U_g) .$$

Katseseadme skeem.

- 55 -

Mõõtmistulemused esitada graafiliselt.

Määrata türatroni voltamperkarakteristik

$$I_a = f(U_a) .$$

Selleks valida mingisugune võrepinge väärtus U_g , mille juures türatron muutub juhtivaks ja reguleerida anoodpinget.

Tulemused kanda graafikule

$$I_a = f(U_a) .$$

Metoodilisi märkusi:

- 1) türatroni sisselülitamisel on vaja esiteks sisse lülitada küttepinge ja seejärel alles 2 - 3 minuti järel lülitada anoodpinge. Selle reegli rikkumine võib põhjustada türatroni riknemise;
- 2) türatroni pinged U_g ja U_k sõltuvad temperatuurist. Seepärast tuleb hoida türatroni voolu all võimalikult vähe aega. Pärast türatroni süttimist tuleb kohe vähendada anoodpinget kuni türatroni kustumiseni ja alles siis kirjutada üles U_g ja U_k väärtused;
- 3) varivõrega türatroni kasutamisel tuleb varivõre ühendada katoodiga.

3. Hammaspingegeneraatori omaduste uurimine.

Töö teostamiseks kasutatakse samuti joonisel 35 esitatud skeemi. Klemmidega 3-4 ühendatakse kondensaator C ja klemmidega 5-6 katoodostsilloskoop.

Katoodostsilloskoobi abil uurida võngete kuju ja võnkesageduse sõltuvust kondensaatori C mahtuvusest, laadimisvoolu väärtusest ja türatroni võrepinge väärtusest.

Määratakse kolm tunnusjoonte sarja

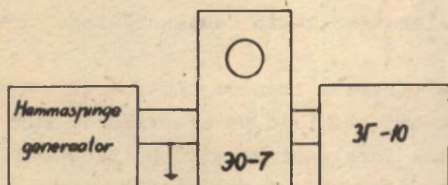
$$f = F(C)_{i_1 = \text{const}},$$

$$f = F(i_1)_{C = \text{const}},$$

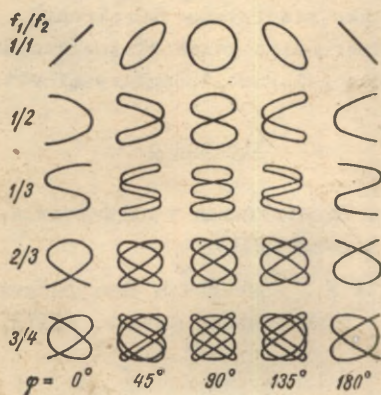
$$f = F(U_{g1}) .$$

Pentoodi varivõre potentsiaali muutmise reguleeritakse laadimisvoolu (võnkumiste amplituud peab seejuures jääma konstantseks).

Relaksatsioonvõnkumiste võnkesagedus määratakse liisajous' kujundite abil, kasutades seejuures katoodstilloskoopi ja etaloon-helisagedusgeneraatorit (3Г - 10).



Joon. 36.



Joon. 37. Liisajous' kujundite tabel.

Mõõtmistulemused esitada graafiliselt.

Uurida kvalitatiivselt relaksatsioonvõnkumiste amplituudi sõltuvust kondensaatori C mahtuvusest ja türatroni võrepinge väärtusest erinevate laadimisvoolu väärtuste juures.

Mõõtmistulemused esitada graafiliselt.

Kontrollküsimused.

1. Mis liiki gaaslahendus tekib kaudse küttega türatronis?
2. Mis on plasma?
3. Milline on positiivsete ioonide tähtsus türatronis?
4. Nimetada türatroni peamised parameetrid ja tunnusjooned?
5. Mida nimetatakse türatroni käivituspriirkonnaks?
Millest oleneb selle piirkonna laius?
6. Selgitada türatroni tüürvõre tööpõhimõtet.
7. Mida mõistetakse tüürvõre taandusaja all?
8. Mispärast ei tohi türatroni lülitada ilma anoodahela bal-
lastakistusega?
9. Nimetada, milleks kasutatakse türatroni?
10. Millised on türatroniga relaksatsioonigeneraatori eelised
võrreldes teiste relaksatsioonigeneraatoritega?

Kirjandus.

1. Блантер, С.Г., Радиотехника и электроника, Госэнергоиз-
дат, 1960.
2. Бонч-Бруевич, А.М., Применение электронных ламп в экспе-
риментальной физике, ГИИТЛ, 1955.

KENOTRONALALDI UURIMINE.

I. Tööülesanne.

Tutvumine kenotronalaldiga ja alaldi ping- ning voolu-
kõverate määramine. Silumisfiltrite uurimine.

II. Töövahendid.

1. Kenotronaalaldi makett.
2. Takistuemagasin.
3. Voltmeeter 0 - 450 v.
4. Kondensaatorite magasinid (2 tk.) 0,25 - 10 μ F.
5. Silumisfiltri paispool.
6. Katoodostsilloskoop 30-7.
7. Lampvoltmeeter.

III. Üldosa.

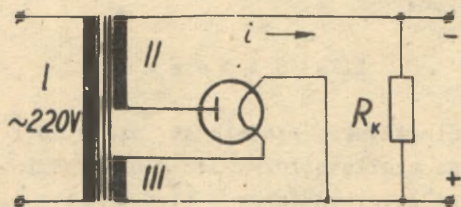
Alaldike nimetatakse seadeldist, mille abil vahelduvvoolu muudetakse alalisvooluks. Iga alaldi põhiosaks on sel-line element, milles voolutugevus oleneb mitte ainult pinge suurusest vaid ka voolu suunast. Vool sellises elemendis ei allu Ohm'i seadusele. Elektrotehnikas nimetatakse niisuguseid elemente m i t t e l i n e a a r s e t e k s . Raadiotehnikas kasutatakse alaldina laialdaselt kaheelektroodilist elektronlampi - nn. kenotroni. Kenotronid omavad ainult ühesuunalist juhtivust ja seetõttu kasutatakse neid alaldavate elementidena nn. kenotronaalaldites.

Joonisel 38 on esitatud lihtsaima kenotronaalaldi skeem. Kenotron lülitatakse trafo sekundaarmähise (II) ahelasse ja katoodi kuumutamiseks vajalik vool võetakse trafo kolmandalt madalapingeliselt küttemähiselt (III). Vool läbib kenotroni ainult selle poolperioodi vältel, mil elektrenlambi katood (kuum elektrood) on negatiivselt pingestatud. Teise poolperioodi vältel kenotroni sisalduvas vooluringis voolu ei ole. Joonisel 39 on kujutatud kenotronile rakendatud pinge ja te-da läbiva voolutugevuse kõverad, kui kenotroni vooluring on suletud takistiga R_k . Niisugust alaldit nim. poolperiood-alaldiks.

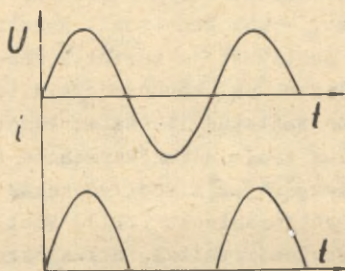
Voolutugevus, mis läbib takistit R_k , sõltub takistuse suurusest ja kenotroni sisetakistusest R_1 (vt. joon. 40). Alaldi kasutegur avaldub järgmise seosega:

$$\eta = \frac{I_a^2 R_k}{I_a^2 (R_k + R_1)} = \frac{R_k}{R_k + R_1} .$$

Nagu valemist nähtub, on kasutegur seda suurem mida suurem on R_k . Suurenemisega väheneb aga alaldist saadava voolu tugevus. Saadav võimsus on maksimaalne, kui $R_k = R_1$.

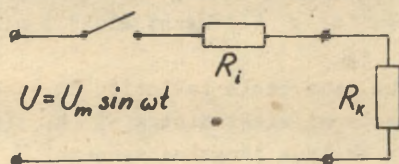


Joon. 38.



Joon. 39.

Joonisel 40 on esitatud alaldi ekvivalentlülitus. Kenot-



Joon. 40.

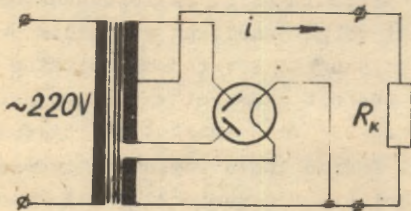
ron on asendatud takistiga R_1 ja lülitiga K . Kujutades lüliti suletuna ainult nendel poolperioodidel, kus kenotroni katoode on negatiivselt pingestatud, töötab seadeldis nagu elektronlamp. Ekvivalentlülitusi kasutatakse sageli mitmesuguste seadeldiste arvutamisel. Ahelasse järjestikku lülitatud takisti R_k tähendab koormustakistit. Punktidele A ja B rakendub pinge U' . See pulseeriv pinge avaldub Fourier' reana järgmiselt:

$$U' = U_m \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \omega t - \frac{2}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{2}{15\pi} \cos 4\omega t \dots \right) \quad (1)$$

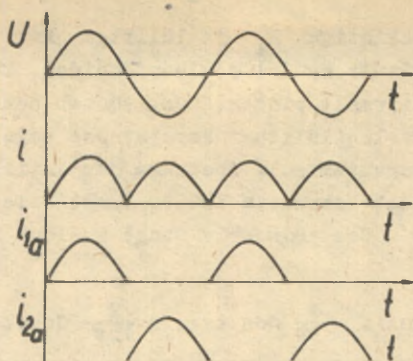
Rea esimene liige $\frac{U_m}{\pi}$ on pinge alaliskomponent. Kui sellest lahutame pingelangu kenotroni sisetakistusel R_1 , siis leiame pinge koormustakistil R_k . Rea teised liikmed iseloomustavad alaldatud pingest esinevat vahelduvpinge komponentide suurust ja sagedusi.

Avaldisest (1) nähtub, et esimese vahelduvpinge komponendi amplituudväärtus on suurem alalispinge komponendist ($\frac{1}{\pi} < \frac{1}{2}$). Niisugust suurt pinge pulsatsiooni saab kõrvaldada ainult väga hea silumisfiltri abil.

Vahelduvvoolu mõlemad poolperioodid kasutatakse ära nn. täisperioodalaldites, mille kenotron omab kaht anoodi (joon. 41). Vool läbib kenotroni ühel poolperioodil ühelt anoodilt ja teisel poolperioodil teiselt anoodilt lähtudes. Niisugune olukord saavutatakse sel teel, et trafo sekundaarmähise keskosa ühendatakse kenotroni katoodiga ja otsad anoodidega. Trafo sekundaarmähisest töötab korraga ainult üks pool ja alaldatud pinge vastab seetõttu ka mähise ühe poole pingele.



Joon. 41.



Joon. 42.

Joonisel 42 on kujutatud takistit R_k läbiva voolu tugevuse ja kenotronil toimuva pingelangu kõverad.

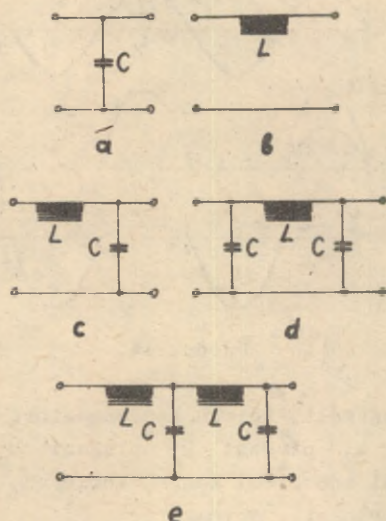
Alaldatud pinge avaldub Fourier reana järgmiselt:

$$U' = U_m \left(\frac{2}{\pi} - \frac{4}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4}{15\pi} \cos 4\omega t \dots \right). \quad (2)$$

Siin on pinge alaliskomponent kake korda suurem kui poolperioodalaldil. Samuti puudub pulsatsioon põhisagedusel. Avaldistest (1) ja (2) näeme, et poolperioodalaldi pulsatsiooni vähim sagedus on võrdne vahelduvpinge sagedusega, täisperioodalaldil aga kahekordse sagedusega. Peale selle on täisperioodalaldi madalama sageduse lainelisus (pulsatsiooniamplituud) väiksem kui poolperioodalaldil ($\frac{4}{3\pi} < \frac{1}{2}$).

Pinge pulsatsiooni vähendamiseks, s.o. silumiseks kasutatakse nn. silumisfiltreid, mis ühendatakse alaldi väljundi klemmidega. Joonisel 42 on toodud enamikasutatavate silumisfiltrite skeemid. Lihtsaim neist on kondensaatorfilter. Esialgu tutvume alaldi tööga juhul, kui väljendis puudub filter. Vastavad voolude ja pingete kõverad on esitatud joonisel 44. Siin U tähendab trafolt saadavat vahelduvpinget, U_d^* ja i_d pulseeriva alaldatud voolu pinget ja tugevust ning U_k pinget kenotronil. Suured tähed vastavate indeksitega tähen-davad amplituudväärtusi. Poolperioodil, mil kenotron voolu ei juhi, langeb kogu trafo pinge kenotronile. Siis $U_m = U_{km}$. Teisel poolperioodil, kui kenotron on juhtiv, on pingelang kenotronil väike. Kenotroni kasutamisel on tähtis teada, mil-

list maksimaalset vastupinget võib kenotronile rakendada, sest sellega on piiratud alaldist saadav pings. Vastupinge on üheks tähtsaks kenotroni parameetrika.

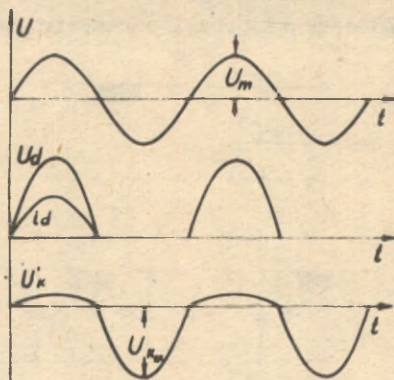


Joon. 43:

- 1) kondensaatorfilter,
- 2) paispoolfilter,
- 3) paispoolsisendiga ehk V-filter,
- 4) kondensaatorsisendiga ehk π -filter,
- 5) kaskaadfilter.

Järgnevalt tutvume alaldi voolu- ja pingekõveratega, kui alaldi väljundisse on lülitatud kondensaator-filter. Filtri kondensaator laadub ja vool läbib kenotroni ainult siis, kui trafo pinge ületab pinget kondensaatoril. Seetõttu läbib vool kenotroni ja kondensaatori laadumine toimub ainult teatud perioodi osa vältel. Joonisel 44 on kujutatud vaadeldavat juhtu iseloomustavad pinge- ja voolukõverad. Kõver U on trafo pingekõver, U_d - alaldatud pinge ja i_d -

alaldatud voolu kõver, i_a - kenotroni läbiva voolu tugevus, U_k - pinge kenotronil ja i_c - kondensaatori laadimisvool.



Joon. 44.

Nagu nähtub jooniselt, toimub kondensaatori laadumine ajavahemikul $t_1 - t_2$ pingest U_c' pingeni U_c'' . Sel ajal võrdub kenotroni anoodvool koormusvoolu i_d ja kondensaatori laadimisvoolu i_c summaga

$$i_a = i_d + i_c .$$

Kondensaatori voolutugevuse sõltuvus ajast on näidatud joonisel 45. Voolu negatiivne osa vastab kondensaatori laadumisele ja positiivne tühjenemisele.

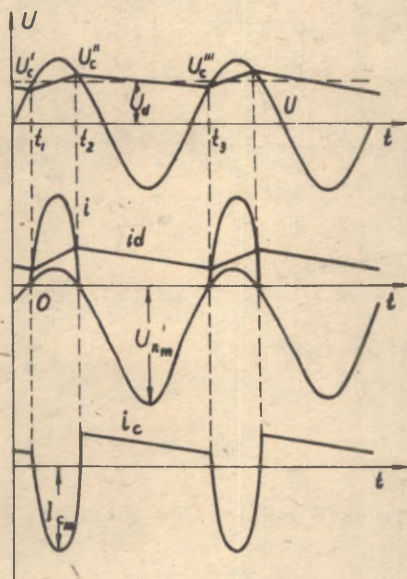
Ajavahemikul $t_2 - t_3$ on vooluallikaks kondensaator. Selles vahemikus tühjeneb kondensaator pingelt U_c'' pingeni $U_c''' = U_c'$. Sel ajal kenotroni anoodvool $i_a = 0$ ja vool alaldi väljundis võrdub kondensaatori tühjenemisvooluga i_c , s.t. $i_d = i_c$.

Nagu joonisel 45 nähtub, vähendab kondensaatori lülitamine väljundisse suurel määral pinge pulsatsiooni, s.o. si- lub alalispinget.

Kondensaatorfiltri puhul suureneb tunduvalt vastupinge kenotronil. Vastupinge kenotronil (pinge kenotronil selle

aja kestel, kui kenotron voolu ei juhi) on võrdne pingete summaga kondensaatoril ja transformaatore klemmidel ning võrdub alaldi tühijooksul

$$U_{km} = 2 U_m = 2 U_d .$$



Joon. 45.

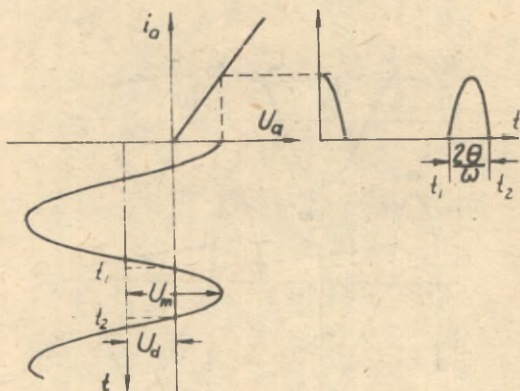
Koormatud alaldi puhul on pinge kondensaatoril väiksem pingelangu võrra alaldis, mille tõttu väheneb ka vastupinge.

Oletame lihtsuse mõttes, et pinge kondensaatoril on konstantne ja võrdne alaldatud pinge alaliskomponendiga, siis on vool kenotronie iseloomustatav järgmiste graafikute abil (joon. 46). Siin I graafik kujutab kenotroni karakteristikut, II graafik pinge muutust kenotronil ja III - voolutugevust kenotronil.

Graafikuteest nähtub, et kenotroni vool $i_a = S U_m (\cos \omega t -$

- $\cos \theta$). Nurk θ vastab ajale, mil kenotron juhib ühe perioodi vältel. Vool katkeb, kui pinged kondensaatoril ja trafol võrdsustuvad, s.o.

$$U_d = U_m \cos \theta . \quad (6)$$



Joon. 46.

Vool kenotronis omab maksimaalse väärtuse, kui $\cos \omega t = 1$. Seega,

$$i_m = S U_m (1 - \cos \theta) . \quad (7)$$

Alaldatud voolu keskmise väärtuse leiame järgmiselt:

$$i_k = 2 \frac{1}{2\pi} \int_{-\theta}^{+\theta} i_o d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\theta} i_o d(\omega t) = \frac{2 S U_m}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) . \quad (8)$$

Seda voolu näitab ka milliampermeeter. Pinget kondensaatoril võime mõõta suure takistusega alalisvooluvoltmeetriga.

Seostest 6 ja 8 leiame

$$\frac{i_k}{U_k} = \frac{2 S}{U_k} (\tan \theta - \theta) . \quad (9)$$

Viimane valem võimaldab määrata nurga θ .

Kondensaatorfiltri siluv mõju on seda suurem, mida väiksem on koormusvool. Paispoolfiltri mõju aga suureneb voolutugevuse suurenedes. Vaadeldavad filtrid mõjuvad siluvalt mitmesuguste sagedustega pulsatsioonidele. Filtrite siluv mõju suureneb voolu pulsatsioonisageduse suurenedes.

Pulsatsiooniteguri H all mõistetakse alaldatud voolu vahelduvpinge komponendi amplituudi U_{dm} ja alalispinge komponendi U_d suhet. Seejuures mõlemad komponendid tulevad mõõta samal koormusvoolul

$$H = \frac{U_{dm}}{U_d} . \quad (10)$$

Filtri põhiliseks tehniliseks näitajaks on silumistegur F_m , mis võrdub filtri väljundi pulsatsiooniteguri H_v ja sisendi pulsatsiooniteguri H_s suhtega

$$F = \frac{H_v}{H_s} = \frac{U_{dvm}}{U_{dsm}} , \quad (11)$$

kus U_{dsm} on alaldatud voolu vahelduvpingekomponendi amplituud filtri sisendklemmidel, ja U_{dvm} - alaldatud voolu vahelduvpingekomponendi amplituud filtri väljundklemmidel.

IV. Ü l e s a n n e .

1. Koostada poolperioodalaldi skeem (joon. 47). Kui trafo on ette nähtud täisperioodalaldile, siis liigse pinge vältimiseks kasutada sekundaarmähisest ainult ühte poolt.

2. Uurida alaldi sisetakistuse ($R_s = R_1 + R_{sn}$) mõju väljundpingele mitmesuguste koormuste juures. Selleks mõõta alalispinge (U_d) olenevust koormusvoolust (I_d). $U_d = f(I_d)$ muutes koormusvoolu nullist kuni lubatud maksimaalväärtuseni. (Muuta koormust R_k).

Voolu suurenemisel pingelang alaldi väljundis oleneb pingelangust kenotronil, trafo ja paispooli mähistel.

Saadud kõvera kalde järgi leida alaldi takistus, kasutades graafiku sirgjoonelist osa.

Joonistada katoodostsillooskoobilt väljundpinge kõver tühi- ja täiskoormusel.

Lülitada filterkondensaator paralleelselt koormusega ja korrata p.2 ettenähtud katset. Voolu alaliskomponent ei ole ostsillooskoobis nähtav, sest ostsillooskoobi ahelasse on lülitatud sidestuskondensaator, mida alalisvool ei läbi.

Valem (9) järgi arvutada $\tan \theta - \theta$ väärtused ja tabelist leida θ . Koostada graafik $\theta = f(i_d)$. Teades nurga θ väärtust, arvutada valem (6) järgi pinge kondensaatoril U_c . Selleks on veel tarvis teada pinget trafo sekundaarmähistes, mille määrame, kasutades antud trafo ülekandetegurit ja mõõtes primaarmähise pinget.

3. Korrata p. 2 ettenähtud katset paispoolsisendiga silumisfiltriga ja samuti π -filtriga. Täiendavalt määrata anoodvoolu-, kondensaatorivoolu- ja koormusvoolu- ning pingekõverad tühijooksul ja lubatud maksimaalsel koormusel.* Selletada, miks saadi just niisuguse kujuga kõverad.

4. Määrata pulsatsioonisagedus võrreldes katoodostsillooskoobi abil pinget alaldi väljundis 50 Hz võrgupinge kõveraga.

5. Korrata p. 2, 3, 4 ettenähtud ülesanded täisperiood-alaldiga (joon. 6).

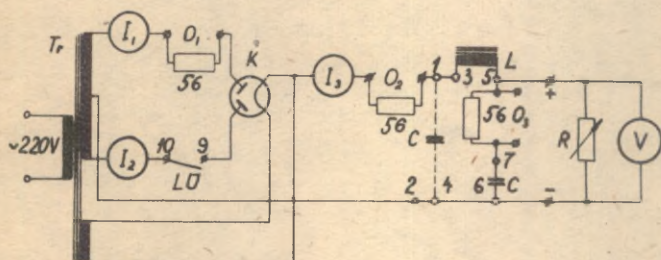
6. Määrata pulsatsiooniteguri ja silumisteguri väärtused maksimaalkoormuse juures poolperiood- ja täisperiood-alaldi puhul, kasutades filtreid a, c ja d (joon. 6).

Pulsatsioonipinge amplituudväärtuste määramiseks kasutame elektronlampvoltmeetrit või katoodostsillooskoopi (kaaliibrides pingele kiire kõrvalekalde y-télje suunas kindla võimenduse juures). Mõõtmistulemused koondada tabelisse.

* Voolukõveraid määrame ostsillooskoobiga, vaadeldes pingelangu kõveraid väikesel (56Ω) takistil, mis on lülitatud järjestikku vastavasse ahelasse (joon. 47). Pingelangu kõver sellisel takistil on sarnane takistit läbiva voolu kõveraga.

Filtri tüüp	U _d	i _d	Filtri si-		Filtri väl-		H	P
			sendil		jundil			
			U _d	U _{dsm}	U _d	U _{dvm}		
	V	mA	V	V	V	V		

Nii poolperiood- kui ka täisperioodalaldi uurimisel kasutame sama lülitust, ainult poolperioodalaldi puhul katkestame lüliti K abil voolu kenotroni ühe anoodi ahelas. Sulgedes lüliti, saame täisperioodalaldi.



Joon. 47.

- I_1, I_2, I_3 - alalisvoolu mA 100 mA,
 V - kõrgeoomiline alalisvoolu voltmeeter,
 $O_{1,2,3}$ - kõrgeoomiline vahelduvvoolu voltmeeter või katoodotsilloskoop,
 T_r - trafo 220 V; 2 x 100 V; 6,3 V,
 $LÜ$ - lüliti,
 C - filtri kondensaatorid 10 F 400 V,
 L - paispool 8 + 25 H,
 R - koormustakisti (magasin voolule 100 mA, 100 k Ω),
 K - kenotron.

Kirjandus.

1. Молчанов, А.П., Курс электротехники и радиотехники, Физматгиз, 1961.
2. Блантер, С.Г., Радиотехники и электротехники, Госэнергоиздат, 1960.

θ väärtused sõltuvalt ($\tan \theta - \theta$) suurusest.

$\tan \theta - \theta$	θ		$\tan \theta - \theta$	θ		$\tan \theta - \theta$	θ	
	radi- aani- des	kraa- di- des		radi- aani- des	kraa- di- des		radi- aani- des	kraa- di- des
0,00001	0,03	1,72	0,00058	0,12	6,38	0,00314	0,21	12,03
0,00002	0,04	2,29	0,00074	0,13	7,45	0,00362	0,22	12,61
0,00004	0,05	2,86	0,00092	0,14	8,02	0,00414	0,23	13,18
0,00007	0,06	3,44	0,00114	0,15	8,59	0,00472	0,24	13,75
0,00011	0,07	4,01	0,00138	0,16	9,17	0,00534	0,25	14,31
0,00017	0,08	4,58	0,00166	0,17	9,74	0,00602	0,26	14,88
0,00024	0,09	5,16	0,00197	0,18	10,31	0,00676	0,27	15,47
0,00033	0,10	5,73	0,00232	0,19	10,89	0,00755	0,28	16,04
0,00045	0,11	6,30	0,00271	0,20	11,46	0,00841	0,29	16,62
0,00934	0,30	17,19	0,03545	0,46	26,36	0,09391	0,62	35,42
0,01033	0,31	17,76	0,03797	0,47	26,93	0,09911	0,63	36,10
0,01139	0,32	18,33	0,04061	0,48	27,50	0,10454	0,64	36,67
0,01252	0,33	18,91	0,04339	0,49	28,07	0,11020	0,65	37,24
0,00000	0,34	19,48	0,04680	0,50	28,65	0,11610	0,66	37,82
0,01503	0,35	20,05	0,04931	0,51	29,22	0,12225	0,67	38,39
0,01640	0,36	20,63	0,05256	0,52	29,79	0,12866	0,68	38,96
0,01786	0,37	21,20	0,05592	0,53	30,37	0,13534	0,69	39,53
0,01941	0,38	21,77	0,05943	0,54	30,94	0,14229	0,70	40,11
0,02105	0,39	22,35	0,06311	0,55	31,51	0,14953	0,71	40,68
0,02279	0,40	22,92	0,06695	0,56	32,09	0,15707	0,72	41,25
0,02463	0,41	23,49	0,07097	0,57	32,66	0,16492	0,73	41,83
0,02657	0,42	24,06	0,07517	0,58	33,23	0,17302	0,74	42,40
0,02862	0,43	24,64	0,07944	0,59	33,80	0,18160	0,75	42,97
0,03078	0,44	25,21	0,08408	0,60	34,38	0,18996	0,76	43,50
0,03306	0,45	25,78	0,08892	0,61	34,95	0,19963	0,77	44,12

AMPLITUUDMODULEERITUD SINGAALIDE DETEKTEERIMINE.

I. Töö ülesanne.

Raadioskeemide detektorahelates toimuvate protsesside uurimine. Töös uuritakse erinevaid detektorite tüüpe: diood-detektor, võredetektor, anooddetektor. Määratakse detektorite karakteristikud, uuritakse koormustakisti ja blokeeriva kondensaatori mõju detekteerimise tulemusele.

II. Töö vahendid.

Alaldi ($100 + 300 \text{ v} = 6,3 \text{ v} \sim$);
akumulaator 40 v koos potentsiomeetriga;
standardsignaali generaator FCC-6;
ostsilloskoop 30-7;
voltmeeter 30 v , 6 v ; voltmeeter - 30 v ;
milliampermeeter 1,0 mA;
mahtuvusmagasin kuni 1 μ F.

III. Üldosa.

Raadiosides ülekantavad signaalid koosnevad tavaliselt nn. moduleeritud kõrgsageduselektrivõngetest. Nendes signaalides tegelikult ei esine moduleerivaid signaale. Selle seletuseks vaatleme nn. tonaalset moduleeritud signaali. Nii nimetatakse kõrgsagedusvõnkeid, nn. korduvvõnkeid, millede amplituudid on moduleeritud ainult ühe kindla helisageduse tooniga (sagedus Ω). Sellist signaali võib kujutada nii nagu näidatud joonisel 48. Selle signaali analüütiline avaldus on üldiselt järgmine:

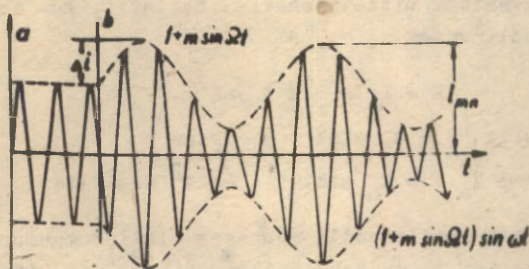
$$E(t) = E_0 (1 + m \sin \Omega t) \sin \omega t, \quad (1)$$

kus E_0 on kandevõngete amplituud,
 ω on " " sagedus,
 Ω - moduleerivate võngete sagedus,
 m - modulatsioonitegur,

mE_0 - modulateerilooniamplituud ja

$E_0(1+m \sin \Omega t)$ on suurus, mis iseloomustab kande sageduse amplituudi muutuse seadust. Valemi (1) teisendamisel ilmneb, et see anharmooniline võnkumine koosneb kolmest kõrgsageduslikust komponendist

$$E(t) = \frac{m}{2} E_0 \cos(\omega - \Omega)t + E_0 \sin \omega t + \frac{1}{2} E_0 \cos(\omega + \Omega)t. \quad (2)$$



Joon. 48.

Madalsageduskomponendi (Ω) uuesti kättesaamiseks tuleb moduleeritud signaal (1) või (2) muundada erilise muundaja abil. Raadioseadme elementi, milles toimub see muundamine, nimetatakse detektoriks. Moduleeritud signaali muundamise protsessi helisageduslikuks signaaliks nimetatakse detekteerimiseks.

Käesolevas töös vaatleme ainult amplituudmoduleeritud signaalide detekteerimist. Detekteerimiseks vajalik signaali muundamine võib toimuda mingisuguses mittelineaarses elektrilises vahendis. Mittelineaarses nimetatakse sellist vooluringi, milles voolu ja pinget vaheline seos ei ole lineaarne. Voolu kujul sellises ringis ei ole sarnane sinuga lülitatud pingekõvera, vaid erineb sellest oluliselt (on moonutatud). Oluline on, et selliste moonutuste puhul muutub signaali spekter, s.t. tekivad võnked uute sagedustega. Seepärast signaalide detekteerimisel, moduleerimisel, sageduste korrutamisel ja liitmisel (tuikesageduste saamisel), s.t. neil juhtudel, mil

teadlikult muudetakse signaalide spektrit, on vaja kasutada mittelineaarsete vooluringe.

Mittelineaarset elementi iseloomustatakse tema tunnusjoonega $I = f(E)$, mis annab antud elemendi voolutugevuse sõltuvuse rakendatud pingest. Enamikul juhtudel ei ole seda seost võimalik esitada analüütiliselt, vaid teda saab määrata ainult eksperimentist.

Näiteks vaatame mittelineaarset takistit, kus vool on pingest ruutsõltuvuses

$$I = I_0 + \alpha E + \beta E^2. \quad (3)$$

Kui asetada siia $E = E_0 \sin \omega t$, saame

$$I = I_0 + \frac{\beta}{2} E_0^2 + \alpha E_0 \sin \omega t + \frac{\beta}{2} E_0^2 \cos 2\omega t. \quad (4)$$

Mittelineaarse elemendis suureneb alaliskomponent $\frac{\beta}{2} E_0^2$ võrra ja tekib nn. teine harmooniline $\frac{\beta}{2} E_0^2 \cos 2\omega t$, mida ei olnud algsignaaalis. Kasulikuks tulemuseks detekteerimise seisukohalt on voolu alaliskomponendi muutus

$$\Delta I = I - I_0 = \frac{\beta}{2} E_0^2 = I_d, \quad (5)$$

mida nimetatakse alaldatud vooluks.

Kui aga ülesandeks oleks kahekordse sagedusega signaali saamine, siis kasulikuks tulemuseks oleks teine harmooniline

$$I_{2m} = \frac{\beta}{2} E_0^2 \cos 2\omega t. \quad (6)$$

Mittelineaarse ahelas tekkinud uusi sagedusi nimetatakse kombinatsioonsagedusteks, sest nad on lähtesignaali komponentide (sageduste) lineaarsed kombinatsioonid. Kui lähtesignaal on sinusoidaalne nagu ülalpool esitatud näites, siis kombinatsioonsagedused on selle kordsed ω , 2ω , 3ω jne.

Veel suurem hulk kombinatsioonsagedusi tekib siis, kui mittelineaarsele takistile antavas signaalis esineb enam kui üks sagedus (signaali spekter on keeruline) ning ka siis, kui mittelineaarse elemendi tunnusjoon on keerulisem. Selleks, et eraldada suurest hulgast kombinatsioonsagedustest meile vaja-

lik signaal, lülitatakse ahelasse lisaks mittelineaarsetele elemendile veel filter või filter kombineeritult koormusega.

Näiteks sageduse kahekordistamisel kasutatakse filtrina vajalikule kombinatsioonsagedusele häälestatud võnkeringi (LC). Detekteerimisel on vaja eraldada tervet sageduste riba - 0 kuni 5 kHz. Sellist ülesannet võib täita joonisel 49 kujutatud RC filter. Niisuguse filtri vahelduvvoolutakistus sõltub sagedusest nagu näha järgmisest valemist:

$$Z = \frac{R}{1 + j\omega RC}.$$

Joonisel 50 on graafikuna esitatud takistuse (Z) sõltuvus sagedusest (ω). Teatud võngete jaoks, mille sagedus (Ω) on väiksem kui sagedus Ω_k , mille määrab võrratus $1 \gg \Omega_k RC$, on filtri takistus võrdne tema oomilise takistusega (R). Nende sageduste juures on $\frac{1}{\Omega_k RC} \gg R$.

Võngete jaoks, mille sagedused on suuremad piirsagedusest $\Omega \gg \Omega_m$, on kondensaatori takistus väiksem kui R

$$R \gg \frac{1}{\omega_m C}.$$

Valides ajakonstandi RC järgmise võrratusega

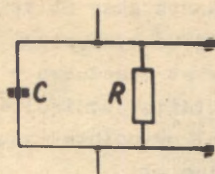
$$\frac{1}{\omega_m} \ll RC \ll \frac{1}{\Omega_k},$$

saame filtri, mis moonutusteta eraldab madalasagedusvõnked Ω_m ja lühistab võnked Ω_k suurema sagedusega. Praktiliselt valitakse RC nii, et piirsageduse Ω_k juures Z väheneks mitte enam kui 10 - 15 % (joonis 50).

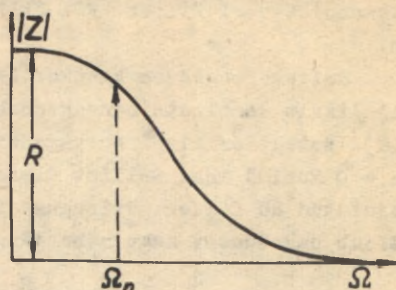
Töötamisel detektoriga on tarvis teada, millise kuju ja suurusega helivõnked tekivad detektori väljundis, kui tema sisendisse on antud moduleeritud signaal. Seda on kerge lihtsam määrata detektori tunnusjoone abil.

Detektori tunnusjooneks nimetatakse alaldatud voolu I_d (või alaldatud pinge U_d) sõltuvust detektorile mõjuva harmoonilise võnke amplituudist E_0 , kui $R = \text{const}$

$$I_d = f(E_0) R = \text{const}.$$



Joon. 49.
RC filter.



Joon. 50. Z sõltuvus harmoonilise signaali sagedusest.

Teades ruutdetektori tunnusjoont

$$I_d = \frac{1}{2} \beta E_0^2 (R=0), \quad (\text{võrrand 5})$$

võime kindlaks teha, mis juhtub tonaalselt moduleeritud signaaliga (1), millel on muutuv amplituud

$$E_0 (1 + m \sin \Omega t) .$$

Saame

$$I_d = \frac{1}{2} \beta E_0^2 + \frac{1}{4} m^2 E_0^2 + \beta m E_0^2 \sin \Omega t + \frac{1}{4} \beta m^2 E_0^2 \sin 2\Omega t. \quad (7)$$

Selle seose abil võib hinnata detektori tööd, määrata pinge ülekandeteguri K ja sagedusmoonutuste teguri (nn. klirrfaktor) K_f .

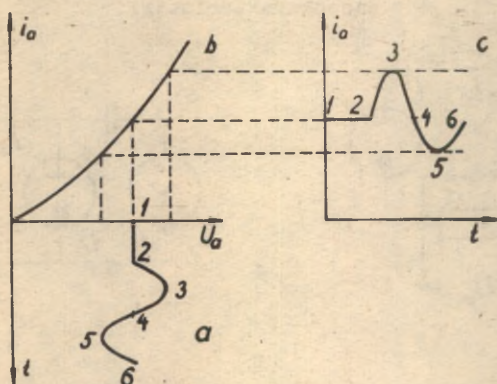
Detektori tunnusjoon on sageli analüütiliselt keeruline avaldada ja seepärast ta määratakse katseliselt (esitatakse graafikutena). Sel juhul teostatakse ka detektori töö analüüs graafiliselt.

Joonisel 51 on esitatud moduleeritud signaali amplituudi muutus (kõver a), detektori tunnusjoon (b) mingisuguse takisti R puhul ja alaldatud voolu pulsatsioon detektori väl-

jundis (C). Kui detekteerimisel ei esine tunduvald sagedus-
moonutusi ($\Omega \ll \frac{1}{RC}$), võib analüüsi teostada ühe sageduse
jaoks.

Kõige enam kasutatakse detektoritena elektronlampe -
dioode või triode. Viimasel ajal leiavad laialdast kasuta-
mist ka kristalldioodid.

Järgnevalt vaatleme kahte tüüpi lampdetektorite tööd.
Need on diooddetektor ja anooddetektor (trioodiga).

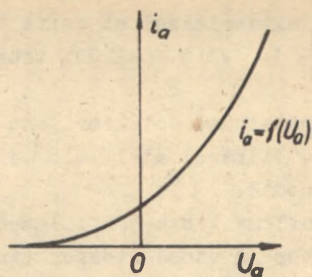


Joon. 51. Detektori alaldatud voolu pulsatsioonide
määramine tema tunnusjoone abil.

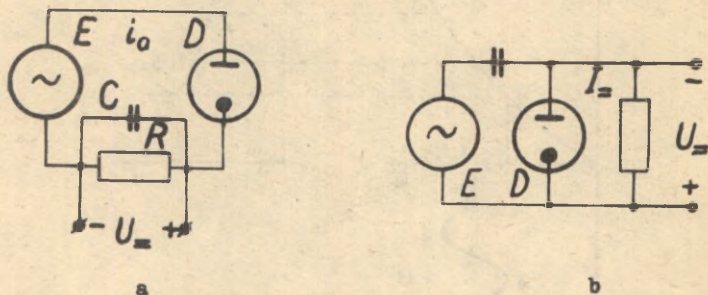
Erinevad detekteerimise liigid.

1. Dioddetekteerimine.

Dioddetekteerimise puhul kasutatakse diodi karakteris-
tiku $I_a = f(U_a)$ mittelineaarsust (joonis 52). Dioddetek-
torite skeemid on toodud joonisel 53.



Joon. 52. Dioodi staatiline anoodkarakteristik.



Joon. 53. Diooddetektorite skeemid.

D - diood,
 RC - koormusfilter,
 E - detekteeritav signaal,
 U - alaldataud (detekteeritud) signaal.

Kui detektori sisendisse on antud harmooniline signaal, tekivad tema ahelas mitteharmoonilised vooluimpulsid, mis sisaldavad kogu kombinatsioonsageduste spektri

$$\omega_n = n \omega \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$$

Filter RC eraldab koormustakistil R ainult pinge alalis-komponendi

$$U_m = -RI.$$

Kui E on harmooniline signaal, tekib koormustakistil pingelise alaliskomponendi muutus

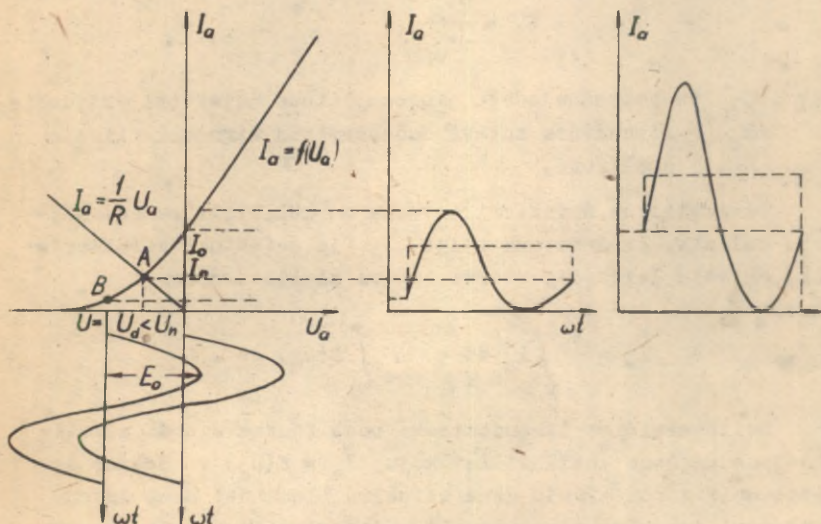
$$\Delta U_{\text{e}} = U_{\text{e}} - U_{\text{a}} = U_{\text{d}},$$

mida nimetatakse alaldatud pingeks. Niisuguste detektorite puhul nii alaldatud pinge U_d kui ka alaldatud vool I_d sõltuvad mitte ainult signaali amplituudist E_0 , vaid ka koormustakisti R suurusest. Seda võib seletada järgmiselt.

Kui amplituudi E muutumisel ΔU võrra muutub voolu alalisikomponent ΔI võrra, siis nihkub ka dioodi tööpunkt karakteristikul, kusjuures tööpunkti nihe sõltub takistusest R .

$$\Delta U = -R I.$$

Seletame seda graafikul (joonis 54).



Joon. 54. Vooluimpulsi ehitamine diooddetektoril
anoodahelas, kui $R \neq 0$ (a) ja $R = 0$ (b).

Joonisel 54 a on esitatud mingisuguse amplituudi E_0 jaoks anoodvoolu impulsse juhul, kui $R \neq 0$. Seejuures dioodi tšõppunkt on nihkunud algpunktist A ($I_a U_a$) punkti B. Detektori algtšõppunkt määratakse tavaliselt kui koormussirge $I_a = -\frac{1}{R} U_a$ lõikepunkt dioodi staatilise karakteristikuga $I_a = f(U_a)$. Võrdluseks on joonisel 54 b esitatud vooluimpulsse juhul, kui $R = 0$.

Kui signaali E amplituud on moduleeritud mingisuguse helisagedusega Ω , siis vastavalt moduleeritud signaali amplituudi muutusele muutub ka alaldatud vool I_d ja alaldatud pinge U_d - vastavalt detektor-karakteristikule (kui $\Omega \ll \frac{1}{RC}$).

Detektor peab pinget maksimaalselt üle kandma (püütakse saavutada maksimaalne alaldatud pinge).

Pinge ülekannet iseloomustatakse pinge ülekandeteguriga

$$K_d = \frac{U_d \Omega}{m E_0},$$

kus $\frac{U_d \Omega}{m E_0}$ on helisagedusega pingeamplituud detektori väljundis, - sisendisse antava moduleeritud signaali piiraja amplituud.

Teoreetiline detektori arvutus on küllaltki raske. Näiteks selleks, et arvutada välja I_d ja detektori karakteristik, on vaja leida detektorit läbiva alaliskomponendi I_{-} suurus

$$I_{-} = \frac{1}{T} \int_0^T I_a dt = \frac{1}{T_0} \int_0^T f(U_a) dt.$$

Selle avaldise lahendamiseks peab teadma dioodi staatilise tunnusjoone analüütilist kuju $I_a = f(U_a)$. See on aga tavaliselt teada ainult graafiliselt. Ülesannet saab lahendada real juhtudel ligikaudselt, asendades arvutustes karakteristikku vajaliku lõigu tuntud seaduse järgi muutuva kõvera.

Näiteks tugeva signaali detekteerimisel diooddetektoriga asendatakse tunnusjoon koordinaatteljestiku nulli läbiva

sirgega, mille tõus S_0 on sama kui tunnusjoone sirgjoonelisel osal (vt. joonis 55). Sellist asendatud tunnusjoont võib avaldada järgmiselt:

$$I_a = S_0 U_a, \text{ kui } U_a \geq 0$$

ja

$$I_a = 0, \text{ kui } U_a < 0.$$

Sellise tunnusjoonega detektorit nimetatakse ideaalseks detektoriks ning tema jaoks on kerge teostada arvutusi.

Peale ülekanDETeguri K_d ja mittelineaarsuse teguri K_t on oluliseks detektori parameetrikS sisendtakistus

$$Z_S = \frac{R}{Y} \frac{\omega}{\omega}.$$

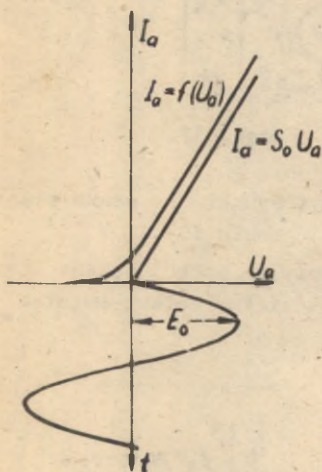
Sisendtakistuseks nimetatakse detekteeriva ahela takistust sisendklemmide poolt vahelduva EMJ allika jaoks (joonis 56). Sisendtakistuse aktiivkomponent koormab signaali pingeallikat ja kulutab detektori töötamisel võimsust. Seepärast on soovitatav alati valida võimalikult suur R_S .

Diooddetektori puhul võib R_S muutuda sõltuvalt suhte $\frac{R}{R_1}$ piirides:

$$R_1 \ll R_S < \frac{1}{2} R \text{ (joonis 54a), } 0 < R_S < \frac{1}{3} R \text{ (joonis 54b)}$$

$$(R_1 = \frac{1}{S_0} - \text{diodi sisetakistus}).$$

Diooddetektori puudusteks on väike sisendtakistus, mistõttu see detektor tugevalt koormab pingeallikat ja teda ei ole alati otstarbekohane kasutada mõõteskeemides. Diooddetektori väikse tundlikkuse tõttu ei ole diooddetektorit ots-

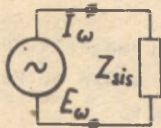


Joon. 55.

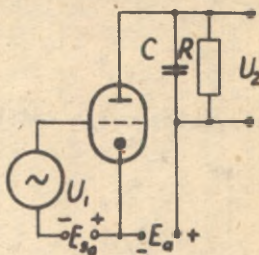
tarbekohane kasutada nõrkade signaalide detekteerimiseks.

2. Anooddetekteerimine.

Anooddetektori skeem on esitatud joonisel 57. Et selline skeem töötaks detektorina, peab võrele andma küllalt suu-



Joon. 56.

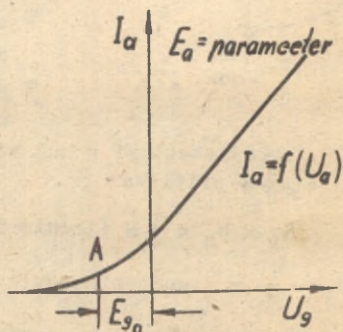


Joon. 57.

re negatiivse võre-eelpinge, nii et tööpunkt A asuks staatilise tunnusjoone alumisel paindel (joonis 58).

Samuti nagu diooddetektori puhul, on anoodahelasse lülitatud RC filter, mille abil eraldatakse detekteerimise protsessis tekkinud kombinatsioonssageduste spektrist madalsageduslikud komponendid. Kuna triood ka võimendab signaali, on anooddetektor tundlikum kui diooddetektor.

Nõrkade signaalide detekteerimisel on otstarbekohane asetada tööpunkt A staatilise tunnusjoone kõige suurema kumeruse piirkonda (joonis 58). Väikeste signaalide puhul, kui $E \ll E_{g0}$, töötab triood ilma võrevoolu-



Joon. 58.

deta ja detektor ei kuluta võimsust sisendahelas. Seetõttu on eriti otstarbekohane kasutada anooddetektorit nõrka-

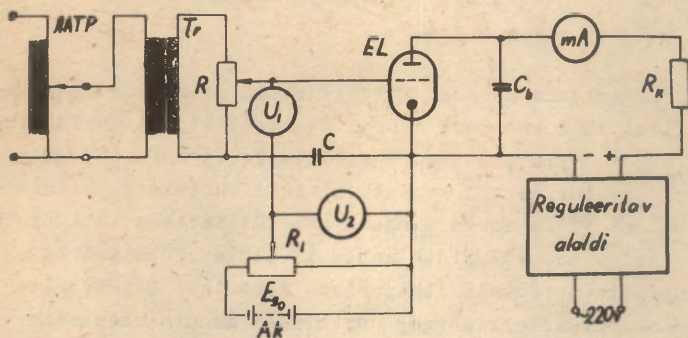
lates, kus on vajalik suur sisendtakistus . Kui sisendsignaali amplituud kasvab, nii et

$$E_0 > |E_{go}| ,$$

tekib võrevool ja esinevad moonutused. Sel juhul on detektor üle koormatud. Ses on üheks anooddetektori puuduseks. Sageli kasutatakse veel nn. võredetektorit. Võredetektorit võib vaadata kui diooddetektori ja trioodvõimendi kombinatsiooni.

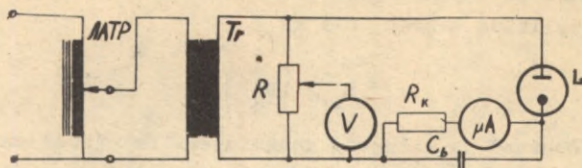
IV. Ü l e e a n n e .

Katseseade.



Joon. 59. Anooddetektori katseskeem.

Tr	- transformator,	mA	- milliampermeeter 10 mA,
R	- reostaat 5000 Ω ,	R _k	- koormetakisti,
R ₁	- " - 2000 Ω ,	E _{g0}	- akumulaator 6 v,
C	- kondensaator 1 μ F ,	ЛАТФ	- laboratoorne autotransformator.
C _b	- kondensaator		
U ₁	- vahelduvvoolu voltmeeter 6 v,		
U ₂	- alalisvoolu voltmeeter 15 v,		



Joon. 60. Diioddetektori katseskeem.

- $AATP$ - laboratoorne autotransformaator,
 Tr - transformaator,
 R - reostaat 5000Ω ,
 V - vahelduvvoolu voltmeeter 30 v,
 C_b - kondensaator
 R_k - koormustakisti
 μA - alalisvoolu mikroampermeeter $750 \mu A$,
 L - diiod 6 x 6C .

Töö tegemiseks antakse üliõpilastele detailide komplektid, millest võib koostada skeemi diioddetektoori uurimiseks (joonis 60) ja triioddetektoori uurimiseks (joonis 59). Diiod- ja triioddetektorite töö kvalitatiivseks uurimiseks kasutatakse 50-hertsilise võrgu pinget, mis lülitatakse läbi spetsiaalse trafo. See võimaldab nähtuste üldist füüsikalist pilti muutmata tunduvalt lihtsustada mõõtmisi. Detektorite detailseks (ostilloskoobiga) uurimiseks kasutatakse standardsignaalide generaatorit ГСС-6 sagedusel $f = 100 \text{ kHz}$. Kõik andmed katseskeemide koostamiseks on esitatud joonistel 59 ja 60.

Ü l e e a n d e d .

1. Diioddetektor.

1. Koostada skeem vastavalt joon. 60. Määrata detektori karakteristikud $I_a = F(U)$ ($R_k = 30; 50, 100; 500 \text{ k}\Omega$ ja $C = 1 \mu F$), muutes vahelduvpinge väärtust 0 kuni 30 v.

2. Määrata detektorkarakteristikud $I_a = F(U)$ (R_k 30, 100 k Ω $C_b = 0$). Võrrelda saadud tulemusi, kandes ühele graafikule samade koormustakistuste puhul saadud kõverad.

3. Võrrelda otsilloskoobi abil sisend- ja väljundpingete kõveraid (lülitades otsilloskoobi punktidesse ab ja ac) koormustakistil $R_k = 500$ k Ω ja $C_b = 0$ ja 1 μ F.

4. Lülitanud välja mõõteriistad, anda detektori sisen-disse kõrgsageduspinge ($f = 100$ kHz, $U = 1$ v) generaatorilt TC-6 moduleerides seda pinget sagedusega 400 Hz. Joonista-da sisendpinge otsillogrammid erinevate modulatsioonikoefitsiendi väärtuste jaoks (0 kuni 100 %-ni). Samade n väärtu-
tuste jaoks joonistada ka väljundpinge otsillogrammid, $C_b = 0$ ja $C_b = 50\ 000$ pF jaoks ($R_k = 100$ k Ω).

5. Määrata C_b mõju detekteerimise tulemustele. Selleks määrata anoodvoolu otsillogrammid $R_k = 10$ k Ω ja $n = 30 - 40$ % ning muutes mahtuvust $C_b = 0 - 1 \mu$ F.

6. Arvutada ahela $R_k C_b$ ajakonstant, mis on vajalik küllalt hea detekteerimise jaoks. Võrrelda saadud tulemusi katsetulemustega.

2. Anooddetektor.

1. Koostada skeem vastavalt jooniele 59. Määrata ka-rakteristik $I = F(E_g)$ kui $R_k = 0, 10, 30, 50$ k Ω ning si-sendpinge U hoida konstantsena ($U \approx 1$ v). Võre-eelpinget muuta -0,5 v kuni 6 v. $C_b = 1 \mu$ F.

Märkus: $\Delta I = I_a - I_{a0}$, kus I_a ja I_{a0} on vastavalt anoodvoolud juhtudel, kui sisendis on vahelduvpinge ($U \approx 1$ v) ja kui vahelduvpinge puudub ($U = 0$).

2. Saadud tulemuste põhjal valida iga R_k väärtues jaoks optimaalne detektori töörežiim, s.t. iga juhu jaoks määrata võre-eelpinge E_g .

3. Leida detektorkarakteristikud $I = F(U)$, kui $R_k = 0, 10, 30$ ja 50 k Ω punkti 2 järgi valitud võre-eelpinge-te E_g jaoks (U ei tohi ületada 3 v) $C_b = 1 \mu$ F.

4. Anda sisendisse moduleeritud kõrgsageduspinge U .
Joonistada üles mitu väljundpinge ostsillogrammi mitmesuguste erinevate E_0 , U , R_k ja C_b jaoks.

5. Muutes E_0 - 6 v kuni 0,5 v ($U \approx 0,6$ v) jälgida ostsilloskoobi abil üleminekut detekteerimisrežiimist kõrgsagedusvõngete võimendamise režiimile. Sada katset teostada, kui $C_b = 0$ ja $C_b = 50\ 000$ pF ($U_0 = 30$ v, $R_k = 10$ k Ω).
Joonistada üles saadud ostsillogrammid.

Kirjandus.

1. Молчанов, А.П., Курс электротехники и радиотехники, 1961.
2. Блантер, С.Г., Радиотехника и электроника, Госэнергоиздат, 1960.
3. Лобанов, Н.Л., Детектирование радиосигналов, Воениздат, МО СССР, 1960.

SUPERHETERODÜÜNVASTUVÕTJA UURIMINE.

I. Töö ülesanne.

Uurida eksperimentaalselt superheterodüünvastuvõtja töö-
põhimõtet, hääleetusmeetodeid ja põhilisi omadusi.

II. Töö vahendid.

1. Superheterodüünvastuvõtja makett.
2. Standardsignaali generaator ГСС6.
3. Katoodostsilloskoop СИ - 1.
4. Lampvoltmeeter.
5. Väljundimõõtja.

6. Tester.

7. Antenni ekvivalent.

III. Ü l d o s a .

Otsevõimendusega vastuvõtjatel, millede otseselt, ilma mingisuguste muundusteta võimendatakse antenni poolt vastuvõetud kõrgsagedussignaalid, on rida puudusi.

Kõige olulisemateks puudusteks on järgmised:

1. Vastuvõtja tundlikkuse ja selektiivsuse suurendamiseks tuleb kasutada ühts või enamat resonantsvõimendussastet, millede võnkeringid tuleb häälestada vastuvõetavale sagedusele. Mitme võnkeringi täpne häälestamine ühels sagedusele tekitab tõsisid tehnilisi raskusi ja muudab konstruktsiooni keeruliseks.

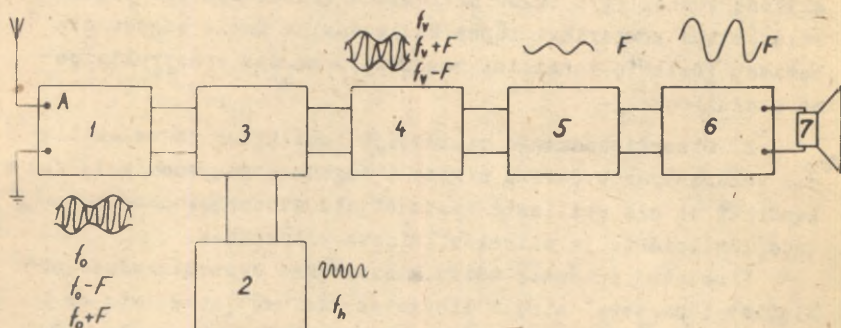
2. Otsevõimendusega vastuvõtja tundlikkus ja selektiivsus väheneb vastuvõetava signaali sageduse suurenemisel, eelpeärast ei ole eelliseid vastuvõtjaid otstarbekohane kasutada lühilainete ja ultralühilainete piirkonnas.

Nimetatud puuduste tõttu kasutatakse otsevõimenduse põhimõtet tänapäeval ainult lihtsates vastuvõtjates, mis on ette nähtud võimsate pika ja keskaine piirkonnas töötavate raadiosaatejaamade signaalide vastuvõtmiseks. Need puudused on kõrvaldatud superheterodüünvastuvõtjates ehk nn. super-vastuvõtjates. Superheterodüünvastuvõtjas signaal algusse muundatakse, s.t. muudetakse moduleeritud signaali kandev sagedus v a h e s a g e d u s e k s ja sellel uuel sagedusel toimub juba signaali peamine võimendamine. Mõnedes superheterodüünvastuvõtjates võimendatakse signaali ka k õ r g s a g e d u s v õ i m e n d i e enne muundamist, kuid see ei ole hädavajalik ja selle võimendusastme peamiseks ülesandeks ei ole mitte tundlikkuse vaid selektiivsuse suurendamine. Juhul, kui ei kasutata kõrgsagedusvõimendit, peavad vastuvõtja sisendahelad (nn. preselektor) olema küllalt suurs selektiivsusega, et kindlustada segavate naabersagedusega signaalide kõrvaldamist. Vastuvõtja vaheagedus

f_v on sama erinevate sagedustega signaalide vastuvõtmisel.

Vahesagedusvõimendi parameetrid on seepärast konstantsed ja ta on häälestatud juba vastuvõtja valmistamisel. Kuna peamine võimendus toimub konstantsel sagedusel, siis ka vastuvõtja tundlikkus muutub võrdlemisi vähe erinevates vastuvõetavate sageduste piirkondades, kaasaarvatult ka lühilainete ja ultralühilainete piirkondades. Seejuures on kindlustatud ka küllalt suur võimendus.

Tutvume lähemalt superheterodüünvastuvõtja tööpõhimõttega. Joon. 61 on esitatud niisuguse vastuvõtja lahterskeem.



Joon. 61. Superheterodüünvastuvõtja lahterskeem.

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1 - Presелектор, | 5 - детектор, |
| 2 - heterodüün, | 6 - madalsagedusvõimendi, |
| 3 - muundaja, | 7 - valjuhääldaja. |
| 4 - vahesagedusvõimendi, | |

Presелеktori võnkering häälestatatakse signaali kandesagedusele. Sellega kõrvaldatakse kõik teised signaalid, millede kandesagedused küllaldaselt erinevad sagedusest f_0 .

Sagedus f_0 on moduleeritud sagedusega F (tavaliselt on see sageduste riba). See moduleeritud signaal ja kohaliku heterodüüni moduleerimata signaal, mille sagedus on f_h , juhitakse muundajasse. Muundaja väljundis (muundajaks on mittelineaarne element) tekib signaal, mille spekter sisaldab sa-

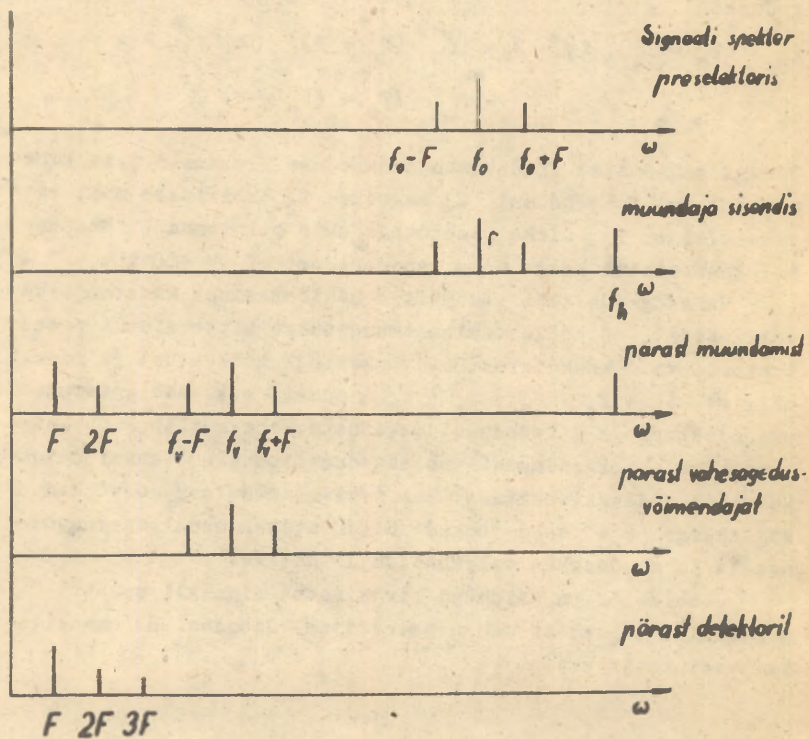
geduste f_0 , $f_0 - F$, $f_0 + F$, f_h ja F mitmesuguseid kombinatsioone. Saadud signaal antakse vahesageduse resonantsvõimendisse. Selle võimendi filtrid (sideetatud võnkeringid) eraldavad kogu kombinatsioonsageduste spektrist nn. vahesagedused

$$f_v = (f_h - f_g), f_y - F = (f_h - (f_0 + F)), \text{ ja } f_y + F = \\ = f_h - (f_0 - (f_0 - F)).$$

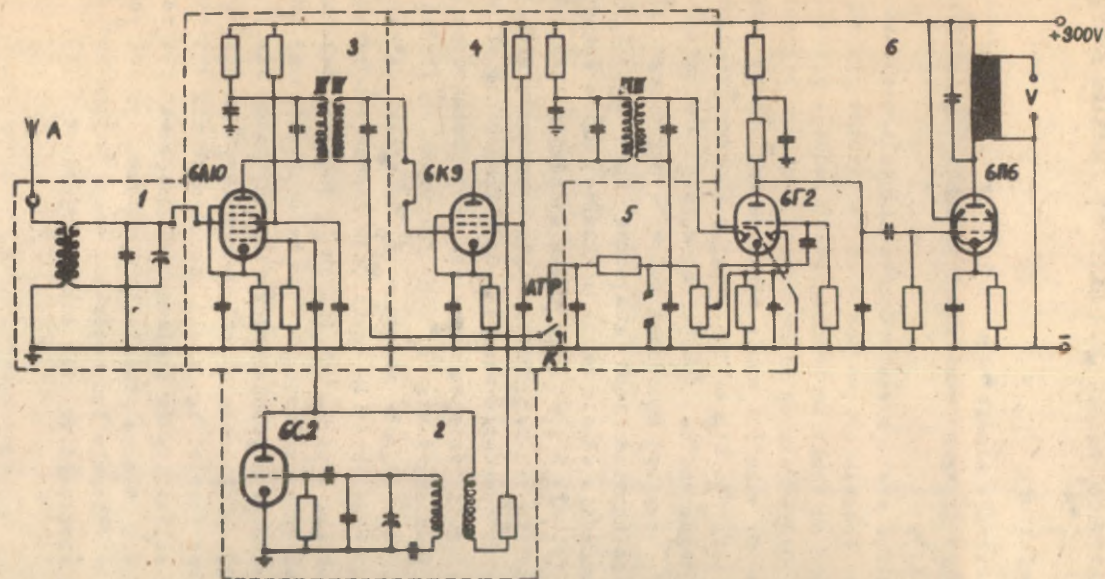
Pärast muundamist täidab kandesageduse ülesannet juba vahesagedus f_y . Heterodüüni (2) sagedus f_h valitakse nii, et vahesagedus f_y oleks raadiosageduste piirkonnas. Tänapäeval kasutatakse kõige enam vahesagedust $f_y \approx 400$ kHz.

Vahesagedus jääb vastuvõtja häälestamisel konstantseks sellepärast, et häälestamisel muudetakse mitte ainult preselektori, vaid ka heterodüüni võnkeringi häälestust ja nimelt nii, et $f_h - f_0 + f_v = f_0 - f_h = \text{const}$, s.t. häälestatud preselektori ja heterodüüni sageduste vahe jääb konstantseks. Peale võimendamist vahesagedusvõimendis signaal detekteeritakse detektorastmes, kus tekivad madalsagedusvõnked sagedusega F . Need võnked võimendatakse madalsagedusvõimendie ja muudetakse valjuhääldajas heliks.

Joonisel 62 on näidatud kirjeldatud signaali spektri muundamine euperheterodüünivastuvõtjas. Joonisel 63 on esitatud vastuvõtja skeem.



Joon. 62.



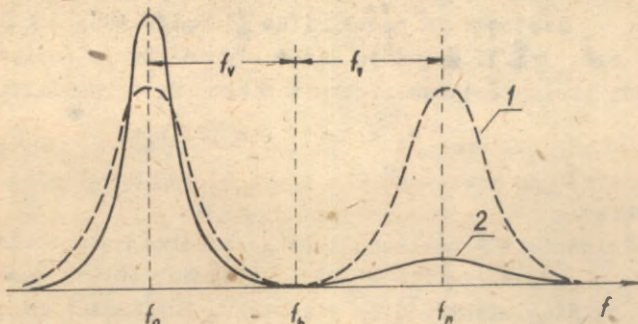
Joon. 63. Superheterodüümvastuvõtja skeem.

IV. SUPERHETERODÜÜNVASTUVÕTJA ÜKSIKUTE PLOKKIDE EHTUS.

1. Preselektor.

Preselektoriks nimetatakse vastuvõtja osa sisendklemmidest "antenn" ja "maa" kuni muundaja lambi signaalvõrni (I, joonisel 61).

Preselektor eraldab vastuvõetava signaali segavatest signaalidest. Preselektorisse kuuluvad vastuvõtja sisendaehlad. (Mõnikord on temas ka kõrgsagedusvõimendi). Preselektori peamiseks ülesandeks on mitmesuguste segavate signaalide kõrvaldamine või vähemalt nende nõrgendamine. Üheks kõige ohtlikumaks segavate signaalide liigiks superheterodüünvastuvõtjates on segamised nn. "peegelsagedusel". Võnkumised vahesagedusel f_v tekivad muundajas kui kahe (sagedusega f_h ja f_o) võnkumise kombinatsioon, kusjuures $f_v = (f_h - f_o)$. Kui samal ajal muundaja võrele satub võnkumine, mille sagedus on f_p nii, et $(f_p - f_h) = f_v$, siis tekib muundajas lisaks kasulikule signaalile vahesagedussignaalis komponent, mida põhjustab segamine "peegelsagedusel". Seda komponenti võimendatakse vastuvõtja järgmistes astmetes koos vahesageduse põhisignaali. Vahe sageduste f_p ja f_o vahel on võrdne $2f_v$, kusjuures sagedus f_p on sageduse f_o "peegelkujutiseks" f_h suhtes. Ilma preselektorita vastuvõtja resonantskõver koosneb kahest sümmeetrilisest harust (kõver 1, joonisel 64). Siin on mõlemad harud vahesagedusvõimendaja resonantskõverad. Preselektoriga vastuvõtja resonantekõver on kujutatud samal joonisel (kõver 2). Kui preselektori selektiivsus on küllalt suur, siis segamised "peegelsagedusel" kaovad praktiliselt täielikult. Peale selektiivse iseloomustab preselektorit nn. ülekandetegur K , mis on preselektori väljundklemmide vahelduvpinge suhe antennis indutseeritud vahelduvpingesse. Ülekandeteguri arvutuskäigu võib leida kirjandusest (1).



Joon.64. Superheterodüünvastuvõtja
resonantskõverad ilma preselektorita
(kõver 1) ja preselektoriga (kõver 2).

2. Heterodüün.

Superheterodüünvastuvõtja heterodüüniks võib olla ühe-
kõik millist tüüpi lamp- või pooljuhtgeneraator.

Peatume heterodüüni võnkesageduse f_h valikul. Teoreetiliselt ei ole oluline, kas f_h on madalam või kõrgem signaali sagedusest, sest on oluline ainult vahe $(f_2 - f_0) = f_v$ absoluutväärtus. Praktiliselt on siiski heterodüüni häälestamine madalamale sagedusele seotud rea ebamugavustega ja seepärast ei ole peaaegu leidnud kasutamist.

Kui $f_h < f_0$, siis teatud sageduste piirkonna katmiseks peab heterodüüni sageduse suhteline muutus olema alati suurem kui $f_h > f_0$. See asjaolu aga raskendab vastuvõtja häälestamist ühe nupu abil (preselektori ja heterodüüni pöördkondensaatorid on asetatud ühisele võllile). Sel puhul osutub võimatuke ka signaalide vastuvõtmine, mille sagedus on väiksem vahesagedusest.

3. Sageduse muundaja (segueti).

Muundaja ülesandeks superheterodüünvastuvõtjale on moduleeritud kõrgsagedusvõngete muundamine moduleeritud võngeteks, mille kandevsageduseks on vahesagedus. Seejuures moduleeriva (madalsagedus-) signaali kuju ja sagedus peavad jääma muutmata.

Tänapäeval kasutatakse muundajates paljuelektroodilisi lampe - heptode ja pentagride (lampide tüübid 6 NII, 6A10, 6AS, jne.). Muundaja lambi signaalvõrele (esimene võre katoodi poolt) antakse signaali pinge U_1 preselektorist

$$U_1 = A(t) \sin(2\pi f_0 t).$$

Siin $A(t)$ on võrreldes $\sin(2\pi f_0 t)$ aeglaselt ajas muutuv funktsioon.

Kolmandale - heterodüünvõrele antakse heterodüünist pinget $U_3 = A_0 \sin(2\pi f_h t + \psi)$. Üldjuhul sõltub anoodvool I_a lambi kõikide elektroodide pingetest. Kui lambis on olemas varivõre, siis anoodvool I_a ei sõltu anoodpingest (U_a). Ei muutu pinget ka varivõrel (vt. joon. 2). Seetõttu sõltub anoodvool ainult pingetest U_1 ja U_3 .

Anoodvoolu muutus avaldub järgmiselt:

$$\begin{aligned} \Delta I_a &= \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_1} \right) \Delta U_1 + \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_3} \right) \Delta U_3 + \left(\frac{\partial^2 I_a}{\partial U_1 \partial U_3} \right) \Delta U_1 \Delta U_3 = \\ &= S_1 \Delta U_1 + S_3 \Delta U_3 + \frac{\partial S_1}{\partial U_3} \Delta U_1 \Delta U_3, \end{aligned}$$

kus S_1 ja S_3 on vastavalt lambi signaal- ja heterodüünvõre võrekarakteristikute tõusud. Avaldusest on näha, et võnkumist kombinatsioonisagedusel $f_v = f_h - f_0$ põhjustab ainult see avalduse liige, mis sisaldab korrutist $\Delta U_1 \cdot \Delta U_3$.

Seda liiget võime eitada järgmiselt:

$$\Delta I_{av} = \frac{1}{2} \frac{\partial S_1}{\partial U_3} A_0 A(t) \cos[2\pi(f_h - f_0)t + \psi].$$

Ainult seda komponenti lasubki läbi muundaja lambi anoodahela filter (esimene vahesagedustrafo).

$S_m = \frac{1}{2} \frac{\partial S_1}{\partial U_3}$ on muunduse tõus, mis määrab vahesagedusvoolu amplituudväärtuse muundaja lambi anoodahelas olenevalt signaali amplituudist. Üksikasjalikumalt on muundajate tööde kirjeldatud kirjanduses (1, 2, 3).

Kui häälestust teostatakse ühe nupu abil, siis ei saa tingimust $f_h - f_0 = f_v$ täpselt täita kogu vaetuvõetavate

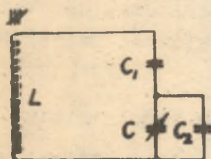
sageduste piirkonnas. Praktiliselt püütakse täita seda tingimust nii hästi kui on võimalik. Heterodüüni häälestamiseks lülitatakse heterodüüni võnkeringi paralleelselt ja järjestikku kondensaatoriga C reguleeritavad lisakondensaatorid C_1 ja C_2 (vt. joon. 65). Valides sobivalt nende kondensaatorite mahtuvuse ja pooli induktiivsuse võib saavutada tingimuse $f_h - f_0 = f_v$ täitmist iga lainepiirkonna kolmes punktis. Reguleerimise lihtsustamiseks on töös kondensaatorite C_1 ja C_2 mahtuvused juba valitud ja heterodüüni ja preselektori võnkeringi häälestatakse ainult lainepiirkonna lühilainelises osas preselektori võnkeringi trimmerite abil.

4. Vahesagedusvõimendi.

Superheterodüünvastuvõtja vahesagedusvõimendi kuulub nn. ribavõimendite hulka. Ta peab täitma järgmisi ülesandeid:

- a) läbi laskma (vastavalt ka võimendama) ainult sellise sagedusriba, mis on vajalik signaali ülekandeks,
- b) selles sagedusribas ei tohi tekkida sagedusmoonutusi,
- c) võimendi peab kindlustama vajaliku võimenduse.

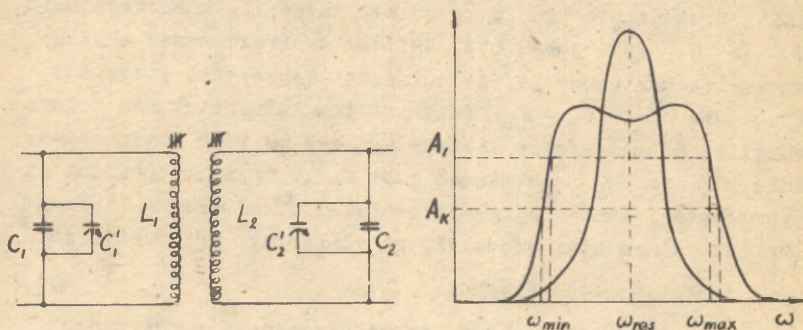
Tingimused a ja b täidetakse üheaegselt ainult sel juhul, kui on olemas ideaalne filter nelinurkee resonantskõveraga. Teatud lähenduses saadakse selline resonantskõver juhul, kui kasutada filtris sidestatud võnkeringe (joon. 66). Kui sellise filtri resonantskõveral tekivad kaks maksimumi (sidestus võnkeringide vahel on lähedane kriitilisele sidestusele), siis võime lugeda saadud resonantskõverad lähedaste nelinurksele resonantskõverale.



Joon. 65.

Võnkeringide häälestamiseks kasutatakse apertsiaalssid muudetava mahtuvusega kondensaatoreid - trimmereid või ferromagnetilistest ainetest (ferriit, karbonüülraud) südamikuduga pooli - reguleeritava südamiku asetusega poolis.

Vahesageduse väärtus määratakse rsa üksteisele vasturääkivate kaalutluste põhjal:



Joon. 66.

a) peamine võimendus superheterodüünvastuvõtjas toimub vahesagedusvõimendis. Seepärast vastuvõtja tundlikkuse suurendamiseks on otstarbekohane valida f_v võimalikult madal, sest madalamatel sagedustel on kergem saada suurt võimendust;

b) kui f_v on väiksem kui vastuvõtava signaali sagedus, siis suureneb vastuvõtja selektiivsus;

c) kui f_v on madal, siis preelektor kõrvaldab halvasti peegelkanali segamisi. Seepärast on otstarbekohane valida f_v küllalt suur.

Ringhäälingusaadete vastuvõtmiseks on osutunud kõige otstarbekohasemaks kasutada vahesagedust piirkonnas 450 - 470 kHz. Seejuures saadakse küllaldane võimendus, selektiivsus ning preelektoris kõrvaldatakse küllaldaselt määralt ka peegelkanali signaalid.

5. Detektor ja automaatne tundlikkuse reguleerimine.

Heliageduste saamiseks tuleb vahesageduse võimendist saadud signaali detekteerida. Pinge väärtus on esajuuree juha mõne voldi piires, mistõttu võib kasutada diodddetektorit.

rit. Diooddetekteerimisel tekivad võrdlemisi väikesed moonutused ja peale selle võib kasutada automaatset tundlikkuse reguleerimist (ATR). Detektori tööutamise põhimõtteid uuritakse töö nr. 7. Siin tutvume automaatse tundlikkuse reguleerimis ahela töö põhimõtetega [1, 3, 4].

ATR ülesandeks on hoida konstantsena signaali tugevuse vastuvõtja väljundis ka siis, kui antenni poolt vastuvõetava signaali tugevus muutub. Eriti tähtis on ATR vastuvõtul lühilainetel, kus sageli esinevad signaali tugevuse muutused (esineb nn. feedingperioodiline signaali vaibumine). Uuritavas vastuvõtjas on ATR (vt. joon. 63) teostatud järgmiselt:

Detektori koormustakistil R_g eraldub nii helisageduspinge kui ka pinge alaliskomponent, mis on võrdeline detekteeritava signaali (kandevlaine) keskmise amplituudiga. RC filtri abil eraldatakse alaliskomponent helisageduslikust komponendist ja antakse muundaja lambi ja vahesagedusvõimendi lampide võredele, muutes nende lampide võre-selpinget. Lampidena kasutatakse nn. muutuva tõusuga lampe. Selliste lampide võimendustegur sõltub võre-selpinge suurusest. Kui võre-selpinge muutub negatiivsemaks, väheneb ka lambi võimendus. Lampide katoodide suhtes on ATR ahelast saadud pinge negatiivne, seepärast siis, kui kaevab vastuvõetava signaali keskmine amplituud, kahaneb vastuvõtja võimendus.

Peale detektorastet on raketdatud tavaline madalsagedusvõimendi (6). Ta koosneb pingevõimendist ja võimsusvõimendist. Uuritavas vastuvõtjas pingevõimendi töötab lambil 6Г2С, võimsusvõimendi lambil 6Д5С. Madalsagedusvõimendi tööga tutvume teietee raadiopraktikumi töödes.

V. Ü l e s a n n e .

Enne kui alustada vastuvõtja häälestamist ja karakteristikute määramist tuleb tutvuda kasutatavate mõõteriistade ehituse ja kasutamise reeglitega. Tuleb tutvuda standard-signaalide generaatoriga ГСС-6, helisagedusgeneraatoriga

3F - 10, lampvoltmeetri või väljundimõõtja ehitusega. Samuti tuleb tutvuda laboratoorse kõikuvsagedusgeneraatori (sviipgeneraatori) ehitusega. Järgnevalt tuleb tutvuda ka vastuvõtjaga, võrrelda vastuvõtja maketti tema skeemiga joonisel 63. Ühendades antenni ja lülitades sisse toiteallikad tuleb makett tööle panna.

Superheterodüünvastuvõtja on monteeritud lahtisele paneelile ja koosneb järgmistest põhiosadest:

1. Sisendahelast-preselektorist.
2. Sagedusmuundajast lambil 6A10.
3. Heterodüünist lambil 6C2C.
4. Vahesagedusvõimendist lambil 6K3.
5. Detektorist ja madalsagedus-eelvõimendist lambil 6F2.
6. Madalsagedusvõimendi lõppastmest lambil 6H6C.
7. Peale nende on skeemi lülitatud veel häälestuse optiline indikaator lambil 6E5C.

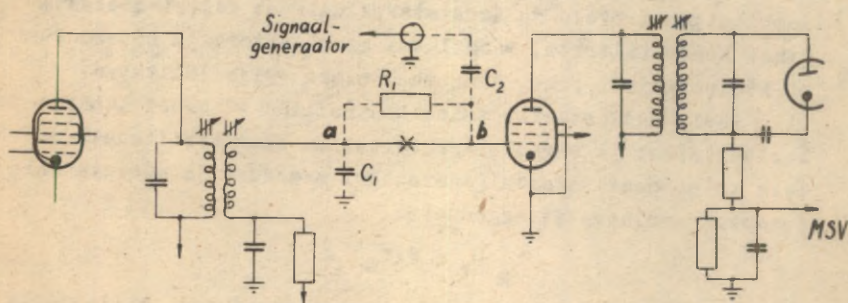
Enne kui alustada vastuvõtja reguleerimist, tuleb kontrollida vastuvõtja lampide töörežiime ja saadud tulemused koondada tabelisse:

	6A10	6C2C	6K3	6F2	6H6C
Va					
V _{G1}					
V _{G2}					
V _{G3}					

Vastuvõtja häälestatakse mingisuguse saatejaama sagedusele muutes preselektori ja heterodüüni võnkeringide kondensaatorite mahtuvust. Seejuures võib osutuda, et vastuvõtja ei ole korrastatud (häälestatud) ning signaali tugevus vastuvõtja väljundis on väike. Vastuvõtja häälestamist alustatakse lõppastmetest. Kuna praktikumi vastuvõtjas madalsagedusvõimendi ja detektoraete on juba korraetatud, siis tu-

leb tööd alustada vahesagedusvõimendi ribafiltri häälestamisest.

1. Vahesagedusvõimendi ribafiltri häälestamine. Üldreeglina kehtib nõue, et alguses häälestatakse teine filter (filter, mille koormuseks on detektor). Selleks antakse vahesagedusvõimendi lambi tüürvõrele (punktid a ja b) moduleeritud signaal generaatorilt FCC-6 (sagedusega 460 kHz) ja pinge arvväärtusega mõni tuhat mikrovolti (vt. joon. 67). Modulatsiooniga sagedus sealjuures olgu 30 - 40 %.



Joon. 67. Signaalgeneraatori ühendamine teise vahesagedusfiltri häälestamiseks. Tähistega (x) on ära märgitud katkestuse koht, punktiiriga vajalikud lisaelemendid.

Et mitte rikkuda vastuvõtja töörežiimi, tuleb võrerin- gi ja tüürvõre vahele lülitada takisti R_1 ($\approx 30 + 50 \text{ k}\Omega$), mis on ühendatud vastuvõtja šassiiga kondensaatori C_1 kau- du ja mille mahtuvus on $0,01 - 0,015 \mu\text{F}$ (vt. joon. 67). Sig- naalgeneraator ühendatakse võrega kondensaatori C_2 (200 pF) kaudu. Nii FCC-6 kui ka vastuvõtja šassiid tuleb maandada.

Parasiitsignaali tekkinise vältimiseks tuleb vahesa- gedusfiltrite häälestamisel katkestada heterodüüni võnkumi- sed (kas lühistades heterodüüni võnkeringi, või võttes pe- sast välja heterodüüni lambi).

Filtreid häälestama poolide induktiivsust muutes (muudame ferromagnetiliseest ainekst südamikukle asetust poolides). Häälestamisel tuleb saavutada pinge maksimum vastuvõtja väljundis. Väljundpinge mõõtmiseks võib kasutada lampvoltmeetrit, testrit TT-1, või väljundimõõtjat M B-3A. Indikaatori võib lülitada paralleelselt väljundtrafo primaarmähisega (mõõtepiirkond 50 - 100 v) või sekundaarmähisega (mõõtepiirkond 2 - 5 volti). Peale teise filtri häälestamist antakse pinge generaatorilt ГСС-6 sama sagedusega, kuid arv- väärtusega mõnisada mikrovolti, samal viisil muundaja lambi signaalvõrele ja teostatakse esimese filtri häälestamine. Nende filтрите, samuti kui preselektori ja heterodüüni häälestamisel peab АТR ahel olema välja lülitatud.

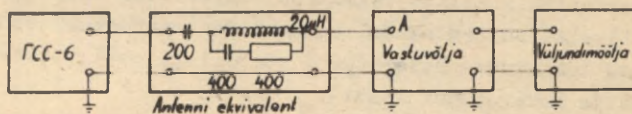
Peale häälestamist tuleb kontrollida võimendi läbilaske- riba laiust ja sageduskarakteristiku sümmeetrilisust. Selleks tuleb muuta signaalgeneraatori sagedust ja määrata väljundpinge erinevatel sagedustel

$$U_v = P(f_0) .$$

Sagedusriba laiuse saame, kui määrame sagedused, mille jaoks väljundpinge on 0,7 maksimaalväärtusest ühe filtri jaoks ja 0,5 kogu võimendi jaoks. Kui on vaja muuta sagedusriba laiust, tuleb muuta sidestuse suurust filtri võnkeringide vahel.

Preselektori ja heterodüüni võnkeringide koostõlastamine.

Enne preselektori ja heterodüüni võnkeringide koostõlastamist tuleb määrata vastuvõtavate sageduste piirkond. Selleks koostatakse lülitus vastavalt joon. 68 esitatud skeemile.



Joon. 68.

Muutes Γ_{CC-6} moduleeritud kõrgsageduse signaali sagedust, võime määrata vastuvõetavate sageduste piirkonna. Nagu eespool oli märgitud, tuleb käsitlevas tšõ preselektori ja heterodüüni võnkeringe kooskõlastada ainult vastuvõtupiirkonnas lühilaine osas. Tšõ tehakse samuti joon. 68 esitatud skeemi järgi. Vastuvõtja sisendisse antakse moduleeritud pinge. Muutes aeglaselt signaali sagedust, määrame sageduse, mille puhul vastuvõtja võtab signaali vastu. Muutes preselektori võnkeringi trimmeri mahtuvust, saavutame pinge maksimumi vastuvõtja väljundis. Seejuures tuleb erilist tähelepanu pöörata sellele, et mitte hämleeda võnkeringi "peegelsagedusele". Tšõs tuleb kontrollida peegelsignaali vastuvõtvõimalust. Selleks hämleeda vastuvõtja, mille sisendisse on lülitatud Γ_{CC-6} peegelsignaali sagedusele ja püüame eeda signaali vastu võtta. Kui selleks tuleb suurendada pinget Γ_{CC-6} väljundis, siis tuleb see fikseerida protokollis ja seletada.

Vastuvõtja sageduskarakteristiku määramine.

Ülesande teostamiseks kasutada joon. 68 esitatud skeemi. Generaatori Γ_{CC-6} signaali sagedust muudetakse kogu vastuvõtja lainepiirkonnas, hoides signaali amplituudi konstantena $V_g = 70 - 100$ v ning valides modulatsioonitegurike $M = 30 - 40$ %. Määratakse pinge väärtus vastuvõtja väljundis. Määratakse sõltuvus

$$V_v = \varphi(f_0) \text{ kui } V_g = \text{const},$$

$$M = \text{const}.$$

Seda eest nimetatakse vastuvõtja sageduskarakteristikuks.

Madalsagedusevõimendi sageduskarakteristiku määramine.

Vastuvõtja madalsagedusevõimendi sisendisse antakse signaal helisagedusgeneraatorist $3T-10$. Muutes signaali sagedust 20 Hz kuni 100 kHz, määratakse madalsagedusevõimendi sageduskarakteristik

$$U_v = \varphi(F), \text{ kui } U_g = \text{const} \leq 0,5 \text{ v.}$$

Ühtlasema graafiku saamiseks valitakse telje jaoks logaritmiline mastaap (teljele kantakse $\lg F$ väärtused). Vertikaalteljele kantakse U_v asemele võimendustegur n

$$n = 2 \lg \frac{U_v}{U_g}.$$

Selline sageduskarakteristikute ehitamine kergendab võimendite sageduskarakteristikute võrdlemist.

ATR töö uurimine vastuvõtjas.

Sisse lülitada ATR ahel. Andes vastuvõtja sisendiisse signaali signaalgeneraatorist ГСС-6 (skeem 68), tuleb suurtes piirides muuta sisendsignaali arvvahtust. Määrata, kuidas muutub väljundpinge sisendpinge muutusel. Selitada, mis pärast tuleb ATR töö puhul vastuvõtja häälestada saatejaama sagedusele häälestuse optilise indikaatori abil.

Kirjandus.

1. Слепня, Л.Б., Основы теории и расчета радиоприемников, Оборонгиз, 1939.
2. Власов, В.Ф., Электровакуумные приборы, Связьиздат, 1949.
3. Гуткин, Л.С., Лебедев, В.М., Сифоров, В.И., Радиоприемные устройства, 1961.
4. Власов, В.Ф., Основы радиотехники, Гесэнергиздат, 1962.

LINEAARSETE JA MITTELINEAARSETE MOONUTUSTE UURIMINE RAADIOVASTUVÕTJAS.

I. T ö ö ü l e s a n n e .

Raadiovastuvõtja lineaarsete ja mittelineaarsete moonutuste uurimine.

Töö käigus määratakse nende moonutuste arvväärtus ja uuritakse moonutuste suuruse sõltuvust moduleeriva signaali sagedusriba laiusest ja amplituudist. Töös tutvutakse tundlikkuse automaatsel reguleerimisega (ATR) ja uuritakse selle mõju ülal mainitud moonutustele.

II. T ö ö v a h e n d i d .

1. Raadiovastuvõtja.
2. Standardsignaalide generaator (ГСС-6).
3. Helisagedusgeneraator (ЗГ-10).
4. Mittelineaarsete moonutuste mõõtja (МНМ-10).
5. Katoodotsilloskoop.
6. Väljundimõõtja.
7. Laboratoorne mittestinusoidaalsete võngete generaator

III. Ü l e s a n n e .

1. Tutvuda uuritava vastuvõtja põhimõttelise skeemiga. Selgitada vastuvõtja üksikute elementide ülesanded. Koostada vastuvõtja põhiahelate skeem. Skeemil ära märkida:

- 1) ATR ahel,
- 2) segusti,
- 3) vahesagedusvõimendi,
- 4) detektor,
- 5) madalsagedusvõimendi.

2. Määrata vastuvõtja tundlikkus kõikidel laineladadel (lainela alguses ja lõpus). Määrata resonantakõverad sagedus-

duetel 200 kHz ja 800 kHz. Nendel mõõtmistel kasutada standardsignaalide generaatori (GCC-6) moduleeritud pinget, modulatsiooniteguriga 30 %.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata GCC-6 väljundpinge suurusele, püüdes töötada nii, et resonanteli heli tugevus vastuvõtja häälestamisel oleks normaalne. Sellele vastab umbes ühevoldine pinge vastuvõtja väljundis. Liiga tugeva signaali puhul esandakee lame resonantskõver.

Ehitada graafikud $U_v = E(f)$.

Resonantskõverate järgi määrata vastuvõtja poolt läbi-laetavate sageduste riba.^X

3. Määrata sagedusel $f = 800$ kHz vastuvõtja amplituud-karakteristikud:

a) väljalülitatud ATR-iga,

b) sisselülitatud ATR-iga.

Pinget vastuvõtja sisendklemmidel muudetakse eesjuures 100 mV kuni 900 mV-ni ($m = 30$ %). Jälgida, et väljundpinge ei ületake 3 volti. Kuna ATR sisselülitamine muudab volti vastuvõtja häälestussagedust, siis pärast ATR sisselülitamist tuleb vastuvõtja uuesti häälestada sagedusele $f = 800$ kHz.

Ehitada graafik $U_v = P(U_s)$.

Seletada amplituudkarakteristikute käik ja näidata sisendpingeväärtuste piirkonnad, kus amplituudkarakteristik ei ole lineaarne.

4. Vastuvõtja üheks oluliseks parameetrika on mittelineaarsuste moonutuste tegur K_F :

$$K_F = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2}}{I_1},$$

kus I_1 - voolu põhisageduse (esimese harmoonilise) amplituud,

I_2, I_3, I_4 - kõrgemate harmooniliste amplituud.

¹ Kõikidel mõõtmistel peab vastuvõtja hääletugevuse regulaator asuma kärmise parempoolses asendis (maksimaalne hääletugevus) ja väljuhääldaja peab olema välja lülitatud. Väljundpinge suurus mõõtmiseks kasutatakse ~~VNI~~ -10 lampvolt-meetrit.

Tööle määratakse nii kogu vastuvõtja, kui ka üksikute astmete K_F sõltuvus sisendpinge väärtusest mitmesugustee tingimustes.

Uurimist tuleb teostada järgmiselt:

a) Sagedustel 400 Hz ja 5000 Hz määrata helisagedusgeneraatori 3Г-10 lineaarmoonutuste teguri K_F sõltuvus ta väljundpingest

$$K_F = F(U_v \cdot HSG) .$$

K_F määramisel kasutada ИИИ-10.

b) Helisagedusgeneraatori väljundpinge anda vastuvõtja helipea sisendklemmidele. Suurendades helisagedusgeneraatori pinget 30 mV kuni 100 mV, määrata vastuvõtja madalsagedusvõimendi mittelineaarsete moonutuste tegur K_F sõltuvalt sisendpinge väärtusest

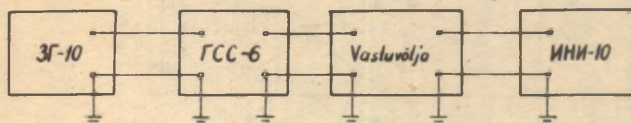
$$K_F = f(U_s) .$$

Võrrelda saadud K_F väärtusi helisagedusgeneraatori K_F väärtustega. Mõõtmisi teostada kahel sagedusel

α) 400 Hz ,

β) 5000 Hz .

c) Määrata kogu vastuvõtja K_F . Selleks moduleeritakse signaalgeneraatori ГСС-6 pinge helisagedusgeneraatorist sagedusega $f = 400$ Hz . Vastuvõtja läleostatakse sagedusele $f = 800$ kHz . Muutes kõrgeageduspinget ГСС-6 väljundis ja hoides modulatsiooniteguri $m = 30$ % määrata K_F vastuvõtja väljundis sõltuvalt kõrgsagedusliku sisendpinge väärtusest.



Joon. 69.

Mõõtmisi teostatakse kahe režiimi puhul - kui ATR on välja lülitatud (U_g muutab 200 μ V kuni 600 μ V-ni) ja kui ATR on sisse lülitatud (U_g muutab 200 μ V kuni 900 μ V-ni).

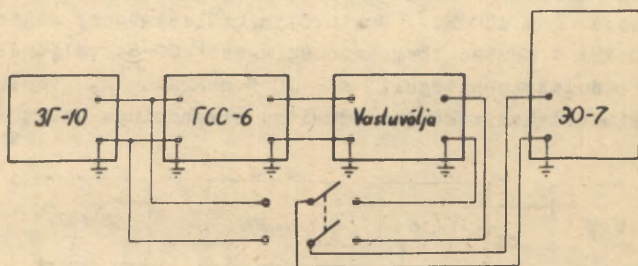
3. Ringhäälingu saate vastuvõtul on kõrgsagedusvõrked moduleeritud terve sageduste ribaga madalsageduste piirkonnas ning siin on suure tähtsusega sagedus- ehk lineaarmoonutused, mis tekivad reaktiivtakistuste olemasolu tõttu. Tõdes määratakse sagedusmoonutused, mis tekivad nii vastuvõtja madalsagedusvõimendi kui ka kogu vastuvõtjas.

a) Madalsagedusvõimendi väljundpinge antakse vastuvõtja helipea klemmidele ja muutab 3Г-10 sagedust 20 Hz kuni 20 000 Hz määrata väljundpinge U_v sõltuvus sagedusest

$$U_v = F(f) .$$

Seejuures pinge helipea klemmidel tuleb hoida konstantseks ($U_g = 60$ mV) .

b) Häälestada vastuvõtja sagedusele $f = 800$ kHz, pinge 3Г-10-lt anda ГСС-6 klemmidele "väline modulaatsioon" (внешняя модуляция), muutes modulatsioonisagedust 50 Hz kuni 10 000 Hz-ni. Määrata väljundpinge sõltuvus sagedusest. Mõõtmiste teostamisel tuleb jälgida, et modulatsioonitegur ($m = 30$ %) ja ka kõrgsageduspinge oleks konstantne ($U_g = 300 \mu$ V) kõikide moduleerivate signaalide sageduste jaoks.



Joon. 70.

Ehitada graafikud $U_g = F(f)$, (X-telje jaoks valida loga-

ritmiline mastap). Saadud karakteristikuteet määrata sagedusmootutuste tegur M .

6. Kontrollida, kuidas muutub mitteesinusoidaalse moduleeriva pinge kuju vastuvõtjale. Selleks moduleeritakse FCC-6 signaal mitteesinusoidaalsete pingete generaatori abil (nelinurkse kujuga pingeimpulsid) (vt. joon. 70). Joonistada üles selle generaatori väljundpinge kuju.

FCC-6 väljundpinge valitakse $300 \mu V$, $m = 30 \%$.

Muutke helisagedusgeneraatori signaali sagedust 100 Hz kuni 3000 Hz joonistada üles pingeimpulsside kuju võimendi väljundisse lülitatud ostsillooskoobi ekraanilt. Seletada tekkinud pingeimpulsside kuju muutumise põhjused.

Kirjandus.

1. Власов, В.Ф., Курс радиотехники, Госэнергоиздат, 1962.
2. Гуткин, А.С., Лебедев, В.И., Сифоров, В.И., Радиоприемные устройства, Изд. "Советское радио", 1961.

Sisukord.

Töökord praktikumis	3
MADALSAGEDUSVÕIMENDI UURIMINE	5
ALALISVOOLU FOTOELEKTRONVÕIMENDI UURIMINE	17
ALALISVOOLU VÕIMENDI UURIMINE	27
KÕRGSAGEDUSGENERAATORI UURIMINE	37
RELAKSATSIOONVÕNGETE TÜRATRONGENERAATORI UURIMINE	46
AMPLITUUDMODULEERITUD SIGNAALIDE DETEKTEERIMINE	72
SUPERHETERODÜÜNVASTUVÕTJA UURIMINE	86
SUPERHETERODÜÜNVASTUVÕTJA ÜSIKUTE PLOKKIDE EHTUS	92
LINEAARSETE JA MITTELINEAARSETE MOONUTUSTE UURIMINE RAADIOVASTUVÕTJAS	103

Hind 14 kop.