

Mladi za napredek Maribora 2016

33. srečanje

AVDIO OJAČEVALEC NA ELEKTRONKE
Tematsko Področje: Elektrotehnika
Raziskovalna Naloga

Avtor: SIMON VAVAN SKAZA, IVAN STOČKO, ALEŠ PAJTLER
Mentor: BOJAN ROZIN
Šola: SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Maribor, 2016

Mladi za napredek Maribora 2016

33. srečanje

AVDIO OJAČEVALEC NA ELEKTRONKE

Tematsko Področje: Elektrotehnika

Raziskovalna Naloga

Maribor, 2016

Kazalo

ZAHVALA.....	5
1. UVOD IN POVZETEK	6
2. NAŠA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE	7
3. KAJ JE ELEKTRONKA/ELEKTRONSKA CEV?	8
3.1 Dioda	10
3.2 Trioda	12
3.3 Tetroda.....	16
3.4 Pentoda.....	19
4.ELEKTRONKA KOT OJAČEVALEC	21
4.1 Razred »A«	23
4.2 Razred B.....	24
4.3 Razred »AB«.....	25
5.MATERIAL IN METODE	26
6. IZDELAVA OJAČEVALNIKA.....	28
6.1 Usmernik.....	29
6.2 Predojačevalnik	30
6.2.1 Izbira anodnega upora Ra	33
6.2.2 Izbira katodnega upora Rk.....	33
6.2.3 Izbira upora na krmilni mrežici Rg	34
6.2.4 Izbira kondenzatorja Ck.....	34
6.2.5 Izbira kondenzatorja Cin	35
6.3 Kontrola zvoka	35
6.4 Izhodna stopnja	36
6.4.1 Izbira katodnega upora Rk.....	37
6.4.2 Izračun katodnega kondenzatorja Ck	37
6.4.3 Izbira upora zaslonske/pospeševalne mrežice.....	38
6.5 Magično oko.....	39
7.UGOTOVITVE: FREKVENČNA KARAKTERISTIKA IN POPAČENJE	40
7.1 Frekvenčna karakteristika	40
7.2 Popačenje pri prekrmljenju	41
8.DRUŽBENA ODGOVORNOST	43
9.VIRI.....	44

Kazalo slik

Slika 1: Elektronka EL84 (vir: www.eierc.com/rc , 2016)	9
Slika 2: Dioda (vir: www.r-type.org , 2016)	10
Slika 3: Dioda EZ81 (vir: www.r-type.org , 2016)	11
Slika 4: Trioda (vir: www.r-type.org , 2016)	12
Slika 5: Ia/Ug karakteristika (vir: www.r-type.org , 2016)	14
Slika 6: Ia/Ua karakteristika (vir: www.r-type.org , 2016)	14
Slika 7: Trioda ECC83 (vir: www.eierc.com/rc , 2016)	15
Slika 8: Konstrukcija tetrode (vir: www.panospappas.gr/tetrodetube.jpg , 2016)	16
Slika 9: Tetroda (vir: www.r-type.org , 2016)	17
Slika 10: Karakteristika Ia/Ua tetrode (vir: www.r-type.org , 2016)	18
Slika 11: PM22 Elektronka (vir: www.r-type.org , 2016)	19
Slika 12: AC/PEN (vir: www.r-type.org , 2016)	20
Slika 13: Pentoda (vir: www.r-type.org , 2016)	20
Slika 14: Karakteristika Ia/Ua (vir: www.r-type.org , 2016)	21
Slika 15: Primer triodnega ojačevalnika (vir: www.r-type.org , 2016)	22
Slika 16: Razred A (vir: www.r-type.org , 2016)	23
Slika 17: Razred B (vir: www.r-type.org , 2016)	24
Slika 18: Shema celotnega vezja (avtorsko delo)	28
Slika 19: Usmernik (avtorsko delo)	29
Slika 20: Predojačevalnik (avtorsko delo)	30
Slika 21: Osnovni ojačevalec (vir: www.r-type.org , 2016)	31
Slika 22: Anodna Karakteristika (vir: podatkovni list, www.r-type.org , 2016)	32
Slika 23: Delovna točka, premica (vir: podatkovni list, www.r-type.org , 2016)	32

Slika 24: Prenosna karakteristika I_a/U_g (vir: podatkovni list, www.r-type.org , 2016).....	34
Slika 25: Kontrola zvoka (avtorsko delo)	35
Slika 26: Izhodna stopnja (avtorsko delo).....	36
Slika 27: Delovna točka in premica EL84 (vir: podatkovni list, www.r-type.org , 2016).....	37
Slika 28: Graf toka pospeševalne mrežice (vir: podatkovni list, www.r-type.org , 2016).....	38
Slika 29:EM84 Magično oko (avtorsko delo).....	39
Slika 30: Frekvenčna karakteristika (avtorsko delo).....	40
Slika 31:Popačenje (avtorsko delo).....	41
Slika 32:Karakteristika I_a/U_a (vir: podatkovni list, www.r-type.org , 2016)	42

ZAHVALA

Za vso pomoč, nasvete in potrpljenje se iskreno zahvaljujemo mentorju, brez katerega nam raziskovalne naloge ne bi uspelo narediti. Zahvaljujemo se lektorici, ki nama je popravila jezikovne napake, predvsem pa se zahvaljujemo vsem, ki so nam ob delu stali ob strani in nas spodbujali.

1. UVOD IN POVZETEK

Letos smo se odločili izdelati avdio ojačevalnik na elektronke in raziskati uporabnost teh v njem. Pri tem nas je zanimalo, kakšna sta strošek izdelave in frekvenčni odziv ojačevalnika. Frekvenčni odziv ojačevalnika smo preverili tako, da smo ojačevalnik prekrmilili. Za ojačevalnik smo uporabili elektronke proizvajalca Ei-Niš. Ojačevalnik ima na sprednji strani 3 potenciometre za nastavitve glasnosti in kontrolo tona. Velikost ojačevanja je izbrana tako, da je dovolj velika za signal iz magnetne glave, ki ima izhodno napetost par milivoltov. Na izhod lahko priključimo en ali dva zvočnika. Elektronke uporabljamo še danes, predvsem v HIGH END avdio ojačevalnikih, predojačevalnikih, skratka tam, kjer je zaželeno majhno popačenje. Predvsem zaradi njihovih VF zmogljivosti pri visoki napetosti jih ponekod uporabljajo za izhodne stopnje oddajnikov.

2. NAŠA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE

Zastavljena vprašanja:

- Kakšen je frekvenčni odziv ojačevalnika?

Vsak ojačevalnik ima glede na izbrane komponente pri načrtovanju vezja svoj frekvenčni odziv. Zato je bila edina možnost meritev izvedena z osciloskopom in funkcijskim generatorjem. Ugotovitve lahko vidimo v poglavju »Ugotovitve«.

- Kakšno je popačenje ojačevalnika?

Dobro znano je, da imajo, za razliko od tranzistorskih, ojačevalniki na elektronke »lepo« popačenje. K temu pripomore več faktorjev. Popačenje najlažje opazimo tako, da ojačevalnik prekrmilimo.

3. KAJ JE ELEKTRONKA/ELEKTRONSKA CEV?

Osnova radiotehnike je postavljena zaradi potrebe po resonančnem vezju za radijske postaje, sprejemne in oddajne antene itd.

Vse do izuma elektronskih cevi ni bilo nobene možnosti jačanja induktivne moči na sprejemni anteni. Prvo elektronko – diodo je leta 1904 izumil Fleming. Ta elektronska cev ni zmogla ojačevati, dokler niso dodali tretje elektrode, imenovane krmilna mrežica, ki jo je leta 1907 odkril Lee de Forest. Ta elektronska cev je naredila revolucijo v radiotehniki. Omogočila je, da lahko majhne moči zelo povečamo. S tem je radijska tehnika zelo napredovala in takoj po prvi svetovni vojni je prišlo do hitrega povečanja števila oddajnih postaj in sprejemnikov.

Elektronska cev je bila poznana tudi kot elektronski rele ali elektronka. Sestavljena je iz steklene bučke, iz katere je izčrpan zrak (vakuum) in različnih elektrod. Cev je dobila ime elektronska cev zaradi pretoka elektronov iz elektrode – katode na drugo elektrodo, imenovano anoda.

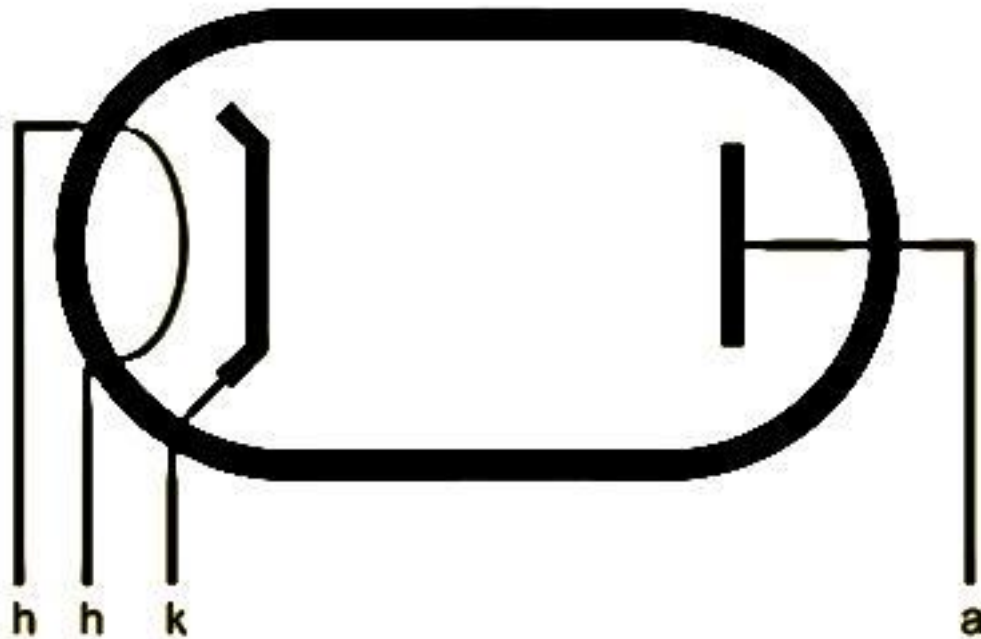
Katoda oddaja elektrone samo takrat, ko je segreti na predpisano vrednost, ki pa je odvisna od snovi, iz katere je izdelana katoda.

Pretok elektronov je mogoč samo takrat, ko jih na poti do anode nič ne zavira. Zaradi tega je iz elektronk izčrpan zrak, in sicer vakuum, saj bi ta omejeval pretok elektronov. Ker so elektroni nosilci negativnega naboja, anodo priključimo na pozitivno napetost, da jih privlači. Pretok elektronov v obratno smer ni mogoč. Torej tečejo samo v eno smer, od katode K, ki jih oddaja (termična emisija), do anode A, ki jih sprejema.



Slika 1: Elektronka EL84 (vir: www.eierc.com/rc, 2016)

3.1 Dioda



Slika 2: Dioda (vir: www.r-type.org, 2016)

Dioda je bila prva termoelektrična naprava, ki jo je izdelal John Ambrose Fleming za radijsko detekcijo. Izraz oscilacijska elektronka je bil uporabljen za opisovanje dejstva, da naprava prenaša samo slišne radijske frekvence. Danes se izraz dioda uporablja za detektor signala.

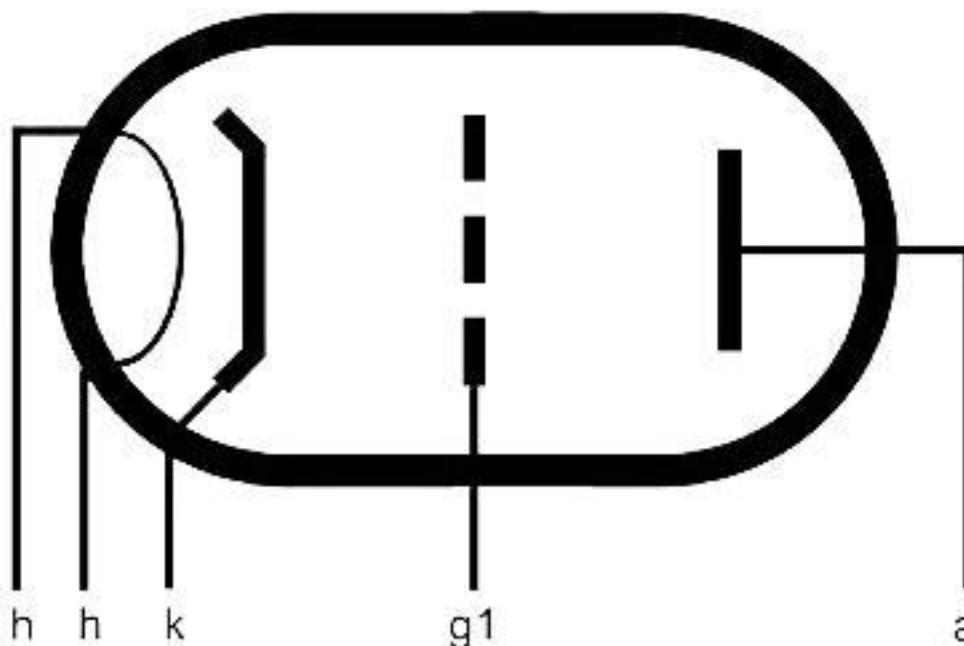
Žarilne nitke v zgodnjih napravah so morale biti zelo segrete, da so oddajale elektrone. Praktične elektronke iz volframove žice segrevamo do 2.800 °C, pri čemer žarilna nitka sveti kot žarnica.

Posredno ogrevana katoda je bila primerna za anodne napetosti do 1000 voltov. Nad to vrednostjo pa bi "zastrepili" oddajno površino in tako zmanjšali življenjsko dobo naprave. Za zelo velike moči bi čisto volfram uporabljali tudi kot katodo. Ta način je bil priljubljen, dokler stroški ogrevalne moči niso postali pomemben faktor v kasnejših letih.



Slika 3: Dioda EZ81 (vir: www.r-type.org, 2016)

3.2 Trioda



Slika 4: Trioda (vir: www.r-type.org, 2016)

Triodo so razvili dve leti za tem, ko je John Ambrose Fleming opisal diodo kot oscilacijsko elektronko. Leta 1906 je Lee de Forest med žarilno nitko, katodo K in anodo A dodal tretjo elektrodo. Oblikovana je bila kot železna mrežica, zato jo je imenoval mrežica. Občutljivost radijske detekcije je poskušal izboljšati z nadzorom pretoka elektronov med ogrevano žarilno nitko iz ogljika in pozitivno anodo. Danes to elektronko poznamo kot triodo.

Prva mrežica se imenuje krmilna mrežica, saj je njena naloga zagotavljanje negativnega električnega polja, tako ovira pretok elektronov med vročo katodo in anodo. Prve mrežice niso bile postavljene blizu žarilne nitke, saj so šele kasneje ugotovili, da bližje kot je krmilna mrežica katodi, večji je učinek krmiljenja električnega toka. Sčasoma so mrežico iz prvotne oblike spremenili v z dvema drogoma podprto mrežico, ki je bila namenjena avtomatizirani proizvodnji. Razmik žičk v mrežici je vplival na tok, tako so začeli proizvajati elektronke s spremenljivim ojačanjem. Te so imele na straneh žice bližje skupaj, na sredini pa bolj razmaknjene.

Krmilna mrežica med anodo in katodo omogoča spreminjanje anodnega toka ob spremembi napetosti na njej.

Moč, ki se troši na krmilni mrežici, je izredno majhna. S spreminjanjem napetosti te mreže se naboj v elektronki spreminja na enak način kot v diodi. Mrežica, pri kateri gre za odprto spiralo ali mrežo, ni mehanska ovira toku elektronov. Dokler je potencial na njej negativen glede na katodo (ali negativni konec žarilne nitke), ne bo pritegnila prostih elektronov, če pa postane pozitivna, bodo elektroni tekli na njo tako kot na anodi. V večini elektronk se tok na mrežici začne pojavljati malo preden

negativna napetost na njej doseže ničlo. To je deloma posledica naključnega gibanja elektronov, ki prečkajo mrežo na svoji poti do anode, deloma pa kontaktno-potencialnih razlik, ki so povezane z materiali, iz katerih sta izdelani katoda in mrežica.

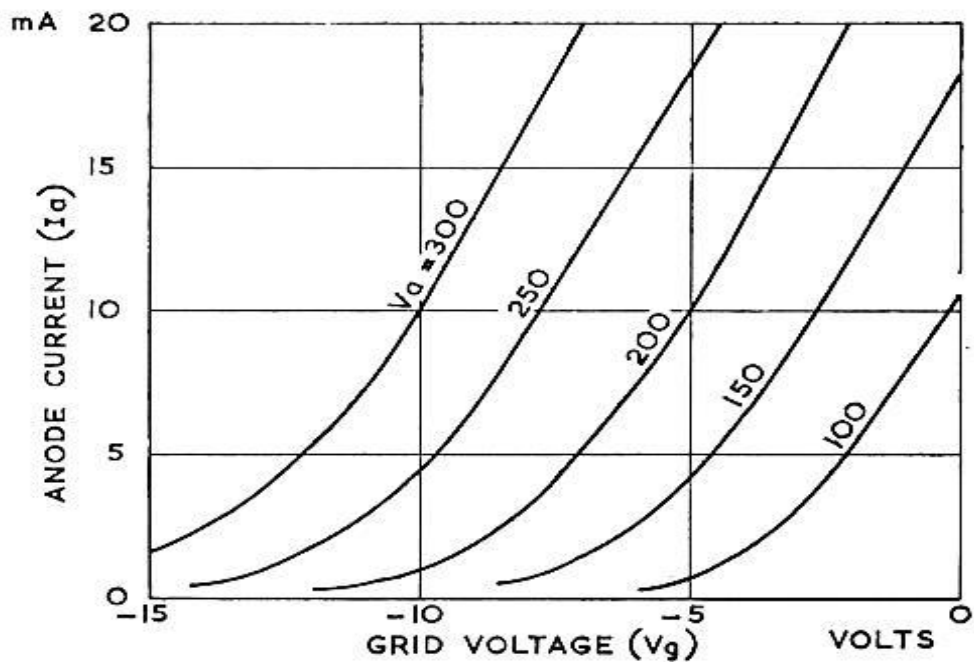
Ker je potrebno zagotoviti, da je mreža vedno negativna, imamo vezje, ki vključi vir z ustrezno negativno napetostjo, znano kot napetost mrežice. Dobiti jo je mogoče na štiri načine:

- neodvisen vir fiksne napetosti,
- upor na katodi,
- upor mrežice,
- kontaktni potencial.

Vir napetosti je baterija predvsem pri prenosni opremi. Pri močnem avdio ojačevalniku pa je napajanje iz transformatorja in dodatnega vezja.

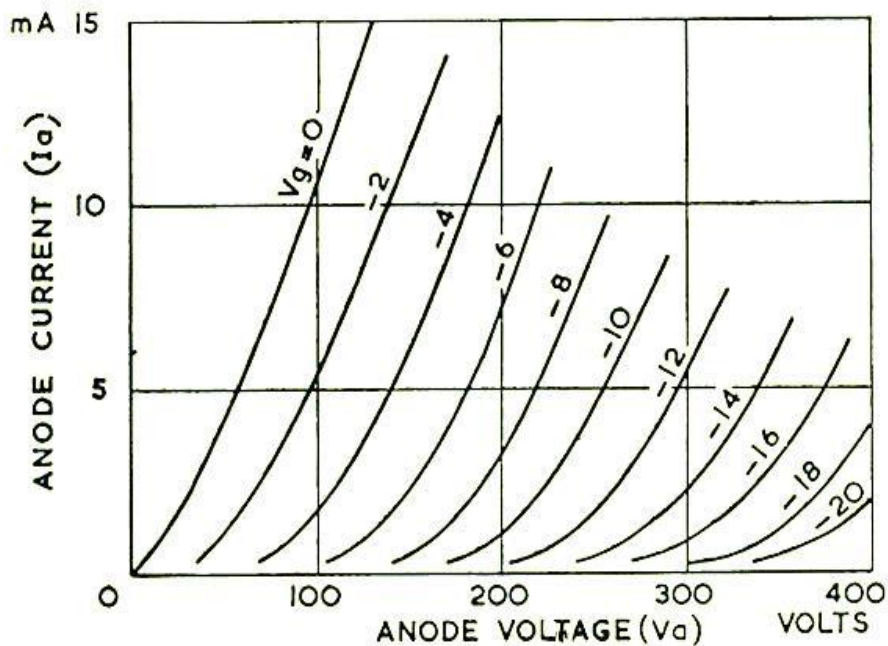
Upor je vstavljen med katodo in maso (0V) napajanja. Tako se ob toku skozi njega ustvari nek padec napetosti, zaradi katerega bo napetost na mrežici glede na katodo postala negativna. Ta upor imenujemo upor za avtomatsko nastavitvev prednapetosti krmilne mrežice.

Način napajanja preko upora mrežice se uporablja v oscilatorjih, frekvenčnih multiplikatorjih in ojačevalnikih razreda C. Vsakokrat, ko signal zaniha v pozitivno smer, se mrežica obnaša kot anoda diode. Tok steče med katodo in mrežico in polni kondenzator. Nato se kondenzator izprazni skozi upor mrežice in ji dovaja prednapetost. Nastane nekaj nezaželenih efektov, kot npr. večji signal povzroči večjo prednapetost, kar povzroči popačenje signala. Ta način se uporablja samo tam, kjer ojačevalnik ni povsem linearen, kot so uglašeni ojačevalniki in oscilatorji v oddajnikih. Vrednost upora je med 1-10 M Ω . Ta način je primeren samo za majhne signale vhodne napetosti.



Slika 5: I_a/U_g karakteristika (vir: www.r-type.org, 2016)

Slika 5 prikazuje odvisnost anodnega toka I_a od prednapetosti mrežice pri različnih anodnih napetostih U_a (parameter)



Slika 6: I_a/U_a karakteristika (vir: www.r-type.org, 2016)

Slika 6 prikazuje odvisnost med anodnim tokom in anodno napetostjo pri različnih prednapetostih mrežice (parameter). Na ta graf narišemo delovno premico, ko sestavljamo ojačevalce.



Slika 7: Trioda ECC83 (vir: www.eierc.com/rc , 2016)

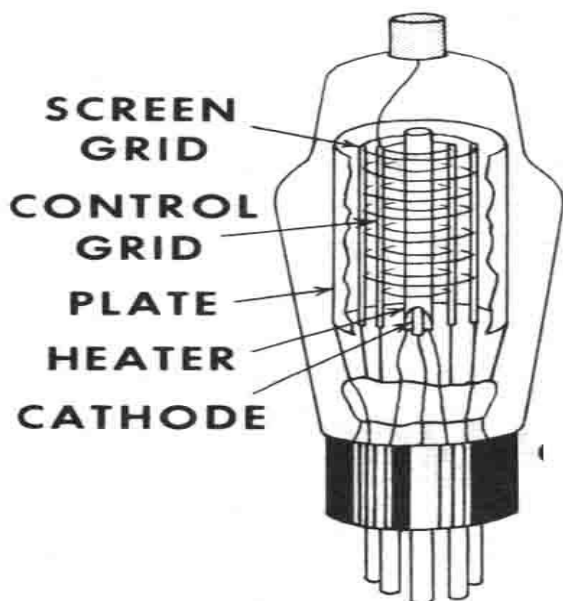
3.3 Tetroda

Tetrodo so razvili kot odziv na potrebo po elektronkah, ki, v primerjavi z zgodnjimi triodami, delujejo pri visokih frekvencah. Leta 1919 je bila v ZDA v uradu za standarde izvedena podrobna matematična analiza triode, ki je razkrila problem medelektrodnih kapacitivnosti. Te so povzročile, predvsem pri visokih frekvencah, padec učinkovitosti delovanja ojačevalnika.

Zato so izdelali elektronko z dodatno mrežico. Postavili so jo med glavno krmilno mrežico in anodo. Rešitev je bila posledica dela Walterja Schottkyja, ko je 1919 delal za družbo Siemens in Halske. Razvijal je elektronko z večjim ojačanjem, kar je dosegel z vstavljanjem zaslonske mrežice med krmilno mrežico in anodo. Vendar to ni popolnoma rešilo problema kapacitivnosti med elektrodami.

Da bi zmanjšali kapacitivnost med elektrodama, so leta 1926 v raziskovalnem laboratoriju General Electric Company v ZDA proizvajali dve vrsti eksperimentalnih elektronk, s katerima so poskušali čim bolj ločiti anodo in krmilno mrežico.

TETRODE CONSTRUCTION



Slika 8: Konstrukcija tetrode (vir: www.panospappas.gr/tetrodetube.jpg , 2016)

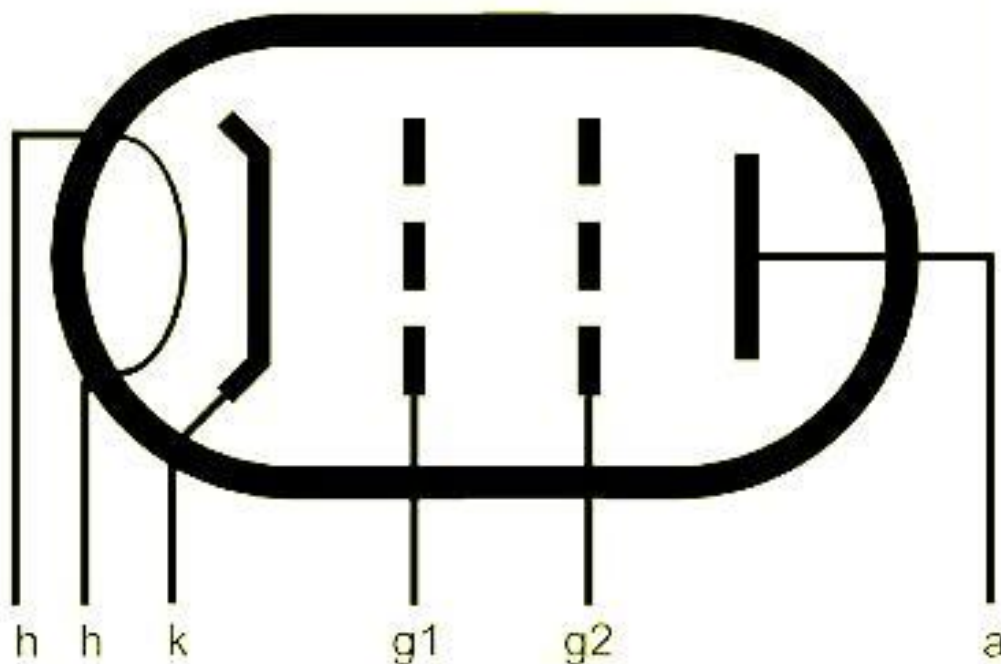
Ker je dodatna zaslonska mrežica (Screen grid) na enakomerni pozitivni napetosti, opazimo, da je, v primerjavi s triodo, faktor ojačitve elektronke veliko večji. Prav tako se je povečala vhodna impedanca, kapacitivnost pa se je zmanjšala. To pa je rešitev problema triode.

Razlog za povišanje ojačitve je v tem, da je anodni tok v tetrodi dosti manj odvisen od anodne napetosti, kot pri triodi. Triodni ojačevalnik ima to slabost, da se ob

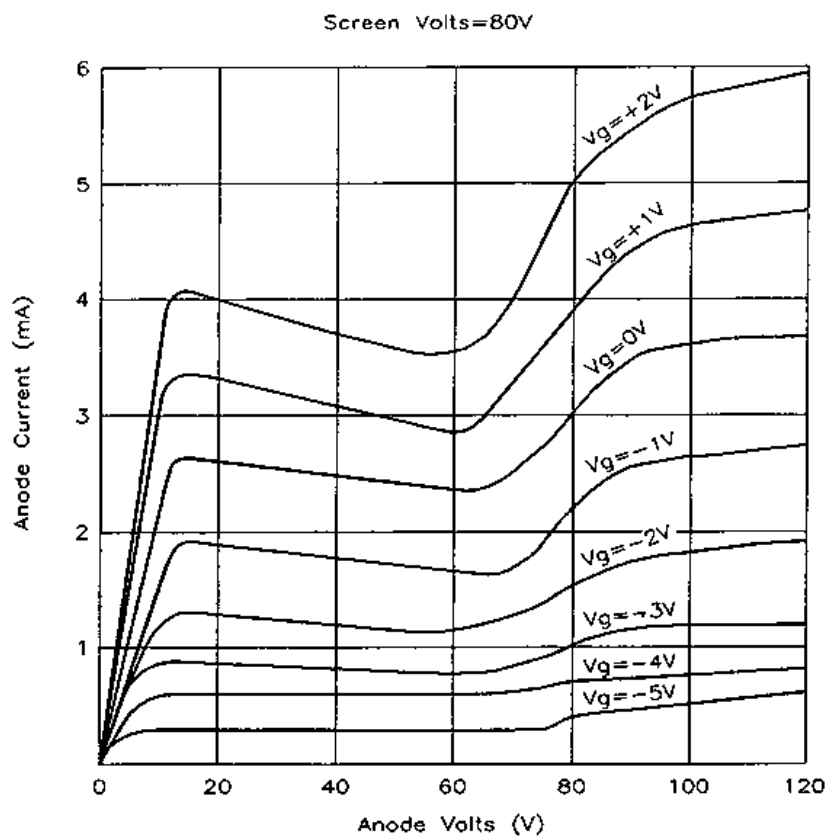
spremembi krmilne napetosti zmanjša napetost na krmilni mrežici, posledično pa zmanjša anodni tok in ojačanje.

Ob dodani zaslonski mrežici elektronka deluje najbolje, ko je napetost na njej manjša od anodne. Zaslonska mrežica pospeši elektrone iz katode, najprej jih pritegne k sebi, nato pa se ti z veliko hitrostjo gibljejo proti anodi, ki je na višji pozitivni napetosti. Kljub temu se nekateri elektroni ujamejo na zaslonski mrežici, skozi katero posledično teče tok, ki pa znaša le nekaj mA. Zaslonska mrežica opazno zmanjša kapacitivnost med krmilno mrežico in anodo in s tem prepreči povratno vezavo. To je še posebej pomembno pri radijskih sprejemnikih, kjer so frekvence zelo visoke. Zaradi popolnega izkoristka te prednosti je zaslonska mrežica narejena »bolj gosto«, vendar ne preveč, saj bi lahko onemogočala pretok elektronov.

Za radio frekvenčno ojačanje z resonančnim bremenom je bila tetroda primerna, za audio ojačevalnike pa ima tetroda napako. Ko anodna napetost pade pod napetost zaslonske mrežice, pride do sekundarnega pretoka elektronov iz anode na zaslonsko mrežico. Posledično anodni tok pade, tok zaslonske mrežice pa se poveča, kar povzroči popačenje in zmanjšanje izhodne moči. Da bi obdržali dobre lastnosti tetrode, so zato razvili pentodo.



Slika 9: Tetroda (vir: www.r-type.org, 2016)



Slika 10: Karakteristika I_a/U_a tetrode (vir: www.r-type.org , 2016)

Popačena karakteristika je posledica večje napetosti na pospeševalni mrežici.

3.4 Pentoda

Pentodo je razvil in patentiral Philips Mullard. Rešitev težave v karakteristiki tetrode je dodajanje tretje mrežice. Ta mrežica se imenuje supresorska (sesalna) mrežica. Izdelana je iz grobo navite mrežice postavljene pred anodo. Povezana je s katodo (približno 0V) in je bolj negativna kot anoda. Ko se preveč elektronov pomika proti anodi, se nekateri od nje odbijejo, pri tem pa ti odbiti elektroni odbijajo tudi prvotne elektrone, ki so bili namenjeni proti njej. Temu rečemo sekundarna emisija. Zaradi supresorske mrežice, ki je na majhnem potencialu, se elektroni vrnejo na anodo. Elektronko zato upravljamo z večjo anodno napetostjo, ki niha brez popačenja in z nezmanjšano izhodno močjo.

Pentoda je bila najprej razvita za velike anodne napetosti v izhodnih stopnjah radijskih sprejemnikov. Prvič se je pojavila leta 1927, v letu 1928 pa je podjetje UK Mullard začelo prodajati dve vrsti pentod. Prva je bila PM22, ki je imela 2V žarilno nitko. Druga je bila PM24, ki je imela 4V žarilno nitko. Obe elektronki sta bili direktno ogrevani. Da bi se obenem izognili brnenju, sta bili napajani z enosmerno napetostjo. Avdio izhod je bil skromen. Ko se je začel prehod na izmenično AC napajanje sprejemnikov, so morali razviti nove elektronke z večjo izhodno močjo. V letu 1929 je Mullard predstavil PM24A, ki je bila sposobna dati 2W na izhod.



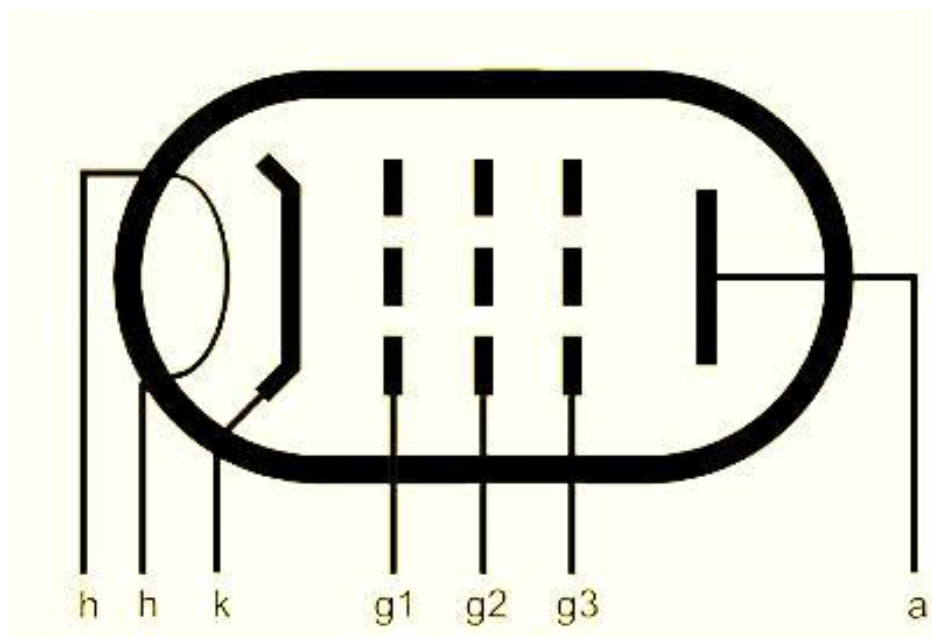
Slika 11: PM22 Elektronka (vir: www.r-type.org , 2016)

Proizvajanje neposredno ogrevane elektronke je bil velik problem. Ogrevanje blizu kontrolne mrežice je povzročilo težave z emisijami mrežice. Prva res uspešna elektronka v tem razredu je bila AC/Pen, ki jo je izdelalo podjetje Mazda leta 1930.



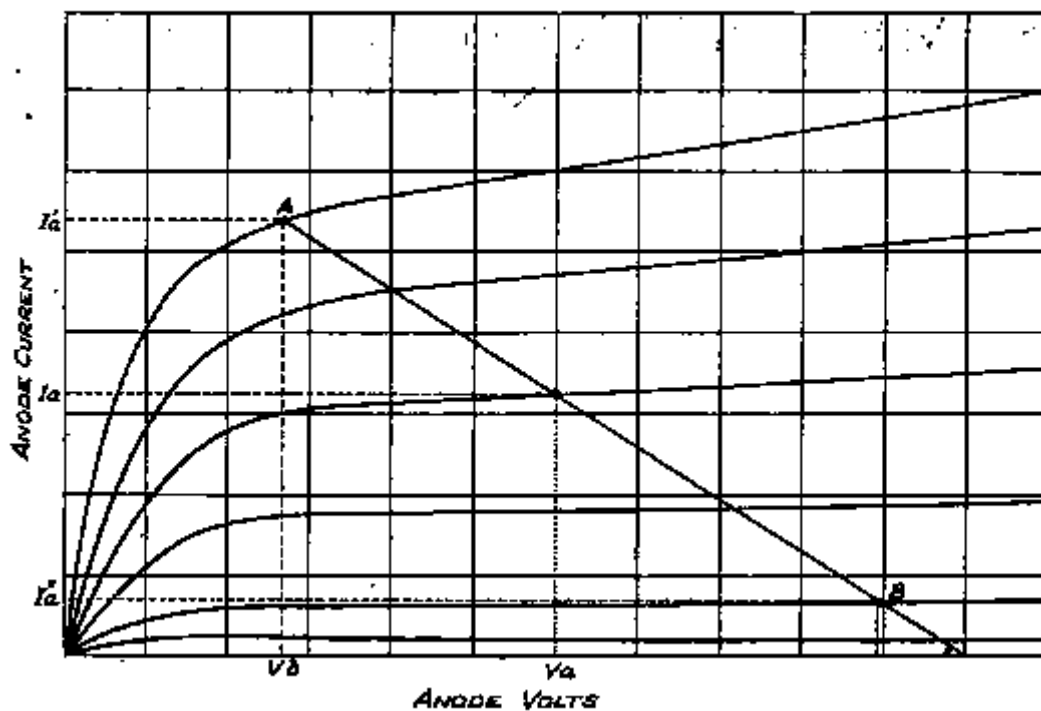
Slika 12: AC/PEN (vir: www.r-type.org , 2016)

Za zmanjševanje sekundarne emisije so preizkušali tudi druge metode, kot na primer spreminjanje razdalje med zaslonsko mrežico in anodo, dokler sekundarni elektroni nimajo zanemarljivo majhne energije, da bi dosegli zaslonsko mrežico. Drugi način je bil vgraditev majhnih naklonskih plošč nameščenih blizu anode in priključenih na katodo ali zemljo. Te elektronke so znane kot Beam tetrode ali kot Kinkless tetrode. Izraz kinkless se nanaša na popačenje v karakteristiki.



Slika 13: Pentoda (vir: www.r-type.org , 2016)

THE PENTODE VALVE



Slika 14: Karakteristika I_a/U_a (vir: www.r-type.org, 2016)

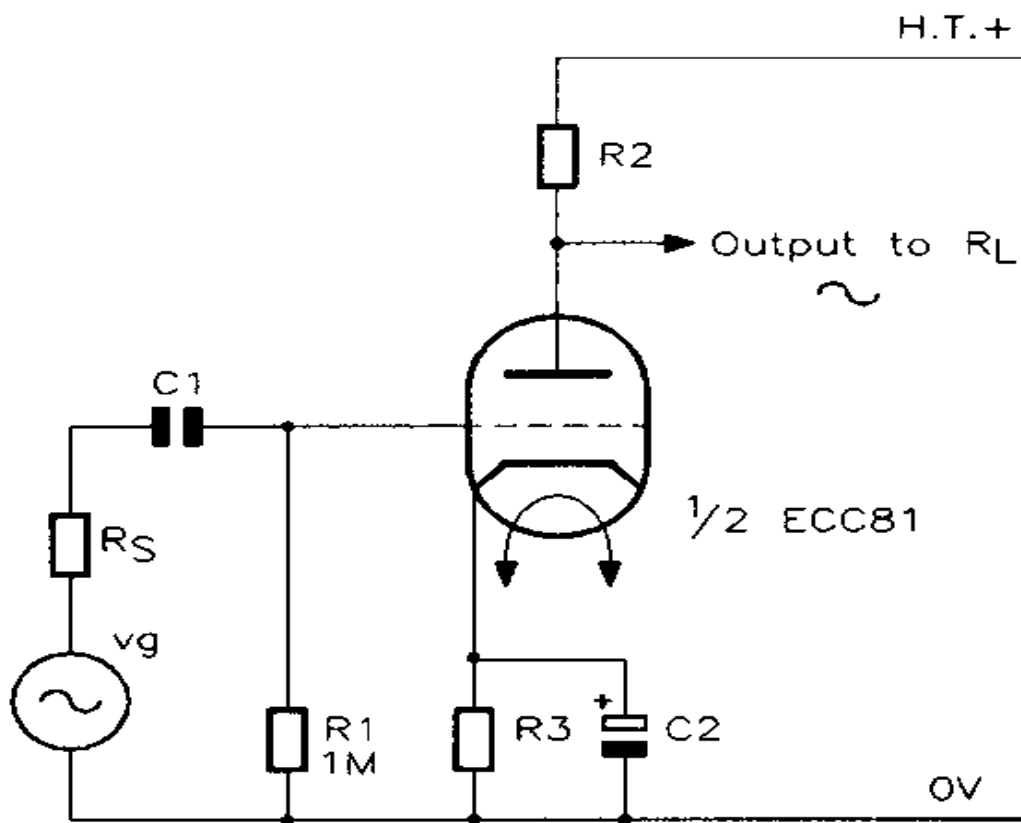
V primerjavi z tetrodo nima popačenja, v primerjavi s triodo pa anodna napetost ne vpliva na anodni tok.

4. ELEKTRONKA KOT OJAČEVALEC

Vse vrste ojačevalnikov na elektronke delujejo po enakem principu. Načini delovanja elektronk se razlikujejo toliko, kolikor se razlikujejo prednapetosti upravljalne mrežice.

Razlikujemo tri vrste ojačevalnikov: razreda A, B, in C.

Ojačevalnik v razredu A ojačuje pozitivni in negativni del vhodne izmenične napetosti. Ojačevalnik v razredu B ojačuje samo pozitivni ali negativni del vhodne izmenične napetosti. Ojačevalnik v razredu C pa ojačuje samo en del pozitivne ali negativne vhodne napetosti. Razred AB je prehod med razredoma A in B in ga uporabljamo pri Push Pull ojačevalnikih.

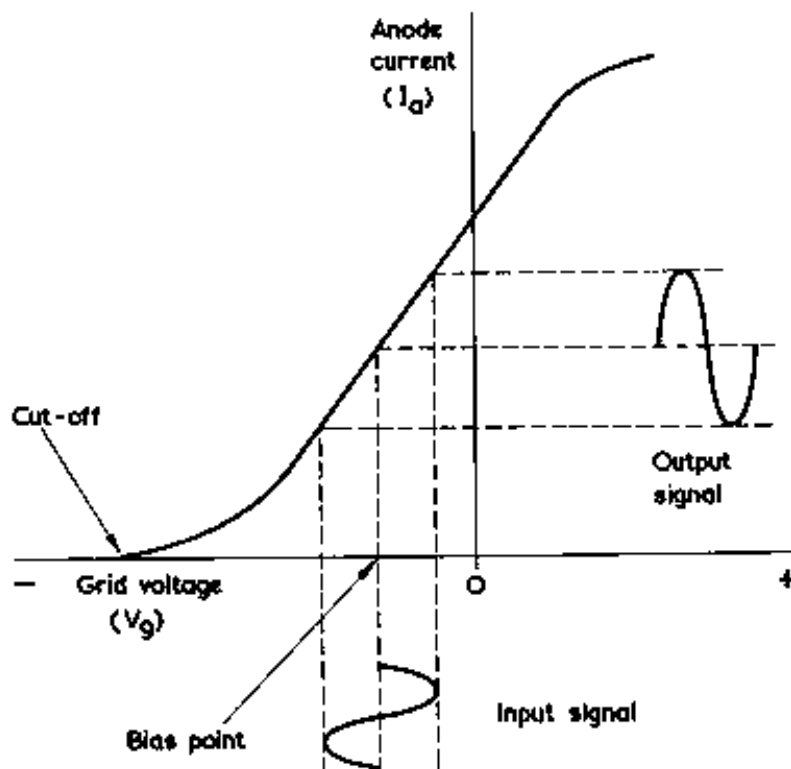


Slika 15: Primer triodnega ojačevalnika (vir: www.r-type.org, 2016)

4.1 Razred »A«

V razredu A izbiramo prednapetost tako, da je delovna točka ojačevalnika približno v sredini karakteristike anodnega toka. Tam je ojačevalnik načeloma najbolj linearen. To je po navadi polovica tiste prednapetosti, pri kateri se anodni tok približuje proti nič. Anodni tok doseže vrednost nič pri zelo veliki negativni prednapetosti $U_{\text{Cut-off}}$ mrežice.

Pri ojačevalniku v razredu A izmenična napetost deluje na krmilno mrežico skupaj s prednapetostjo, njegove pozitivne in negativne amplitude pa enakomerno vplivajo na velikost anodnega toka.

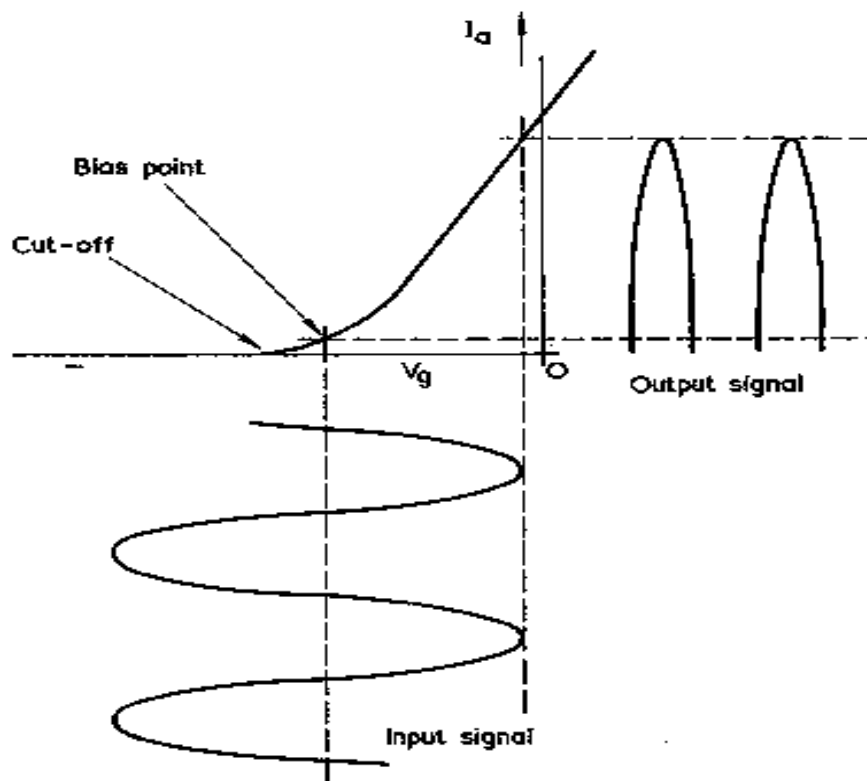


Slika 16: Razred A (vir: www.r-type.org, 2016)

4.2 Razred B

V razredu B je delovna točka postavljena tako, da je anodni tok malo nad ničelno vrednostjo. Pri tej vrsti ojačevalnikov na velikost anodnega toka vpliva samo pozitiven del izmenične krmilne napetosti.

Negativen del izmenične krmilne napetosti pa ne more vplivati na anodni tok, saj ta takrat sploh ne teče. Zaradi teh razlogov je anodni tok popačen in nima iste oblike kot napetost na mrežici. Ima samo eno polovico periode. Zato se doda še ena elektronka, ki bo delovala samo v negativni polperiodi. Če dosežemo, da sta na upravljalnih mrežicah obeh elektronk enako veliki napetosti, vendar fazno premaknjeni za 180° , bo vsaka od elektronk delovala polovico periode. Na skupnem bremenu se zbira anodni tok iz ene in druge elektronke, zato dobimo pravilen in neizkrivljen anodni tok iste oblike.



Slika 17: Razred B (vir: www.r-type.org, 2016)

4.3 Razred »AB«

V tem primeru je delovna točka postavljena med delovni točki razreda A in B. V času ene pol periode tok teče kot v razredu A in B, v času druge pol periode pa je oblika toka zelo popačena. Prednost tega sistema je v tem, da se, ko je anodni tok nič, z njim tako kot pri B razredu izognemo kritični točki. V razredu B mora biti delovna prednapetost stalna in stabilna, ne sme se spreminjati v odvisnosti od anodnega toka. Če je katoda posredno segrevana, v razredu B ni priporočljivo avtomatsko pridobivanje prednapetosti s katodnim uporom.

V razredu AB to ni pomembno, saj se delovna točka lahko malo premika. Takšno ojačanje se najpogosteje uporablja za izhodne stopnje radioaparatorov in manjših ojačevalnikov z avtomatsko prednapetostjo.

5. MATERIAL IN METODE

1. Za izdelavo ojačevalca je bil uporabljen naslednji material:

Elektronke:

EZ81

EM84

EL84

ECC85

Podnožja

Potenciometri:

470k trimer

500k potenciometer

100k potenciometer

1M potenciometer

Gumbi

Transformatorji:

Audio transformator 4B25 Ei NIŠ

Mrežni transformator 220V/6.3V, 2x270V

Upori:

4x 270k

2x 5k6

150R

5x470k

Žični 100R 7W

10k

Kondenzatorji:

3x 10uF 400V

3x 100nF

33nF

5.6nF

Večsekcijski 100uF 350V

Zvočnik:

4R 3W Ei NIŠ

Ostalo:

Stikali

Neon indikator

Žice

Kabli

2.Za merjenje smo uporabili naslednje instrumente:

Digitalni Osciloskop Voltcraft

Analogni osciloskop Philips GM5606

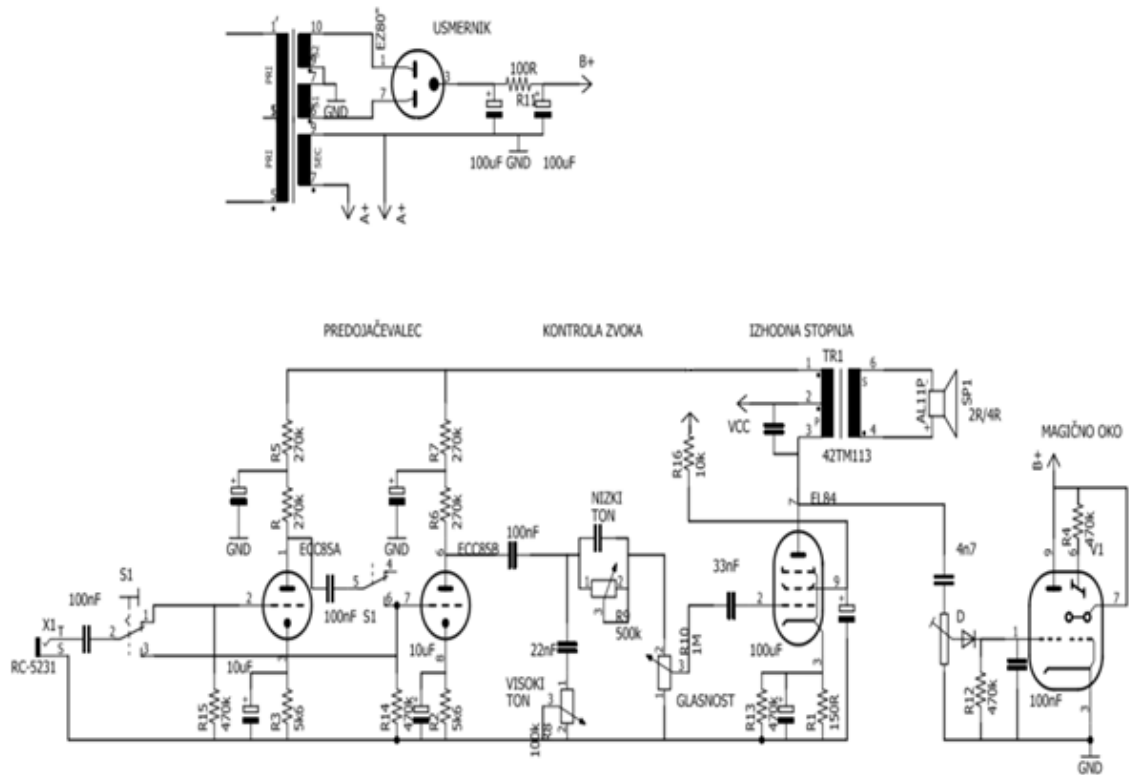
Multimeter Finest 701

Multimeter IVEL-1111

Multimeter digimer 30

6. IZDELAVA OJAČEVALNIKA

EL84 OJAČEVALNIK

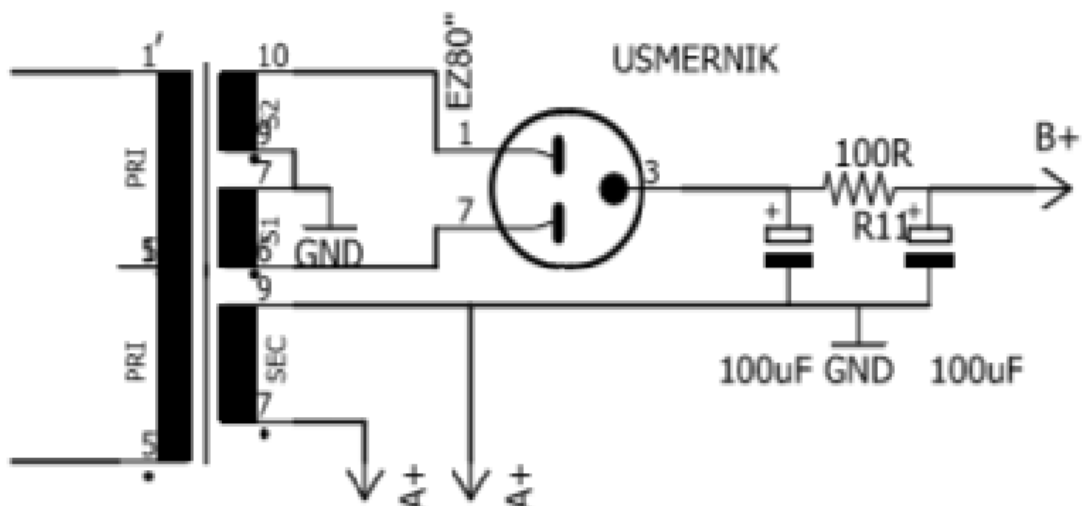


Slika 18: Shema celotnega vezja (avtorsko delo)

Ta ojačevalnik je sestavljen iz 5 osnovnih elementov:

- usmernika,
- predojačevalnika,
- kontrole zvoka,
- izhodne stopnje,
- magičnega očesa.

6.1 Usmernik



Slika 19: Usmernik (avtorsko delo)

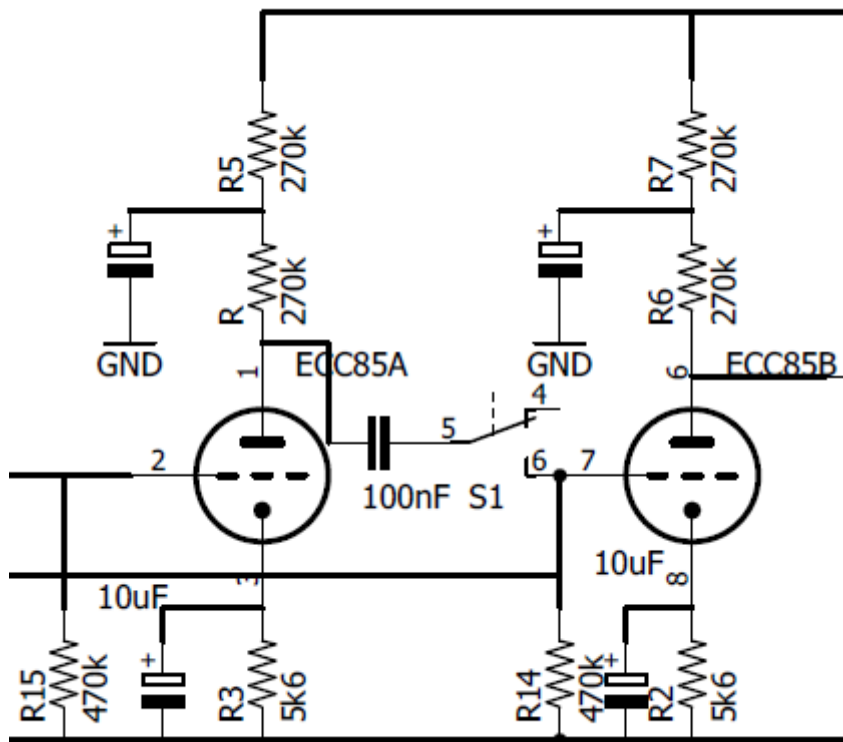
Usmernik ima mrežni transformator, ki za napajanje grelnih nitk elektronk primarno napetost 230V zmanjša na sekundarno 6,3V.

Pozitivni pol +6,3V smo povezali na napajanje grelnih nitk, negativni pol pa, da smo zmanjšali brnenje (brum) v vezju, na maso (0V).

Drugi del sekundarne napetosti s srednjim odcepom 2x270V smo vezali na dvojno usmerniško diodo EZ 80, da smo dobili dvojni polnovalni usmernik. Srednji odcep transformatorja smo povezali na maso, +270V pa na vsako od anod EZ 80. Tako vsaka izmed diod prevaja pol vala, skupaj pa dobimo polnovalno usmerjeno napetost. Ker ta napetost vsebuje tudi izmenično komponento (brnenje), smo jo zgladili s kondenzatorjem. Pri obremenitvi takega usmernika, se je kljub temu pojavila majhna izmenična komponenta napetosti, ki smo jo dodatno zgladili z RC nizkopasovnim filtrom. Ta je sestavljen iz kondenzatorja 100 μ F in upora 100 Ω . Za še boljše delovanje bi lahko uporabili LC filter s tuljavo namesto upora, saj bi tako imeli dva reaktančna elementa, vezje pa bi posledično boljše opravljalo svojo nalogo. Vendar smo zaradi nižje cene in majhne moči ojačevalnika uporabili upor.

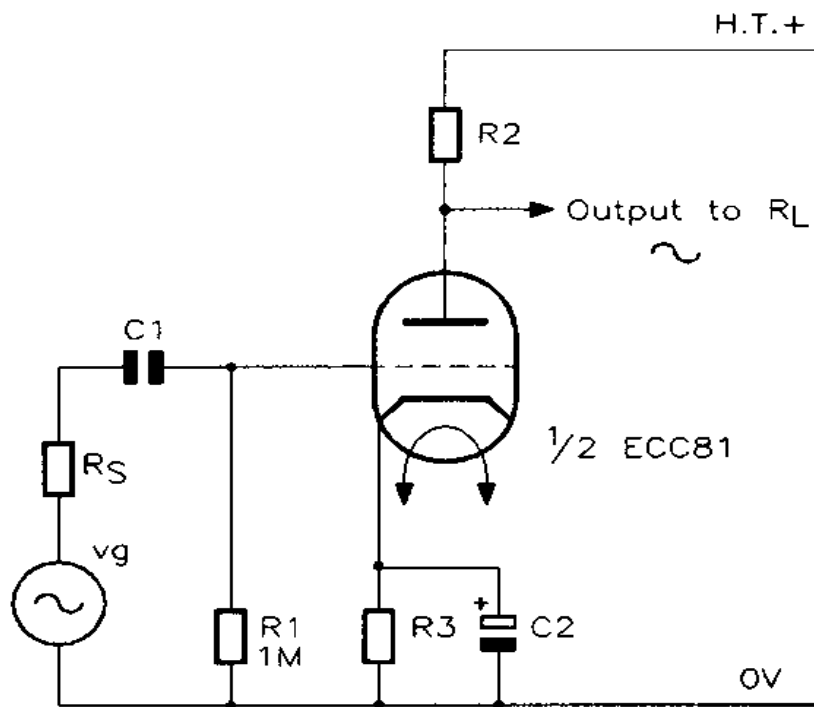
Dodatni LC filter je vseeno v napajalnem delu za predojačevalnik, saj ne želimo prenesti brnenja nanj. Za tuljavo uporabimo kar del navitja v transformatorju.

6.2 Predojačevalnik



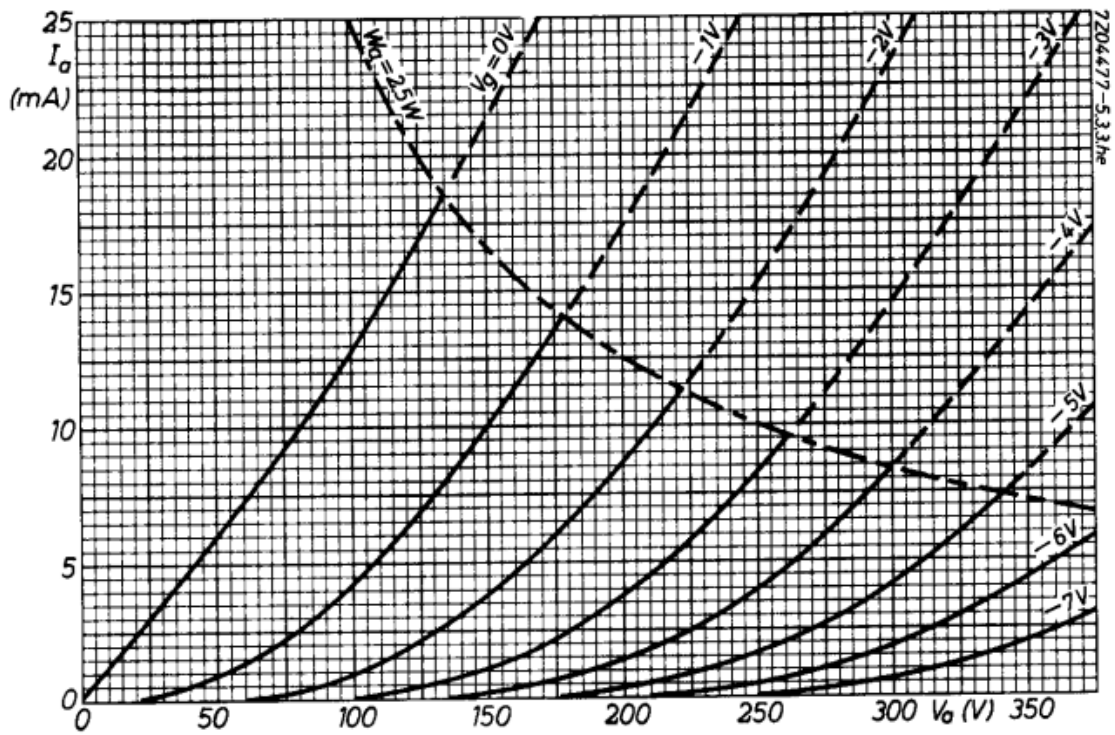
Slika 20: Predojačevalnik (avtorsko delo)

Predojačevalnik sestavlja ena ECC85 elektronka, ki vsebuje dve triodi. Obe katodi vsebujeta upor za avtomatsko prednapetost in upor na mrežici, ki je povezan na maso. Vrednost upora mrežice je večinoma od par sto k Ω do nekaj M Ω , zato da ostane vhodna upornost dovolj velika.

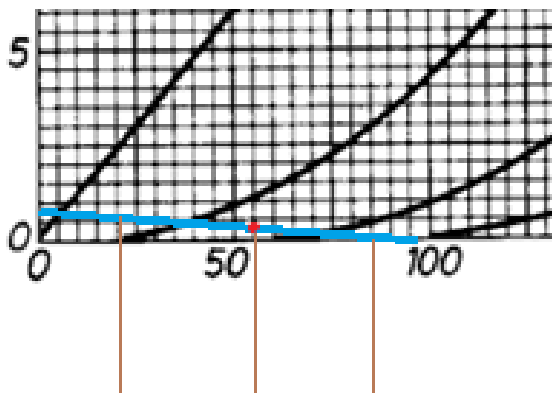


Slika 21: Osnovni ojačevalec (vir: www.r-type.org, 2016)

Osnovni triodni ojačevalnik je sestavljen iz elektronke ECC 81, anodnega upora R_2 (R_a), ki služi kot breme, katodnega upora R_3 (R_k) za avtomatsko nastavitev prednapetosti, upora R_1 (R_g) na mrežici in katodnega kondenzatorja C_2 (C_k). Ojačevalnik deluje v razredu A, zato je napetost na anodi polovica napajalne napetosti. Druga polovica napajalne napetosti pa je na uporu R_2 . Poljubno lahko izbiramo anodni tok in napetost. Na spodnji graf smo vrisali delovno premico in delovno točko. Na tej osnovi smo dobili približno vrednost ojačanja (cca 60), kar je tudi zapisano na podatkovnem listu elektronke same – faktor μ . Tako je pri obeh elektronkah ojačanje skupaj $3600 = 60 \cdot 60$.



Slika 22: Anodna Karakteristika (vir: podatkovni list, www.r-type.org, 2016)



Slika 23: Delovna točka, premica (vir: podatkovni list, www.r-type.org, 2016)

6.2.1 Izbira anodnega upora Ra

Napetost in tok smo izbrali na polovici (A razred). Če delimo ti dve vrednosti, dobimo vrednost upora R_a . $B+$ je napajalna napetost, I_k pa je enosmerni katodni tok.

$$R_a = \frac{\frac{B+}{2}}{I_k}$$

$$\frac{B+}{2} = U_a$$

Ker je v našem ojačevalniku napajalna napetost približno 270V, je izračunani padeč napetosti na filterih okoli 90V. Tako ostane napetost 180V, kar pomeni enojno anodno napetost 90V. Da smo izračunali upor R_a , smo uporabili vrednost 90V, za tok, da bi bil anodni upor dovolj velik, pa smo izbrali 330 μ A.

$$R_a = \frac{\frac{B+}{2}}{I_k} = 90V / 330\mu A = 272k\Omega$$

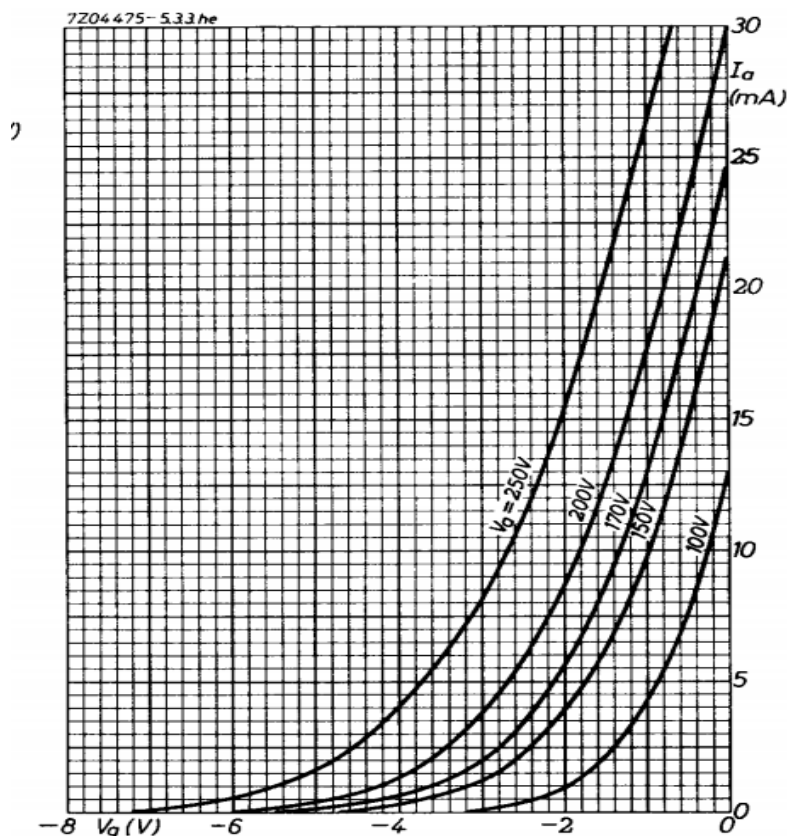
Izbrali smo vrednost 270k Ω , kar je dovolj dobro.

6.2.2 Izbira katodnega upora Rk

Katodni upor smo izbrali tako, da smo najprej iz grafa odčitali potrebno napetost U_k . Nato smo to napetost delili z anodnim tokom, ki je skoraj enak katodnemu I_k . Za izračun upora R_k smo na grafu najprej poiskali vrednost prednapetosti, približno 2V.

$$R_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{2V}{330\mu A} = 6k\Omega$$

Izbrali smo upor 5.6k.



Slika 24: Prenosna karakteristika I_a/U_g (vir: podatkovni list, www.r-type.org, 2016)

6.2.3 Izbira upora na krmilni mrežici R_g

Ta upor smo izbrali med vrednostjo nekaj sto $k\Omega$ in nekaj $M\Omega$.

6.2.4 Izbira kondenzatorja C_k

Ta kondenzator je v vezju zato, da zmanjša učinek povratne vezave, tako da izmenični tok sklone na maso namesto na upor. Tako napetost na uporu ostane enaka, delovna točka pa se ne spreminja. Za katodni kondenzator C_k smo vzeli vrednost $10\mu F$ -izračunana za 20Hz $13,3\mu F$, ki je dobra za spodnjo frekvenčno mejo ojačevalnika.

$$C_k = \frac{1}{2\pi f * R_k}$$

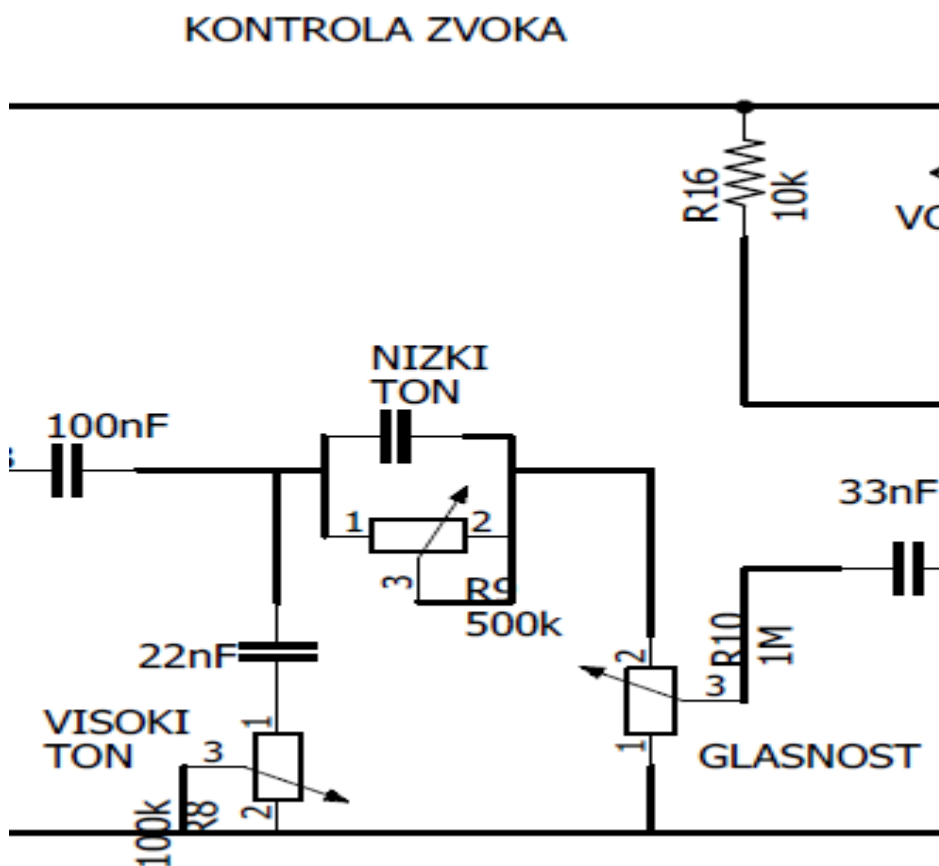
Pri čemer je f spodnja frekvenčna meja ojačevalnika v Hz, R_k pa vrednost katodnega upora v Ω .

6.2.5 Izbira kondenzatorja Cin

Vrednost vhodnega kondenzatorja smo izračunali po isti enačbi kot katodni kondenzator, le da smo uporabili vrednost upornosti upora krmilne mrežice.

Na shemi (slika 16) sta dve taki stopnji, da je ojačanje zadostno za signala iz magnetne glave. Da dodatno izločimo brum iz predojačevalne stopnje ima vsaka stopnja svoj RC filter iz 270kΩ upora in 10μF kondenzatorja.

6.3 Kontrola zvoka



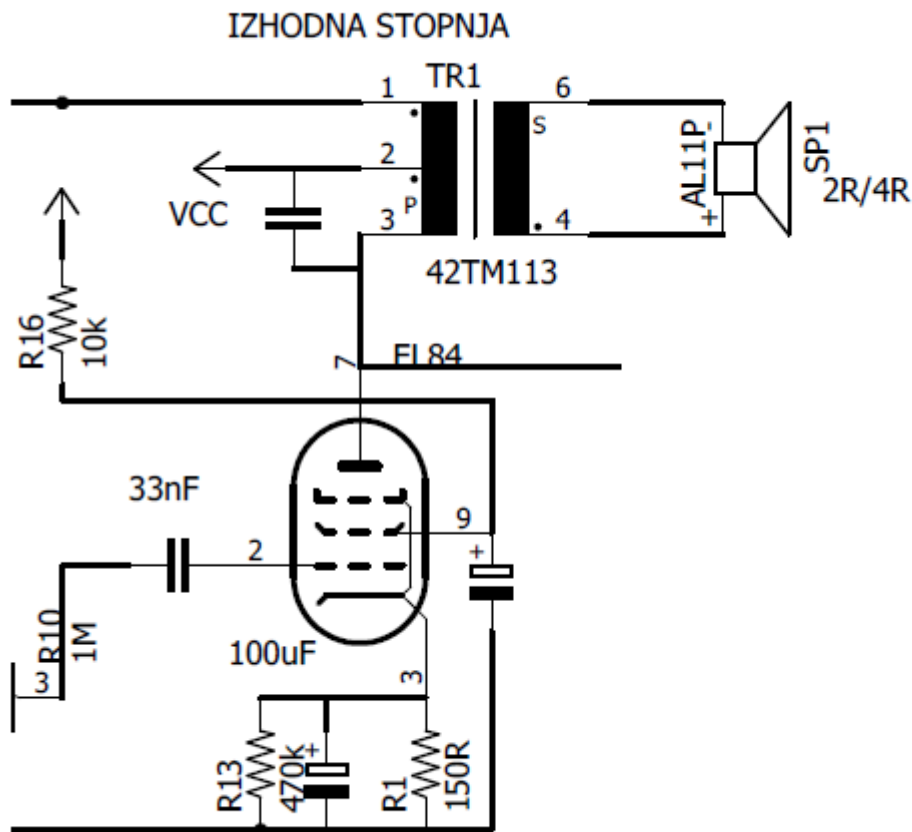
Slika 25: Kontrola zvoka (avtorsko delo)

Visoke tone smo nastavljali s 100kΩ potenciometrom in 22nF kondenzatorjem.

Nizke tone smo nastavljali s kondenzatorjem 1nF in potenciometrom 500kΩ.

Glasnost pa s potenciometrom 1MΩ kot delilnikom napetosti.

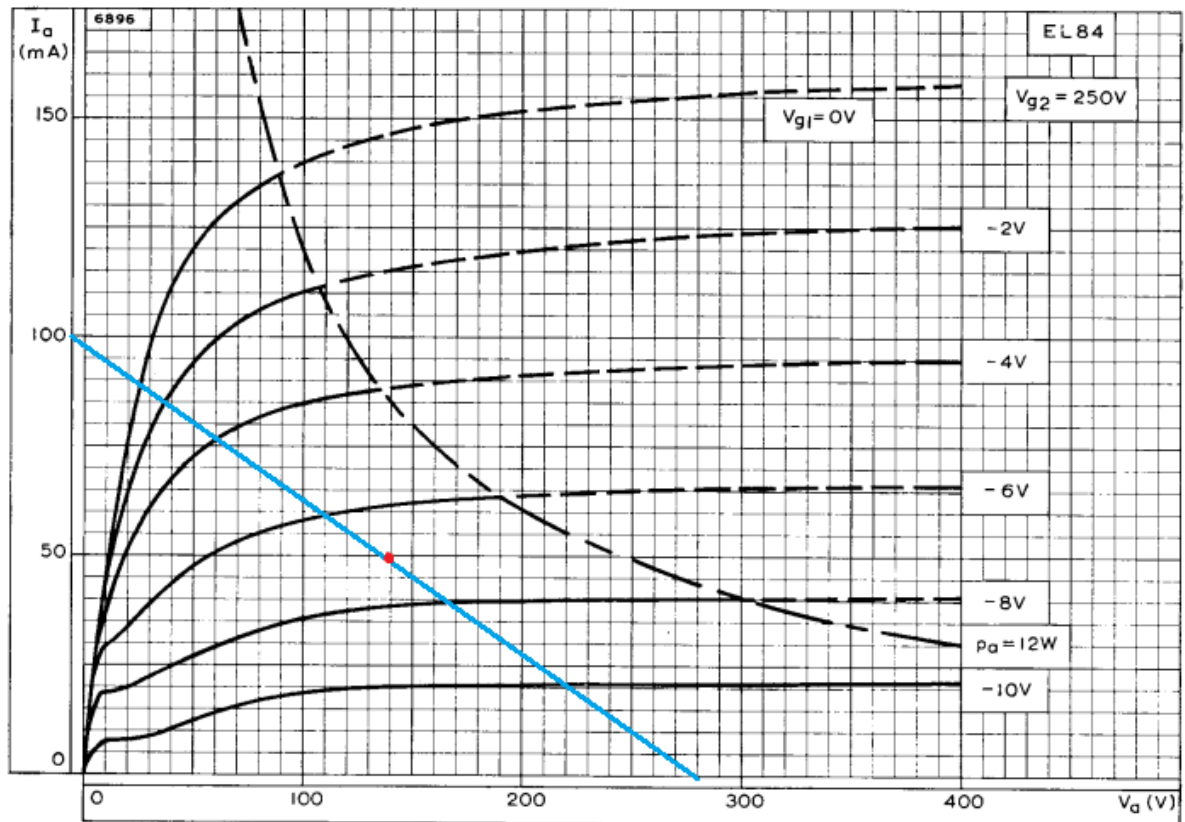
6.4 Izhodna stopnja



Slika 26: Izhodna stopnja (avtorsko delo)

Za izhodno stopnjo smo uporabili pentodo EL84, saj ima dobre karakteristike. Izdelana je tako, da lahko na izhodni transformator priključimo en ali dva 4Ω zvočnika. Transformator je 4B25 proizvajalca Ei Niš, njegovo impedančno razmerje pa je 1400Ω:1Ω.

Ko smo na transformator priključili dva zvočnika 4Ω, je bilo anodno breme 2800Ω. Anodno napetost smo izbrali na sredini, torej 140V. Pri tem je tekel maksimalni izmenični (mirovni) tok 50mA, kar pomeni da je bil I_{ppmax} 100mA. Zato smo delovno točko nastavili na 50mA pri 140V. Tako je bila na 2Ω bremenu izhodna moč največ 7W, kar pomeni $3.5W_{rms}$, pri 1 zvočniku oz. 4Ω bremenu pa $3.5W$ oz. $1.75W_{rms}$.



Slika 27: Delovna točka in premica EL84 (vir: podatkovni list, www.r-type.org, 2016)

Iz grafa smo izbrali prednapetost druge mrežice 7V.

6.4.1 Izbira katodnega upora R_k

$$R_k = \frac{V_k}{I_k} = 7V / 50mA = 140\Omega$$

Uporabili smo upor vrednosti 150 Ω .

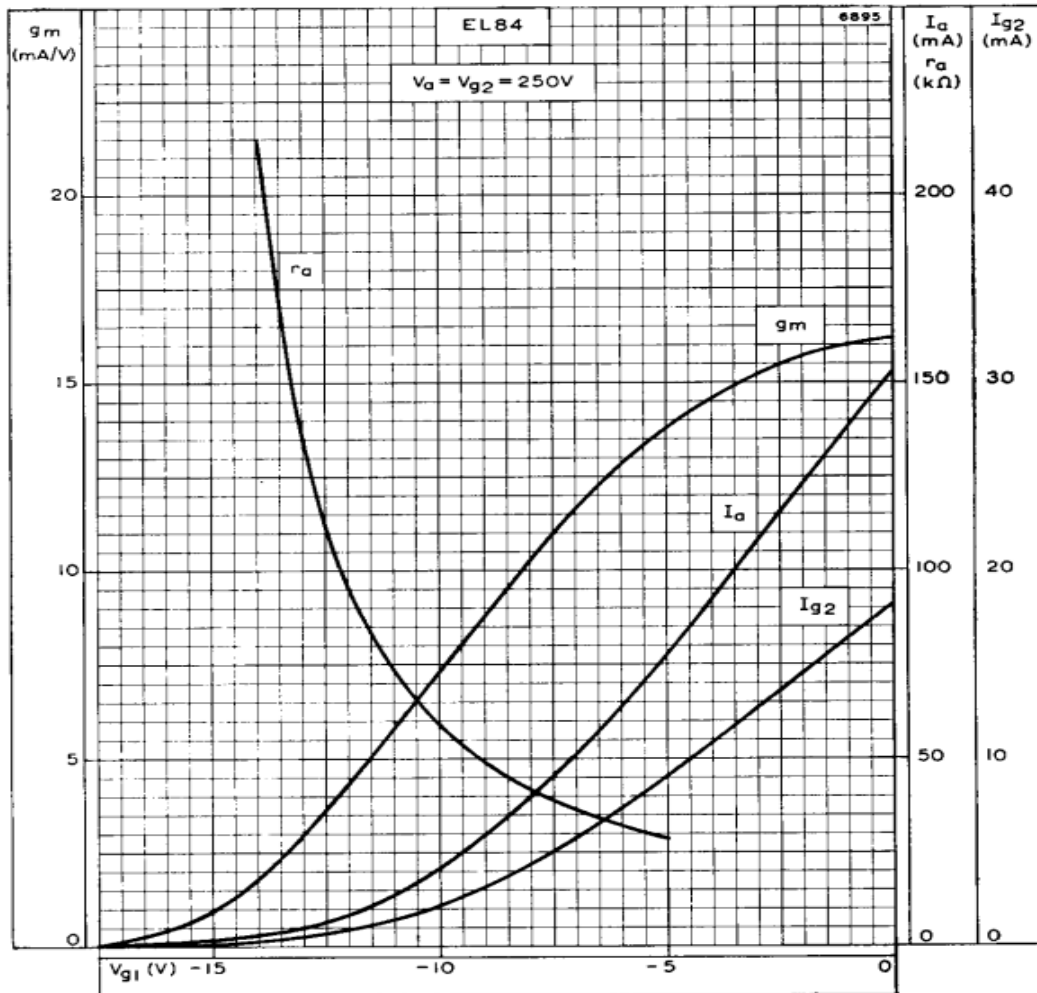
6.4.2 Izračun katodnega kondenzatorja C_k

$$C = \frac{1}{2\pi f * R_k}$$

Iz izračunane upornosti 150 Ω in izbrane frekvenčne meje 10Hz smo dobili vrednost 100 μ F.

6.4.3 Izbira upora zaslonske/pospeševalne mrežice

Ta upor smo izbrali tako, da smo najprej izbrali napetost na mrežici, ki je bila podana na podatkovnem listu elektronke. V našem primeru je bilo to 250V. Tok mrežice pa smo dobili iz grafa za prednapetost 7V približno 5mA.

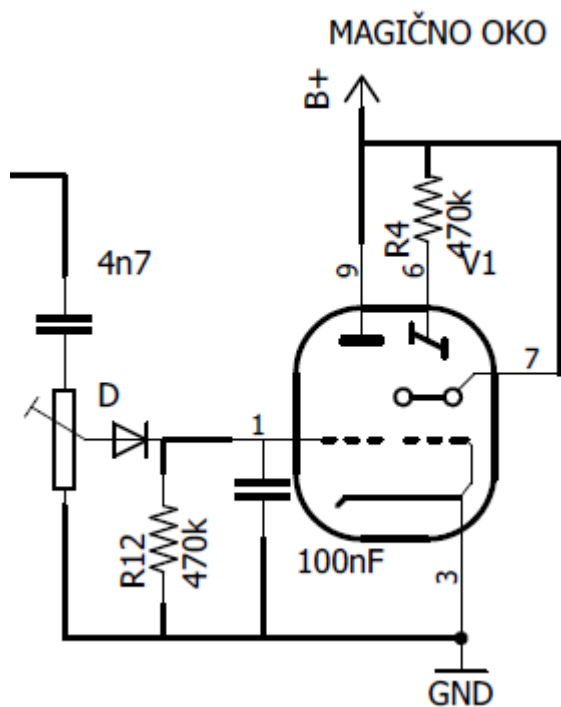


Slika 28: Graf toka pospeševalne mrežice (vir: podatkovni list, www.r-type.org, 2016)

$$U_{R_{g2}} = U_{B+} - U_{g2} = 280 - 240 = 40V$$

$$R_g (R16) = U_{R_{g2}} / I_{g2} = 40 V / 4mA = 10k\Omega$$

6.5 Magično oko

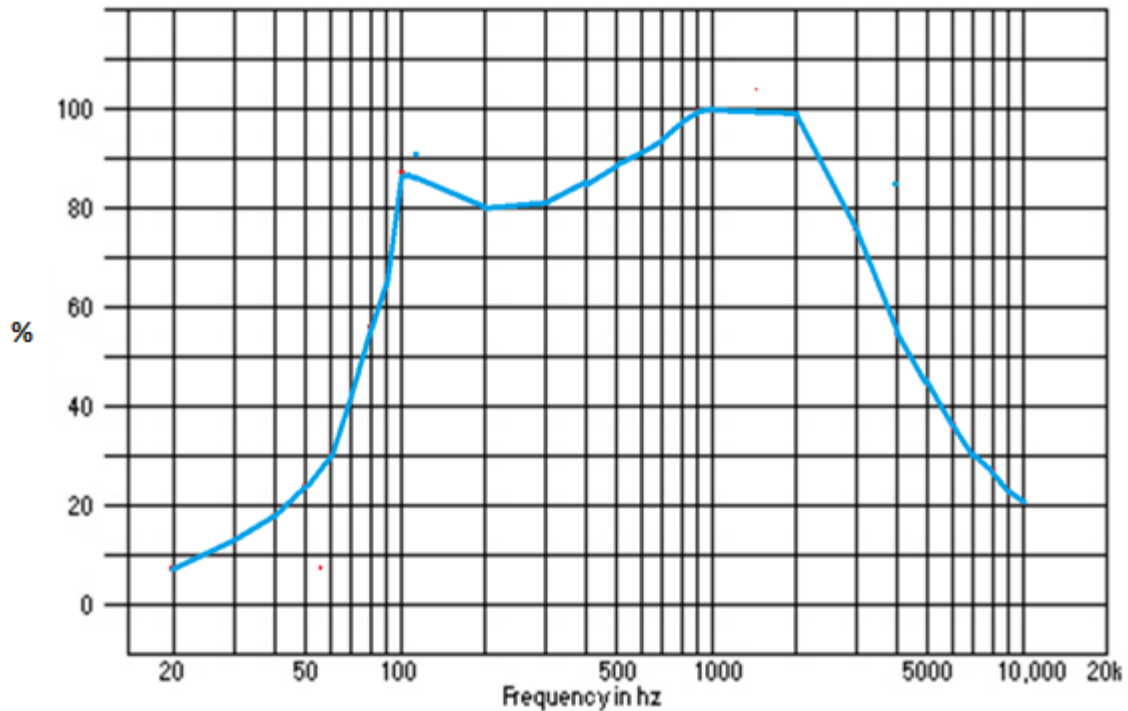


Slika 29:EM84 Magično oko (avtorsko delo)

Magično oko je elektronka, ki na podlagi napetosti na krmilni mrežici spreminja prikaz na »zaslonu« iz fosforja. Sestavljena je iz ojačevalne stopnje in prikazovalnika. Deluje na negativni vhodni napetosti, ki se razlikuje od elektronke do elektronke in je približno od -10V do 0V ali -20V do 0V. Zato smo v vezju uporabili polvalni usmernik, ki daje na izhodu samo negativno napetost. Na vhodu elektronke smo vezali kondenzator 100nF, ki zagotovi, da je prikaz bolj enakomeren. Na vhod očesa smo vezali trimmer upor s katerim nastavljamo odzivnost elektronke. Vhod pa je preko kondenzatorja 4n7 priključen na anodo pentode EL84.

7.UGOTOVITVE: FREKVENČNA KARAKTERISTIKA IN POPAČENJE

7.1 Frekvenčna karakteristika



Slika 30: Frekvenčna karakteristika (avtorsko delo)

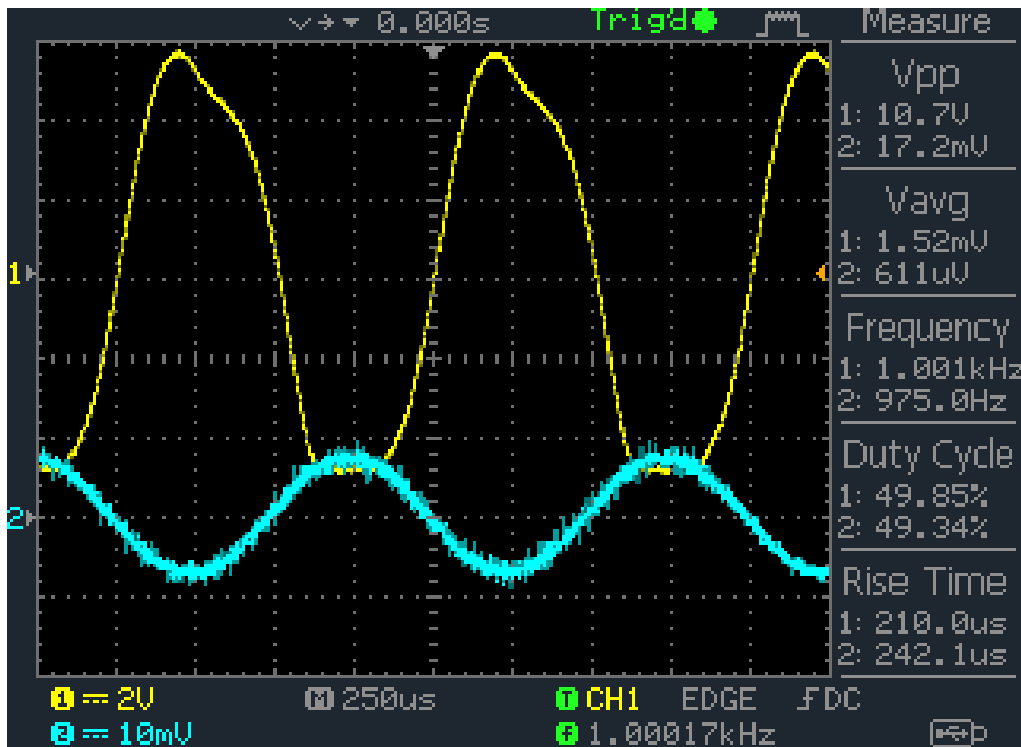
Iz izmerjene frekvenčne karakteristike ojačevalnika s priključenim zvočnikom smo ugotovili, da je ojačanje med 600Hz in 6kHz neenakomerno lomljeno. Ko pa smo merili odzivnost na osciloskopu, je bila ta na celotnem frekvenčnem področju dokaj enakomerna, v mejah normale.

Takšna karakteristika je posledica izbranih elementov:

- zvočnika,
- izhodnega transformatorja,
- 5.6 nF kondenzatorja na primarju izhodnega transformatorja, ki slabi visoke frekvence.

Če bi imeli več sredstev za izbrane elemente, bi lahko izdelali še boljši ojačevalnik. Po naši presoji pa je količina vloženi sredstev dala zelo dober rezultat. Ta ojačevalnik nam služi kot osnova, na kateri bomo v bodočnosti zgradili ojačevalnik, ki se bo lahko po karakteristikah primerjal s tovarniškimi izdelki.

7.2 Popačenje pri prekrmiljenju



Slika 31:Popačenje (avtorsko delo)

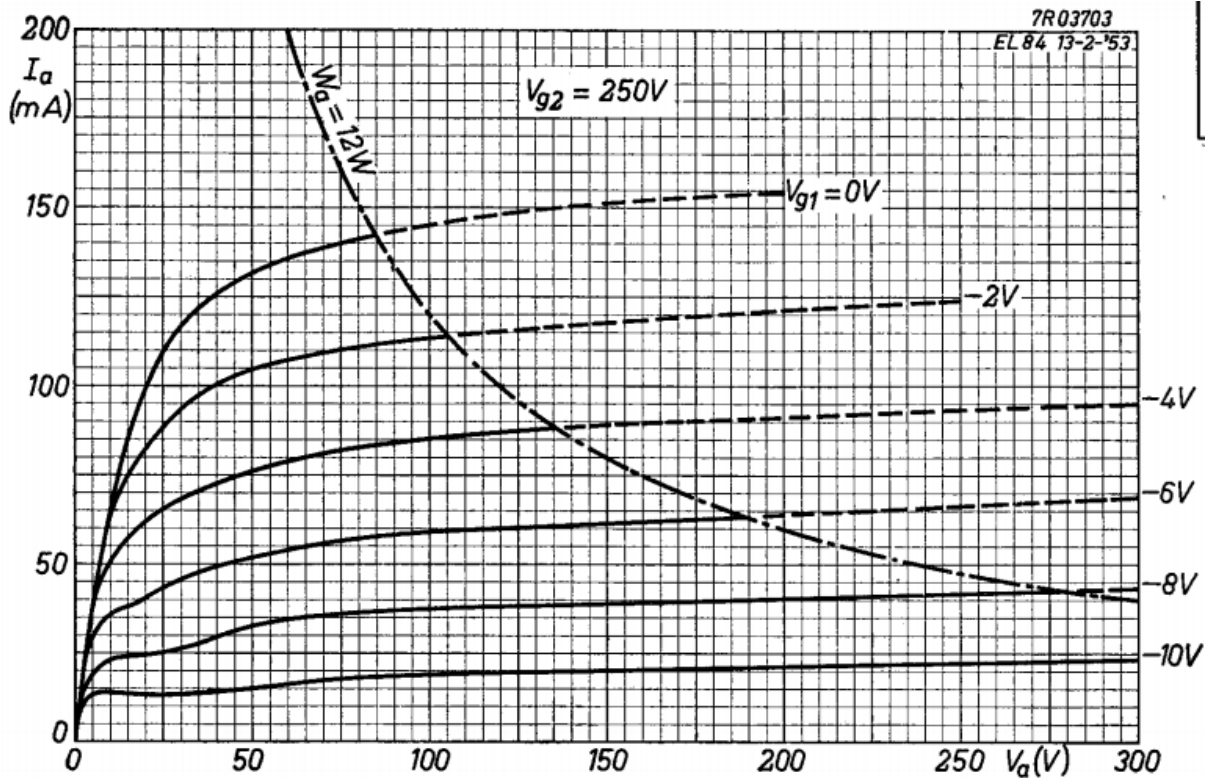
S slike odziva osciloskopa smo videli, da pri prekrmiljenju z veliko prevelikim vhodnim signalom ojačevalnik na elektronke izhodnega signala ne popači tako, kot bi ga tranzistorski ojačevalnik. To je tudi največja prednost ojačevalnikov na elektronke. S tem smo dobili »pozitiven« odговор na naše vprašanje:

Ugotovili smo, da kljub temu da ojačevalnik signal popači, je ta vseeno dovolj kvaliteten, da bi ga lahko uporabili kot alternativo tranzistorskemu.

Razlogi za takšno popačenje so:

- transformator, ki se na spremembe velikega prekrmiljenja ne more odzivati
- elektronka popači signal, saj je anodni tok skoraj neodvisen od anodne napetosti.(slika 32). Ko se anodna napetost zaradi vhodnega signala na krmilni mrežici začne zmanjševati se začne dodatno zmanjševati anodni tok. Zato se anodna napetost mora povišati, ker je napajalna napetost stalna.
- podobno se zgodi tudi pri povečevanju anodne napetosti. Takrat se začne višati anodni tok in se anodna napetost mora zmanjšati, ker je napajalna napetost stalna.,

Ta učinek povratne vezave lahko vidimo na sliki 31. Popačenje ni enako na obeh straneh, zaradi nelinearne odvisnosti anodnega toka od anodne napetosti pri manjših vrednostih anodne napetosti.



Slika 32: Karakteristika I_a/U_a (vir: podatkovni list, www.r-type.org, 2016)

8. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Naloga je družbeno odgovorna, saj lahko rezultate uporabimo kot vir informacij za druge izboljšane različice avdio ojačevalnikov. Obenem si bodo lahko vsi tisti, ki jih to področje zanima, zadevo pogledali, da bodo lažje prišli do rešitve problemov, ki jih imajo, ko začnejo samogradnjo tovrstnih ojačevalnikov.

9.VIRI

Mihailović, B. : Radiotehnika za svakoga, 1948, Beograd, Sveopšta biblioteka Beograd

Philips podatkovni list (elektronski vir)

Dostopno na URL naslovu: <http://www.datasheetcatalog.com> (30.1.2016)

Slika pentode (elektronski vir)

Dostopno na URL naslovu: <http://www.panospappas.gr/tetrodetube.jpg> (30.1.2016)

Philips podatkovni list (elektronski vir)

Dostopno na URL naslovu: <http://www.r-type.org> (30.1.2016)

Egebo, H.: Vacuum tube biasing methodes: (elektronski vir)

Dostopno na URL naslovu: <http://www.hans-egebo.dk/Tutorial/biasing.html> (30.1.2016)

Priloga:

