

»Mladi za napredek Maribora 2014«

31. srečanje

Avdio ojačevalec na elektrone

Raziskovalno področje: Elektrotehnika, elektronika

Raziskovalna naloga

ŒƆq | KWWWŒSROZ ÁSŒS¥ ÒS

T ^} d | ~~À~~ Ü Ó Ò Û V Á Ñ Õ Æ Ú Õ Æ Ü Q

¥[aUÜÖP RZŠSVÜUE WP ŠP Q SŹ U ŠŹA Œ Œ Œ Œ Œ

Maribor, januar 2014

Kazalo

KAZALO SLIK.....	4
POVZETEK	5
UVOD	6
ZGODOVINA ELEKTRONIK.....	7
DELOVANJE ELEKTRONIKE	11
IZDELAVA AVDIO NAPRAVE	13
Ojačevalnik.....	13
Napajalnik	14
Koncept cevnega ojačevalnika	16
Shema cevnega hi-fi ojačevalnika	17
Elektronski viri	19

KAZALO SLIK

Slika 1.: Žarilna nitka v stekleni bučki	8
Slika 2.: Žarilna nitka in kovinski trak v stekleni bučki.....	8
Slika 3.: Prehod prostih elektronov	9
Slika 4.: Pri obrnjeni polariteti ni pretoka	9
Slika 5.: Model elektronke po De Forestu	10
Slika 6.: Elektronke med delovanjem (žareče)	12
Slika 7.: Shema napajalnega dela ojačevalca	15
Slika 8.: Shema ojačevalnika.....	18

POVZETEK

Ker živimo v dobi digitalnih ojačevalcev sem se odločil da raziščem delovanje starejših ojačevalcev na elektronke. Obstaja veliko različnih ojačevalcev na elektronke, saj je razlika npr. med kitarskimi in hi-fi ojačevalniki. Raziskal bom lastnosti, kvaliteto in uporabnost ojačevalca na elektronke. Ti ojačevalci so danes zelo redki in temu so tudi primerno visoke cene, saj ni veliko podjetij ki izdelujejo ojačevalce na elektronke. Takšen ojačevalnik bom tudi poizkusil narediti in poizkusil primerjati tranzistorski ojačevalnik in ojačevalnik na elektronke. Obenem se bom preizkusil v navijanju transformatorjev, da bom lahko še znižal ceno moje samogradnje. Upam, da bo ojačevalec zadovoljivo deloval.

UVOD

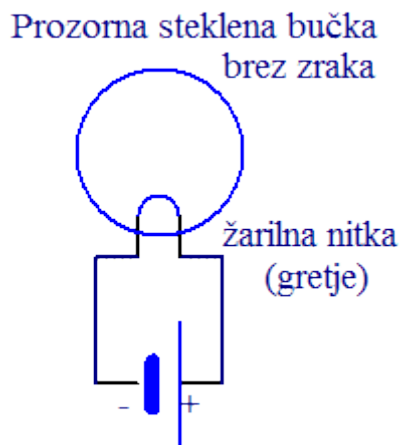
Ker imam zelo rad glasbo in z njo povezane stvari sem se odločil da raziščem delovanje avdio ojačevalcev. Ugotovil sem, da ojačevalci na elektronke še vedno imajo nekatere boljše lastnosti v primerjavi z digitalnimi in sem se zato odločil za izdelavo in raziskovanje delovanja. Kot že verjetno veste se danes v večini uporabljajo digitalni ojačevalci narejeni iz zelo veliko tranzistorjev, ki so zamenjali nekdanje elektronke. V vseh napravah imamo veliko integriranih vezij, ki so narejeni iz milijonov tranzistorjev in so kompleksno izdelani.

Marsikje se še vedno na podstrešju najdejo stari katodni televizorji, ki pa imajo še vedno dobro kvaliteto slike v primerjavi z novejšimi televizijam. Podobno je tudi pri ojačevalnikih zvoka, poskušal bom dokazati, da so enostavnejše in zastarele stvari lahko delujejo celo boljše kot sodobne naprave.

ZGODOVINA ELEKTRONIK

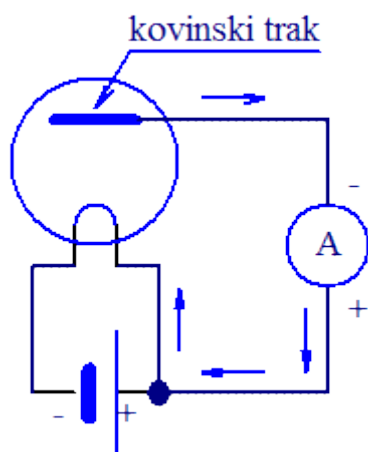
Pogosto zapostavljen del študija moderne elektronike so elektronke, znane tudi kot elektronske cevi ali vakuumске cevi (oz. po domače: "lampe"). Skoraj popolnoma s polprevodniki in integriranimi vezji zasenčeno področje je nekoč dominiralo v elektroniki. V resnici se je zgodovinski prehod iz "električnih" v "elektronska" vezja začel z elektronkami in tako se je odprlo čisto novo področje električnih vezij: način krmiljenja električnega toka z drugim električnim signalom (v primeru elektronk je krmilni signal male napetosti). Polprevodniški "nasprotnik" elektronki je seveda tranzistor. Tranzistorji opravljajo isto funkcijo kot elektronke: bipolarni tranzistorji kontrolirajo pretok elektronov v nekem električnem krogu z manjšim pretokom elektronov (bipolarni tranzistorji) in z napetostjo pri tranzistorjih z učinkom polja. V obeh primerih relativno mali električni signal krmili relativno velik električni tok. To je bistvena razlika med "elektronskim" in "električnim", kjer tok določa Ohmov zakon, vodniki in komponente. Čeprav so elektronke zastarele v vseh pogledih, razen nekaterih izjem, so še vedno vredne študija. Če nič drugega je zanimivo kako stvari delujejo, za lažje razumevanje današnjih tehnologij. Zato bom skušal s svojimi besedami opisati nastanek in razvoj elektronk.

Thomas Alva Edison, ta plodovit ameriški izumitelj, je znan kot izumitelj žarnice. Bolje povedano, izpopolnil je izum žarnice. Edisonov uspešen projekt iz 1879 leta je bil pravzaprav posledica demonstracije principa uporabe električnega toka za ogrevanje ozkega kovinskega traku (žarilna nit) do belega sijaja (Sir Humphry Davy). Edison je uspel, ker je svojo žarilno nit (narejena iz karbonizirane nitke za šivanje) zaprl v prozorno stekleno bučko iz katere je izsesal zrak. V tem vakuumu lahko žarilna nit žari do belega sijaja ne da bi se iztrošila in zgorela.



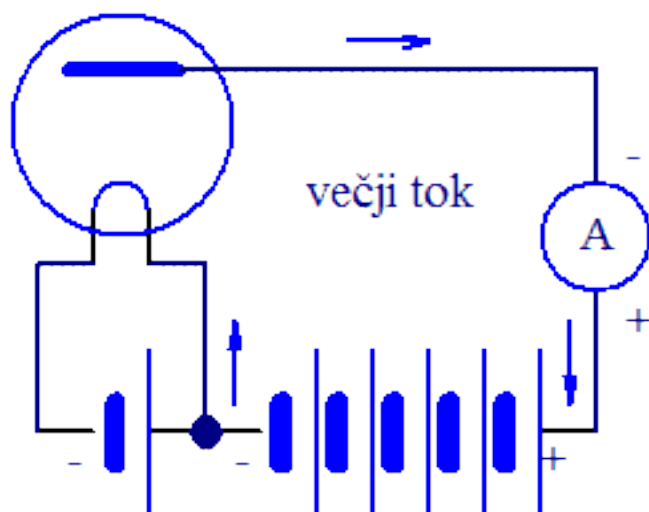
Slika 1.: Žarilna nitka v stekleni bučki

Pri eksperimentiranju (okoli leta 1883) je Edison vstavil kovinski trak skupaj z žarilno nitjo v stekleno vakuumirano bučko. Med trak in enim izmed priključkov žarilne niti je vezal občutljiv merilni inštrument galvanometer. Opazil je da teče skozi galvanometer el. tok vedno ko je žarilna nitka žarela, ob prenehanju žarjenja pa tudi toka ni bilo.



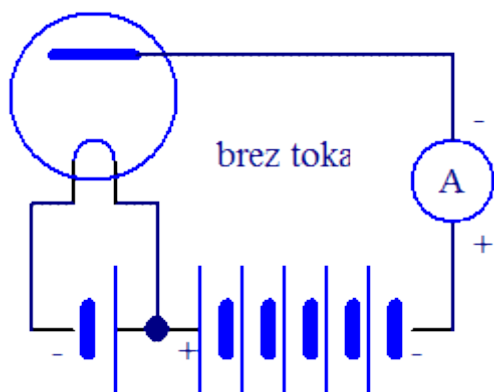
Slika 2.: Žarilna nitka in kovinski trak v stekleni bučki

Do belega razžarjena žarilna nit je sproščala proste elektrone v vakuumu bučke, ki so našli pot preko galvanometra nazaj v žarilno nit. Radovednost ga je gnala da je priključil v krog z galvanometrom baterijo precej visoke napetosti, da bi mali tok podprl. Stekel je dosti večji tok med žarilni nitko in kovinskim trakom.



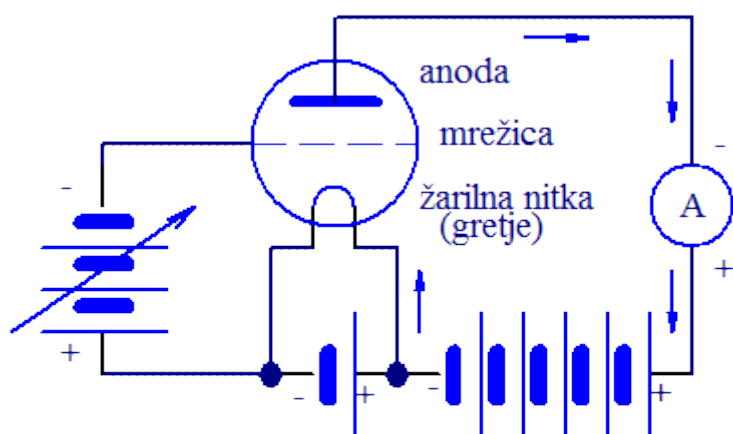
Slika 3.: Prehod prostih elektronov

Ko je obrnil polariteto baterije, je tok prenehal teči. Tako je slučajno odkril princip delovanja Pdiode. Na žalost pa ni v tem videl nobene možnosti praktične uporabe le-tega. Nadaljeval je z izpopolnjevanjem svoje žarnice. Enosmeren tok elektronov te naprave (imenovan Edison efekt) je ostal samo kot zanimivost, dokler ni J.A. Fleming začel eksperimentirati z uporabo tega efekta (leta 1895). Fleming je tržil to napravo kot "ventil" in s tem sprožil celo novo študijo električnih krogov. Vakuumske diode (tudi Flemingov "ventil") niso sposobne prevajati velikih tokov, tako da Flemingov izum ni bil uporaben v izmeničnih električnih krogih velike moči, razen za male električne signale.



Slika 4.: Pri obrnjeni polariteti ni pretoka

Nato se je začel leta 1906 "igrati" drug izumitelj z imenom Lee De Forest z Edisonovim efektom, da vidi kaj se da iz tega fenomena narediti. Tako je prišel do presenetljivega odkritja, ko je postavil med žarilni nitjo in kovinski trak (ki je medtem postala že ploščica zaradi večje površine) kovinski zaslon. S priključitvijo male napetosti med zaslonom in žarilno nitjo se da regulirati tok med gretjem in kovinsko ploščico. De Forest je poimenoval ta zaslon med žarilno nitko in kovinsko ploščico mrežica. Ni samo velikost napetosti med mrežico in žarilno nitko tista ki krmili tok, ampak tudi polariteta. Negativna napetost med mrežico in žarilno nitko duši tok med žarilno nitko in kovinsko ploščico in obratno. Morda največje odkritje je bilo to da majhna napetost in majhen tok mrežice krmili velike tokove med žarilno nitko in kovinsko ploščico. De Forest je torej naredi njegov ventil nastavljiv, se pravi da ojača slab električni signal. Ta njegova iznajdba (poimenoval jo je "Audion") je pomembno pripomogla k razvoju komunikacijske tehnike.



anodni tok lahko kontroliramo z
priklučitvijo majhne kontrolne napetosti
med mrežico in žarilno nitko (gretjem)

Slika 5.: Model elektronke po De Forestu

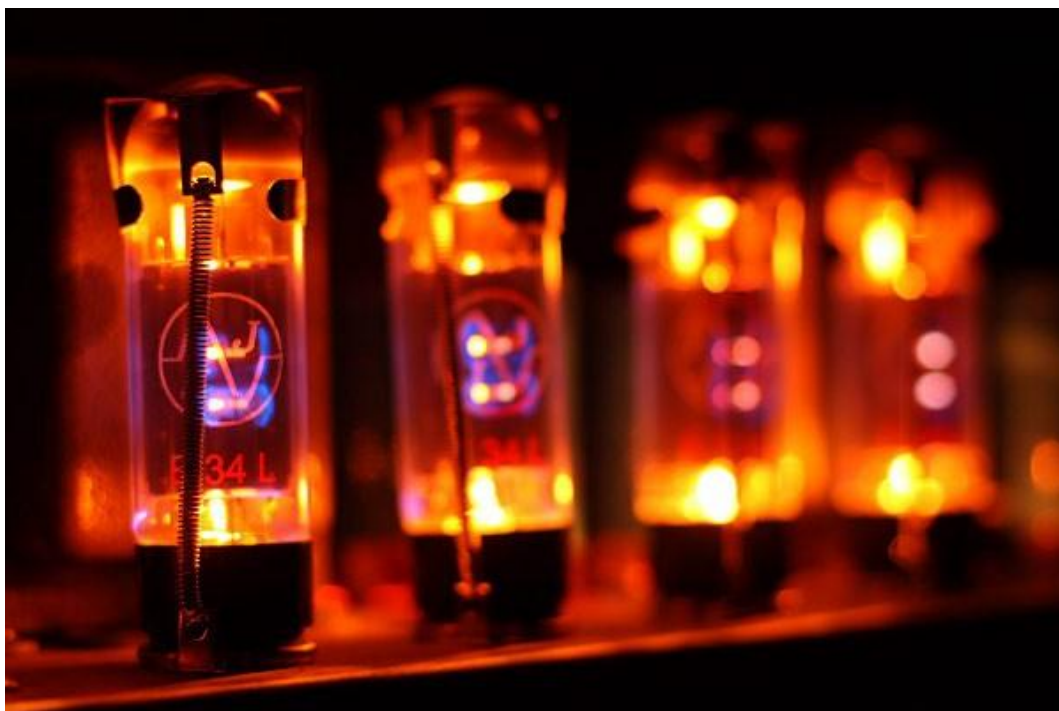
DELOVANJE ELEKTRONKE

Elektronka deluje na principu termične emisije elektronov. Ti krožijo na zunanjih oblah atomov prevodnega materiala in potrebujejo zelo malo energije, da zapustijo atom. Pri sobni temperaturi je v kovini veliko prostih elektronov, ki se neovirano gibajo po notranjosti kovine, ne morajo pa je zapustiti ker imajo premalo energije. Z višanjem temperature pridobivajo elektroni vse večjo kinetično energijo, ko je ta dovolj visoka začnejo elektroni zapuščati kovino. Čim višja je temperatura, tem več je elektronov, ki zapustijo površino kovine. Temu pojavu pravimo termična emisija elektronov, delu, ki ga pri tem opravijo pa izstopno delo. Elektroni tvorijo na površini kovine elektronski oblak.

Ta pojav je zelo pomemben za delovanje vakuumskih elementov. Omogoča da elektroni iz kovine izstopajo v prazen prosto, kjer delujejo električne sile. Elektronike imajo pod katodo žarilno nitko, ki služi za segrevanje katode (indirektno segrevanje). Kot katodo lahko uporabimo tudi samo žarilno nitko (direktno ogrevanje), vendar izmenična napetost, ki segreva nitko, povzroča neželeno nihanje toka v elektroniki.

Vakuumska dioda je sestavljena iz anode, katode in žarilne nitke, ki so vse skupaj zaprte v stekleno bučko. Iz bučke je izsesan zrak, tako da je v njej zelo malo atomov in molekul, ki bi preprečevale gibanje elektronov od katode do anode. Pri segrevanju katode, pride do termične emisije elektronov. Med anodo in elektrodo priključimo električno napetost, tako da je anoda pozitivna. S tem nastane električno polje, ki deluje na elektrone, ki so zapustili katodo, tako, da elektroni tečejo skozi vakuum proti pozitivni anodi. Če napetostni vir med anodo in katodo obrnemo tok preneha teči. Vakuumska dioda prevaja tok le v eno smer zato je bil to prvi usmerniški element. Krmilna mrežica in morebitne ostale elektrode vplivajo na število elektronov, ki prispejo do anode.

Obstaja cela množica različnih vrst elektronk. Najbolj znane elektronke so: trioda, tetroda, pentoda, tlivka, katodna cev, titratron in ignitron. Zaradi žarenja lahko elektronki v žargonu rečemo tudi žarnica.



Slika 6.: Elektronke med delovanjem (žareče)

IZDELAVA AVDIO NAPRAVE

Ojačevalnik

Odlično zvoneč ojačevalnik z izrednim zunanjim videzom in kvaliteto izdelavo so sanje vsakega amaterskega izdelovalca avdio elektronike. Če pa je izdelek še zelo poceni je to še en plus, da se lotimo samogradnje. Kdor uživa v visoko kvalitetni reprodukciji bo vsekakor uresničil svoje sanje. Večina tranzistorskih ojačevalnikov priznanih proizvajalcev nima tako »toplega« in »mehkega« zvoka. Osnovni vzrok za razliko med zvokom tranzistorja in elektronke je v harmonskih popačenjih. Zvokovne prednosti elektronke so predvsem popačenja drugačne vrste kot pri tranzistorjih in širšem frekvenčnem obsegu. Zvok elektronk je bolj topel in mehak. Vzrok za to lahko pripisujemo temu, da pri elektronki elektronke prehajajo iz kovine po vakuumu pri tranzistorju pa skozi silicij. Vakuum pa je veliko mehkejši prenosni medij kot silicij. Ojačevalniki na elektronke so v splošnem zelo preprosti, če jih primerjamo z današnjim digitalnimi izdelki. Ni potrebno, da v podrobnosti razumete teoretično delovanje in projektiranje ojačevalnikov na elektronke za izgradnjo visoko kvalitetnega ojačevalnika.

Projektanti so glede na potrebno izhodno moč razvili dva osnovna tipa ojačevalnikov;

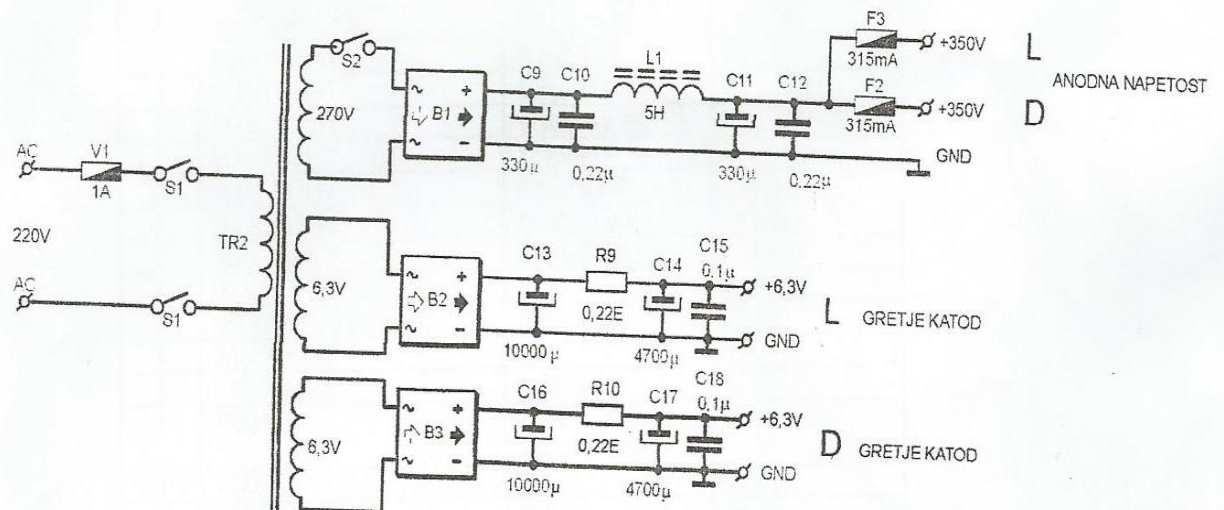
- Za manjše moči. Vezja delujejo v najbolj linearnem delu ojačevalne krivulje. To je A razred. Vezja so preprostejša in z njimi dosežemo večjo kakovost. Imenujemo jih samostojna SE (signal ended) vezja.
- Za večje moči se uporablja protifazna ali (push-pull) vezja. Deluje v razredu AB in B

Vsaka vezava ima svoje prednosti in slabosti.

SE (signal ended) vezja imajo naslednje lasnosti: Potrebujemo kvalitetnejši usmernik. Izhodni transformator potrebuje zračno režo zaradi enosmerne napetosti, ki teče skozenj.

Napajalnik

Kot sem omenil je dober napajalnik zelo pomemben del pri SE izvedbah ojačevalnikov. Potrebujemo transformator z izhodno napetostjo 270V 250ma za anodno napetost. Gretje je za oba kanala ločeno. Na transformatorju potrebujemo 6,3V 2,5A za gretje. Anodno napetost vseh elektronk dobimo iz transformatorja, ki jo z usmernikom G1 usmerimo in filtriramo z elektrolitoma 330 μ F(400V) in dušilko L1. Uskladiščena energija mora biti zaradi dobre dinamike pri največjih glasnostih čim večja. Vrednost kapacitivnosti izhodnega elektrolita lahko zaradi tega povečamo do 1000 μ F (400V). Vzporedno elektrolitoma je priporočljivo vezati poliesterska kondenzatorja 220nF (400V), kar bistveno pripomore k kvaliteti napajalnika. Na izhodu dobimo okrog 350V enosmerne napetosti. Preklopnik S2 omogoča zakasnitev vklopa anodne napetosti za približno eno minuto. V tem času se elektronke segrejejo. S tem podaljšamo življenjsko dobo elektronk. Namesto stikala lahko uporabimo časovnik 1min z relejem, ki nam vklopi anodno napetost, vendar je lažje če to rešimo z stikalom. Vezje je bilo objavljeno v starejši številki neke reviji. Ti. »brum« ojačevalnika se lahko pojavi preko kurjav elektronk, če jih napajamo z izmenično napetostjo. Zato sem izbral enosmerno napajanje gretja obeh elektronk, tudi izhodne El34, ki porabi 1,5A toka ECC81 pa 300mA. Skupno torej 1,8A1.



Slika 7.: Shema napajalnega dela ojačevalca

Koncept cevnega ojačevalnika

Ta je v večji meri podoben nekdanjim rešitvam toda ob uporabi visoko kvalitetnih materialov. Ojačevalnik je nameščen v ohišje sestavljeno iz lesenega lakiranega okvirja in zgornje jeklene pločevine. Zgornja plošča in transformatorji so barvani z visoko obstojno temperaturno barvo v spreju. Na zgornji plošči so pritrjeni omrežni in izhodni transformator, elektronke, gladilni elektrolitski kondenzator, stikalo za vklop, preklopnik za izbiro vhodov ter preklopnik za glasnost. Vsi ostali elementi so pritrjeni na nosilno ploščo iz vitroplasta ali kar na elemente. Podnožja elektronk so pritrjena na zgornje ohišje. Povezave med elementi so klasične žične brez tiskanega vezja razen plošče za zakasnitev anodne napetosti in napajalnik za enosmerno napetost gretja elektronk z mehkim vklopom s pomočjo MOSFET tranzistorja, ki sta na tiskanem vezju. Mehak vklop gretja in zakasnitev anodne napetosti podaljšuje življenjsko dobo elektronk. Poseben problem je vezava mase. Lahko uporabimo širši trak bakrene pločevine, ki se poveže s ohišjem v eni točki. Vsi priključki mase se vežejo na ta vod. Vse povezave morajo biti kar se da kratke in dobro prispajkane.

Ojačevalnik ima kar nekaj prednosti pred starimi cevnimi ojačevalniki:

- Izhodni transformator je izdelan iz kvalitetnega dvojnega C jedra
- Uporabljeni so samo visoko kvalitetni metaloplastni upori
- Gretje obeh elektronk je napajano z zelo glajeno enosmerno napetostjo
- Uporabljena sta kvalitetna visoko kapacitivna elektrolita v napajalniku

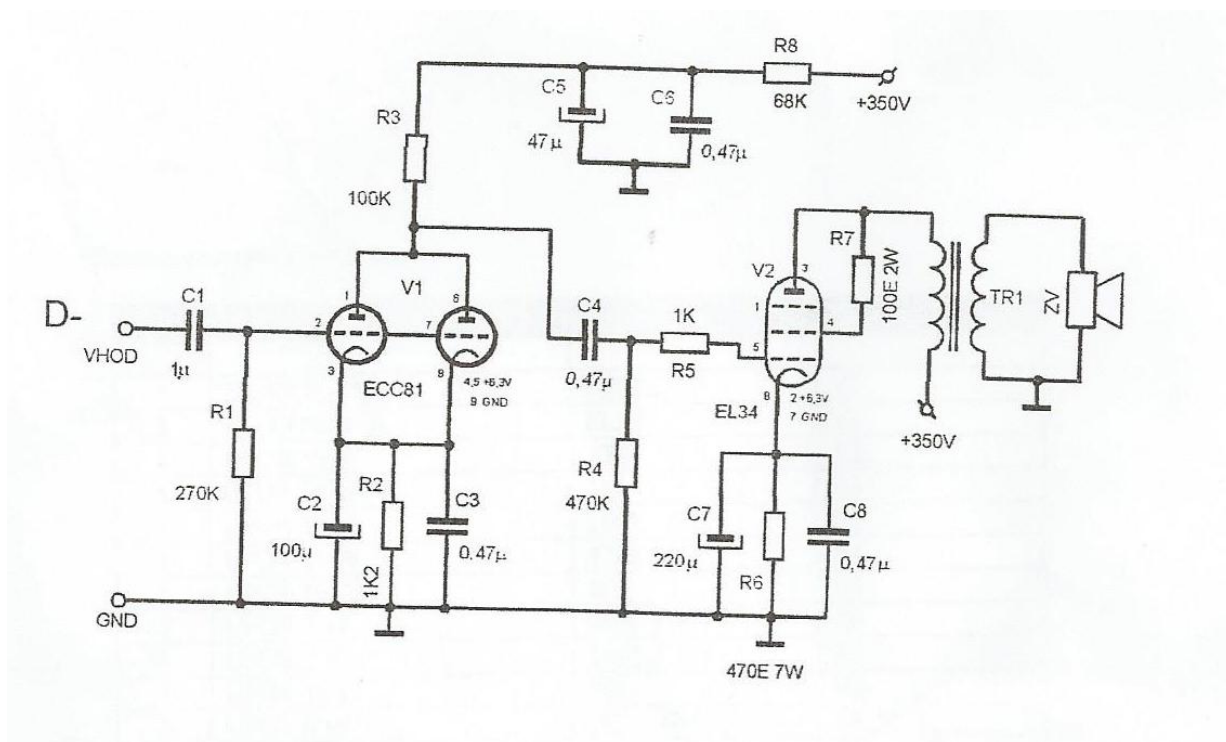
Shema cevnega hi-fi ojačevalnika

Predstavljam vam shemo izbranega SE(signal ended) ojačevalnika z pentodo EL34 na izhodu in dvojno triodo ECC81 na vhodu.

Sama izhodna stopnja je klasična in v osnovni povzeta iz starejših katalogov proizvajalca elektronk EL34. Pobudna stopnja je sestavljena iz dvojne triode ECC81. Brez sprememb lahko vzamemo tudi elektronko ECC83, ki ima nekoliko večje ojačanje toda tokovno je manj zmogljiva. Pobudna stopnja je vezana paralelno zaradi tokovne zmogljivosti in manjšega šuma. Tako rešimo problem s pobudo krmilne mrežice izhodne elektronke EL34. Rezultat je čvrstejše in hitrejše nizkotonsko področje.

Vhodni signal pripeljemo preko vhodnega potenciometra na ločilni kondenzator C1 $1\mu\text{F}$ na prvo krmilno mrežico ECC81. Upor R1 270K pa je vezan na krmilno mrežico, in odpravlja vpliv motenj. Katodni upor R2 1K2 in premostitvena kondenzatorja C2 $100\mu\text{F}$ in C3 470nF skrbijo za pravilno katodno prednapetost elektronke ECC81. Anodni upor R3 100K ima v serijo še dodatni upor 68K in kondenzator $47\mu\text{F}$ vezan na maso. Slednja tvorita filter za preprečevanje povratnega vpliva med ojačevalnima stopnjama.

Ojačen signal iz anode ECC81 pripeljemo preko vezanega $0,47\mu\text{F}$ in upora 1K na krmilno mrežico končne elektronke EL34. Prenapetost za drugo mrežico je izvedena z uporom 100Ω 2W. Katodni žični upor 470Ω moči 7W in kondenzatorja $220\mu\text{F}$ in 470nF skrbijo za pravilno katodno napetost. Izmenični del anodnega toka pa na sekundarni strani izhodnega transformatorja inducira uporabni izhodni signal, ki poganja zvočnik.



Slika 8.: Shema ojačevalnika

Elektronski viri:

<http://users.triera.net/zupanbra/index.html> (25.1.2014)

<http://sl.wikipedia.org/> (25.1.2014)