

**»Mladi za napredek Maribora 2019«  
36.srečanje**

# **OJAČEVALEC ZA HIŠNI KINO**

Raziskovalno področje: Elektrotehnika, elektronika

Raziskovalna naloga

Avtor: ROK PALKO, ŽAN ŽELEZNIK

Mentor: DARKO VIŠOČNIK

Šola: SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Število točk: 157      Prostor za nalepko

Mesto: 4

Priznanje: srebrno

**Maribor, januar 2019**

**»Mladi za napredek Maribora 2019«  
36.srečanje**

# **OJAČEVALEC ZA HIŠNI KINO**

Raziskovalno področje: Elektrotehnika, elektronika

Raziskovalna naloga

Prostor za nalepko

**Maribor, januar 2019**

## KAZALO VSEBINE:

1.	povzetek .....	4
2.	Zahvala .....	4
3.	uvod .....	4
4.	hipoteze in cilji .....	5
5.	vsebinski del .....	6
5.1	Ojačevalnik .....	6
5.2	Deljenje ojačevalnikov .....	6
5.3	Zgodovina ojačevalnikov .....	6
5.4	Tranzistor .....	7
5.5	Napajanje .....	8
6	IZDELAVA ojačevalnika .....	8
6.1	Metodologija .....	8
6.2	Instrumenti .....	8
6.3	Kreiranje vezja .....	9
6.4	Preoblikovanje vezja v merilo 1:1 za tiskanino .....	11
6.5	Računanje in predvidevanje kakšen bo ojačevalnik .....	11
6.6	Kosovnica materiala .....	12
6.7	Jedkanje ploščice .....	13
6.7.1	Prvi poizkus izdelave ploščice .....	13
6.7.2	Drugi poizkus izdelave ploščice .....	14
6.8	Spajkanje elementov .....	15
7	testiranje ojačevalca .....	17
7.1	Napajanje .....	17
7.2	Preizkušanje .....	18
7.3	Nastavljanje mirovnega toka .....	18
7.4	Prvi priklop na šolski usmernik .....	19
7.5	Testiranje druge ploščice .....	20
7.6	Sestavljanje napajalnega vezja .....	20
7.7	Testiranje ojačevalnika na napajalni ploščici .....	22
7.8	Pregrevanje tranzistorjev .....	23
7.9	Testiranje na ozvočenju .....	24
8	meritve ojačevalne ploščice .....	25
9	predojačevalec .....	26

9.1	Ventilacijski sistem .....	28
9.2	Napajanje pred ojačevalca in ventilatorjev .....	29
10	Končne specifikacije ojačevalca.....	30
11	družbena odgovornost.....	31
12	zaključek .....	31
14	Viri in literatura .....	32
14.1	Viri slik.....	32

## KAZALO SLIK:

Slika 1:	Tranzistor v TO3 ohišju (vir naveden v virih slik).....	7
Slika 2:	Tranzistor BD139 in BD 140 (vir naveden v virih slik) .....	7
Slika 3:	Tranzistor MJE (vir naveden v virih slik).....	7
Slika 4:	Toroid (lasten vir).....	8
Slika 5:	Inštrument/multimeter (vir naveden v virih slik) .....	9
Slika 6:	osciloskop (vir naveden v virih slik) .....	9
Slika 7:	Funkcijski generator(vir naveden v virih slik) .....	9
Slika 8:	Vežje zvočnega ojačevalca (lasten vir).....	11
Slika 9:	Prenašanje laserskega tiska na bakreno ploščico (lasten vir).....	13
Slika 10:	Rezanje ploščice na pravo velikost (lasten vir) .....	13
Slika 11:	Jedkanje ploščice (lasten vir) .....	13
Slika 12:	Ploščica s shemo pod UV svetlobo (lasten vir).....	14
Slika 13:	Rezanje ploščice po shemi (lasten vir) .....	14
Slika 14:	Popravljanje strukture na foliji (lasten vir) .....	14
Slika 15:	Jedkanje ploščice (lasten vir) .....	15
Slika 16:	Popravljanje povezav na ploščici (lasten vir).....	15
Slika 17:	Ploščica v razvijalcu (lasten vir).....	15
Slika 18:	Končni izdelek (lastni vir).....	15
Slika 19:	Pri spajkani elementi (lasten vir) .....	15
Slika 20:	Vrtanje lukenj (lasten vir) .....	16
Slika 21:	Pritrjen hladilnik s tranzistorji na ploščico (lasten vir).....	16
Slika 22:	Vrtanje lukenj na aluminiju (lasten vir) .....	16
Slika 23:	Pritrjen aluminij s povezanimi bazami (lasten vir).....	17
Slika 24:	Končana ploščica s spodnje strani (lasten vir) .....	17
Slika 25:	Napajalno vezje (lasten vir).....	18
Slika 26:	Testiranje prve ploščice (lasten vir).....	19
Slika 27:	Preizkušanje zvočnega ojačevalnika na zvočniku (lasten vir) .....	20
Slika 28:	Napajalno vezje v »Eaglu« (lasten vir).....	21
Slika 29:	Sestavljeno napajalno vezje (lasten vir).....	21
Slika 30:	Narisano vezje na folijo (lasten vir).....	22
Slika 31:	Risanje vezja za foto postopek (lasten vir) .....	22
Slika 32:	Popravljanje skurjenih povezav (lasten vir).....	23

Slika 33: Hladilnik na tranzistorjih (lasten vir) .....	23
Slika 34: Ojačevalec z vsemi hladilniki (lasten vir) .....	24
Slika 36: Testiranje na 400w zvočnikih (lasten vir) .....	25
Slika 35: Pritrjen ojačevalec (lasten vir).....	25
Slika 37: Delanje meritve ojačevalca (lasten vir).....	26
Slika 38: »Chinc" priklop (vir naveden v virih slik) .....	27
Slika 39: Priklop za slušalke (vir naveden v virih slik) .....	27
Slika 40: Pred ojačevalec (vir naveden v virih slik).....	27
Slika 42 Krmilno vezje ventilacijskega sistema (lasten vir) .....	29

## **1. POVZETEK**

V raziskovalni nalogi sva želela narediti zmogljiv in zelo kvaliteten ojačevalnik, predvsem pa sva se želela naučiti kako ojačevalniki delujejo. Pri tej nalogi sva se veliko naučila o delu s elektroniko. Predstavila bova, kako sva se soočala s problemi in kako sva jih reševala. Cilj naloge je narediti vezje, ki bi zagotavljalo vsaj štiristo vatov moči. Ojačevalnik, ki deluje na principu tranzistorjev, sestavljajo: dve ploščici (da bo ojačevalec HI-FI); sistem za hlajenje z ventilatorji; pred ojačevalnik ter napajalnik za vse stopnje.

## **2. ZAHVALA**

Najprej bi se rada zahvalila predvsem mentorju, ki nama je pomagal pri razvoju sistema, pomagal pri nekaterih izračunih in nama podal veliko potrebnega dodatnega znanja za izvedbo naloge. Zahvalila bi se tudi podjetju, ki nama je dobavilo ves material in pomagalo z zelo uporabnimi nasveti. Zahvaliti se morava vsem profesorjem elektro stroke, ki so nama pomagali, kakor tudi gospe profesorici za slovenščino, ki nama je lektorirala seminarsko nalogo. Zahvala tudi razredniku za upoštevanje manjkanja pri pouku. Na koncu se morava zahvaliti osebi, ki nama je omogočila test ojačevalnika na zelo kvalitetnih in dragih zvočnih omaric. Iskreno hvala vsem za pomoč in podporo pri raziskovalni nalogi.

## **3. UVOD**

Za najino raziskovalno nalogo sva dobila idejo pri poslušanju nekvalitetne glasbe na veselici. Ker sva zelo nora na dobro glasbo, sva se odločila to raziskati pri upravljalcu glasbe. Ugotovila sva, da ima res zelo slabe ojačevalne sisteme, ki so bili zelo dragi, vendar nekvalitetni. Tako sva dobila idejo, da bi se naučila kako ojačevalniki delujejo in tako bi lahko popravila in naredila za soliden denar kvaliteten ojačevalec. Začela sva izdelovati prenosne zvočnike in jih tudi stilsko oblikovala, ampak imela sva premalo izkušenj in znanja, da bi popolnoma sama naredila ojačevalec. S pomočjo mentorja sva se odločila, da bova to nalogo izpeljala teoretično, kot tudi praktično.

## 4. HIPOTEZE IN CILJI

Pred začetkom raziskovanja sva si zastavila nekaj hipotez, ki sva jih med nastajanjem raziskovalne naloge potrdila ali ovrgla:

1.) Novejši ojačevalni sistemi imajo boljši izkoristek

To hipotezo sva delno potrdila, saj imajo zvočni ojačevalniki danes res boljši izkoristek, kot so ga imeli včasih, vendar ta izkoristek se giblje okoli 50%, kar pomeni, da imajo ojačevalniki dandanes zelo veliko toplotnih izgub, saj so večinoma tranzistorski in ti se pri velikih močeh zelo grejejo, takšen problem s toploto sva imela tudi midva.

2.) Tranzistorski ojačevalniki so boljši od ojačevalcev na vakuumске cevi

To hipotezo sva potrdila, saj imajo ojačevalniki s elektronkami veliko manjši izkoristek od tranzistorskih. Tranzistorski ojačevalniki so boljši tudi po moči, saj elektronke ne prenesejo takšne moči kot tranzistorji.

3.) Ojačevalec za hišni kino mora imeti veliko moč

To hipotezo sva ovrgla, saj sva naredila ojačevalnik s štiristo vatov moči po kanalu, kar je za hišni kino pretirano. Že samo ena stopnja je za okoli sto ljudi, kaj šele dve. Zato sva se odločila da ta ojačevalnik ne bo za hišni kino, ampak prav ojačevalnik za studijsko ali manjše koncertno ozvočenje.

## 5. VSEBINSKI DEL

### 5.1 Ojačevalnik

Glavna naloga ojačevalnikov je ojačati vhodne signale in pri tem mora tudi upoštevati kvaliteto zvoka. V našem primeru gre za zvočni ojačevalnik. To pomeni, da ojačuje frekvence, ki jih lahko človeško uho sliši. V dokumentu iz katerega sva izhajala je navedeno, da ojačuje od 5 Hz pa vse do 20KHz kar je precej velik razpon. Nekateri ljudje vseh teh frekvenc sploh ne slišijo, saj povprečen človek sliši od 40Hz pa do 18KHz. Ojačevalnike najdemo praktično povsod, kjer imamo opravka z zvokom. Imajo velik pomen za zabavo. Večina mlajše populacije ima rada kakovostno glasbo, kakovosti pa ne dobimo brez kakovostnega ojačevalnika in zvočnih omaric. Včasih se nam zahoče, da glasbo damo tudi kolikor se da glasno, tukaj pa pride predvsem do maksimalne moči, ki jo premore ojačevalec.

### 5.2 Deljenje ojačevalnikov

Ojačevalniki so v osnovi razdeljeni po razredih. Začne se pri razredu A in se nadaljuje vse do razreda T. To ne pomeni direktno kakovost zvoka, ki ga dobimo iz ojačevalca ampak način, kako ojačevalnik ojačuje. Ojačevalniki razreda AB ojačujejo v obe polariteti, kar pomeni da pri tem ojačevalcu se membrana zvočnika premika navzven in tudi navznoter, kar posledično pomeni boljši izkoristek zvočnika. Med tem ko pa B, C in ostali do T, pa ojačujejo samo v pozitivno polariteto. Velja pa tudi dejstvo, da so ojačevalni sistemi D razreda dosti bolj ekonomični, vendar manj kvalitetni. Zato so ojačevalni sistemi D razreda primerni za prenosne naprave. Midva imava na razpolago dovolj prostora in želiva narediti kvaliteten ojačevalec, zato je ojačevalec AB razreda primeren za to raziskovalno nalogo.

### 5.3 Zgodovina ojačevalnikov

Prvi ojačevalnik zvoka se je pojavil kot fonograf v letu 1877, ki ga je izumil Thomas Alva Edison. Služil je za zapisovanje zvočnih sporočil na valj, prevlečen s kovinsko folijo. Zvočne vibracije so se zbirale v lijaku z membrano, ki je vibracije prenesla na iglo, ki je drsela po valju in delala zareze v kovinsko plast valja. Ojačevalniki so se razvijali kot mehanski, takšni z lijaki in membranami. A pojavile so se potrebe po večji moči. S prihodom elektrike in elektronk, pa smo dobili prve ojačevalnike na vakuumске cevi oz. tako imenovane žarnice. Ojačevalnike takšne vrste uporabljamo še danes za hi-fi sisteme, nekateri pa kar tako iz tradicije in prepričanja o kvaliteti. Takšni ojačevalniki so bili zelo vzdržljivi in niso bili tako občutljivi kot kakšni novodobni v diskretnih vezjih. So se pa tudi zelo segrevali in porabili ogromno energije. Tudi moči takšnih ojačevalcev niso bile vrtoglave v tistih časih. Zavzemali so ogromno prostora in bili zahtevni za izdelavo, problemi so bili tudi s hlajenjem. Uporabljali so jih praktično povsod, saj so takrat bili inovacija na področju zvoka. Najpogosteje v radio in televizijskih sprejemnikih.

S prihodom tranzistorjev se je zadeva zelo poenostavila. Tranzistorji so nadomestili elektronke in postali eden izmed največkrat uporabljenih elektronskih elementov. Sama zasnova vezja v ojačevalnikih se ni pretirano spremenila. Praktično na mestih kjer so stale pred tem elektronke so sedaj nameščeni tranzistorji. Na tranzistorje je dodan tudi hladilnik, ki



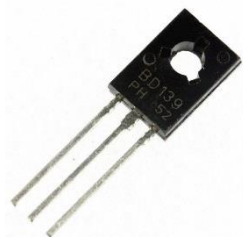
ga na elektronkah ni bilo. To pomeni tudi manjše izgube in večje dopustne tokove tudi v obliki konstantne obremenitve. S tranzistorji je mogoče zgraditi najrazličnejše moči in tudi razrede ojačevalcev. Pogosto tranzistorske ojačevalnike uvrščamo med najboljše in najkvalitetnejše kar je možno doseči. Tudi obremenimo jih lahko precej bolj kot ojačevalnike na vakuumске cevi in kvaliteta zvoka se je nekoliko dvignila. Tranzistorski ojačevalniki so zavzemali tudi precej manj prostora. Tako so začeli izdelovati na primer manjše prenosne radie, ki so imeli napajanje z baterijami. V sodobnih časih poznamo tudi ojačevalnike kot čipe oziroma integrirana vezja. Eden izmed preprostih tovrstnih ojačevalnikov je enostaven operacijski ojačevalnik, ki sva ga uporabila tudi midva v najinem ojačevalcu. Takšni ojačevalni čipi nimajo pretiranih moči. Navaden operacijski ojačevalnik ne moremo obremeniti z več kot kakšnih 3W. Popačenja in harmonično raztezanje je pri takšnih zasnovah precej veliko zato se za ta namen uporabljajo zelo redko. Najdemo jih vgrajene v ojačevalce kot pred ojačenje za napetostno in močnostno stopnjo pri ojačevalcih. Močnostna stopnja se lahko doda, kot ojačenje moči na osnovi električnega toka, da se zagotovi ustrezna moč. Poznamo tudi mostične vezave diskretnih vezji z katerimi lahko dosežemo moči tudi vse do 100W a vseeno za večje moči je najbolje uporabiti kombinacijo operacijskih ojačevalnikov in tranzistorjev ali pa vakuumskih žarnic.

## 5.4 Tranzistor

Tranzistor je polprevodniški elektronski element s tremi priključki, ki ga uporabljamo z ojačevane, preklapljanje, uravnavanje napetosti, modulacijo signalov in številne druge namene. Je eden ključnih gradnikov sodobne elektronike in uporabljen praktično v vsaki elektronski napravi. Skoraj popolnoma je nadomestil velike energetske potratne elektronke. Zato sva se tudi odločila, da sva naredila ojačevalec s tranzistorji, saj je ceneje, manj potrošno s električno energijo itd. Vendar s tranzistorji je nekoličen problem, saj se kar precej grejejo. Tukaj pridejo v poštev tranzistorji v TO3 ohišju, saj je že sama osnova narejena tako, da prenese velike temperature in velika prednost teh tranzistorjev je da se jih da pritrditi na hladilnik., ter pri tem se tranzistorji stikajo hladilnika s kar precejšno površino. Za najin projekt sva uporabljala tranzistorje: BD 140, BD 139, MJE 15031, MJE 15030 in za končne tranzistorje sva uporabila MJ15003.



Slika 1: Tranzistor v TO3 ohišju (vir naveden v virih slik)



Slika 2: Tranzistor BD139 in BD 140 (vir naveden v virih slik)



Slika 3: Tranzistor MJE (vir naveden v virih slik)

## 5.5 Napajanje

Za tako močen ojačevalnik je bilo težko najti pravilno napajanje. Ker sva potrebovala dvojno navitje, je bila najboljša izbira toroidni transformator (toroid) z dvojn timer navitjem. Toroid je spiralno navita žica v obliki prstana. Za toroid je značilno, da ima magnetno polje »ujeto« v notranjosti, zato ne pride do motenj med elementi.

Pri pretvarjanju izmenične napetosti v enosmerno je potrebno upoštevati, da je napetost po usmerjanju višja od vrednosti za katero je toroid narejen. To lahko izračunamo, tako da napetost, ki naj bi jo imel toroid množimo s koren timer iz dva.

Podatki transformatorja za dve ojačevalni ploščici:

Moč: 1000Var

Primarna napetost: 230 V

Sekundarna napetost: 2x36 V

Napetost po usmerjanju: 2x50 V



Slika 4: Toroid (lasten vir)

## 6 IZDELAVA OJAČEVALNIKA

### 6.1 Metodologija

Izdelava ojačevalca je potekala v več stopnjah. Najina naloga je sestavljena iz več delov in sicer iz električne sheme, vezja za tiskano ploščico, vstavljanja elementov, sistema za potrebno hlajenje, narediti ustrezen pred ojačevalec in pa sestaviti napajalno vezje. Dela sva se lotila postopoma in sicer sva začela risat vezje za ojačevalnik.

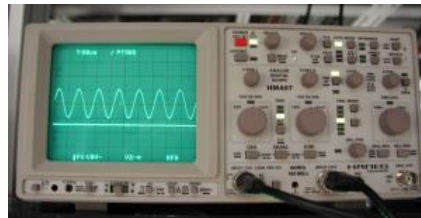
### 6.2 Instrumenti

Za najino delo sva nujno potrebovala digitalni multimeter, s katerim sva naredila veliko meritev. S tem instrumentom sva merila predvsem upornosti, napetost in kratke stike. Ampak z elektronskim inštrumentom nisva mogla izmeriti vseh napetosti pri delovanju, ker inštrumenti natančno merijo napetost le pri 50Hz nihanja. Zato sva za testiranje izhoda ojačevalnika potrebovala tudi elektronski osciloskop, ki omogoča opazovanje izmeničnega

signala in zraven kaže tudi napetosti, po navadi kot dvodimenzionalni graf enega ali več električnih potencialnih razlik. Uporabila sva dvo kanalni osciloskop za primerjanje vhodnega in izhodnega signala. Nekaj krat sva potrebovala tudi funkcijski generator za nastavljanje točnih frekvenc. Tega sva uporabljala predvsem pri ugotavljanju odstopnih frekvenc na ojačevalcu.



Slika 5: Inštrument/multimeter (vir naveden v virih slik)



Slika 6: osciloskop (vir naveden v virih slik)



Slika 7: Funkcijski generator(vir naveden v virih slik)

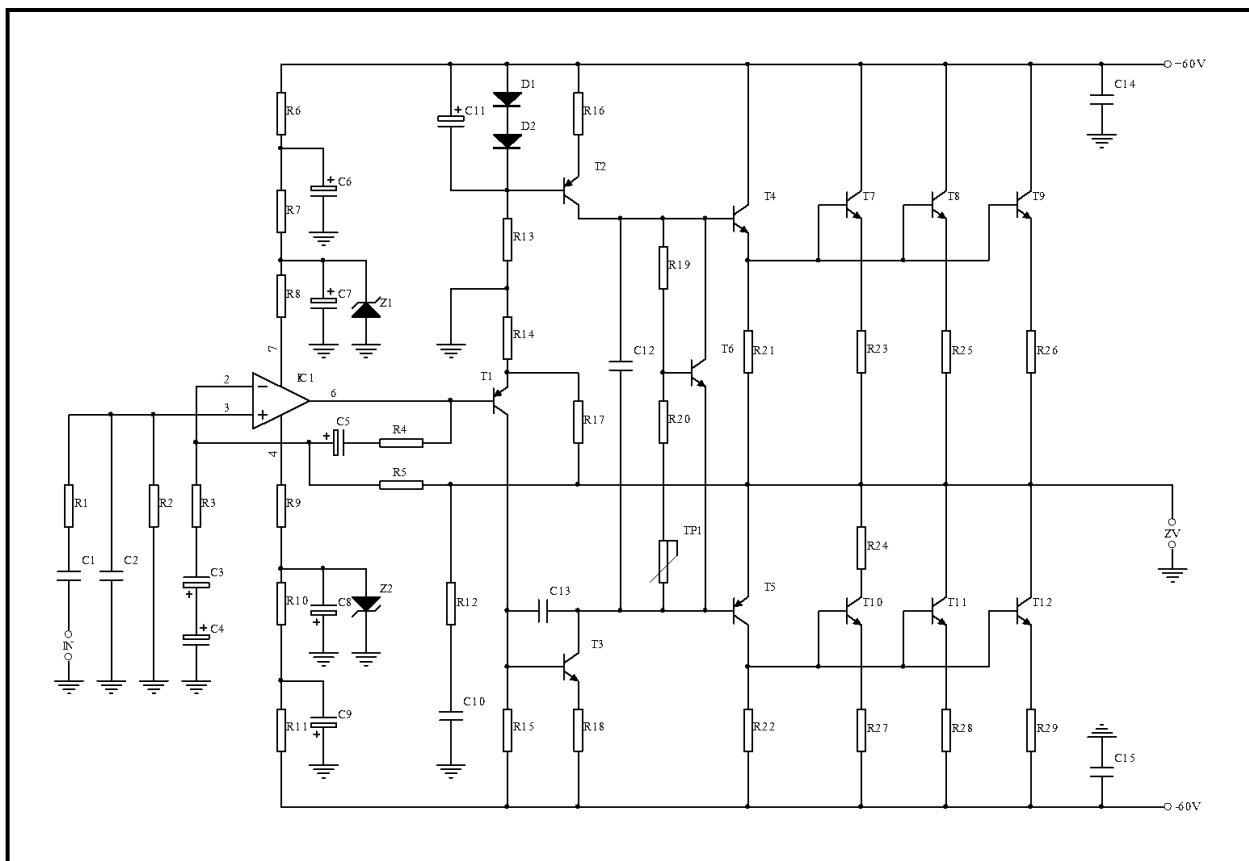
### 6.3 Kreiranje vezja

Na spletu se najde ogromno ojačevalnikov s shemami in tiskanin. A največkrat se pojavi problem prav pri zahtevah uporabnika. Na spletu sva našla ogromno vezji ojačevalcev razreda A in D tipa in to je bil prvi problem. Drugi se je pojavil pri moči, saj sva hotela nekaj več kot standardiziranih 100W. Tudi mentor nama je predlagal nekaj vezji, a nobeno ni ustrezalo najinim pogojem in kriterijem, kakšen ojačevalnik želiva narediti. Po mnogih poizkusih iskanja in predlogov sva našla enega, ki je ustrezal ojačevalcu razreda AB vendar je imel le 200W na kanal in nekoliko cenejši ter manj kvaliteten operacijski ojačevalnik za pred ojačenje zvoka v samem ojačevalniku. Opazila sva tudi, da se na spletu enostavno najde vezje, moči do sto vatov, za večje moči pa se zaplete, kot da ostajajo vezja večjih moči nekakšna skrivnost za širšo javnosti. Enostavno nama ni ostalo kaj drugega kot da razvijeva vezje kar sama. Zavedala sva se, da bo to dolgotrajen postopek, a nama ni ostalo druga. Da lahko to izvedeva, sva potrebovala nekaj dodatnega znanja. Najin samo-učni postopek je trajal dober mesec. Morala sva razumeti kako ojačevalna vezja delujejo, zato sva iskala informacije na spletu, a si z njim nisva mogla dosti pomagati. Za pomoč sva prosila najinega mentorja in nekaj profesorjev za prakso. Od njih sva dobila dosti koristnih informacij in razlag o komponentah takšnega vezja. Shemo vezja sva imela v glavi približno takšnega ojačevalca, a vseeno to ni dovolj, da nariševa vezje. Zmenila sva se za en dan, ko bova ves čas namenila izdelavi vezja in se popolnoma poglobila v vezje. Ta dan je bil med vikendom, da sva imela časa na pretek. Začela sva s pred ojačenjem za napetostno ojačenje. To je območje okoli čipa, napajanje čipa, vhodni signal in podobno. Najprej sva se lotila napajanja čipa. Za ta del sva črpala informacije iz poglavja elektrotehnike o obremenjenem delilniku napetosti. Naredila sva delilnik z »Zenner« diodami, elektrolitskimi kondenzatorji in upori. Pri tem gre predvsem za natančnost napetosti in da je koliko se le da enaka na pozitivni in negativni strani čipa. Pri delilniku napetosti se pojavi manjša težava, ker se tok omejuje. Za primer potrebe po večjem toku sva dodala manjše elektrolitske kondenzatorje, ki v sunku zagotovijo zadostno količino energije, da čip deluje brez prekinitev in morebitnih rezanj zvoka. To se lahko pojavi

predvsem pri nižjih frekvencah in velikih obremenitvah vezja. Operacijski ojačevalnik potrebuje tudi povratno vezavo. Ta služi za stabilizacijo čipa. Preprečuje nepredvidena nihanja, posledica tega je neuravnovešen zvok, kar pomeni da nekaj časa ojačuje normalno nato nekoliko glasneje in nekoliko tišje. To preprečimo z povratno vezavo iz priključka čipa šest, oziroma izhoda na negativni vhod dva prek upora in kondenzatorja. Signal pripeljemo do čipa preko kondenzatorja in upora pri katerem so vezani elementi v štirih vejah tudi proti masi. Takšen način priklopa preprečuje šum v ojačevalcu. Se pa pojavi problem, saj manj šumov želimo, bližje signalu morava spraviti maso, ampak s tem narašča vhodna napetost. Ker si prizadevava izdelati čim boljši ojačevalec, sva elemente dimenzionirala tako, da imava sedaj en volt vhodne napetosti, kot skoraj vsako ojačevalno vezje, vendar sva pri testiranju opazila, da so izhodi na napravah veliko manjši od enega volta, zato bova potrebovala tudi predojačevalnik. Signal sva nato speljala od čipa do tranzistorja, pri katerem se izvaja napetostno ojačane. To ojačenje se izvaja na podlagi napetosti in je predpogoj za končne tranzistorje, saj signal ki ga dobimo iz operacijskega ojačevalnika ni dovolj jak, da bi odpiral končne tranzistorje za tokovno ojačenje. Pri tem delu ima glavno vlogo tranzistor T1, ki deluje v obratnem razmerju s T2 in T3. Padeč napetosti na uporih R13 in R14, je ravno dovolj majhen, da še vpliva na končne tranzistorje. Ohmski uporniki so vstavljeni tudi iz negativne polaritete. Tak tranzistor ne zdrži velikih tokov zato se ga uporabi samo za napetostno ojačenje. Ker je tranzistor T1 glaven pri napetostnem jačanju, sva ga tudi zaščitila s so uporom R17. Napetostno jačanje se izvaja tudi s tranzistorji T2, T3, T4 in T5. Tranzistorji od T1 se razlikujejo po dopustnih tokovih in napetostih med bazo in kolektorjem. Napetosti, ki jih dobimo iz tranzistorjev so sedaj zadostne za proženje končnih tranzistorjev in jih lahko speljemo naprej do sedmih-konduktorjev. Ker izdelujeva končno stopnjo razreda AB je obvezna nastavitvev mirovnega toka. To naredimo s potenciometrom (trimerjem), ki se nahaja med obema tranzistorjema nasprotnih polaritet. Pred njega je dodanih nekaj uporov, za čim manjšo upornost trimerja, kar pomeni toliko večjo natančnost pri nastavljanju. Mirovni tok je pomemben del vsakega AB ojačevalca. Z njim uravnavamo napetost med obema poloma, nastavljena more biti na vrednost, ki zagotovi točno polovično napetost na pozitivno in negativno stran. Pri ojačevalcu te vrste se meri padeč napetosti na uporu R20. Preko Ohmovega zakona izračunamo tok skozenj in nastavimo potenciometer v pozicijo, ki spremeni tok tako, da odgovarja vrednosti od deset do dvajset mili amperov. Shema močnostnega pojačenja je preprosta. Uporabimo PNP tranzistorje, ki prenesejo velike tokove. Midva sva se odločila za MJ 15003. Predpostavila sva, da bo ojačevalec izdelan za gnanje 4Ω zvočnikov. S pomočjo tega sva izbrala tudi žične upore R21-R29. Ti upori služijo za uravnavanje tokov skozi tranzistorje. Preprečujejo, da bi ves potreben tok stekel samo skozi en tranzistor. To bi ga lahko poškodovalo, zato so nameščeni upori oziroma »driveri«, ki tok razvrščajo na vse tranzistorje enakomerno in vsi tranzistorji delujejo hkrati. Kondenzatorja C14 in C15 sta res da nizkih kapacitet a imata pomembno vlogo. Delujeta kot zlata rezerva elektrine, ko zmanjka zalog v napajalnih kondenzatorjih. Ti pridejo v poštev predvsem pri velikih obremenitvah, pri manjših pa so dodatna zaščita proti BRUM efektu, ki se pojavi pri pretvorbi napetosti iz izmenične v enosmerno.

Vendar vezja nisva naredila čisto sama, torej ga nisva izumila. Potrebovala sva temelj, da sva lahko naredila ojačevalec in ta temelj je iz seminarske naloge:

Lutovac Miodrag, Berane, Črna Gora (dostopno na e-naslovu: lutovac-ba@cg.yu)



Slika 8: Vezje zvočnega ojačevalca (lasten vir)

## 6.4 Preoblikovanje vezja v merilo 1:1 za tiskanino

Ko sva imela električno shemo, sva morala to narisat tiskano vezje, da sva ga lahko natisnila na ploščico (tiskanina). Kupila sva ves potreben material, ga izmerila in razporedila elemente po ploščici ter pri tem želela zavzeti čim manj prostora. Pri tem sva imela veliko težav, saj sva to delala prvič in zato sva prosila starejše dijake za pomoč.

## 6.5 Računanje in predvidevanje kakšen bo ojačevalnik

Tako sva naredila vezje za AB ojačevalnik, vendar vezje je samo za en kanal in midva sva hotela narediti ojačevalec za hišni kino. Torej ta ojačevalec bi imel dva kanala, da bi bil HI-FI ojačevalec. Prišla sva do enostavne rešitve, saj vezja nisva hotela spreminjati in sva se odločila, da bova naredila dve takšni ploščici. Tako bi imela na vsakem kanalu okoli štiristo vatov. Do te vrednosti sva prišla predvsem s izračuni in sklepanjem. Za vezje sva predvidela napajalno napetost petdeset voltov in deset amperov, po tem izračunu bi imela petsto vatni ojačevalec, vendar sva tukaj upoštevala izgube in tako sva prišla do vrednosti štiristotih vatov. Vendar to je samo teorija in z meritvami bova videla koliko je ta ojačevalec res sposoben.

## 6.6 Kosovnica materiala

Za začetek delanje ojačevalnika sva morala izbrati tudi material. Material sva predvsem pridobila iz predloge. Nekatero elemente sva tudi sama spremenila, tako da sva dobila večjo moč ojačevalnika. A pri tem sva morala izjemno paziti na omejitve določenih elementov, da jih zaščitiva pred preobremenitvijo.

R1 = 5k6	C1 = 470n	T1 = BD 140
R2 = 33k	C2 = 470p	T2 = MJE 15031*
R3 = 560Ω	C3 = C4 = 22uF /25v	T3 = MJE 15030*
R4 = 2k7	C5 = 10uF tantal	T4 = MJE 15030*
R5 = 33k	C6 = 100uF/63v	T5 = MJE 15031*
R6 = R7 = 5,6kΩ	C7 = 100uF/63v	T6 = BD 139
R8 = R9 = 100Ω	C8 = 100uF/63v	
R10 = R11 = 5,6kΩ	C9 = 100uF/63v	T7 – T12 = MJ 15003
R12 = 150Ω	C10 = 15n	
R13 = 27k	C11 = 100uF/10v	
R14 = 1k5	C12 = 100n	
R15 = 470Ω	C13 = 33p	
R16 = 68Ω	C14 = 100n/100v	
R17 = 27k	C15 = 100n/100v	
R18 = 68Ω		
R19 = 1k		TP1 = 470Ω
R20 = 470Ω		IC1 = TL 071
R21 = R22 = 68Ω		Z1 = Z2 = 15v
R23 –R29 0,18 Ω/5W		D1 = D2 = Navadna

Za napajanje ojačevalnika sva potrebovala dovolj velike kondenzatorje za glajenje napetosti. Uporabila sva:

Greatz: 50A

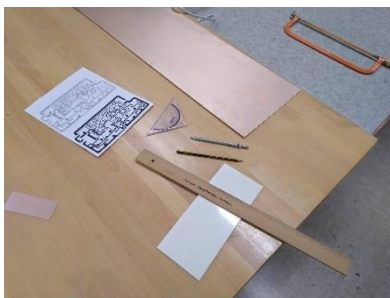
C1-C4 = 20.000 uF

## 6.7 Jedkanje ploščice

Ker še nikoli nisva jedkala, sva se tudi to morala naučiti na novo. Pri tem postopku nama je mentor veliko pomagal in naju tudi naučil nekaj zelo priročnega za elektro stroko.

### 6.7.1 Prvi poizkus izdelave ploščice

Najprej sva poizkusila s preslikanjem sheme tiskanega vezja na prosojen papir v merilu 1:1 in jo nalepila na bakreno ploščico. Nato sva natančno odmerila velikost ploščice in odrezala dovolj velik kos. Ploščico sva morala tudi dobro očistiti pred kopiranjem z agresivnim čistilom. Z gospodinjskim likalnikom sva segrevala list, tako da se je črno natisnjeno vezje prezrcalilo na bakreno ploščico. Toplota namreč segreje tisk, ki ga naredi laserski tiskalnik in se preslika iz papirja na ploščico pri visoki temperaturi. Nato sva ploščico namočila v vodo in počakala nekaj minut, da je papir odstopil od ploščice. Kolikor se papir ni sam odmočil sva ga odstranila ročno. Po končanem likanju in odstranjevanju papirja sva odpravila napake na slabem tisku s alkoholnim pisalom in prevlekla celotno vezje. Po tem sva bila pripravljena za jedkanje. V kislinsko raztopino solne kisline in vodikovega peroksida in dodatkom nekaj vode, da je bila raztopina manj agresivna, sva položila ploščico v zmes kislin in jo previdno pretakali, da smo odstranili odvečni baker na ploščici. Ostanek kisline sva odlila v posodo za kisline, ki jo je pripravil mentor. Ko sva s tem končala sva morala s agresivnim čistilom odstraniti ostali tisk iz ploščice. Zaradi varnosti in zagotavljanja kvalitete sva z elektronskim večnamenskim inštrumentom preverila vse povezave na ploščici, da nebi kje prišlo do kratkega stika ali pa prekinjene povezave med elementi. A ta postopek se je izkazal za neuspešen poizkus izdelave tiskanega vezja. Povezave so bile precej luknjaste in razdrte. Takšna ploščica enostavno ne bi zdržala takšne moči ojačevalca. Za povrh vsega je bakren sloj na tej ploščici debel le 18 mikro metrov. Premišljevali smo ali naj postopek ponovimo tudi na drugi ploščici, a raje nismo. Ploščica ni bila dovolj zanesljiva, da bi prenesla 400W moči. Vedela sva, da se bodo tudi končni tranzistorji precej grela. Na vsaki ploščici jih je po 6 kosov. Tudi ti potrebujejo hlajenje in ploščica obremenitve nebi zdržala.



Slika 10: Rezanje ploščice na pravono velikost (lasten vir)

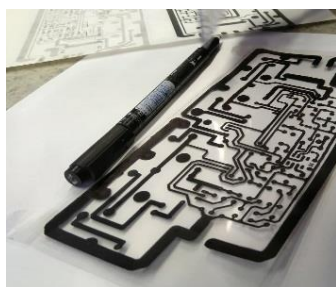
Slika 11: Jedkanje ploščice (lasten vir)



### 6.7.2 Drugi poizkus izdelave ploščice

Želela sva izdelati ploščico z rezkarjem, ki ga imamo v šoli. Za ta postopek bi morala celotno vezje prerisati v računalniški program »Eagle«. Ta postopek je za takšna vezja precej dolgotrajen in zakompliciran. Paziti je treba na vsako najmanjšo podrobnost. Za prerisovanje bi potrebovala ogromno časa, a časa nama je že precej primanjkovalo. December je šel proti koncu, midva pa sva imela še vse samo na listih in v mislih. Morala sva najti postopek ki bo zanesljiv in dovolj hiter, da nama uspe izdelati obe ploščici. Izbrala sva foto postopek. Pri tem se uporablja ploščica občutljiva na UV svetlobo, razvijalec, solna kislina in vodikov peroksid ter tisk. Najprej smo na prozorno folijo natisnili obstoječe vezje v razmerju 1:1. Z konico iz jekla sva odrezala kos ploščice in na njo prilepila folijo s tiskom. Preden sva jo nalepila sva prevlekla nekaj povezav na foliji, saj se niso idealno natisnile in so imele manjše prekinitve, ki bi ovirale delo. Nato sva ploščico z folijo položila na steklo UV komore in jo vključila ter zaprla. Po 2 minutah sva ploščico premaknila za nekaj centimetrov po steklu zaradi cevastih UV sijalk, da je lak na površini ploščice čim boljše reagiral na svetlobo po celotni površini. Po 4 minutah je bil postopek osvetljevanja končan. Komoro sva izključila in odstranila ploščico. Snela sva folijo iz ploščice in jo potopila v posodo z razvijalcem. Ta je povzročil, da se je na površini prikazal tisk, ki ni razpadel na UV svetlobi. Črne povezave na foliji so prepuščale zelo malo svetlobe zato se je lak na ploščici po razvijanju ohranil. Ploščico sva sprala z hladno tekočo vodo, razvijalec pa shranila nazaj v posodo, saj je razvijalec učinkovit še za nekaj postopkov. Vendar ker folija ni bila popolno črna sva za naslednjo ploščico folijo prevlekla z alkoholnim pisolom. Ampak že pri prvi ploščici se je po razvijanju pojavile pikice na nekaterih mestih, zato sva že razvito ploščico na kritičnih mestih prevlekla s alkoholnim pisolom. Nato sva dala ploščico v tekočino iz solne kisline in vodikovega peroksida. Kislina je razjedla ostali nezaščiten baker na ploščici. Ploščico sva nato dobro očistila in ker sva jo prevlekla s alkoholnim pisolom sva to morala tudi s acetonom očistiti.

Po končanem postopku sva preverila povezave in ker je bila ploščica zelo dobro narejena sva po tem postopku naredila še eno.



Slika 14: Popravljanje strukture na foliji (lasten vir)



Slika 13: Rezanje ploščice po shemi (lasten vir)

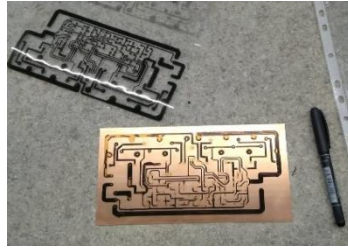


Slika 12: Ploščica s shemo pod UV svetlobo (lasten vir)





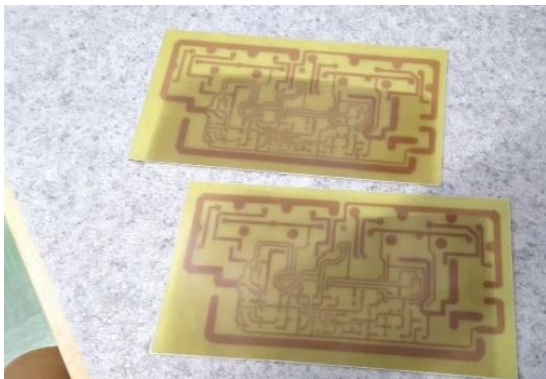
Slika 17: Ploščica v razvijalcu (lasten vir)



Slika 16: Popravljanje povezav na ploščici (lasten vir)



Slika 15: Jedkanje ploščice (lasten vir)



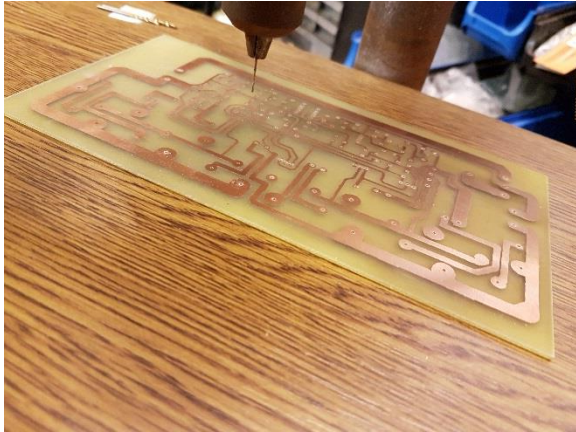
Slika 18: Končni izdelek (lastni vir)

## 6.8 Spajkanje elementov

Imela sva velik problem pri dobavi takšnih elementov, kot sva si jih zamislila, saj nisva dobila vseh naenkrat. Tako sva morala spajkati postopoma. Seveda sva morala najprej izvrtati luknje za elemente in pri tem sva uporabljala predvsem 0,75mm svedre, razen za končne tranzistorje sva uporabila 1.25mm svedre. Za spajkanje sva porabila skoraj štirinajst dni, saj sva morala čakati na material.



Slika 19: Pri spajkani elementi (lasten vir)



Slika 20: Vrtanje lukenj (lasten vir)

Ko sva vse prispajkala, sva morala narediti tudi hladilnik za končne tranzistorje. Mentor nama je dal idejo, da sva na končne tranzistorje pritrdila pravokotni aluminij. Tako sva morala vsak tranzistor ustrezno izolirati in ustrezno preurediti baze tranzistorje na ploščico. Pri tem sva imela kar nekaj problemov. Problemi so se pojavili predvsem pri vrtanju lukenj, saj sva morala izvrtati luknje točno na istem mestu, kot na ploščici. Vrtala sva vse ročno, torej z vrtalnim strojem, kar je bilo kar precej zahtevno.



Slika 21: Pritrjen hladilnik s tranzistorji na ploščico (lasten vir)

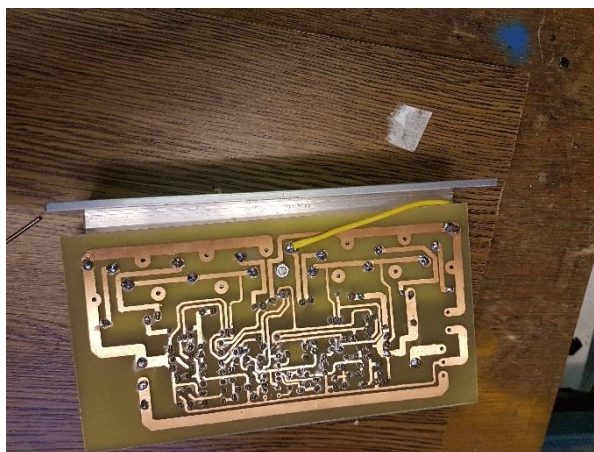


Slika 22: Vrtanje lukenj na aluminiju (lasten vir)

Drugi problem se je pojavil pri bazah tranzistorja. Hladilnik na začetku ni bil predviden, saj je bil kot izhod v sili, če bi se tranzistorji preveč gregli. Pri tem je nastopila težava, ker nisva predvidela kako bi povezala baze tranzistorjev na ploščico. Prva ideja je bila da bi hladilnik iz aluminija prerezala na dva dela, tako da bi bil na eni strani plus pol na drugi pa minus in bi posamezni hladilnik povezala na bazo. Ta ideja se ni uresničila, saj sva mislila, da bi bilo enostavneje, če bi vse tranzistorje izolirala in



Slika 23: Pritrjen aluminij s povezanimi bazami (lasten vir)



Slika 24: Končana ploščica s spodnje strani (lasten vir)

baze posebej speljala na ploščico z žicami.

## 7 TESTIRANJE OJAČEVALCA

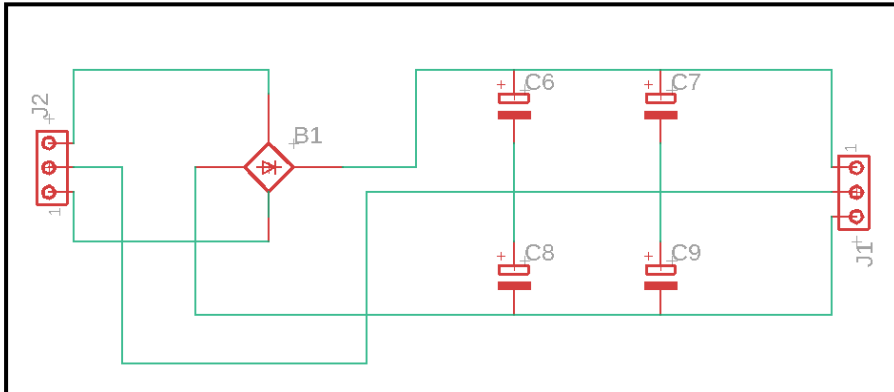
### 7.1 Napajanje

Veliko sva gledala in raziskovala, da sva našla pravilno vezavo za najin ojačevalec. Že za transformator sva imela probleme z izračuni. Ugotovila sva, da potrebujeva toroid z dvojnimi navitjem, vendar bi mogel biti dovolj močan, da bi prenesel moč, ki bi se vrtela okoli 900 vatov, saj bosta na en toroid vezani dve ploščici ojačevalca. Iz tega sva izračunala, da potrebujeva okoli 1000 W moči na toroidu, vzela sva malo močnejšega, saj nisva vedela kolikšno moč bo prenesel ojačevalnik v praksi. Za pretvarjanje izmenične v enosmerno napetost potrebujeva primerne kondenzatorje in mostič, ki je sestavljen iz štirih diod. Zaradi tega velja, da je izmenična napetost nižja od enosmerne in sicer za koren iz dva.

Seveda sva morala narediti tudi napajalno vezje, pri katerem sva dobila čisto enosmerno napetost. Za takšno vezavo sva potrebovala petdeset amperski Greatz, torej na vsaki diodi okoli dvanajst amperov in sva dvajset mF kondenzatorja, ki sta vezana na minus in plus pol za mostičem. Pred toroid sva dodala še dvanajst ampersko varovalko. Sicer je konstantni tok okoli sedem amperov, ampak zagonski tok za en ojačevalac je zelo velik, saj se morajo



kondenzatorji na začetku napolniti. Razmišljava tudi, da bi dodala tudi rele, ki bi povzročil da se vsi kondenzatorji ne bi na začetku vklopili hkrati. To bi bilo zelo dobro, saj če imamo doma manjše varovalke in bi priklopili ojačevalnik bi varovalka pregorela. Vendar tega nisva naredila, saj nama je zmanjkalo časa.



Slika 25: Napajalno vezje (lasten vir)

## 7.2 Preizkušanje

Seveda sva na toroid morala počakati. Mentor nama je iz izkušenj svetoval, da ga najprej preskusimo na manjši napetosti, saj se bodo nepravilnosti začele kar hitro kazati. Kot na primer z velikim segrevanjem tranzistorjev, uporov ipd. S tem bi tudi preprečila uničenje vezja. Tako smo za preizkus izbrali šolski usmernik, saj ima vgrajeno tokovno varovalko, za primer da bi bilo kaj v stiku in bi tokovna varovalka prevelik tok tudi zaprla. Usmernik smo serijsko vezali, tako da smo dobili GND, plus in minus pol. Vendar usmernik je imel samo dvaintrideset voltov na vsak pol, kar je bilo skoraj za polovico manj, kot sva potrebovala.

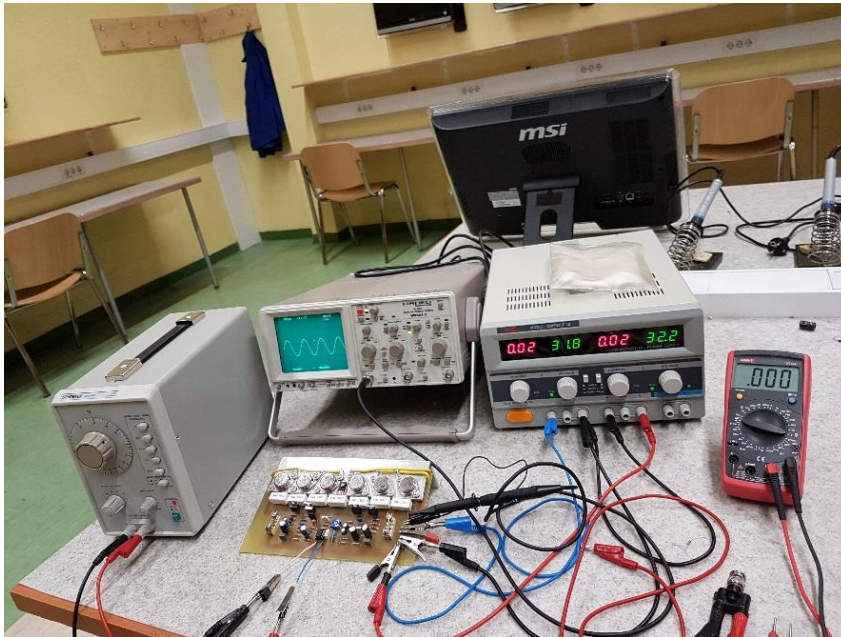
Ko sva ploščico priklopila sva nastavila tokovno varovalko na zelo malo in sva začela višati napetost. Za vsakih pet voltov povečanja napajanja sva preverjala temperaturo na vezju, še posebej sva bila pozorna na temperaturo tranzistorjev in višanje toka na usmerniku. Ko sva dosegla napetost petnajst voltov sva morala nastaviti mirovni tok.

## 7.3 Nastavljanje mirovnega toka

Seveda sva pred merjenjem morala nastaviti mirovni tok ojačevalca. To sva dosegla s spreminjanjem potenciometra (trimerja), pri napetosti petnajstih voltov. Merila sva napetost na uporih R21 in R22 in za vsak upor posebej sva morala izračunati tok skozi upor, po enačbi  $I = \frac{U}{R}$ . Mirovni tok pri petnajstih voltih bi moral biti nekje med deset in dvajset mili amperov. Vendar ker sva imela zelo malo napetost sva nastavila mirovni tok na dvanajst mili amperov na vsak pol, vendar sva lahko samo predvidevala, kako se bo to kazalo pri polni napetosti, torej pri petdesetih voltih, po izračunih bi moralo biti enako kot pri petnajstih voltih enosmerne.

## 7.4 Prvi priklop na šolski usmernik

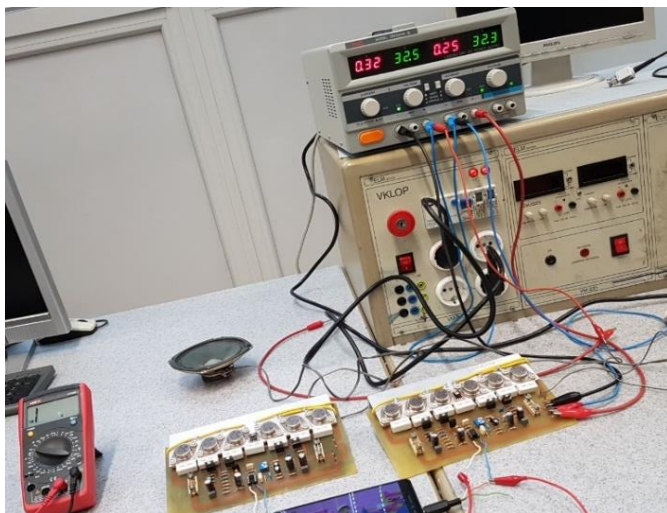
Po nastavitvi mirovnega toka sva ojačevalca testirala na največji napetosti, ki jo premore šolski usmernik v serijski vezavi, torej na vsak pol dvaintrideset voltov. Na vhod ojačevalca sva priklopila oscilator in na izhod sva preklopila na osciloskop. Na oscilatorju sva imela frekvenco okoli dvajset kilo hercev in tako sva izvajala meritve na osciloskopu. Zanimalo je naju predvsem kakšen signal sva dobila na osciloskopu. Na osciloskopu sva dobila zelo lepo sinusoido, kar pomeni da je bil na ojačevalcu pravilno nastavljen mirovni tok in da je ojačevalca zelo kvaliteten.



Slika 26: Testiranje prve ploščice (lasten vir)

Ko sva opravile meritve sva se odločila, da bova to probala tudi na zvočniku. Na začetku sva dala na dvajset kilo hercev in frekvenco manjšala in večala. Za izhodno napravo sva uporabila osem vatni zvočnik, ki je imel upornost štirih omov. Iz hitrih izračunov sva ugotovila da dobiva na izhodu zvočnega ojačevalca petdeset krat več kot na vhodu.

Ker je zvočni ojačevalca delal do potankosti pravilno sva ga priklopila tudi na mobilni telefon. Za začetek sva na zvočnik dala glasbo ki ni imela prevelikih frekvenčnih nihanj. Pri tem je imel zelo dobro kvaliteto zvoka, zato sva ga poizkusila na zelo frekvenčno raznoliki glasbi in dala usmernik do največjega toka, ki ga je zvočnik lahko prenesel. Ta tok se je gibal nekje med pol ampera. Tok se je seveda spreminjal po tem, kakšno moč je potreboval zvočnik. Tako se je tudi testiranje prve ploščice tudi končalo in s presenetljivimi meritvami in predvsem kvaliteti zvoka sva bila zelo presenečena.



Slika 27: Preizkušanje zvočnega ojačevalnika na zvočniku (lasten vir)

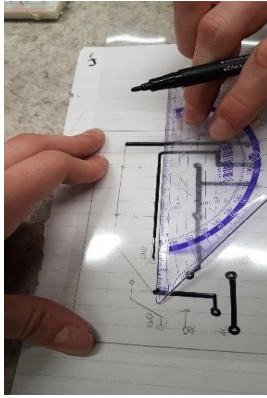
## 7.5 Testiranje druge ploščice

Pri testiranju druge ploščice ni šlo vse tako gladko, kot pri prvi. Tudi drugo ploščico sva priklopila na šolski usmernik, ki sva ga vezala serijsko. Vendar pri testiranju sva na izhodu dobila enako napetost, ki sva jo imela na pozitivnem polu napajanja. To se ne bi smelo zgoditi, saj izhodna napetost mora biti okoli nič. Z osciloskopom sva izmerila vhodni signal, ki je bil zelo popačen. Mentor nama je svetoval naj še enkrat preveriva vse povezave. Za iskanje napake sva porabila zelo veliko časa. Polprevodniške elemente sva odstranila in preverila delovanje tranzistorjev, vendar napake nisva našla. Po enem tednu iskanje napake, delanja meritev sva obupala. Zato sva se skupaj z mentorjem odločila, da bova naredila še eno po istem postopku in da bova nabavila droben material. Končne tranzistorje in »driverje«, torej upore za tranzistorje. Tako sva začela ponovno postopek izdelave celotne ploščice, torej jedkanje, spajkanje in testiranje.

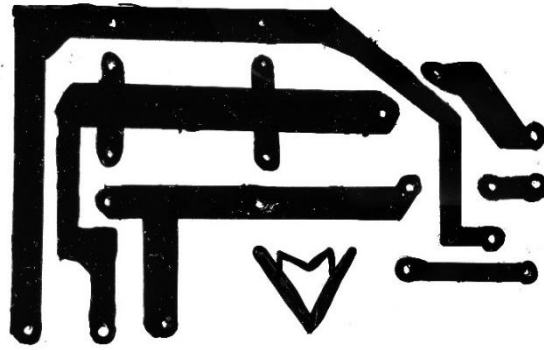
## 7.6 Sestavljanje napajalnega vezja

Ker sva se hotela naučiti čim več in ker vezje ni bilo precej zahtevno, sva se odločila, da ga bova naredila v programu »Eagle« in ga z rezkarjem zrezkala. Program »Eagle« je za naju precej profesionalen, ampak sva se ga hitro navadila. Ni bila težava privajanje na program, ampak samo poznavanje računalniških razlag elektronskih komponent. Vezje za usmerjanje sva uspela narisati tako kot shematsko tudi izdelala ploščico za rezkar. Pri tem nama je pomagal mentor in eden izmed dijakov šole, ki se bolje spozna na program. Povezave na ploščici so morale biti nekoliko širše, saj bodo prenašale velik tok. Uporabila sva mostič za večje moči, ki ga pa ni bilo v programu, zato nama ga je dijak narisal v programu. Za povezovanje komponent sva uporabila funkcijo »Auto connect«. Ta funkcija je že razporejene elemente še povezala, tako da med elementi ni bilo kakšnega stika. Sicer povezave niso bile popolnoma tako razvrščene zato sva jih morala popravila za tem ko je bila uporabljena funkcija »Auto connect«. Tudi blazinice je bilo treba nekoliko povečati zaradi lažjega





Slika 31: Risanje vezja za foto postopek (lasten vir)



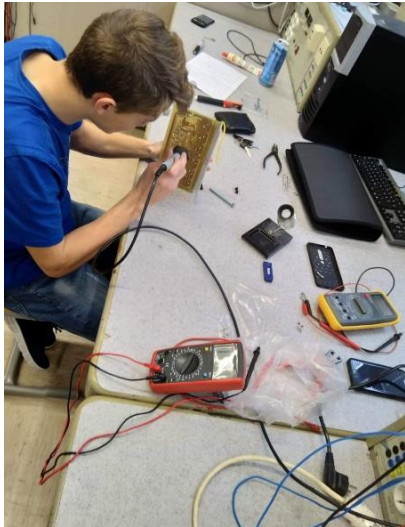
Slika 30: Narisano vezje na folijo (lasten vir)

## 7.7 Testiranje ojačevalnika na napajalni ploščici

Na začetku sva na ploščico priklopila toroid in izmerila končne in vhodne napetosti. Že tukaj je nastal problem saj nisva pričakovala takšnega toka, da je deset amperski avtomatski odklopnik prekinil tokokrog. Za dva vezja sva pričakovala začetni tok okoli petnajst amperov, vendar za eno vezje si tega nisva niti predstavljala. Varovalko sva zamenjala s deset ampersko, saj so kondenzatorji bili že napolnjeni in zato vezje več ni potrebovalo tolikšnega toka. Naredila sva nekaj meritev in vezje je bilo iz pravno za napajanje ojačevalne ploščice. Vse sva izklopila in nanjo vezala ojačevalec. Ko sva vklopila napajanje se tranzistorji niso preveč gregli zato sva priklopila tudi zvočnik. Tukaj se je pa pojavil velik problem. Ta zvočnik sva vezala tudi na prejšnjo ojačevalno ploščico, ki pa ni delala. Takrat se je zvočnik tudi poškodoval oziroma ga je zabilo. Pri tem je imel zvočnik manj kot en om upornosti, kar je pravzaprav povzročilo kratek stik na izhodu. Tako je stekel takšen tok skozi ploščico, da je eno vezavo dobesedno utrgal iz ploščice in zažgal deset ampersko počasno varovalko na ojačevalni ploščici. Vendar tok je zažgal varovalko samo na minus polu na ojačevalcu in ne na obeh kot je bilo pričakovat. Končni tranzistorji so se tako zagreli da se hladilnika sploh nisva morala dotakniti, vendar to se je zgodilo zelo hitro in sploh pričakovala nisva da se tranzistorji lahko tako močno zagrejejo v zelo kratkem času. Ker sva ojačevalno ploščico morala popraviti in sicer na novo narediti povezavo, sva ojačevalno ploščico priklopila na šolski usmernik. Pri priklopu se je na usmerniku takoj vklopila varovalka in sicer sva pri pol volta imela skozi ploščico kar dva ampera. Tako sva vse izklopila in začela razmišljati zakaj je prišlo do napake, ko je bila ojačevalna ploščica priklopljena na napajalno vezje in zakaj imava v celotnem ojačevalni ploščici kratek stik. Najprej sva sumila nepravilno nastavljen mirovni tok, kasneje da je prišlo do kratkega stika na napajanju in šele na koncu sva ugotovila, da je krivec za to bil ne iz praven zvočnik. Potem sva odkrivala zakaj imava ojačevalno ploščico v kratkem stiku. Končno stopnjo sva pustila na ojačevalni ploščici, saj je z njo veliko dela. Iz spajkala sva tranzistorje, in jih preverila, iz spajkala sva končne upore (driverje) jih izmerila in vstavila nazaj. Na koncu sva odstranila še končno stopnjo tranzistorjev, ploščico priklopila na šolski usmernik in stika več ni bilo. Tranzistorje, ki sva jih prej odstranila sva vstavila nazaj v ploščico in začela merit končno stopnjo. Vse tranzistorje na končni stopnji sva izmerila in eden je bil uničen. Ta zadnji tranzistor na končni stopnji je bil na minus polu, kar pomeni da je skozi minus pol stekel večji tok, kot na plus polu in s tem sva prišla do ugotovitve, da sva imela nepravilno nastavljen mirovni tok. Končni tranzistor sva zamenjala in poizkusila ponovno na šolskem usmerniku. Ojačevalna ploščica je



ponovno delovala in šele čez nekaj časa sva ugotovila, da so nekateri predeli na končnih tranzistorji zažgani, vendar so še delovali. To je bilo dobro, saj zdaj veva da končni tranzistorji v TO3 ohišju zdržijo zelo visoke temperature. Seveda sva zaradi novega elementa morala na ojačevalni ploščici nastaviti mirovni tok.



Slika 32: Popravljanje skurjenih povezav (lasten vir)

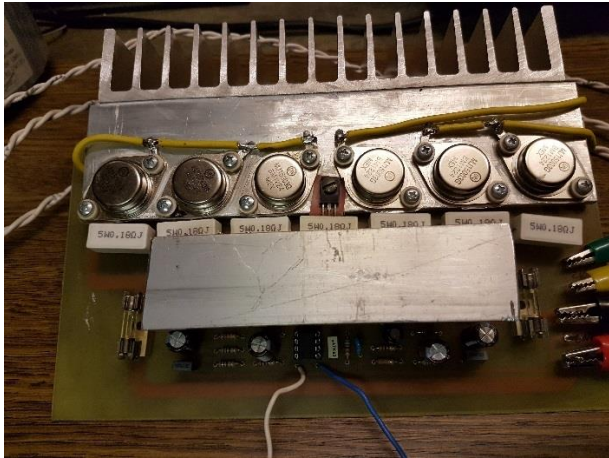
## 7.8 Pregrevanje tranzistorjev

Sicer sva ojačevalnik preizkušala samo na petdeset vatnem šest ohmskem zvočniku, vendar so se tranzistorji kar precej gregli. Gregli so se pa tudi končni tranzistorji na hladilniku, vendar vedno se nama je grela ena stran veliko bolj, kot druga. Zato sva predvidela, da imava ponovno nepravilno nastavljen mirovni tok. Našla sva veliko načinov, kako pravilno nastaviti mirovni tok vendar ni pomagalo. Zato sva na koncu nastavila mirovni tok na takšen način, da sva preverjala toploto. Preverjala sva toploto na tranzistorjih na minus strani in na plus strani in tako po občutku nastavila mirovni tok. Ko sva nastavila mirovni tok, sva dodala na tranzistorje še hladilnik. Sicer se niso pretirano gregli, temveč so bili nekoliko topli, vendar sva predvidevala, da se bodo na visoki moči precej gregli. Zato sva uporabila pravokotni kos aluminija dimenzije 30\*30\*130 milimetrov. Vsak tranzistor posebej sva izolirala s sljudo in na njo dodala termalno pasto, za boljšo prevodnost toplote.



Slika 33: Hladilnik na tranzistorjih (lasten vir)

Tudi za končne tranzistorje sva naredila dodatno hlajenje in sicer poleg aluminija sva dodala še hladilne rebre, ki omogočajo boljše odvajanje toplote. Hladilne rebre sva pritrdila z dvema vijakoma in med pravokotnim aluminijem in hladilnimi rebri dodala kar precejšno količino termalne paste.



Slika 34: Ojačevalec z vsemi hladilniki (lasten vir)

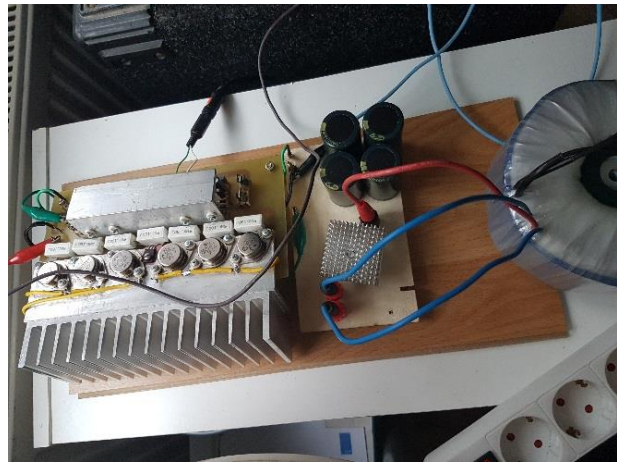
## 7.9 Testiranje na ozvočenju

Ko sva ploščico popravila sva, jo ponovno priklopila na ozvočenje preko napajalne ploščice. Na začetku sva na ojačevalno ploščico priklopila šest omski zvočnik, ki je imel petdeset vatov in ojačevalnik je deloval brezhibno. Zato sva ojačevalec preizkusila tudi na dvoranskih zvočnikih. Ti zvočniki so narejeni za moč okoli petsto vatov in so sestavljeni iz nizkotonca, srednjetonca in visokotonca in povezani tako, da imajo vsi skupaj upornost štirih omov. Vendar še nisva imela predojačevalca za nastavljanje vhodne napetosti, zato sva lahko ojačevalec preizkusila samo na dvajsetih procentih. Izhoda napetost na telefonu je okoli 0,1 volt, kar je za najin ojačevalec samo deset procentov, vendar izhod na računalniku je okoli 0,2 volta, zato sva ojačevalec preizkusila na računalniku. Zraven naju je bil tudi profesionalc za zvočno in tonsko tehniko. Posodil nama je zvočne omarice, pokazal je kako se zvočne omarice priklopijo in nato smo vklopili ojačevalnik. Ko smo ga spravili do največje moči, ki smo jo lahko dobili, smo bili vsi šokirani. Ojačevalnik je imel zelo kvaliteten zvok, na slabih dvajsetih procentih. Pri zvoku se kvaliteta sliši predvsem pri nižjih zmogljivostih, zato nas je zelo zanimalo kakšno kvaliteto ima ojačevalec na koncu zmogljivosti. Zato smo ojačevalec priklopili na mešalno mizo. Uporabljajo predvsem tonski tehniki in tudi DJ-ji. Ta poskrbi za večjo vhodno napetost v ojačevalnik in pri tem lahko spreminjaš tudi tone. Zaradi varnosti smo ojačevalnik preizkusili na prostem, saj so se v delavnici že pri dvajsetih procentih začela tresti okna. Ojačevalec in zvočnike smo priklopili in počasi pričeli testirat. Tonski tehnik je začel testirati ozvočenje, kot na vsaki veselici. Ker smo imeli samo en komplet zvočnikov (visokotonec, srednjtonec in nizkotonec) nismo potrebovali testiranja posameznih zvočnikov in smo ojačevalec počasi začeli obremenjevati do konca. Na mešalni mizi lahko povečamo vhodno napetost na tri volte, zato smo morali biti na to kar pozorni. Tako smo ojačevalnik lahko preizkusili do konca, vendar ko smo prišli na osemdeset odstotkov zmogljivosti so zvočniki začeli zabijati, kar pomeni da so bili na koncu zmogljivosti. Zaradi tega smo testiranje končali na osemdesetih odstotkih in pustili nekaj časa. Zaradi hladnega vremena in tudi snega nismo imeli problemov s pregrevanjem ojačevalca, vendar se je čutilo da se končni

tranzistorji kar precej segrevajo in bo potrebno vgraditi ventilacijski sistem. Pri tem sva ugotovila, da so bili najini izračuni o štiristo vatni moči nepravilni, saj so štiristo vatni zvočniki začeli že pri osemdesetih odstotkih pešat, torej je ojačevalec okoli petsto vatni na štirih omih. Ker sva iz moči izračunala tudi potrebno moč napajanja, sva upala da nama bo 1000VAr toroid prenesel takšne moči. Iz predvidevanja se bojiva, da bo toroid premajhen. Transformatorji te vrste imajo izkoristek okoli sedemdeset odstotkov. Ugotovila sva, da 1000VA transformator za obe stopnji ne bo dovolj zmogljiv. Če upoštevamo da ima transformator trideset odstotkov izgub in imava ojačevalec okoli petsto vatov, bi potemtakem potrebovala okoli tisoč šesto varni transformator.



Slika 36: Testiranje na 400w zvočnikih (lasten vir)



Slika 35: Pritrjen ojačevalec (lasten vir)

## 8 MERITVE OJAČEVALNE PLOŠČICE

Ko je ploščica do potankosti delovala sva naredila tudi nekaj meritev do kolikšne frekvence lahko ojačevalec ojačuje.

Izračuni za frekvenčno ojačenje se delajo pri enem kHz sinusnega signala, zato sva na oscilatorju nastavila frekvenco 1 kHz in na izhod ojačevalca, ter oscilatorja priklopila osciloskop. Izračunala sva do kolikšne napetosti na izhodu lahko greva, po enačbi

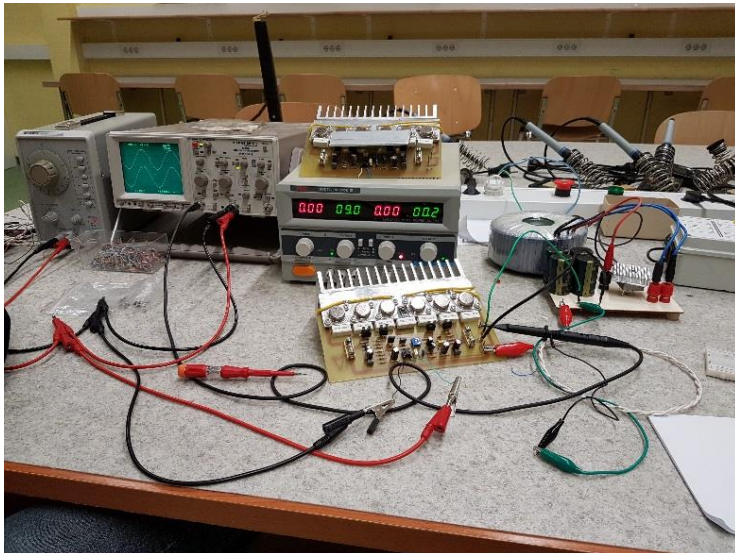
$$A = \frac{A_0}{\sqrt{2}}$$
 ( $A_0$  – ojačenje pri 1 kHz). Pri frekvenci 1 kHz sva imela vhodno napetost en volt in izhodno sedemintrideset voltov. Tako sva dobila da je okoli  $A=26,2V$ . Frekvenco sva povečevala tako dolgo, dokler nisva imela na osciloskopu izpisano takšno vrednost. Pri tej vrednosti je bila frekvenca 60kHz. Pri tej frekvenci ojačevalec začne zmanjševati vrednost ojačenja, kar pomeni da ne ojača več 100%. nato sva še povečevala frekvenco dokler



ojačevalec več ni ojačeval. Ta frekvenca je bila 300kHz. Torej pri 300kHz ojačevalec več ne ojačuje in je vhodni signal enak izhodnemu.

Na podoben način sva izmerila tudi spodnjo frekvenco. Vendar šolski oscilator pri nizkih frekvencah več ni natančen, zato sva uporabila aplikacijo na mobilnem telefonu. Telefon sva priklopila in ponovno nastavila frekvenco enega kiloherca. Tako sva dobila vhodno napetost 218mV in izhodno napetost 9,06V. Izračunala sva, da mora biti pri spodnji frekvenčni meji napetost 6,4V. Začela sva nižat frekvenco na telefonu in ko je bila vrednost na osciloskopu 6,4V sva imela frekvenco 31Hz. Tukaj je potrebno poudariti dejstvo da je ojačevalec pri 2Hz še vedno ojačeval in tukaj se vidi kvaliteta ojačevalca.

Človeško uho sliši med 20Hz pa do 20kHz, zato z takšnim razponom ne dosežemo prav dosti pa vendar več je bolje je. Frekvenca od okoli 10Hz do 30Hz se uporablja predvsem v diskotekah, kjer služijo za občutek popolne glasbe. Res je da jih navadno ne slišimo, vendar jih začutimo, kot zračni sunek. Ta sunek, ki ga naredijo zvočne omarice, ki jim rečemo nizkotonci.



Slika 37: Delanje meritve ojačevalca (lasten vir)

## 9 PREDOJAČEVALEC

Sicer sva že v vezju predvidevala pred ojačevalec, saj lahko s enim uporom spreminjava vhodno napetost. Vhodno napetost sva predvidela, da bo okoli enega volta, kakor imajo skoraj vsi ojačevalni sistemi. Ko sva testirala ojačevalec sva ga priklopila na telefon in spreminjala vrednost upora  $R_3$ , vendar je bila vhodna napetost še vedno premajhna, da bi ojačevalec lahko ojačal na največjo moč. Tako sva se odločila, da bova zraven ojačevalca vstavila tudi pred ojačevalec. Na začetku sva hotela sama narisati vezje, ampak sva bila že zelo tesna s časom, zato sva se odločila, da ga bova kupila. Kupila sva pred ojačevalec, ki sva si ga morala sama sestavit. Ta pred ojačevalec deluje na petnajstih voltih v pozitivno in negativno napetost. Izhodno napetost ima malo več kot en volt in zato je bil pred ojačevalec idealen za najin ojačevalec. Poleg tega, da nama pred ojačevalec samo pojača vhodno napetost, sva hotela tudi nastavitve tonov in glasnosti. To sva hotela predvsem zaradi vsakdanje uporabe, saj če bi imela samo pred ojačevalec, uporabnik ne bi mogel prilagoditi glasnosti na pred ojačevalcu

in bi imel najnižjo napetost nekje med 0,6V in pri tem bi ojačevalec že deloval na okoli šestdesetih odstotkih. Navadno zato vgradijo v ojačevalce vrtljive potenciometre in pri tem dajo močnost tudi spreminjanja tonov, kot so visokotoni, srednjetonni in nizkotoni, ter spreminjanje pred ojačenja.

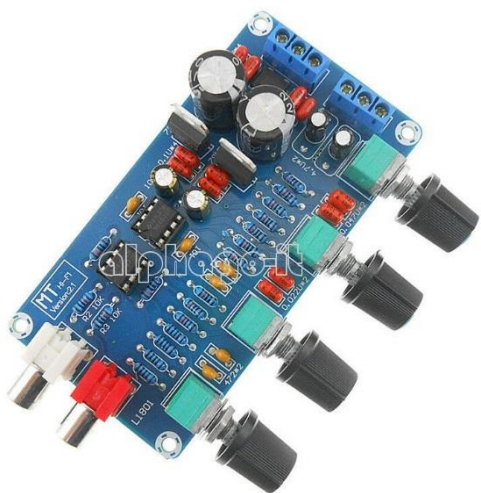
Pred ojačevalci delujejo na principu, da ojača posamezni pas frekvenc in ne s slabljenjem drugih tonov. To nam omogoča kvalitetnejšo glasbo in najmanjši izgub, saj ojačuje kolikor rabimo, ne pa da ojačuje na polno in mora določene zvoke dušiti. Pred ojačevalcem je tudi varovalo pri priključitvi raznih naprav na ojačevalca. Pri ojačevalcu brez pred ojačevalnika je velik problem, saj ko priklopimo napravo je ojačevalec v polni pripravljenosti in to povzroči poškodovane zvočne omarice, ker se pojavi tako imenovani pisk. Pri priključitvi na »chinc« povezavah se to redkeje pojavi, kot pa na 3,5mm izhodu, ki ga imamo na izhodu za slušalke v vsaki napravi. Pred ojačevalcem je pa tudi zelo pomemben pri vklopu celotnega ojačevalca. Če imamo samo na ojačevalcu, torej brez pred ojačevalca, priklopljene zvočne omarice in ojačevalec vklopimo v napajanje, se pojavi na ojačevalcu nekakšen kratek stik. To se pojavi, ker ojačevalec v trenutku klopena nima kakšne napetosti in je še ne uravnan. Sicer je to zelo kratko, dokler se tranzistorji ne začnejo zapirati, vendar ta pojav povzroči velike poškodbe v membrani in v tuljavi, kar lahko privede do popolnega uničenja zvočnih omaric.



Slika 39: »Chinc« priklop (vir naveden v virih slik)



Slika 38: Priklop za slušalke (vir naveden v virih slik)



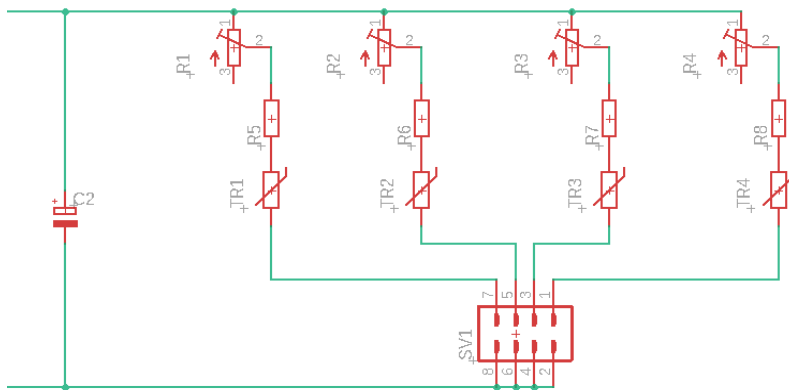
Slika 40: Pred ojačevalec (vir naveden v virih slik)

## 9.1 Ventilacijski sistem

Idejo za ventilacijski sistem sva dobila sama. Prvotno je bila ideja preprosta. Napajanje ventilatorji in termistorji. To je vse kaj potrebujeva a se je kar kmalu zapletlo. Niti sanjalo se nama ni kakšne termistorje potrebujeva. Naredila sva preprost poizkus kakšne upornosti termistorjev potrebujeva. Vezala sva šolski usmernik skozi uporovno dekada ter na ventilator serijsko. Ker pa nisva vedela kakšen tok po stekel skozi ventilator sva na šolskem usmerniku počasi povečevala napetost proti dvanajstim voltom. Ko sva dosegla željeno napetost sva preverila tok skozi dekada, da nisva preseгла dopustnih vrednosti toka na dekadi. Nato sva upornost dekade spuščala dokler se ventilator ni začel rahlo vrteti. Takrat sva vedela kakšna je največja upornost termistor, da se ventilator začne vrteti. Ta upornost je bila dvesto omov. Ko sva vedela kakšne upore moreva uporabiti sva vzela tesno ploščico, sto ohmski termistor, ki sva ga serijsko vezala s sto omskim uporov in zraven sva vezala tudi potenciometer, saj upornost termistorja se spreminja s temperaturo. Zraven sva še vezala amper meter, da sva lahko kontrolirala pri kakšnem toku se ventilator zažene in kakšen tok potrebuje za delovanje. Seveda je zakonski tok veliko večji, zato sva potenciometer morala nastaviti po zakonskem toku. Hotela sva predvsem, da se ventilacijski sistem vklopi pri temperaturi šestdesetih stopinj in da ventilatorji prilagajajo hitrost vrtenja po temperaturi. Torej večja temperatura večja hitrost ventilatorjev. Tako sva ugotovila, da morava pred sto ohmski termistor serijsko vezati tudi dvesto petdeset ohmski upor, da se ventilatorji vklopijo, ko je temperatura na hladilnik rebrih okoli šestdeset stopinj.

Na to idejo sva prišla predvsem zaradi varčevanja s energijo. Za ventilacijski sistem sva uporabila štiri ventilatorje, ki delujejo na dvanajstih voltih in imajo slab en vat moči. Zaradi varovanja elementov in boljšega hlajenja sva se odločila da bova naredila za vsak ventilator posebej vezje. Prednost tega je predvsem, da lahko na različnih delih ojačevalca namestiva termistorje in na tisti strani kjer se bo ojačevalec bolj grel na tisti strani bodo tudi ventilatorji začeli hladiti. Za več takšnih vezij sva se odločila predvsem zaradi segrevanja termistorja, ker teoretično en sam termistor ne bi zdržal toka, ki ga potrebujejo vsi ventilatorji na višku delovanja. Če bi se termistor preveč segreval samo zaradi toka, bi prihajalo do motenj v hlajenju, saj bi se zagrel že samo zaradi toka, ki teče skozenj in več temperatura na hladilniku ne bi vplivala na termistor. Posledica prevelikega segrevanja termistorja je pa lahko pripelje do uničenja termistorja. Če bi se to zgodilo pri uporabniku, se vezje vel ne bi hladilo s pomočjo ventilacijskega sistema in bi se vezje začelo segrevati dokler se ne bi od temperature uničilo. Pri takem scenariju je možnost tudi samo vžiga ojačevalca.

V vezje hlajenja sva dodala še kondenzatorje za vsak ventilator posebej. To sva naredila predvsem zaradi hlajenja napetosti. Na elektro motorju ventilatorja se pojavljajo iskre, katere bi lahko vplivale na delovanje pred ojačevalca, saj sta priključena na enak transformator. Kondenzator zaduši nezaželene motnje, ki bi lahko vplivale na nihanja pred ojačevalca in pri tem bi padla tudi kvaliteta ojačevalca.



Slika 41 krmilno vezje ventilacijskega sistema (lasten vir)

## 9.2 Napajanje pred ojačevalca in ventilatorjev

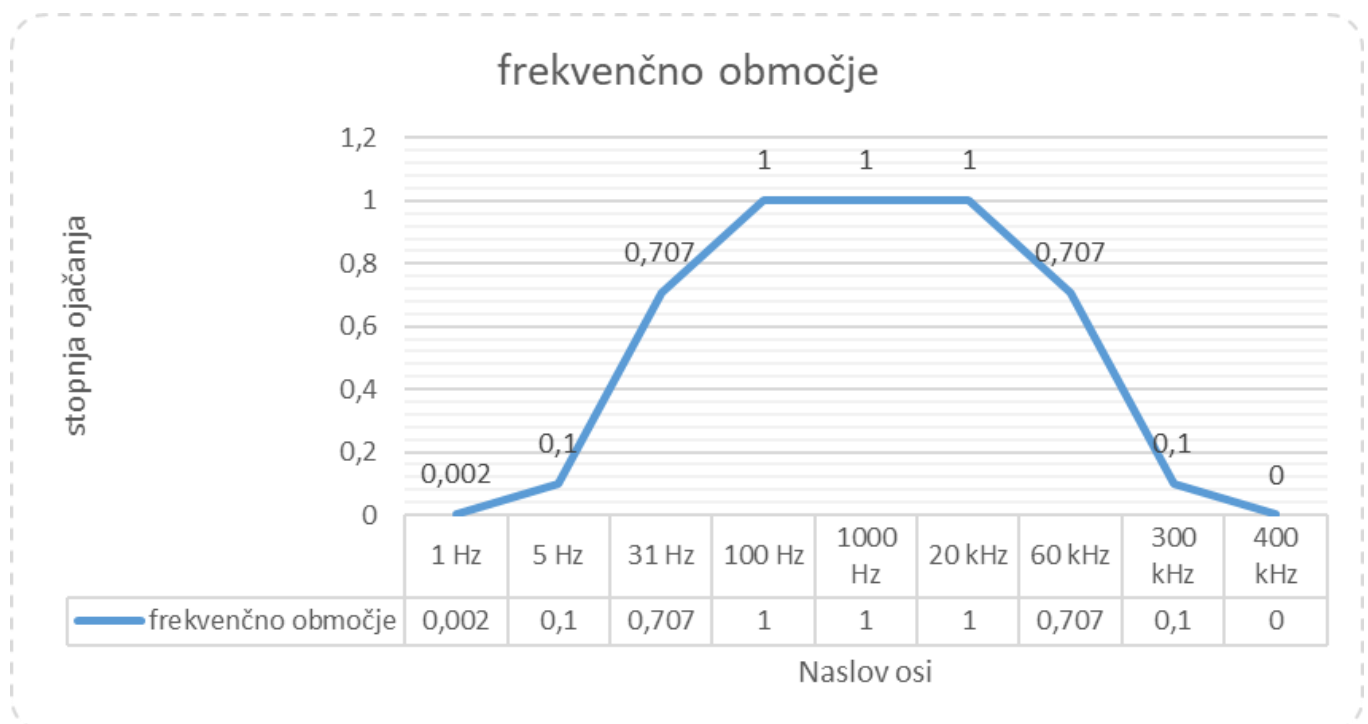
V ojačevalci nisva hotela imeti preveč napajalnikov, zato sva se odločila da sva vzela enega za ventilacijski sistem in tudi za pred ojačevalca. Ker pa sva potrebovala za pred ojačevalca petnajst voltov v plus ter minus pol in za ventilatorje dvanajst voltov sva morala vstaviti tudi posebno napajalno vezje za ventilatorje. Potrebovala sva usmernik toka, ki sva ga naredila iz mostiča in nekaj manjših kondenzatorjev. Pri usmeritvi pa napetost naraste za koren iz dva, kar pomeni da sva iz petnajst volt-nega transformatorja dobila okoli enaindvajset voltov, kar zadostuje napajanju pred ojačevalca, kot tudi ventilacijskega sistema. Potrebovala sva tudi stabilizatorje, ki skrbijo za nižanje napetosti na dvanajst voltov, da ne bi preobremenila ventilatorjev. Preizkusila sva tudi z direktnim priklopom ventilatorjev na izmenično napetost, ki jo dobiva iz transformatorja. Pri tem je ventilator na petnajstih voltih izmenične napetosti deloval, ampak se je vrtel s šestdeset odstotno hitrostjo in hkrati povzročal zelo močne tresljaje med vrtenjem. Ta način sva vzela za izhod v sili, če nama bo zmanjkalo časa za usmerjanje. Vendar ta način nebi zadostoval potrebam hlajenja pri velikih obremenitvah ojačevalne ploščice. Tip AB ojačevalca zahteva tudi veliko izgub, ki se tvorijo v toplotno energijo, zato potrebujeva zanesljivo in kakovostno hlajenje. Za pred ojačevalca pa nisva imela posebnega dela, saj ima že sam vgrajen usmernik. Bova morda zamenjala kondenzatorje v njem, zaradi napetosti in za zmanjšanje »broom« efekta, ki precej vpliva na kvaliteto celotnega ojačevalca.

## 10 KONČNE SPECIFIKACIJE OJAČEVALCA

Specifikacije so podane za eno ojačevalno ploščico, ki vsebuje pred ojačevalec, napajalno vezje, transformator in ojačevalno ploščico. Izračuni so tudi potrjeni s preizkušanjem.

<b>Priključna napetost; frekvenca</b>	<b>230V; 50/60Hz</b>
<b>Največji priključen tok</b>	4.34A
<b>Največji sunek toka ob vklopu</b>	16A
<b>Varovanje polov</b>	2x 10A; 250V; počasno
<b>Nazivna moč na 4Ω (2x ch)</b>	1195,6 W
<b>Nazivna moč na 4Ω</b>	597,8 W
<b>Nazivna moč na 6Ω</b>	397 W
<b>Nazivna moč na 8Ω</b>	300W
<b>Harmonično raztezanje</b>	≤0,01
<b>Ojačenje</b>	120dB
<b>Slabljenje signala</b>	110dB
<b>Vhodna napetost v ojačevalec</b>	0-0,2V
<b>Vhodna napetost za mešalko</b>	2V
<b>Vhodna upornost</b>	33kΩ
<b>Frekvenčni pas padanja</b>	31 Hz - 60 kHz
<b>Frekvenčni pas prenehanja ojačevanja</b>	1Hz-300kHz

Pri izvajanju meritev sva določila tudi frekvenčno območje in mu narisala graf.



Slika 42: Graf frekvenčnega območja (lasten vir)



## 11 DRUŽBENA ODGOVORNOST

S tem projektom sva si vzela k srcu predvsem varovanje okolja. Izbirala sva elemente, ki se bi jih dalo reciklirati brez prevelike škode okolju. Tudi tranzistorje sva izbirala tiste, ki za izdelavo ne potrebujejo živega srebra. Živo srebro na prostem hlapi, ljudje ga nato lahko vdihnemo in ostane v našem telesu, ker gre za težko kovino s številnimi učinki na naše telo. Na varovanje okolja vplivava tudi z zagotavljanja čim daljšega delovanja teh naprav. Dlje jo lahko uporabljamo, manj novih sestavnih delov potrebujemo za naknadno izdelavo ojačevalca. Pazila sva na kvaliteto in vsaj s dvajset odstotno večjo zmogljivostjo elementov kot bi potrebovala. Ojačevalec, ki sva ga izdelala, bi lahko pri normalnih pogojih deloval tudi 10 do 15 let ali celo več. Če je zagotovljeno pravilno hlajenje ojačevalca pri domači uporabi sva prepričana, da bo imel zelo dolgo življenjsko dobo, saj nobena komponenta ojačevalca ni preobremenjena. Tudi uporabo imava dokaj varčno. Tudi pri hlajenju, ki ni velik porabnik, sva si izmislila sistem, ki prispeva k varovanju okolja, saj ne hladi ojačevalca, ko to ni potrebno.

## 12 ZAKLJUČEK

Iz te raziskovalne naloge sva se naučila izredno veliko novega o ojačevalnikih. Sama rada izdelujeva sisteme kot je ta. Že sama sva naredila nekaj prenosnih zvočnikov, a po nekoliko lažjem postopku, saj je bilo več zadev pripravljenih že v naprej. Ker sva osebi, ki se naju ne da ustavit prav nikjer in bova delala dokler cilja ne doseževa. To se je poznalo pri tej raziskovalni nalogi. Ogromno zapletov se je pojavilo tam kjer sva najmanj pričakovala, eden od teg primerov je bilo napajalno vezje. A se zapletov nisva ustrašila, ampak se z njimi spopadla in napake odpravila kolikor hitro je bilo možno, ter na okolju najbolj prijazen način. Kljub temu, da sva za odpravljanje napak in razvijanje sistema porabila zares ogromno prostega časa in tudi časa med poukom, sva ponosna, da vsa projekt izpeljala do konca na način kot sva si ga želela. Ker pa strmiva k naravnim materialom bova kasneje ojačevalec vgradila v iz lesa izdelano ohišje in s tem dosegla tudi nekaj retro stila napolnjenega z današnjo tehnologijo in znanjem. Da bo izdelek na koncu prava celota, bova z laserskim rezalnikom naredila napise na ohišje, vgradila stikala in standardizirane priključke, ki so poznani v avdio tehniki. Ob zaključku pa lahko razrešiva spor, ki je nastal med nama med poletnimi počitnicami, namreč trdila sva drug za drugega, da ne znava sestaviti kvalitetnega ojačevalca. A kot kaže sva se oba dva motila. Sestavila sva ojačevalec kot sva si ga želela in dosegla zadani cilj. Hkrati pa sva se odločila da bova izdelala takšne ojačevalce tudi za najine lastne potrebe. Misliva, da je raziskovalna naloga zelo kvalitetna, saj ima tudi ojačevalec zelo kvalitetne specifikacije.

## 14 VIRI IN LITERATURA

Podatki o operacijskih ojačevalnikih : [Elektronski vir]. [Citirano 21.12.2018]. Dostopno na naslovu: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Operacijski\\_oja%C4%8Devalnik](https://sl.wikipedia.org/wiki/Operacijski_oja%C4%8Devalnik)

Podatki o vrstah tranzistorjev: [Elektronski vir]. [Citirano 28.12.2018]. Dostopno na naslovu: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Tranzistor>

Podatki o transformatorju : [Elektronski vir]. [Citirano 28.12.2018]. Dostopno na naslovu: [http://eoet1.tسكر.si/plus/nivo3S/05/eOet1\\_3S\\_05-03.html](http://eoet1.tسكر.si/plus/nivo3S/05/eOet1_3S_05-03.html)

Podatki o napajalnik vezjih : [Elektronski vir]. [Citirano 28.12.2018]. Dostopno na naslovu: <https://svet-el.si/revija/samogradnje-revija/elektronika-za-zacetnike-napajanje-elektronskih-vezij-i-17/>

Podatki o testu ojačevalnika : [Elektronski vir]. [Citirano 28.12.2018]. Dostopno na naslovu: <http://wooferbass-test.com/sl/speaker-test/review/subwoofer-amplifier>

Podatki o nastavljanju mirovnega toka : [Elektronski vir]. [Citirano 30.12.2018]. Dostopno na naslovu: <http://www.elektronik.si/phpBB2/viewtopic.php?p=93203&sid=6eaa6dc7ccd7ca3ba4e7d7020af8e8db>

Podatki o kvalitetnih tranzistorjih: [Elektronski vir]. [Citirano 30.12.2018]. Dostopno na naslovu: [https://www.schrack.si/?gclid=Cj0KCQiAheXiBRD-ARIsAODSpWNtDYylOwwpm7wAOMERRu81lwHfTA5Hpqmmg52MDt6kyF7WNUFIQSsaAsdGEALw\\_wcB](https://www.schrack.si/?gclid=Cj0KCQiAheXiBRD-ARIsAODSpWNtDYylOwwpm7wAOMERRu81lwHfTA5Hpqmmg52MDt6kyF7WNUFIQSsaAsdGEALw_wcB)

### 14.1 Viri slik

Slika 1 : [Elektronski vir]. [Citirano 6.1.2019]. Dostopno na naslovu: [https://www.google.com/search?q=tranzistorji+v+TO3+ohi%C5%A1ju&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiO3-n1oaXgAhWM5KQKHdnXATsQ\\_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=bfITFs\\_0-5hLiM:](https://www.google.com/search?q=tranzistorji+v+TO3+ohi%C5%A1ju&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiO3-n1oaXgAhWM5KQKHdnXATsQ_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=bfITFs_0-5hLiM:)

Slika 2 : [Elektronski vir]. [Citirano 6.1.2019]. Dostopno na naslovu: [https://www.google.com/search?biw=1600&bih=709&tbm=isch&sa=1&ei=ldtZXPGRGM\\_3kwXi0YOoDQ&q=BD139&oq=BD139&gs\\_l=img.3..0j0i3019.502769.504735..505018...0.0..1.105.491.3j2.....2....1..gws-wiz-img.....0..35i39.GbEUL6tWraY#imgrc=FXp3dJ\\_8S\\_i3CM:](https://www.google.com/search?biw=1600&bih=709&tbm=isch&sa=1&ei=ldtZXPGRGM_3kwXi0YOoDQ&q=BD139&oq=BD139&gs_l=img.3..0j0i3019.502769.504735..505018...0.0..1.105.491.3j2.....2....1..gws-wiz-img.....0..35i39.GbEUL6tWraY#imgrc=FXp3dJ_8S_i3CM:)

Slika 3 : [Elektronski vir]. [Citirano 7.1.2019]. Dostopno na naslovu: [https://www.google.com/search?q=tranzistorji+v+TO3+ohi%C5%A1ju&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiO3-n1oaXgAhWM5KQKHdnXATsQ\\_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=bdElj3XkcRtNoM:](https://www.google.com/search?q=tranzistorji+v+TO3+ohi%C5%A1ju&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiO3-n1oaXgAhWM5KQKHdnXATsQ_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=bdElj3XkcRtNoM:)

Slika 5 : [Elektronski vir]. [Citirano 7.1.2019]. Dostopno na naslovu:

[https://www.google.com/search?biw=1600&bih=709&tbm=isch&sa=1&ei=vt9ZXIz7DoWRkwW77ZbYDQ&q=multimeter&oq=multimeter&gs\\_l=img.3..012j0i3018.47155.49325..49509...0.0..1.136.1014.7j3.....2....1..gws-wiz-img....0..35i39.1u1cTDCjtm0#imgrc=DU3KPsMXbedogM](https://www.google.com/search?biw=1600&bih=709&tbm=isch&sa=1&ei=vt9ZXIz7DoWRkwW77ZbYDQ&q=multimeter&oq=multimeter&gs_l=img.3..012j0i3018.47155.49325..49509...0.0..1.136.1014.7j3.....2....1..gws-wiz-img....0..35i39.1u1cTDCjtm0#imgrc=DU3KPsMXbedogM):

Slika 6 : [Elektronski vir]. [Citirano 7.1.2019]. Dostopno na naslovu:

[https://www.google.com/search?q=osciloskop&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUK Ewj1ycPtrKXgAhVPsaQKHd7wAFIQ\\_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=tDiymjTxw03wHM](https://www.google.com/search?q=osciloskop&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUK Ewj1ycPtrKXgAhVPsaQKHd7wAFIQ_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=tDiymjTxw03wHM):

Slika 7 : [Elektronski vir]. [Citirano 7.1.2019]. Dostopno na naslovu:

[https://www.google.com/search?q=funkcijski+generator&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitxrr4pqXgAhUR2qQKHx9pDM0Q\\_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=I78BTWcz\\_ZS5VM](https://www.google.com/search?q=funkcijski+generator&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitxrr4pqXgAhUR2qQKHx9pDM0Q_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgrc=I78BTWcz_ZS5VM):

Slika 38 : [Elektronski vir]. [Citirano 14.1.2019]. Dostopno na naslovu:

[https://www.google.com/search?biw=1600&bih=709&tbm=isch&sa=1&ei=97tZXNC\\_IMb5kwXsma7oAw&q=chinc&oq=chinc&gs\\_l=img.3..014j0i3016.1088.7456..7617...0.0..0.118.793.5j3.....1....1..gws-wiz-img.....0i67j35i39.dLXqjZYPhm4#imgrc=408JQFNpQZkR2M](https://www.google.com/search?biw=1600&bih=709&tbm=isch&sa=1&ei=97tZXNC_IMb5kwXsma7oAw&q=chinc&oq=chinc&gs_l=img.3..014j0i3016.1088.7456..7617...0.0..0.118.793.5j3.....1....1..gws-wiz-img.....0i67j35i39.dLXqjZYPhm4#imgrc=408JQFNpQZkR2M):

Slika 39 : [Elektronski vir]. [Citirano 14.1.2019]. Dostopno na naslovu:

[https://www.google.com/search?q=3,5mm&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwin150EjKXgAhWLKewKHUBrD\\_8Q\\_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgdii=8apyEICN6TU7AM:&imgrc=jGjvcMnHFvC9LM](https://www.google.com/search?q=3,5mm&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwin150EjKXgAhWLKewKHUBrD_8Q_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgdii=8apyEICN6TU7AM:&imgrc=jGjvcMnHFvC9LM):

Slika 40 : [Elektronski vir]. [Citirano 14.1.2019]. Dostopno na naslovu:

<https://www.ebay.com/itm/DIY-Kits-NE5532-HIFI-OP-AMP-Amplifier-Preamplifier-Volume-Tone-EQ-Control-Board/323195207900?hash=item4b3fef80dc:g:AgAAASwNGRayMHu>