

AUDIOPOJAČALO KLASE AB

Kalmeta, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:234892>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Strojарstva

Stručni studij Mehatronike

Fran Kalmeta

Audio pojačalo klase AB

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2020. godina.

Karlovac University of Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Professional study of Mechatronics

Fran Kalmeta

AUDIO AMPLIFIER CLASS AB

FINAL PAPER

Karlovac, 2020. godina.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Strojарstva

Stručni studij Mehatronike

Fran Kalmeta

Audio pojačalo klase AB

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Filip Žugčić mag.ing.el.

Karlovac, 2020. godina.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED
SCIENCE

Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički

studij:.....
(označiti)

Usmjerenje Karlovac,
.....

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:.....

Matični broj:.....

Naslov:.....
.....

Opis zadatka: Tema ovog završnog rada je izrada audio pojačala klase AB izlazne snage ~ 100W. Ovim radom ću objasniti način izrade i funkcioniranje pojačala, njegovo napajanje, objasniti sve aktivne i pasivne elemente, te opisati korištene alate i strojeve

Koristiti se stručnom literaturom, radnim materijalima, Zakonima i Pravilnicima, ostalom stručnom literaturom i konzultirati se s mentorom. Završni rad izraditi sukladno Pravilniku VUKA.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:
obrane:

Predviđeni datum

.....

.....

.....

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA

Izjavljujem da sam svoj rad izradio samostalno pomoću stečenog znanja tijekom studija, stručne literature i interneta, te naravno uz pomoć mentora Filipa Žugčića.

ZAHVALA

Zahvaljujem svome mentoru, Filipu Žugčiću na pristupačnosti, razumijevanju, strpljenju te raznim korisnim savjetima za vrijeme izrade ovog rada. Zahvaljujem također kolegama Ivanu Sučecu i Dejanu Pošti na pomoći, savjetima, te razmjeni iskustava koja su mi bila od velikog značaja

Karlovac, 2020.

Fran Kalmeta

SAŽETAK

Tema završnog rada izrada je audio pojačala klase AB izlazne snage ~100W. Ovim radom ću objasniti način izrade i funkcioniranje pojačala, njegovo napajanje, objasniti sve aktivne i pasivne elemente, te opisati korištene alate i strojeve. Za rad je korišten software Eagle za crtanje sheme, CNC stroj za obradu pločice, te lemilica za povezivanje elemenata sa samom tiskanom pločicom. Cilj projekta je steći praktično iskustvo pomoću teoretskog znanja usvojenog tijekom obrazovanja, te ostalih navedenih izvora.

SUMMARY

The subject of this undergraduate thesis is the making of audio amplifier with the output power of ~120W. In this paper I will explain the way of making and functioning of the amplifier, its power supply and all of the active and passive elements. I will also describe the tools and the machines that I used. For my work I used Eagle software for the drawing of the scheme, CNC machine for the processing of printed circuit board, and a soldering iron for linking the elements with the printed circuit board. The goal of this project was to gain a practical experience with the help of theoretical knowledge, which I acquired during my education, and other listed sources.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆE KARAKTERISTIKE AUDIO POJAČALA.....	2
2.1 UVOD.....	2
2.2 VRSTE AUDIO POJAČALA.....	4
2.3 PODJELA POJAČALA NA KLASE:.....	4
2.3.1. POJAČALO KLASE A.....	5
2.3.2. POJAČALO KLASE B.....	6
2.3.3. POJAČALO KLASE AB.....	7
3. PASIVNI I AKTIVNI ELEKTRONIČKI ELEMENTI.....	9
3.1...UVOD.....	9
3.2. PASIVNI ELEMENTI.....	10
3.2.1. OTPORNICI.....	10
3.2.2. KONDENZATORI.....	12
3.3. AKTIVNI ELEMENTI.....	14
3.3.1. TRANZISTORI.....	14
3.3.2. DIODE.....	17
4. NAČIN FUNKCIONIRANJA POJAČALA.....	19
4.1 KOMPONENTE I SHEMA.....	19
4.2 NAČIN RADA.....	21
5. TISKANE VEZE.....	23
5.1. RAD U PROGRAMU „EAGLE“.....	23
5.1.1. KREIRANJE ELEKTRONIČKE SHEME.....	24
5.1.2. KREIRANJE SHEME TISKANE ELEKTRONICKE PLOČICE.....	25
5.1.3. „IZVOZ“ DATOTEKA TISKANE ELEKTRONIČKE PLOČICE.....	26

6. IZRADA PLOČICE KORIŠTENJEM LPKF TEHNOLOGIJE	27
6.1 UVOD	27
6.2 KORIŠTENJE SOFTWARE-A: „CircuitPro PM 2.1“	27
6.3 RAD NA STROJU: „ProtoMat S63“	29
6.4 STAVLJANJE MASKE ZA LEMLJENJE (LPKF PRO MASK).....	33
6.5 KORIŠTENJE PEĆNICE: „ProtoFlow S“	34
6.6 FOTO-POSTUPAK (UV IZLOŽBENA JEDINICA).....	36
6.7 UKLANJANJE SLOJEVA MASKE	38
6.8 LPKF CLEANER.....	39
6.9 KONAČAN IZGLED PLOČICE	40
7. LEMLJENJE.....	41
8. NAPAJANJE	43
8.1 TRANSFORMATOR.....	43
8.2 GRAETZOV SPOJ	43
8.3 KONDENZATOR.....	43
ZAKLJUČAK	44
LITERATURA.....	45

POPIS SLIKA

Slika 1 Izgled izrađenog pojačala.....	1
Slika 2 De Forestov prototip pojačala iz 1914.	2
Slika 3 Pojačalo danas.....	3
Slika 4 Grafička karakteristika pojačala klase A	5
Slika 5 Grafička karakteristika pojačala klase B.....	6
Slika 6 Grafička karakteristika pojačala klase AB.....	8
Slika 7 Struktura otpornika	10
Slika 8 Korišteni stalni otpornici.....	11
Slika 9 Korišteni promjenjivi otpornik (potencijometar)	11
Slika 10 Korišteni elektrolitski kondenzatori.....	12
Slika 11 Vrste kondenzatora	13
Slika 12 Vrste i izgled bipolarnog tranzistora.....	15
Slika 13 Korišteni tranzistori.....	16
Slika 14 Simbol i izgled diode	17
Slika 15 Korištene diode	18
Slika 16 Radna shema	20
Slika 17 Dovršena shema tiskane pločice	23
Slika 18 Kreiranje elektroničke sheme.....	24
Slika 19 Pozicioniranje komponenata	25
Slika 20 Kreiranje "Gerber file-a"	26
Slika 21 Process planning wizard (izrada projekta)	28
Slika 22 Obrada unesenih parametara	28
Slika 23 Izgled i sastav stroja	29
Slika 24 Praćenje procesa obrade u CrcuitPro software-u	32
Slika 25 Izgled obrade.....	32
Slika 26 Premazivanje pločice maskom za lemljenje	33
Slika 27 ProtoFlow S "pećnica"	34
Slika 28 Grijanje pločice	35
Slika 29 Priprema pločice za foto-obradu	36
Slika 30 Faza obrade	37
Slika 31 Uklanjanje slojeva maske.....	38
Slika 32 Nanošenje spreja	39
Slika 33 Faza lemljenja	42

POPIS TABLICA

Tablica 1 Popis elemenata	19
Tablica 2. Signalne lampice CNC stroja.....	30
Tablica 3 Specifikacije stroja.....	31

1. UVOD

Zadatak završnog rada bio je napraviti pojačalo što kvalitetnijeg zvuka s velikom izlaznom snagom. Pojačalo radi u AB klasi, a izobličenja su znatno manja nego u B. Također, zagrijavanje je manje nego u A klasi, stoga ovu klasu pojačala koristimo tamo gdje je potrebna velika iskoristivost i kvalitetan zvuk.

Razvoj pojačala imalo je veliko značenje u razvoju i popularizaciji elektronike, grane elektrotehnike, gdje su na osnovi prvih jednostavnih sklopova stvoreni sve kompleksniji, moderniji, jeftiniji, manji i učinkovitiji elektronički sklopovi širom područja elektronike kako bi ona sada bila takva kakvu je znamo.



Slika 1 Izgled izrađenog pojačala

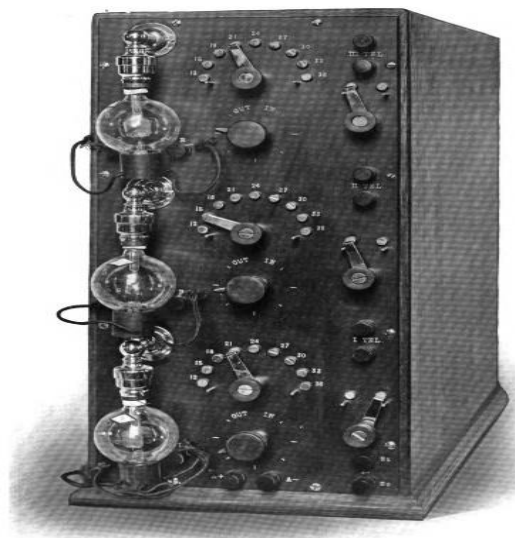
Izvor: Autor

2. OPĆE KARAKTERISTIKE AUDIO POJAČALA

2.1 UVOD

Signal je fizikalna veličina čija vrijednost nosi neku vrstu informacije. U elektronici često ga prenosimo pomoću struje ili napona, tako da imamo strujni ili naponski tip signala. Kao primjer možemo navesti napon iz mikrofona čija veličina pokazuje jačinu zvuka, dok frekvencija istog napona daje informaciju o visini tona.

Pojačalo je električni sklop na čiji ulaz dovodimo neki signal, te na čijem izlazu dobivamo signal koji ima isti oblik, ali veću vrijednost i snagu. Primjerice, na ulaz pojačala dovede se izmjenični napon koji iznosi 100mV, a pojačalo mora osigurati veliku snagu na svom izlazu, te tu snagu treba predati zvučniku (potrošaču). Napajanje tranzistora ostvarujemo iz istosmjernog električnog izvora kojeg čine transformator, elektrolitski kondenzator i graetzov spoj. Oni se koriste kako bi pojačali izmjenični signal (izlazni signal gramofona, kazetofona, CD-playera...) koji je doveden na ulaz pojačala. Tranzistor za vrijeme rada koristi el. energiju istosmjernog izvora, a jedan njezin dio pretvara u izmjeničnu struju izlaznog signala.



Slika 2 De Forestov prototip pojačala iz 1914. [2]

Izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier>

Audio pojačala pripadaju prilično specifičnom dijelu elektronike. Karakteristike ovih pojačala trebaju biti poprilično stroge. Prva osnovna karakteristika je osigurati odgovarajuće pojačanje signala sastavljenog od brojnih komponenata čije frekvencije iznose od 20 Hz-a pa do 20 KHz-a. Pojačala, naravno mogu imati različite frekvencijske karakteristike. Neka mogu imati frekvencijsku karakteristiku na primjer od 5 Hz-a, do 100 kHz-a, druga pak od 10 Hz-a do 80 kHz-a. Bitno je da pojačalo ima što veći frekventni opseg kako bi kvaliteta bila bolja i da pojačanje u rasponu od 20 Hz-a do 20 kHz-a ne padne više od 3dB. U tom opsegu najbolje bi bilo da pojačanje iznosi 0 dB, kako bi opseg bio što širi. Amplituda signala pritom može iznositi od nekoliko stotina mikrovolti, sve do nekoliko volti s iznimno naglim prijelazom od malih prema većim amplitudama.

Pojačanje se treba obaviti bez da se dodatno unosi bilo kakvo izobličenje (fazno, amplitudno ili harmoničko) ili dodatni šum. Ako bi šum bio pomiješan s ulaznim signalom, signal bi bio neispravan, odnosno šum bi ometao njegovu razumljivost prilikom reprodukcije. Oni su štetni pa zbog toga nisu poželjni u pojačalima. Otklanjaju se tako da se uzmu komponente sa čim manjim tolerancijama te da se obrati pozornost na njihov raspored. Koriste se tantal kondenzatori, metal-film otpornici ...



Slika 3 Pojačalo danas [20]

Izvor: <https://www.tipa.eu/en/amplifier-show-sa-30/d-82483/>

2.2 VRSTE AUDIO POJAČALA

Audio pojačala razlikujemo po namjeni te ih dijelimo u tri grupe:

- Razglasna pojačala – služe za pojačanje signala na razinu koju mogu čuti i veće grupe ljudi (npr. na koncertima, stadionima itd.).
- Hi-Fi (High Fidelity) pojačala - za ljude „istančanog“ uha kojima je bitno čuti cijeli raspon frekvencija čim sličnije moguće originalnom signalu.
- Instrumentalna pojačala – koriste se za pojačavanje signala el. instrumenata kao što su klavijature, bas gitare, gitare, te pritom daju neku sebi svojstvenu prepoznatljivu boju koja odgovara određenom instrumentu, odnosno vrsti glazbe sa svojim specifičnim frekvencijskim spektrom.

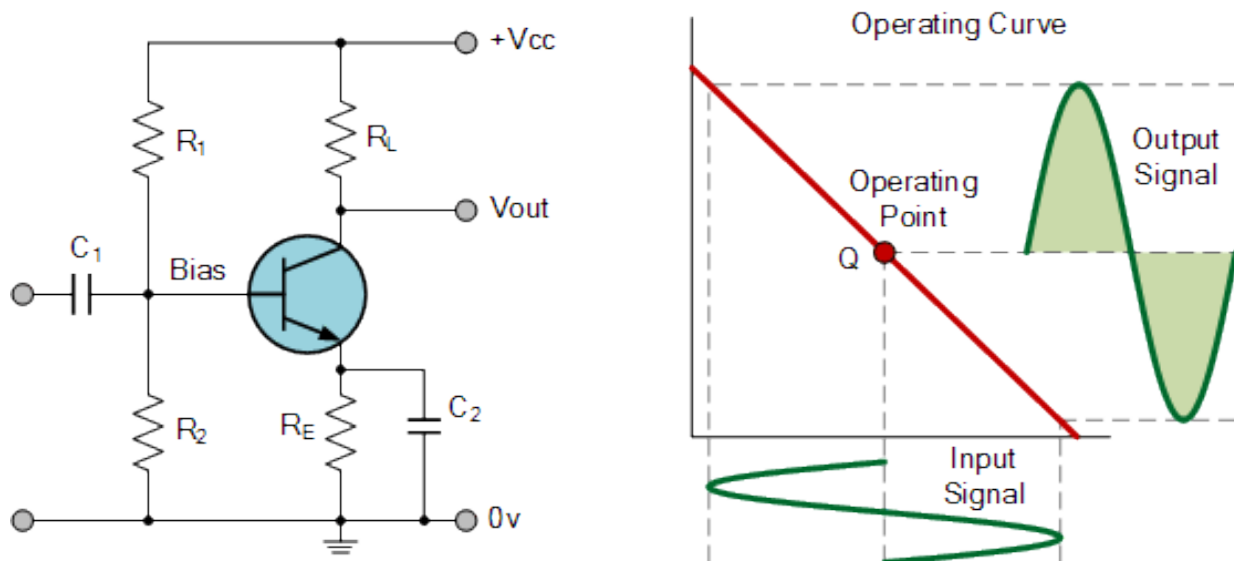
2.3 PODJELA POJAČALA NA KLASE

Klase pojačala definiraju u kojem području ona rade. Predstavljaju iznos izlaznog signala koji pobuđen sinusoidnim ulaznim signalom počinje varirati. Dakle, ukoliko je poznato u kojoj klasi pojačalo radi, onda je jasan i način na koji radi. Na primjer, pojačalo koje radi u klasi A, namijenjeno je da prenosi zvuk u visokoj kvaliteti, ali zato gubi na snazi, pa ima slabu učinkovitost.

Za razliku od ostalih, A klasa, uz najnižu razinu snage, ima najvišu kvalitetu zvuka. S druge strane, AB te B klasa gube na kvaliteti, no dobivaju na snazi i tako sve do klase D. Klasifikacija pojačala varira između apsolutno nelinearnog rada (s velikom učinkovitošću) kod kojeg vjerna reprodukcija signala nije toliko bitna, do apsolutno linearnog rada, za hi-fi uporabu, veoma male učinkovitosti. Ostala pojačala na neki način čine kompromis između ovih dviju krajnosti.

2.3.1. POJAČALO KLASA A

Za A klasu pojačala, za koju je karakterističan njezin jednostavan dizajn, zahvaljujući vrlo niskoj distorziji signala kažemo da je najbolja klasa pojačala. Možemo reći da daje vjerojatno najbolji zvuk od svih ostalih spomenutih klasa. Pojačala ove klase imaju najveću linearnost među pojačalima svih ostalih klasa, te rade u linearnom režimu karakteristične krivulje. Međutim, ima vrlo nisku iskoristivost, tako da su im potrebni iznimno veliki hladnjaci za reduciranje topline, kao i veoma veliki ispravljači koji osiguravaju struju koja im je potrebna. Nužno je naglasiti kako se kod pojačala A klase statička radna točka nalazi na sredini dinamičkog radnog pravca, u normalnom aktivnom području. Rad u ovoj klasi svojstven je svim vrstama oscilatora, predpojačala te sličnim el. sklopovima u kojima sklop mora dati obje poluperiode izmjeničnog signala na svom izlazu.

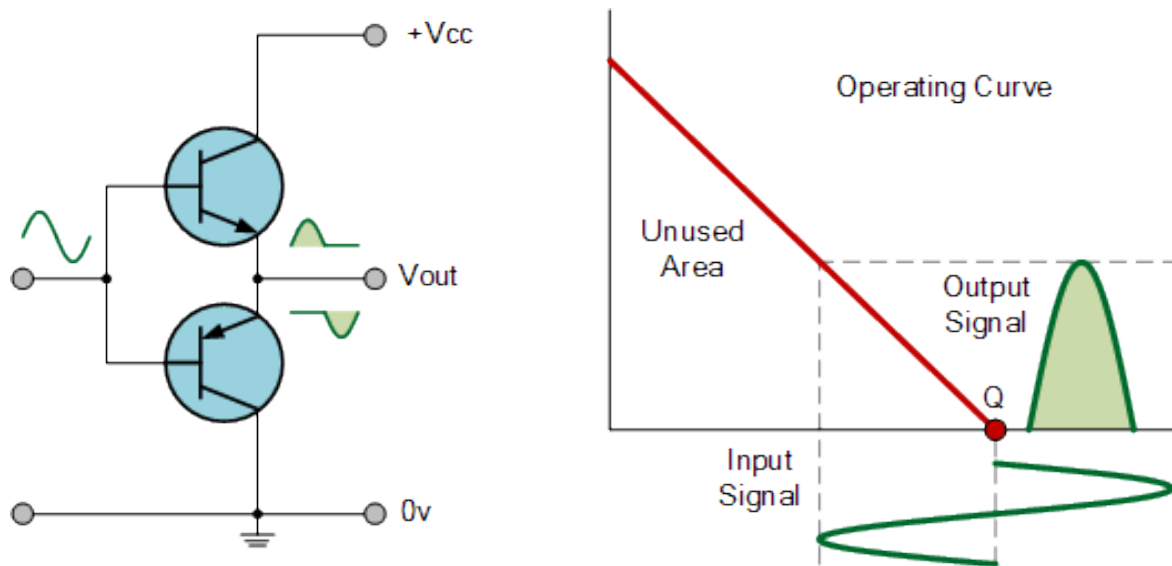


Slika 4 Grafička karakteristika pojačala klase A [5]

Izvor: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>

2.3.2. POJAČALO KLASSE B

Pojačala B klase smišljena su kao rješenje problema učinkovitosti i pregrijavanja koje povezujemo s pojačalom klase A. Tipična pojačala B klase služe se dvama komplementarnim tranzistorima (FET ili bipolarni) u „push-pull“ formi, gdje svaki od tranzistora pojačava samo polovicu valnog signala. Jedna polovica pozitivnu, druga negativnu. Izlazni tranzistori, za razliku od A klase, rade samo kad postoji signal pobude na ulazu, pa zbog toga nemamo znatnih problema s pregrijavanjem. Nedostatak B klase pojačala je u tome što ona imaju prijelazno izobličenje kada se koriste za reprodukciju govora i glazbe. Izobličenje se javlja osobito kod pojačala s bipolarnim tranzistorima. Taj nedostatak uklanjamo tako da kroz izlazne tranzistore propuštamo određenu istosmjernu struju u odsustvu signala pobude, te tu govorimo o pojačalima klase AB. Kada je riječ o pojačalima snage B klase, statička se radna točka nalazi na rubu područja zapiranja i normalnog aktivnog područja.



Slika 5 Grafička karakteristika pojačala klase B [5]

Izvor: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>

2.3.3. POJAČALO KLASE AB

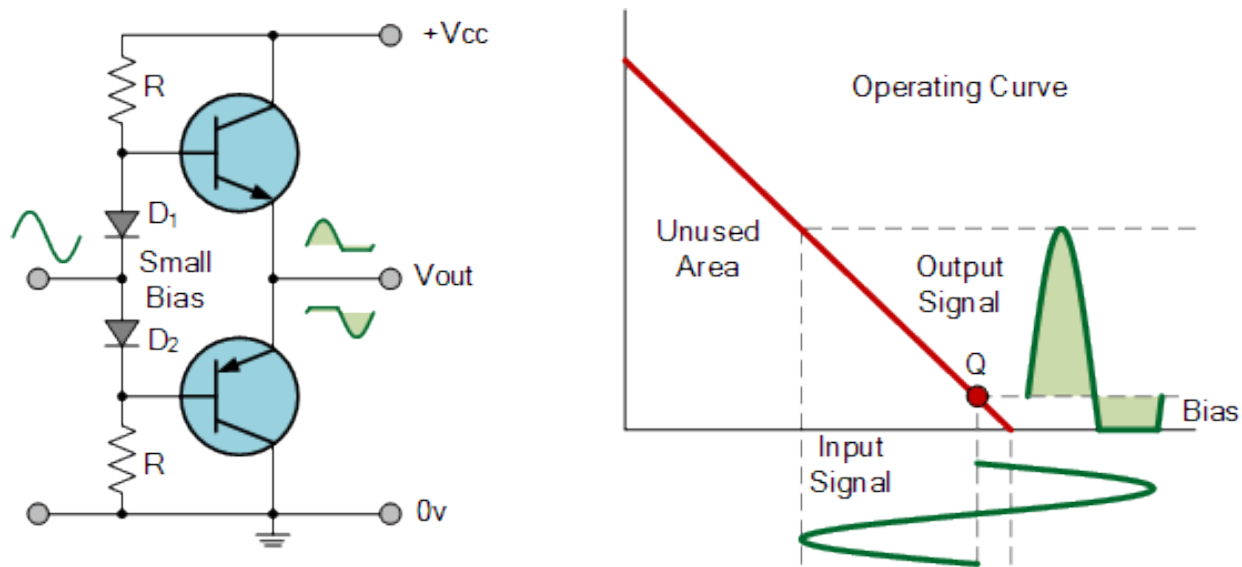
Kombinacija A klase pojačala s B klasom daje AB klasu. Ova klasa pojačala trenutno je jedna od najkorištenijih zbog toga što nudi izvrstan odnos potrošnje struje i snage koju razvija na izlazu, a u isto vrijeme uvelike eliminira probleme s izobličenjem koja su prisutna kod B klase.

Pojačala ove klase isto se tako izvode isključivo kao protutaktna. Treba napomenuti kako u izlaznom krugu može postojati i veći broj simetričnih parova aktivnih elektroničkih elemenata. To svakako vrijedi i za pojačalo klase B.

Određena istosmjerna struja mirovanja, koja određuje faktor iskoristivosti pojačala, teče kroz izlazne aktivne elektroničke elemente dok ne postoji el. signal pobude. Ta struja može biti veoma mala, niti 0,5% ukupne izlazne struje koju pojačalo mora predati opterećenju, te ono može praktički raditi na rubu B klase.

Kada se pomiče radna točka koja odgovara većoj istosmjernoj struji mirovanja, izlazni stupanj radi u sve linearnijem području, ali mu u isto vrijeme pada faktor učinkovitosti. U drugoj se krajnosti pojačalo u AB klasi približava režimu rada pojačala u A klasi. Tako se faktor iskoristivosti pojačala snage u klasi AB kreće u realnim uvjetima od otprilike 70 % do 25 %. Sklop izvan tih okvira zapravo postaje izlazno pojačalo u A, odnosno B klasi.

Karakteristično za pojačala snage AB klase je da se statička radna točka nalazi u blizini područja zapiranja, pri kraju normalnog aktivnog područja.



Slika 6 Grafička karakteristika pojačala klase AB [5]

Izvor: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>

3. PASIVNI I AKTIVNI ELEKTRONIČKI ELEMENTI

3.1. UVOD

Prema električnoj vodljivosti, materijale možemo podijeliti na izolatore, vodiče i poluvodiče. Vodiči imaju mnogo slobodnih elektrona pa dobro vode el. struju. Nastaju kada atom odbacuje valentne elektrone u međuatomski prostor i ulazi u metalnu rešetku, odnosno kao posljedica metalne veze. Izolatori nemaju slobodnih elektrona, zbog svojstva atomske veze. Vodljivost čistih poluvodiča kao što su germanij i silicij otprilike je milijun puta manja od vodljivosti vodiča, te je ona premala za ikakvu uporabu. Legiranjem ili difuzijom možemo povećati vodljivost čistih poluvodiča, te na taj način dobivamo poluvodičke materijale P i N tipa koji se koriste u svim granama elektronike.

Dok vodič nije priključen na el. izvor, njegovi se elektroni gibaju kaotično te je on neutralan. Priključivanjem na izvor, usmjerava se gibanje i kao posljedicu dobivamo električnu struju. Također, na svom putu slobodni elektroni se međusobno sudaraju, te zbog toga dolazi do pojave otpora a i do pada napona. Radi se o pojavi sličnoj trenju, gdje da se dio električne energije pretvara u toplinsku. Odnose između jakosti struje, otpora i napona u strujnim krugovima definira nam Ohmov zakon. Jakost struje proporcionalna je naponu, te je obrnuto proporcionalna otporu.

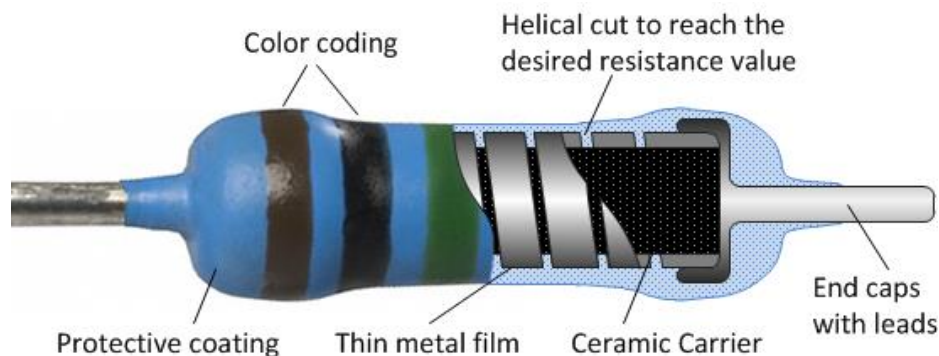
3.2. PASIVNI ELEMENTI

Pod skupinu pasivnih elektroničkih elemenata možemo svrstati kondenzatore, otpornike i zavojnice, a njihove vrijednosti utvrđujemo pomoću Ohmovog zakona. To su tipični elementi el. krugova, no oni ne mogu pojačavati snagu signala. Pasivne sklopove čine isključivo pasivni elektronički elementi, stoga im nije nužan izvor napajanja (pasivni filtri).

3.2.1. OTPORNICI

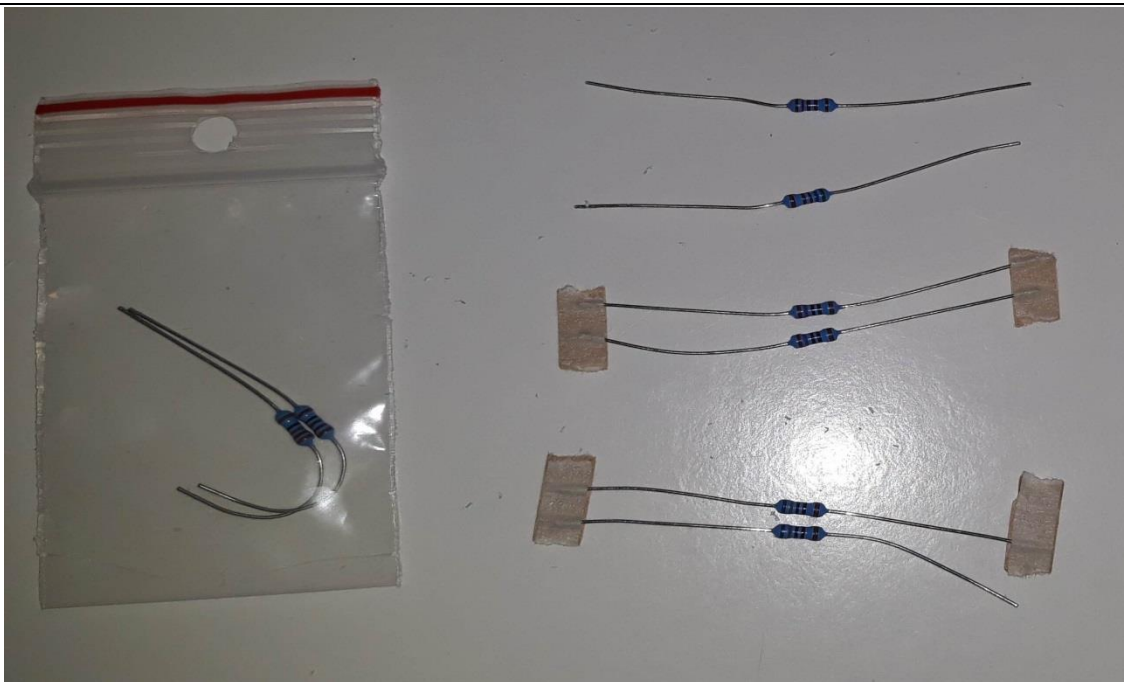
Pasivna elektronička komponenta koja protjecanjem el. struje pruža otpor, zove se otpornik. Njegovo svojstvo je da apsorbira dio el. energije i pretvara ju u toplinu. Otpornici su prisutni u skoro svim elektroničkim sklopovima, a služe za reduciranje napona, limitiranje struje, te stvaranje odgovarajućeg strujno-naponskog odnosa. Dijelimo ih na stalne i promjenjive (potencimetri), no postoji još izvedba kao što su polupromjenjivi otpornici (trimeri), fotootpornici, termistori, senzistori itd. Najčešći fiksni otpornici su žičani, folijski, ugljenoslojni, metal film i film otpornici.

Korišteni stalni otpornici u predpojačalu su metal-film zbog malog šuma koji proizvode i male tolerancije odstupanja od prave vrijednosti. Također, korišten je i promjenjivi (okretajni) otpornik za ručno podešavanje otpora, odnosno glasnoće zvuka.



Slika 7 Struktura otpornika [8]

Izvor: <http://www.resistorguide.com/metal-film-resistor/>



Slika 8 Korišteni stalni otpornici

Izvor: Autor



Slika 9 Korišteni promjenjivi otpornik (potenciometar) [9]

Izvor: <https://www.petvolta.com/komponente/otpornici-vrste-otpornika/>

3.2.2. KONDENZATORI

Svrha ovog pasivnog elementa je „skladištenje“ energije električnog polja, pa možemo reći da se on ponaša kao spremnik statičkog elektriciteta. Električni kondenzator sastavljen je od dvije elektrode između kojih se nalazi izolator. Između tih elektroda javlja se el. polje zbog razdvajanja el. naboja. Kondenzatori su pored otpornika jedna od najčešćih komponenata u el. sklopovima, gdje ih koristimo kako bismo ublažili naponske oscilacije, za podešavanje rezonantne frekvencije, filtriranje napona itd. Sposobnost tijela da pod utjecajem napona pohranjuje naboj, glavna je karakteristika kondenzatora, a nazivamo ju električni kapacitet.

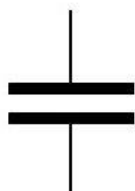
Kondenzatore dijelimo na stalne i promjenjive. Kod stalnih se kapacitet ne mijenja, dok se kod promjenjivih on može mijenjati. Keramički, papirni, elektrolitski i folijski najčešći su tipovi stalnih kondenzatora. Promjenjivi kondenzatori uglavnom se izrađuju kao pločasti, te ih nazivamo zakretni pločasti kondenzatori. U pojačalu su korišteni keramički, polarizirani elektrolitski i tantal kondenzatori.



Slika 10 Korišteni elektrolitski kondenzatori

Izvor: Autor

Stalni kondenzatori



papirni

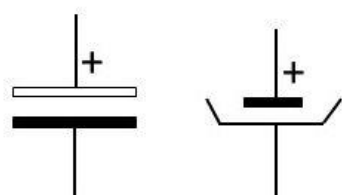


keramički



folijski

Polarizirani

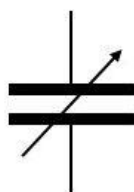


elektrolitski



tantal

Promjenjivi kondenzatori



Slika 11 Vrste kondenzatora [10]

Izvor: [https:// Kapacitet i kondenzator.html](https://Kapacitet-i-kondenzator.html)

3.3. AKTIVNI ELEMENTI

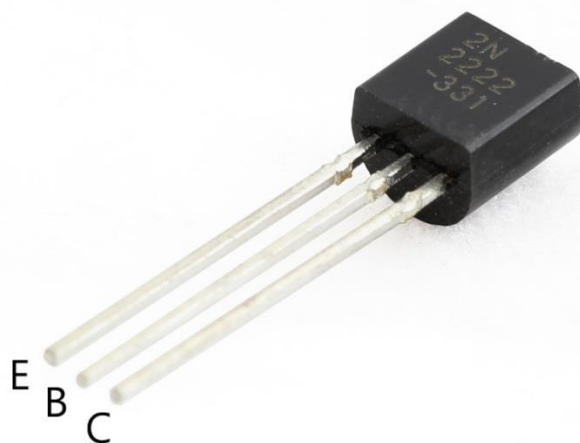
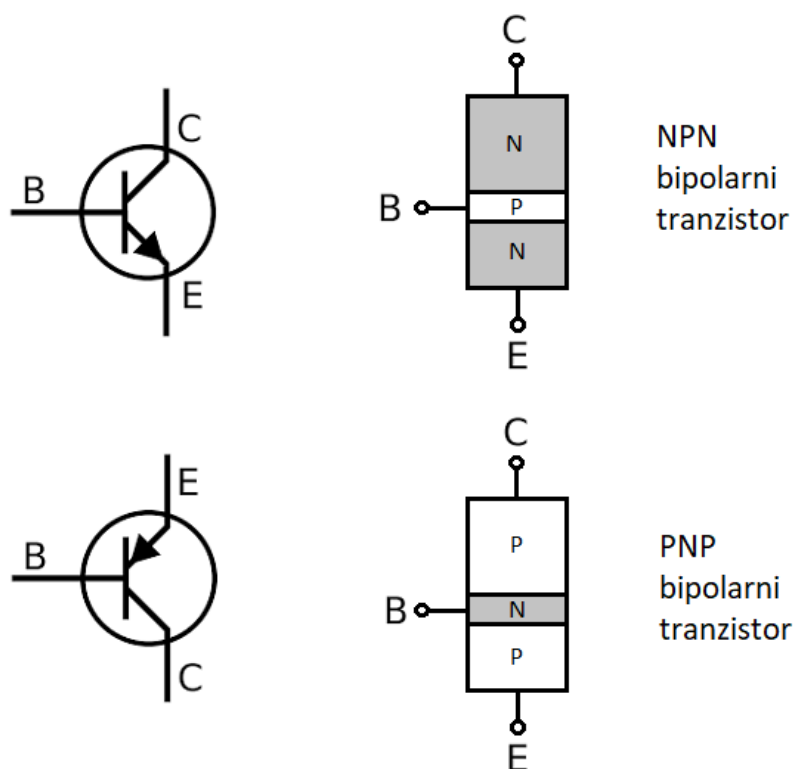
3.3.1. TRANZISTORI

Tranzistori su aktivni poluvodički elementi koji služe za moduliranje signala, stabilizaciju napona, pojačavanje električnih signala, kao elektroničke sklopke i u mnoge druge svrhe. Možemo ih podijeliti na bipolarne i unipolarne.

Bipolarni tranzistor čine tri elektrode: baza, emiter i kolektor. Baza je uvijek srednja, a emiter vanjska elektroda. Ona zajedno s bazom čini PN spoj koji je polariziran u propusnom smjeru. O kakvom god tipu tranzistora da se radi, bilo o NPN ili PNP tipu, istu funkciju obavljaju oba. Razlika je jedino u vrsti nosilaca električne struje i u priključivanju vanjskog napona. Šupljine su glavni nosioci električne struje kod PNP tranzistora, a elektroni u NPN tipu.

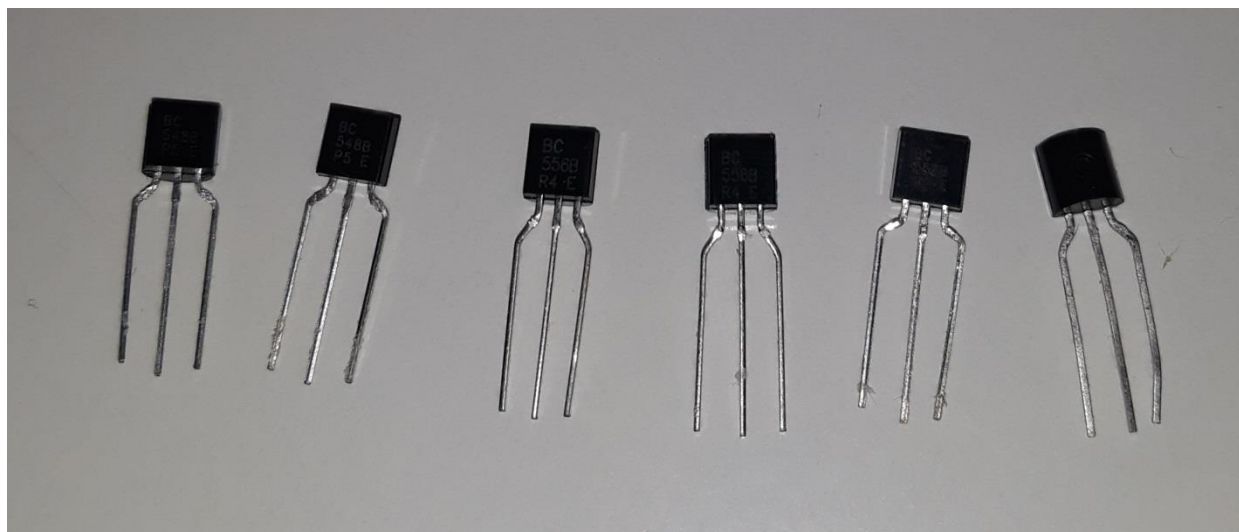
Unipolarne tranzistore nazivamo još i tranzistorima s efektom polja (Field Effect Transistor). Postoje dva glavna konstrukcijska oblika, a to su JFET (Junction Field Effect Tranzistor) i MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Tranzistor). Kao i bipolarni, unipolarni tranzistori se također sastoje od 3 elektrode, no u ovoj izvedbi zovemo ih: Drain, Source i Gate. Razlikujemo p-kanalne i n-kanalne FET-ove, ovisno o tipu poluvodiča u kanalu (put između Drain-a i Source-a). Rad ovih tranzistora određuje tok ili šupljina kod p-kanalnih, ili elektrona kod n-kanalnih FET-ova, zato ih nazivamo unipolarnima.

Ove dvije vrste tranzistora slične su po temeljnoj poluvodičkoj strukturi, međutim uvelike se razlikuju kada je riječ o načinu upravljanja izlaznom strujom. U sklopu su korišteni i bipolarni i unipolarni tranzistori za pojačavanje električnog signala.



Slika 12 Vrste i izgled bipolarnog tranzistora [11]

Izvor: <https://e-radionica.com/hr/blog/2018/04/19/vise-o-tranzistorima/>



Slika 13 Korišteni tranzistori

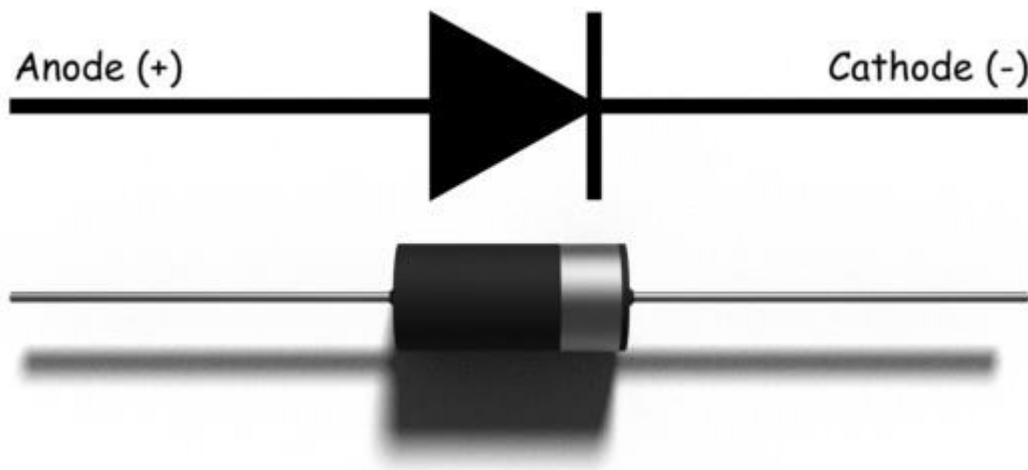
Izvor: Autor

3.3.2. DIODE

Diode su aktivne elektroničke komponente sastavljene od p i n tipa poluvodiča. Anoda je izvod koji je povezan s p-tipom poluvodiča, a katoda s n-tipom. Osnovno svojstvo diode je da propušta struju u jednom smjeru, a u drugom ne. Najčešće primjenjujemo germanijske i silicijske.

Za diodu kažemo da je propusno polarizirana kad se anoda nalazi na pozitivnijem potencijalu od katode, te tada kroz nju teče propusna struja (I_F), od anode prema katodi. Pad napona na germanijskim diodama iznosi oko 0,3 V, dok kod silicijskih oko 0,7 V.

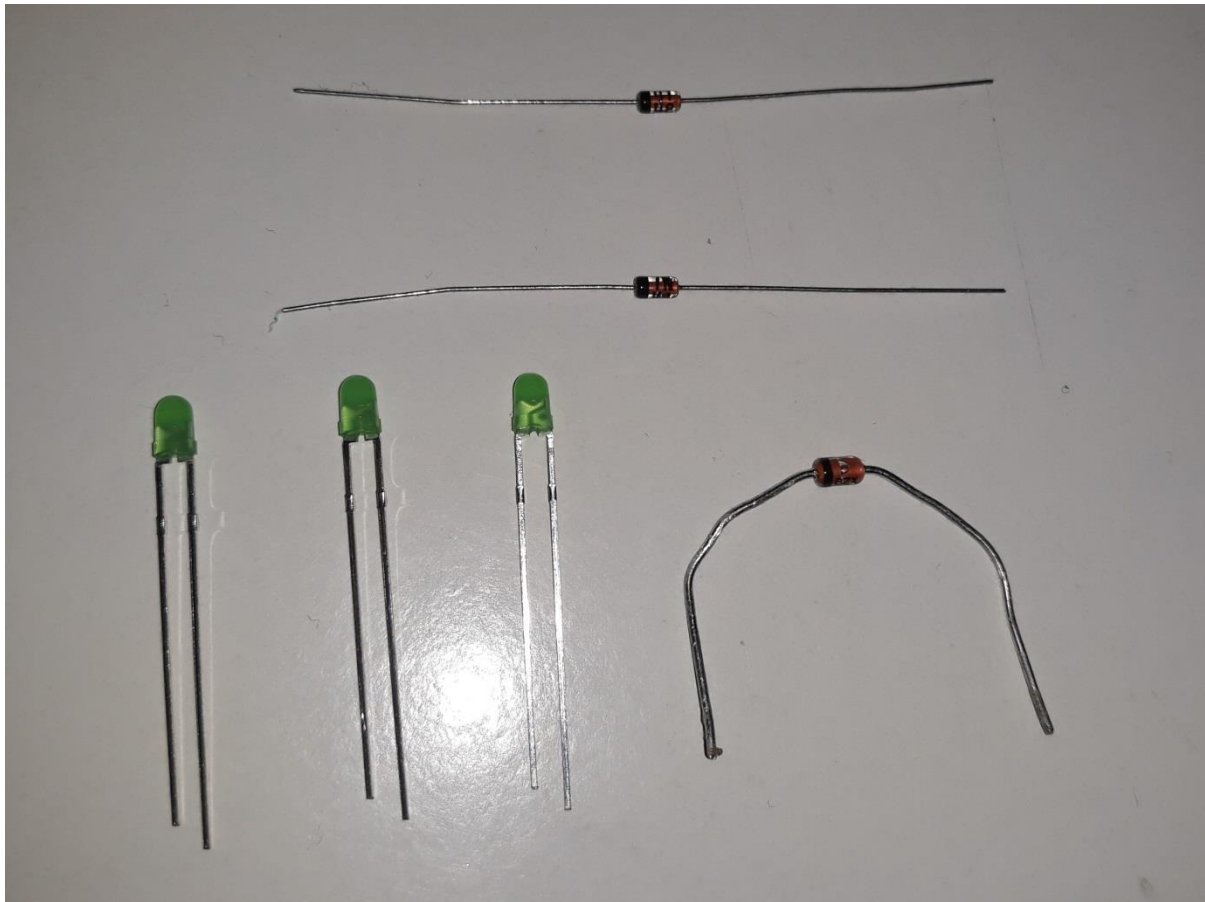
Dioda je nepropusno (zaporno) polarizirana kad se anoda nalazi na negativnijem potencijalu od katode. Tada kroz diodu teče vrlo mala struja (I_R), koja se naziva zaporna struja, u smjeru od katode prema anodi. Za silicijske diode zaporna struja iznosi desetak nanoampera, dok za germanijske oko desetak mikroampera.



Slika 14 Simbol i izgled diode [12]

Izvor: <https://www.electrical4u.com/diode-working-principle-and-types-of-diode/>

Diode možemo razvrstati prema tipu i prema materijalu od kojeg su rađene. Prema tipu dijelimo ih na poluvodičke, Zenerove, ispravljačke, Schottkyeve, svjetleće i foto diode. O tipu diode ovisi i sama primjena, npr. ispravljačke diode koriste se za ispravljanje izmjeničnih u istosmjerne veličine, dok Zener dioda najčešće služi kao referentni izvor napona, no ima i uvjetnu mogućnost vođenja u nepropusnom smjeru, pa služi i kao stabilizator napona. Materijali od kojih mogu biti rađene su germanij, silicij, silicijev karbid ili galijev arsenid.



Slika 15 Korištene diode

Izvor: Autor

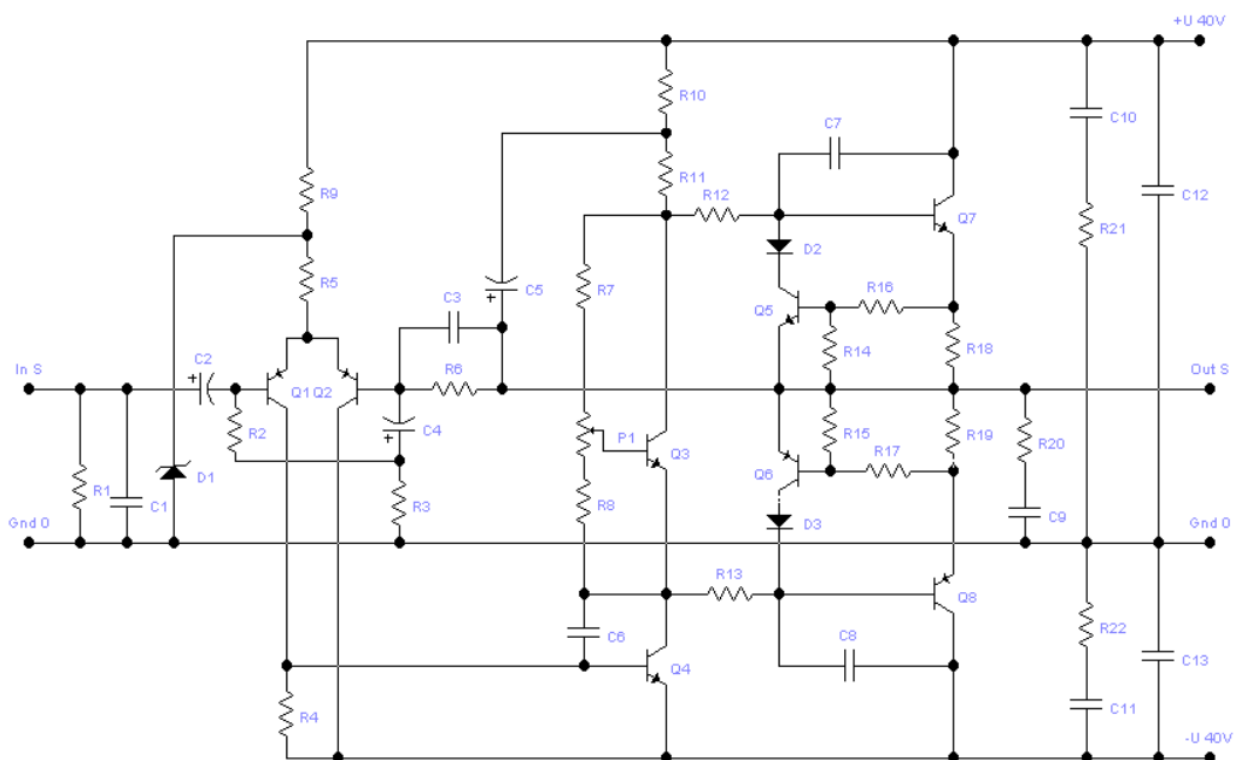
4. NAČIN FUNKCIONIRANJA POJAČALA

4.1 KOMPONENTE I SCHEMA

Tablica 1 Popis komponenata

Tranzistori		
BC556A	Q1,Q2	2
BC548B	Q3,Q5	2
BC639	Q4	1
BC558	Q6	1
BDX67B	Q7	1
BDX66B	Q8	1
Diode		
Zener 9,1V	D1	1
1N4148	D2,D3	2
LED zelena 3 mm	D4,D5	2
Otpornici		
120k	R1	1
3,3k	R2,R5,R6,R23,R24	5
120R	R3	1
680R	R4,R8	2
1,5k	R7	1
5,6k	R9	1
1,2k	R10	1
2,7k	R11	1
270R	R12,R13	2
15R/4W	R14,R15	2
220R	R16,R17	2
1R/9W	R18,R19,R21,R22	4
10R/4W	R20	1
Potenciometar 1k	P1	1

Kondenzatori		
470p	C1	1
10u/63 V elektrolit	C2	1
150p	C3	1
1000u/6 V elektrolit	C4	1
220/40 V elektrolit	C5	1
47p	C6,C9	2
560p	C7,C8	2
680n	C10,C11	2
100n	C12,C13,C14	3
4700u/63 V elektrolit	C15,C16	2



Slika 16 Radna shema i komponente [13]

Izvor: <http://www.inet.hr/~obacan/120w.htm>

4.2 NAČIN RADA

Pojačalo ima visoku ulaznu impedanciju koja iznosi oko 100 k Ω , najviše zbog pokretanja sustava koji se temelji na C4 i R2, ali i zbog toga što T1, po svojoj prirodi, ima prilično visoku ulaznu impedanciju. T1 i T2 tvore diferencijalno pojačalo. Diferencijalno pojačalo ima dva ulaza: Prvi je u bazi T1, a drugi je u bazi T2. Prvi ulaz izravno prima ulazni signal, dok se drugi koristi za dodavanje negativnih povratnih informacija iz izlaza kroz R6. Povratna informacija je spojena istosmjerno, a DC komponenta povratne informacije koristi se za stabiliziranje izlaza na nulti potencijal u mirovanju.

Porast napona (pojačanje napona) diferencijalnog ulaznog stupnja, koji se može smatrati neinvertirajućim pojačalom, određuje se omjerom zbroja R3 i R6, prema R3. To je:

$$U_o / U_i = (R_3 + R_6) / R_3 = 1 + R_6 / R_3 = 3420/120 = 28,5$$

Baza T4 prima signal iz kolektora T1. T4 i T3 pojačavaju ulazni signal kako bi osigurali dovoljno snage za pokretanje izlaznog stupnja. Zbog upotrebe tranzistora tipa Darlington na izlazu, nema potrebe za ekstremnim pojačanjem. Zbog toga u stvari, T4 i T3 ne koriste veliku struju i ne zagrijavaju se, pa ne zahtijevaju hlađenje. Jednosmjerni napon u praznom hodu na mjestu priključka R18 i R19 (a što više pri opterećenju) podešava se s P1 potencijetrom koji zapravo podešava napon kolektora i emitera T3. R11 se „pokreće“ kroz C5, a njegova impedancija se povećava što uzrokuje rast pojačanja u normalnom režimu rada.

U izlaznoj fazi koriste se T7 i T8. T7 i T8 su komplementarni tranzistori tipa Darlington i imaju sljedeće karakteristike (na sobnoj temperaturi):

- maksimalni napon kolektor - emiter = 100 V
- maksimalna struja kolektora = 16 A
- maksimalni toplinski gubitak = 150 W

Bez obzira koliko su učinkoviti izlazni tranzistori, trebali bismo ih zaštititi od preopterećenja. Iz tog razloga koristimo T5 i T6. Pad napona preko R18 ili R19 proporcionalan je izlaznoj struji. Stoga koristimo ove napone da osjetimo potencijalno preopterećenje. U slučaju preopterećenja (kratkog spoja pri opterećenju), visoka izlazna struja rezultira velikim padovima napona preko R18 i R19. Ti naponi čine T5 i T6 vodljivima preko djelatnika napona R16 / R14 i R17 / R15. Pri vodljivosti, T5 i T6 povlače struju iz baze T7 i T8, kroz D2 i D3, ograničavajući tako pogonsku struju u T7 i T8.

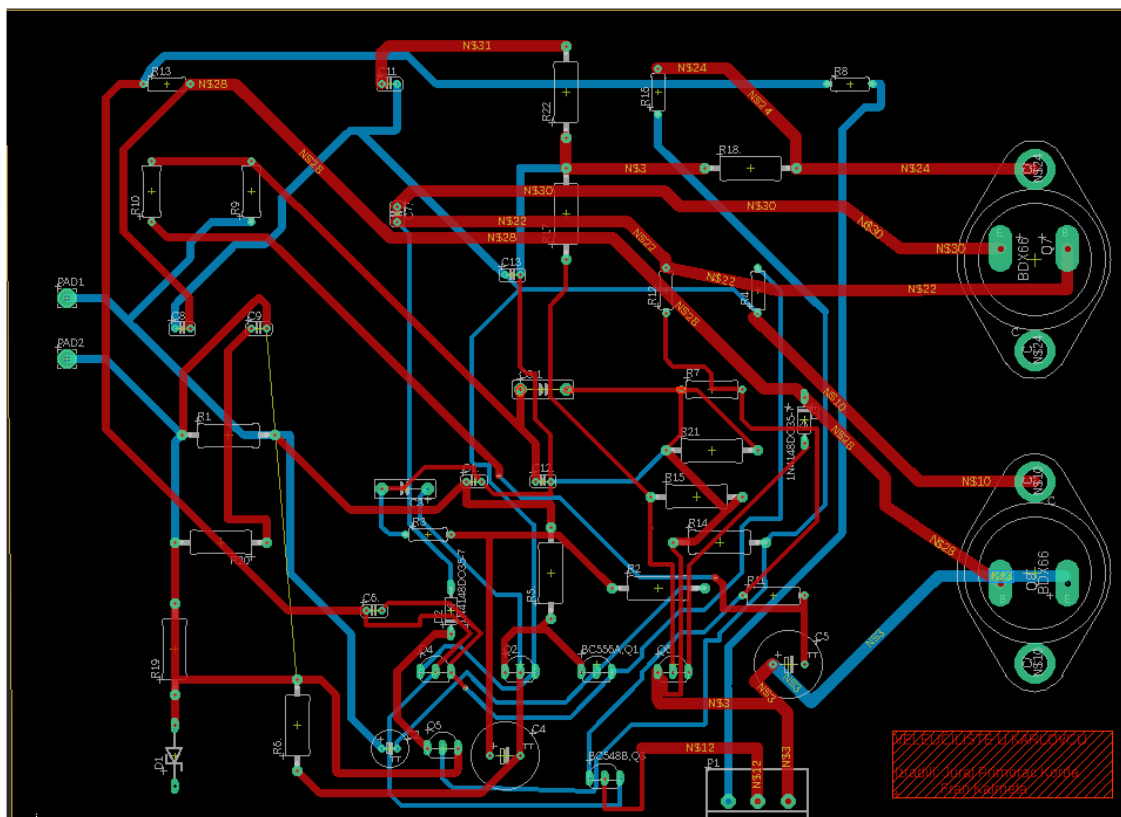
Svi kondenzatori u krugu imaju važnu ulogu: C1 ograničava frekvencijski odziv na visokim frekvencijama iznad zvučnog raspona kako bi se ograničila razina smetnji. C3 se također koristi za prigušenje visoke frekvencijske smetnje. C6, C7 i C8, kao i R20 i C9, stabiliziraju pojačalo. C10 i R21, C12, C11 i R22 služe za suzbijanje visokih frekvencijskih smetnji u naponu napajanja.

5. TISKANE VEZE

Tiskane veze su glavni dio nekog sklopa, da bi taj sklop radio potrebni su vodiči koji povezuju elemente. Tiskanu vezu mora se dizajnirati pazeći na snagu, napon i struju svakog elementa. Također, bitno je paziti i na hlađenje sklopa.

5.1. RAD U PROGRAMU „EAGLE“

Program „Eagle“ jednostavan je za korištenje, ne zahtijeva izuzetno dobre PC konfiguracije i osnovna verzija (dovoljno za nas male korisnike) je besplatna. U programu nalazimo mnoštvo komponenata (baza od nekoliko tisuća komponenata) koji su detaljno opisani pa nam je i sam rad u njemu olakšan zbog slikovitosti i lakoće pozicioniranja.

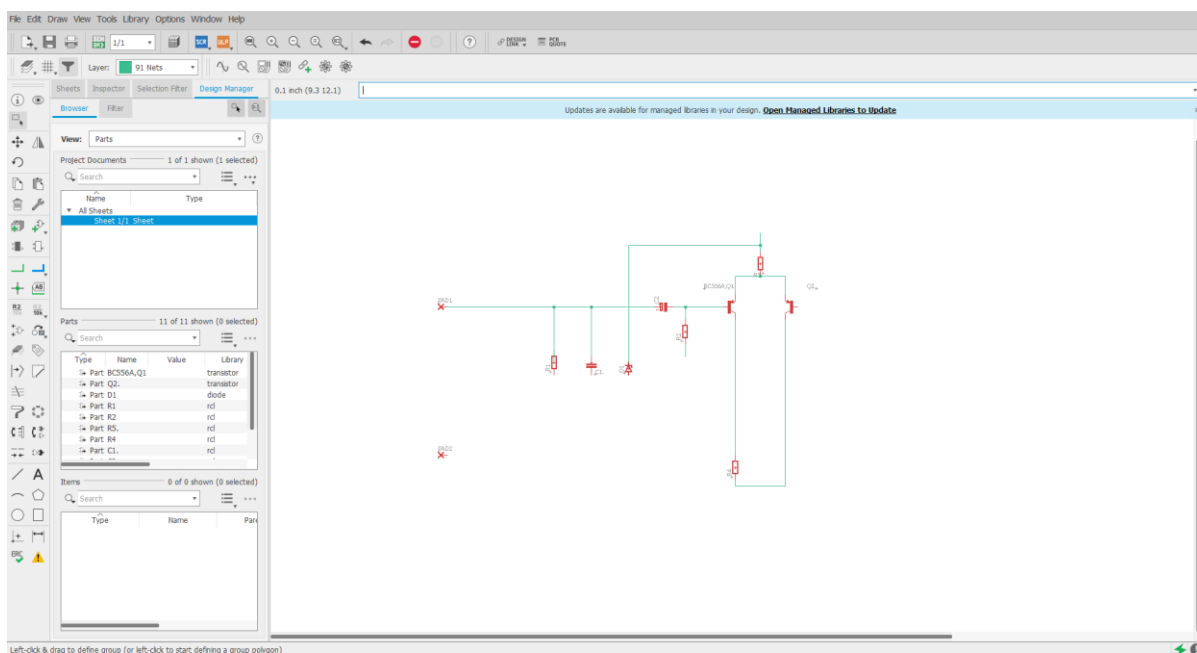


Slika 17 Dovršena shema tiskane pločice

Izvor: Autor

5.1.1. KREIRANJE ELEKTRONIČKE SHEME

Za početak smo odabrali sve potrebe komponente (prikazane na str 20.), te smo pomoću njih krenuli u izradu shematskog prikaza elektroničkog kruga. Da bismo buduću tiskanu pločicu napravili ispravnom i funkcionalnom, veoma je bitno točno izraditi shematski prikaz. Na prazan list novo otvorenog projekta dovuku se komponente (funkcijom „Add Part“), a zatim se dovučenim komponentama, odnosno njihovim nožicama, dodijele imena. Program Eagle nožice koje imaju isto ime spaja u istu točku, ali se na programu taj spoj ne prikazuje. Alat „Draw Line“ koristi se za povezivanje nožica kojima se imena ne podudaraju. U bazi software-a postoji velik broj komponenata te je potrebno biti oprezan prilikom odabira pravih. Moramo paziti na promjer nožica i veličinu komponenata kako bismo ih mogli fino rasporediti na pločici pa također, nakon obrade, zalemiti. Nakon temeljite provjere spojeva, iz shematskog se prikaza rad treba izvesti u dio programa koji služi za stvaranje sheme tiskane pločice.

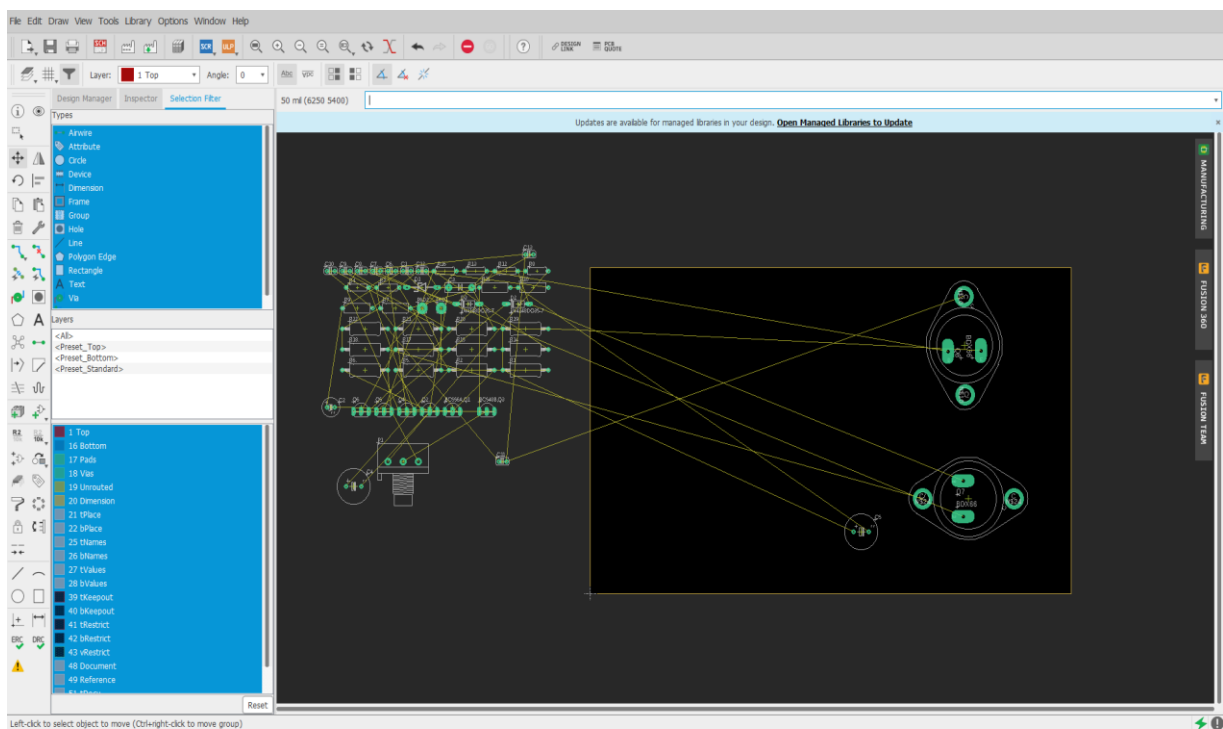


Slika 18 Kreiranje elektroničke sheme

Izvor: Autor

5.1.2. KREIRANJE SCHEME TISKANE ELEKTRONIČKE PLOČICE

Schema tiskane elektroničke pločice je prikaz elektroničkih komponenta raspoređenih u prostoru realnih dimenzija. Nakon prelaska u alat za shemiranje tiskane pločice, vrlo je bitno pažljivo rasporediti komponente po prostoru predviđenom za tiskanu pločicu. Pozornost posebice treba obratiti na veličinu i smjer komponenta, polaritet, stranu montiranja komponenta, te razmake između nožica. Nakon pozicioniranja komponenta, treba definirati putanje vodiča po tiskanoj pločici, a za to smo koristili alat „Autorouter“, koji nam je ubrzao taj proces.

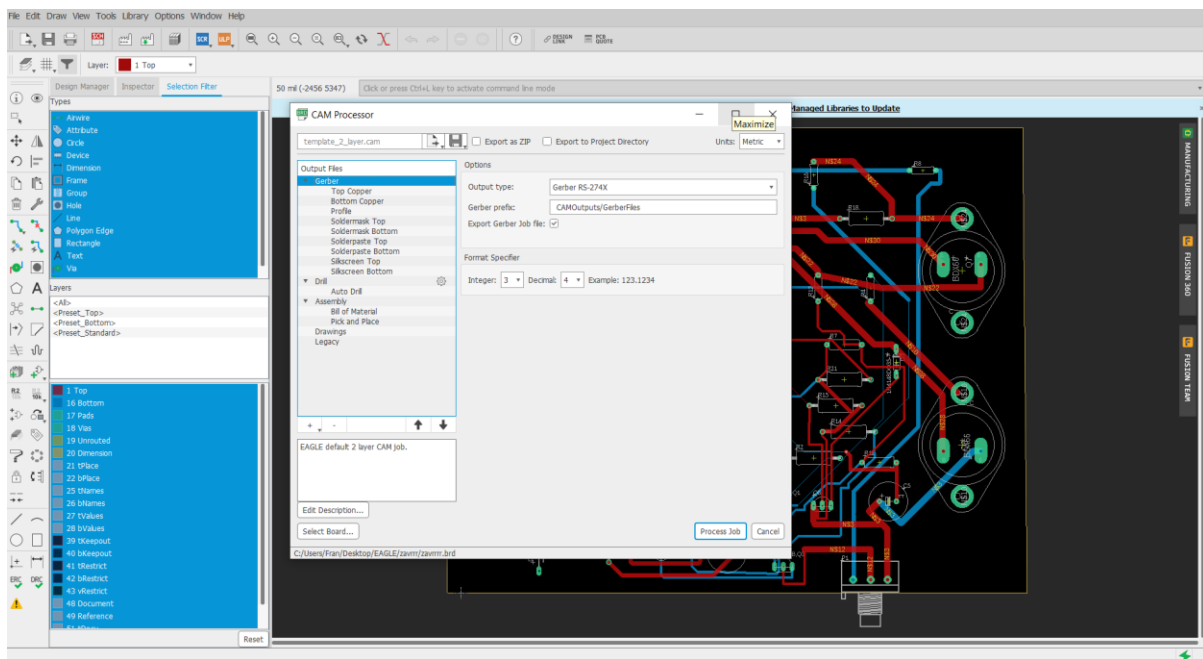


Slika 19 Pozicioniranje komponenta

Izvor: Autor

5.1.3 „IZVOZ“ DATOTEKA TISKANE ELEKTRONIČKE PLOČICE

Kada smo dobili željeni oblik tiskane pločice, treba odabrati slojeve za njezinu izradu i izvesti ih u „Gerber file“ (oblik datoteke kojeg će prepoznati CNC stroj). To radimo pomoću alata „CAM processor“ u kojem samo odabiremo tip izlaznog podatka (Gerber) te zatim to potvrđujemo pritiskom na „Process Job“ funkciju.



Slika 20 Kreiranje "Gerber file-a"

Izvor: Autor

6. IZRADA PLOČICE KORIŠTENJEM LPKF TEHNOLOGIJE

6.1 UVOD

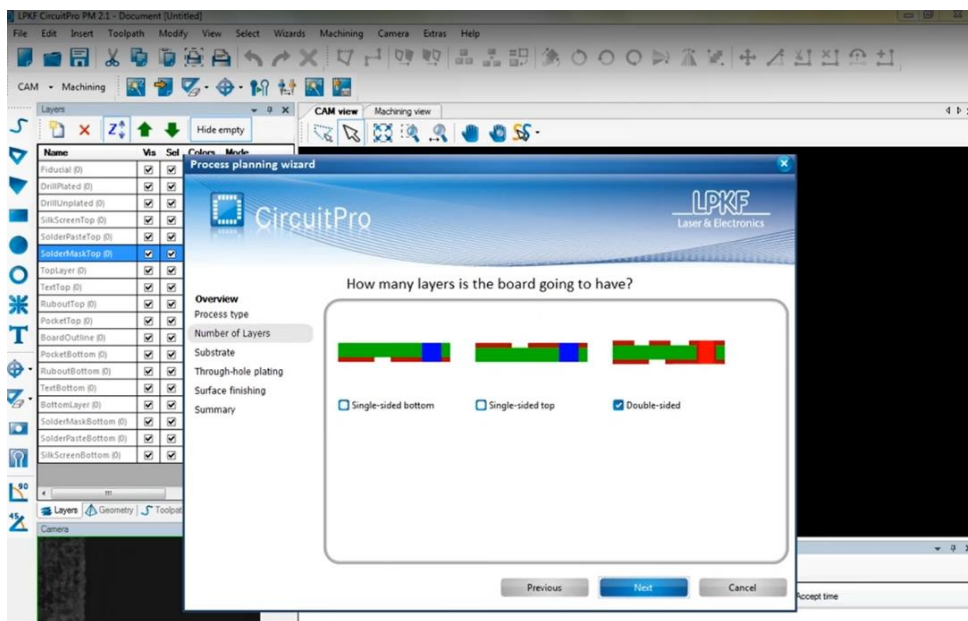
LPKF Laser & Electronics d.o.o. (Lease Programmable Functional Keys) je međunarodno poduzeće koje se bavi razvojem, proizvodnjom i prodajom high-tech uređaja, osnovano 1976. u Garbsenu u Njemačkoj. Prednosti korištenja navedene tehnologije su jednostavnost, brzina, sigurnost i ekološka funkcionalnost.

6.2 KORIŠTENJE SOFTWARE-A: „CircuitPro PM 2.1“

Nakon „izvoza“ podataka iz programa Eagle, kreirani Gerber file prebacujemo na USB disk te ga ubacujemo u računalo koje je povezano na CNC stroj (ProtoMat S63). Pokrećemo software CircuitPro te krećemo s izradom novog projekta pomoću funkcije „Proces planning wizard.“ Odabiremo vrstu materijala kojeg ćemo obrađivati, zatim njegove dimenzije te odabiremo tip pločice: „dvostrani“ (double-sided). Sljedeći korak je „uvoz“ Gerber podataka (izbornik „import file“) prema kojima će program uskladiti konstruirane slojeve (layers) u Eagle-u te odabrati potrebne alate za obradu. Naravno, moguće je i ručno postavljanje i mijenjanje promjera, brzine rotacije alata te podešavanje Z osi. Koristeći funkciju „Tool magazin“ možemo provjeriti da li stroj sadržava sve potrebne alate, ako ne, potrebno ih je ručno postaviti. U nastavku koristili smo „Board Production Wizard“ funkciju.

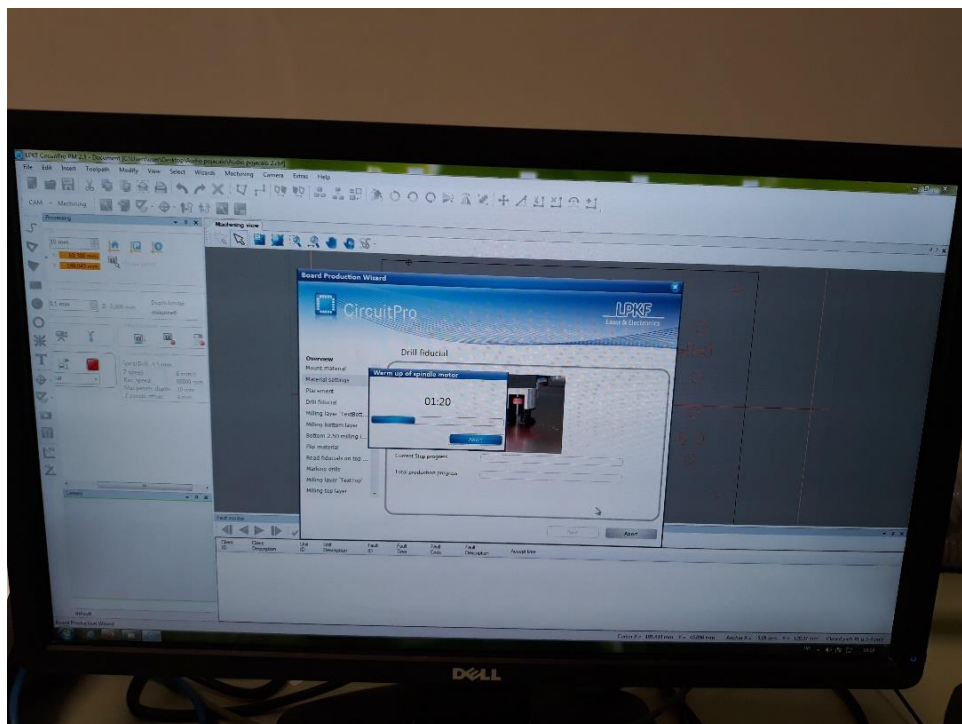
Prvi korak bio je učvrstiti pločicu za postolje da ne bi došlo do pomicanja tijekom obrade. To smo učinili pomoću ljepljive trake. Sljedeći korak bio je lociranje pločice. Stroj ima kameru pomoću koje smo se ručno pozicionirali te locirali naše postavljene oznake, a zatim podesili Z os.

Slijedilo je nekoliko minuta čekanja radi obrade unesenih podataka te je nakon toga stroj bio spreman za rad. Dokle god ne uskladimo i podesimo sve parametre proces neće započeti.



Slika 21 Process planning wizard (izrada projekta)

Izvor: Autor

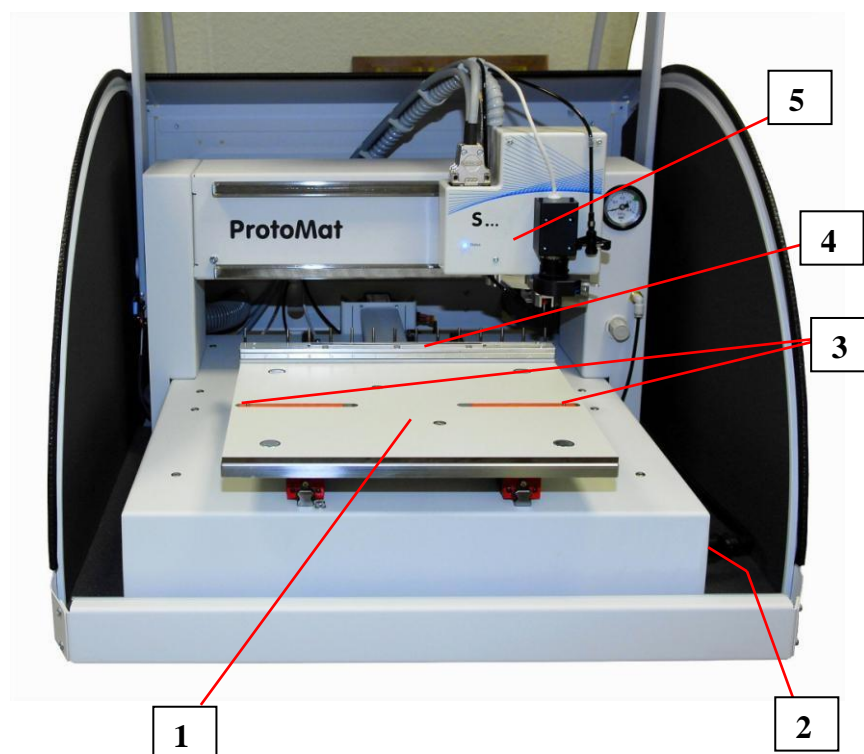


Slika 22 Obrada unesenih parametara

Izvor: Autor

6.3 RAD NA STROJU: „ProtoMat S63“

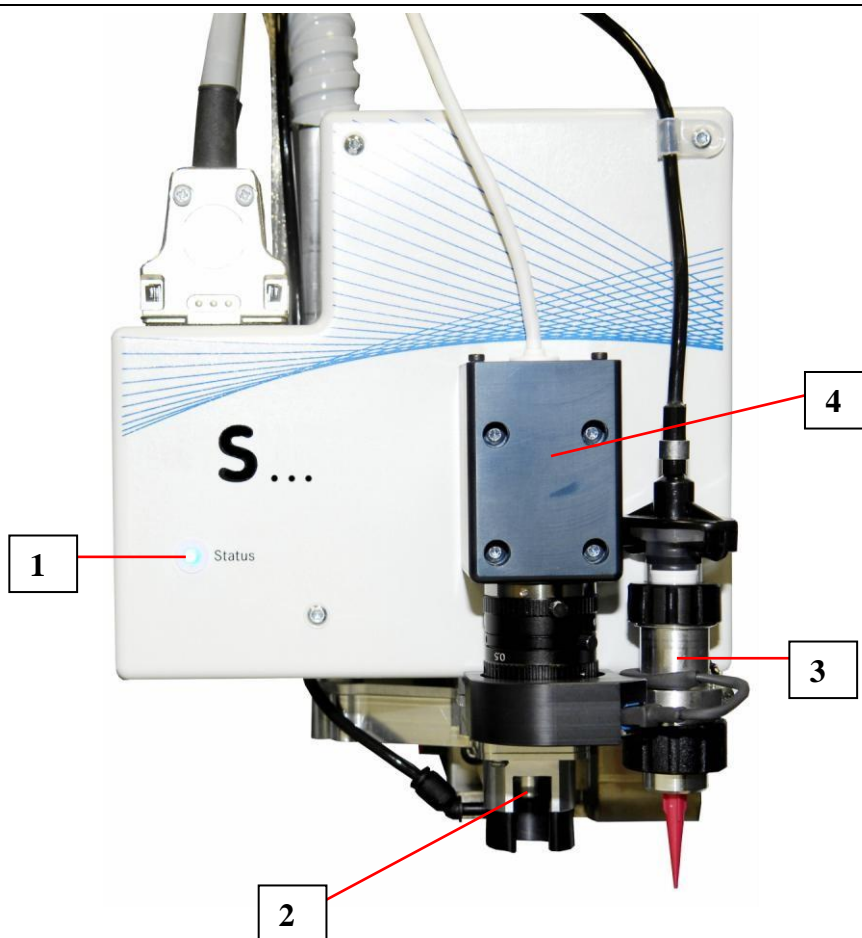
Nakon što smo software-ski pripremili stroj, kreće proces obrade. Tijekom rada stroj automatski mijenja alate te prati upute koje smo zadali u CircuitPro-u, a sami proces obrade i kretanje alata stroja možemo istovremeno promatrati na zaslonu. Za zaštitu tijekom procesa, radni prostor štiti staklo koje mora biti spuštено da bi stroj radio, no ukoliko dođe do podizanja stakla ili npr. pucanja glodala, program javlja grešku te se rad zaustavlja. Maksimalna buka stroja (ovisna o materijalu obrade) je 71 dB, jednostavna uporaba, čišćenje i održavanje.



Slika 23 Izgled i sastav stroja [14]

Izvor: <https://www.lpkf.com/en/>

1. Radni stol
2. Paljenje/gašenje
3. Učvršćivači
4. Alati
5. Glodalice



1. Status LED
2. Držać alata
3. Dispenzer
4. Kamera

LED	Signal
ON	Pločica je spremna za obradu.
Titranje	Titranje LED označava pomicanje glodala/bušilice ili grešku na stroju.

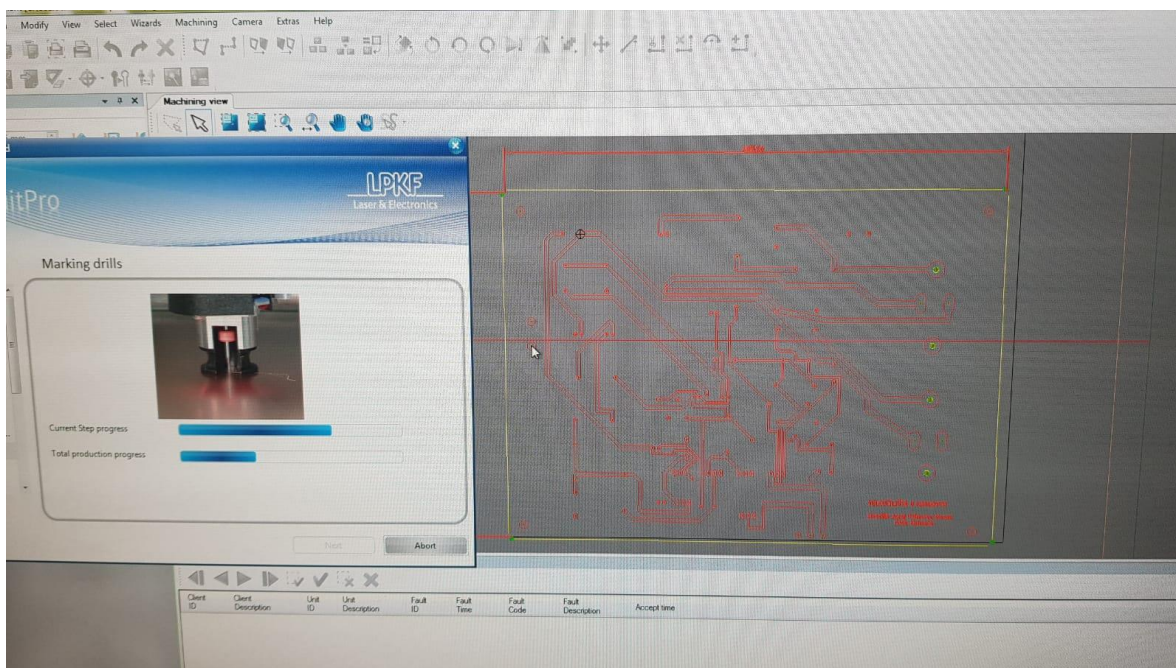
Tablica 2. Signalne lampice CNC stroja [14]

Izvor: <https://www.lpkf.com/en/>

Data	Values
Mains power supply	Voltage range from 110 to 240 V AC, 50 - 60 Hz
Power consumption	400/450 W
Weight	Appr. 58 kg
Dimension	670 x 540 x 760 mm (W x H x D)
Permissible ambient temperature	Range from 15 to 25 °C
Permissible atmospheric humidity	Up to 60 %
Workplace noise level	71 dB (A), devoid of noise level dust extraction
Motor mill/drill head	Three phase motor
Range of speeds	Up to 60,000 min ⁻¹ (variable)
Processing speed	150 mm/s
Drilling capacity	150 strokes per minute
Tool change mechanism	Automatically
Number of tools	Up to 15 tool holder positions, software limit
Tool collet base	3.175 mm (1/8")
Motor X-axis	Three phases stepping motor
Motor Y-axis	Three phases stepping motor
Motor Z-axis	Two phases stepping motor
Milling depth adjustment	Automatically
Working area with work table	305 x 229 x 38 mm (X x Y x Z)
Working area with MKHP plate	305 x 229 x 32 mm (X x Y x Z)
Working area with vacuum table	305 x 229 x 23 mm (X x Y x Z)
Resolution (X/Y)	+/- 0.5 µm (0.02 Mil)
Repeat accuracy	+/- 5 µm (0.2 Mil)
Exactness reference hole system	+/- 20 µm (0.8 Mil)
Minimal drill diameter	0.2 mm

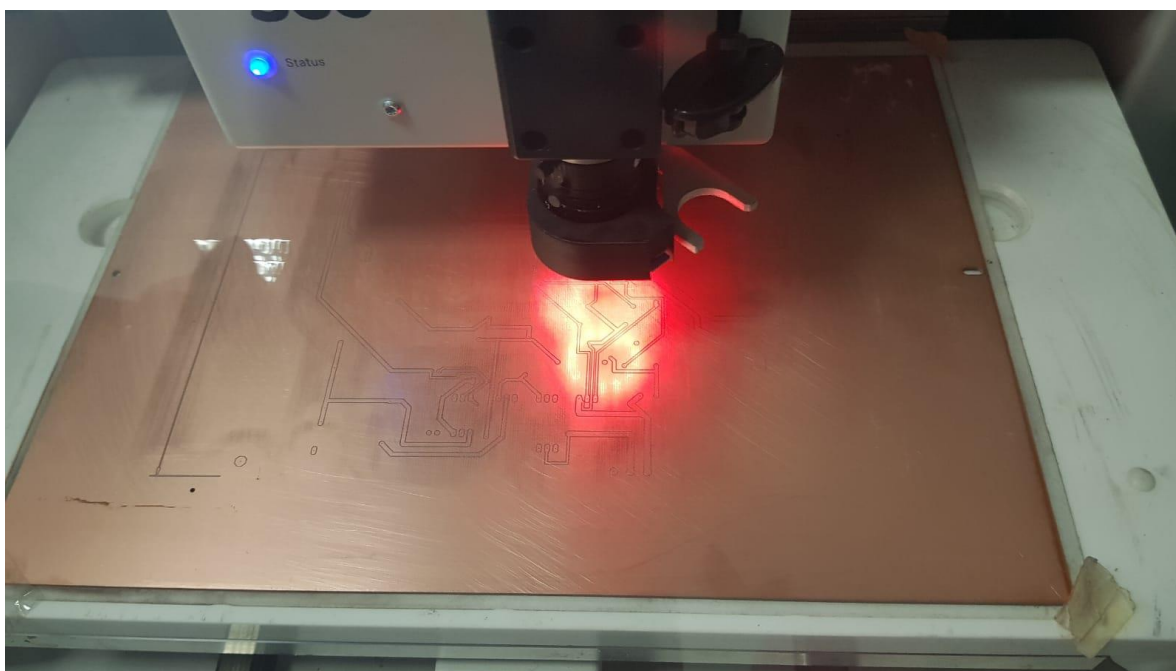
Tablica 3 Specifikacije stroja [14]

Izvor: <https://www.lpkf.com/en/>



Slika 24 Praćenje procesa obrade u CircuitPro software-u

Izvor: Autor



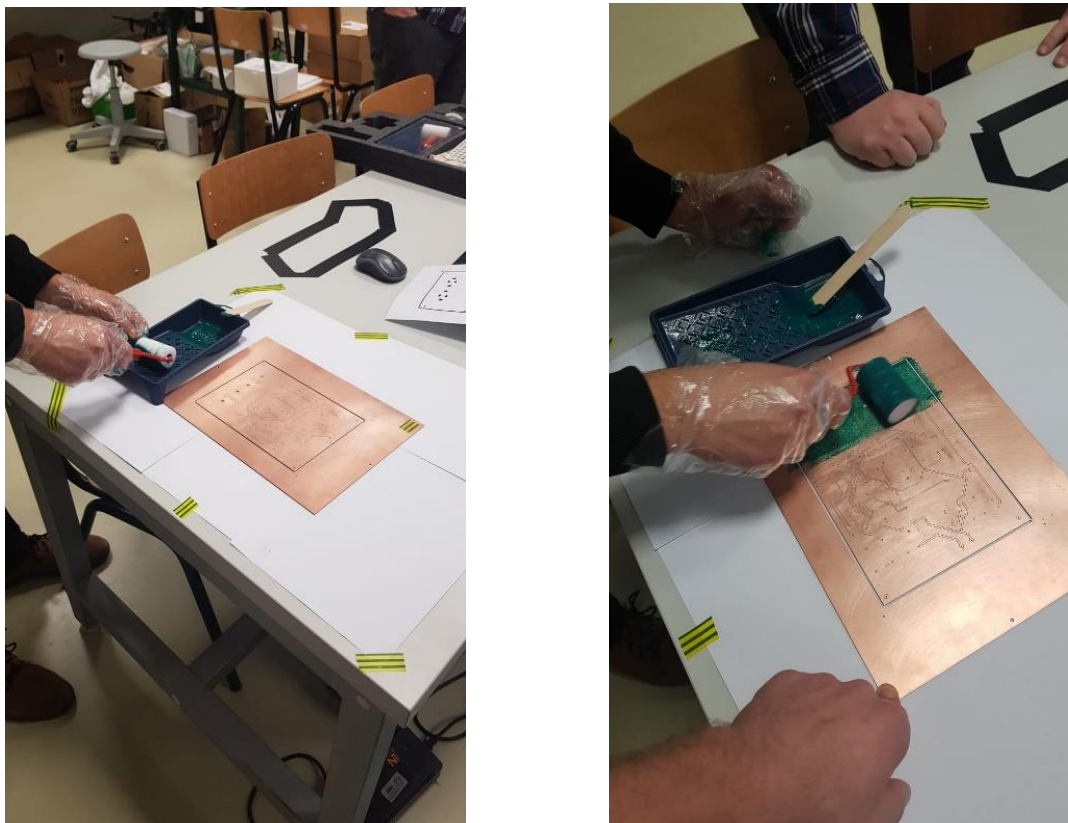
Slika 25 Izgled obrade

Izvor: Autor

6.4 STAVLJANJE MASKE ZA LEMLJENJE (LPKF PRO MASK)

Nakon što je pločica obrađena, potrebno je staviti masku za lemljenje (ili lemlnu masku). Ona je zapravo tanki sloj polimera (premaz) koji štiti krug od korozije i električnih kratkih spojeva. Također nudi električnu izolaciju koja omogućava postavljanje tragova višeg napona bliže jedni drugima. Ono što je najvažnije, maska za lemljenje drži lemljenje na „jastučićima“ (pads), te onemogućuje protok lema na tragove, ravnine ili prazan prostor na pločici. To smanjuje vjerojatnost da će lemljenje tvoriti mostove (nenamjerne veze) s jednog elementa na drugi. Maske za lemljenje su nepovoljne za valno lemljenje, što je tehnika masovne proizvodnje, no, one također čine ručno lemljenje bržim, lakšim i preciznijim.

Početni korak bio je pomiješati dvije komponente štapićem iz koje smo dobili našu „masku“ a zatim smo ju nanjeli na obje strane pločice pomoću valjka.



Slika 26 Premazivanje pločice maskom za lemljenje

Izvor: Autor

6.5 KORIŠTENJE PEĆNICE: „ProtoFlow S“

Nakon premazivanja pločice, potrebno ju je bilo dobro osušiti, a za to smo koristili ProtoFlow S „pećnicu“. Pritiskom na tipku, stroj nam izvlači postolje na koje stavljamo pločicu, te ju pomoću iste vraćamo nazad u unutrašnjost stroja. ProtoFlow S ima LCD zaslon na kojem smo pomoću jednostavne tipkovnice podesili temperaturu i vrijeme zagrijavanja (10 min/80 °C), te pokrenuli proces. Prednost rada na ovakvom stroju je mogućnost povezivanja na računalo te praćenje i upravljanje radne temperature čija maksimalna vrijednost može biti podešena na 320 °C. Nakon zadanih 10 minuta stroj automatski vadi postolje s pločicom te slijedi hlađenje.



Slika 27 ProtoFlow S "pećnica"

Izvor: Autor

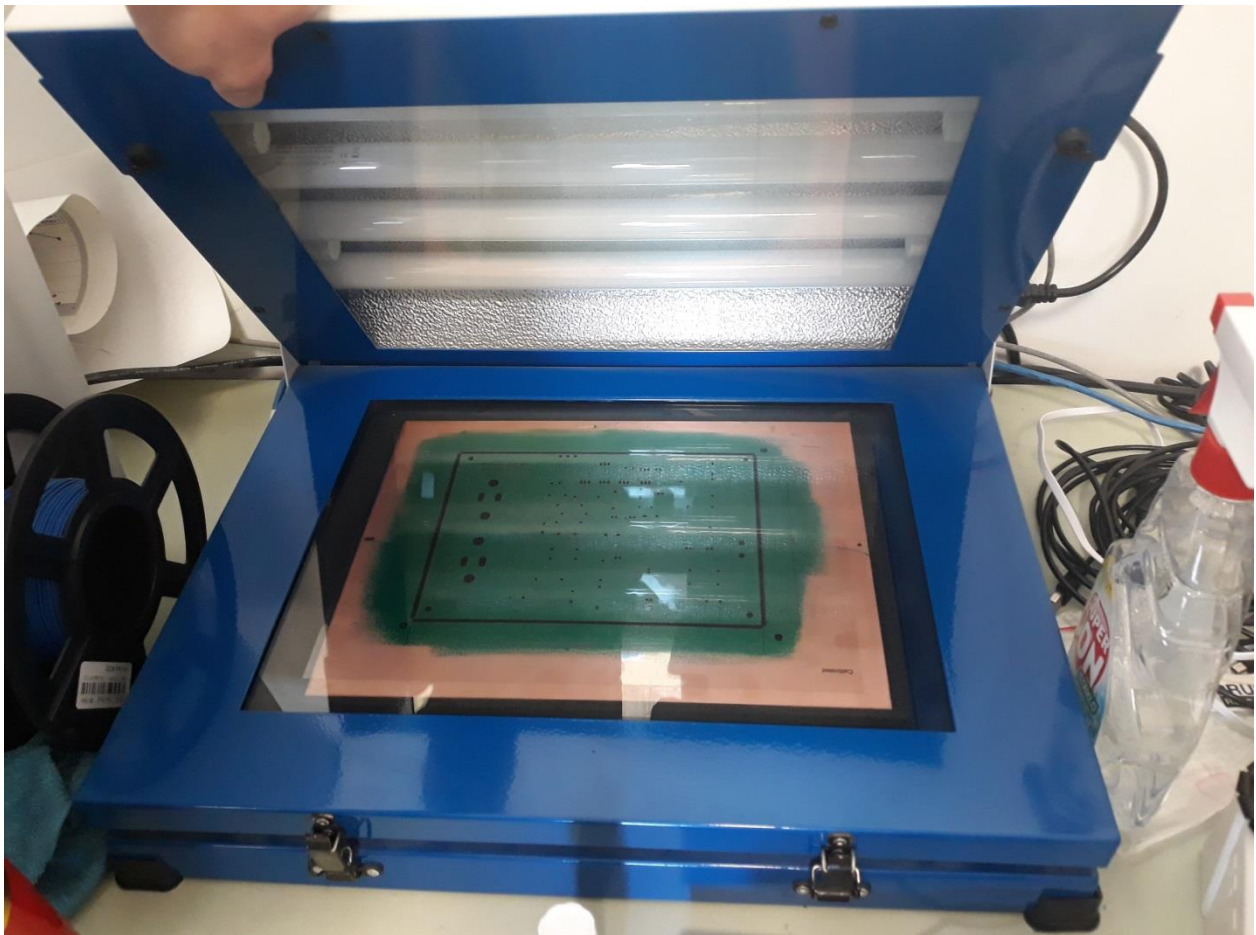


Slika 28 Grijanje pločice

Izvor: Autor

6.6 FOTO-POSTUPAK (UV IZLOŽBENA JEDINICA)

Kada smo ohladili pločicu na otprilike 25°C, stavili smo ju u UV izložbenu jedinicu. Prije pokretanja stroja potrebno je bilo isprintati predložak dimenzija i rasporeda rupa istih kao i kod pločice, a za to smo koristili CircuitPro software i naravno printer. Kada smo to učinili, stavili smo pločicu u stroj te na nju isprintani predložak tako da se označene rupe poklapaju s onima od pločice. Tako smo ostvarili razliku između bakra kojeg je potrebno odstraniti i bakra koji je potreban za stvaranje elektroničke veze između komponenata na tiskanoj pločici. Namjestili smo vrijeme zračenja na 30 sekundi i pokrenuli stroj. Isto je bilo potrebno učiniti i s druge strane pločice.



Slika 29 Priprema pločice za foto-obradu

Izvor: Autor



Slika 30 Faza obrade

Izvor: Autor

6.7 UKLANJANJE SLOJEVA MASKE

Nakon UV zračenja, potrebno je bilo ukloniti osvijetljene slojeve maske, a za to smo koristili otopinu koju smo napravili tako da smo izmiješali prašak iz LPKF seta (Natrijev Hidroksid) s vodom zagrijanom na 40-50 °C. Pločicu smo uronili u otopinu, te pomoću četke nježno skinuli slojeve sa svake strane, a zatim ju isprali hladnom vodom kako bismo zaustavili kemijsku reakciju da ne dođe do skidanja neželjenih slojeva. Za sušenje smo ponovo koristili ProtoFlow S pećnicu, te grijali pločicu 30 minuta na temperaturi 160 °C, a zatim ohladili na približno 20 °C.



Slika 31 Uklanjanje slojeva maske

Izvor: Autor

6.8 LPKF CLEANER

Završni korak bio je korištenje LPKF Cleaner-a (sprej) radi otklanjanja slojeva oksida. Dobro smo našpricali pločicu a zatim ju oprali u hladnoj vodi i posušili na sobnoj temperaturi.



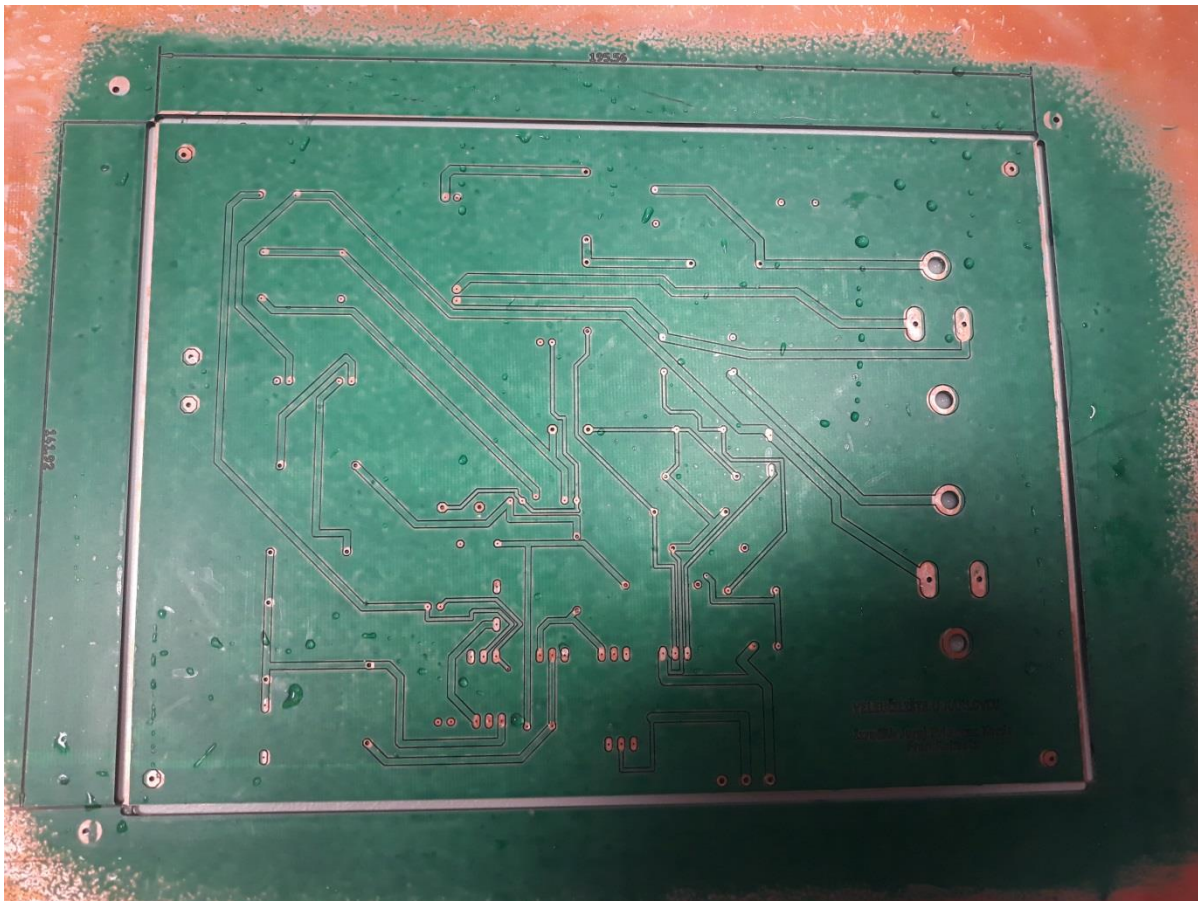
Slika 32 Nanošenje spreja

Izvor: Autor

6.9 KONAČAN IZGLED PLOČICE

Dimenzije pločice su : 20 cm x 14 cm

Tip pločice: dvoslojan



Slika 33 Konačan izgled pločice

Izvor: Autor

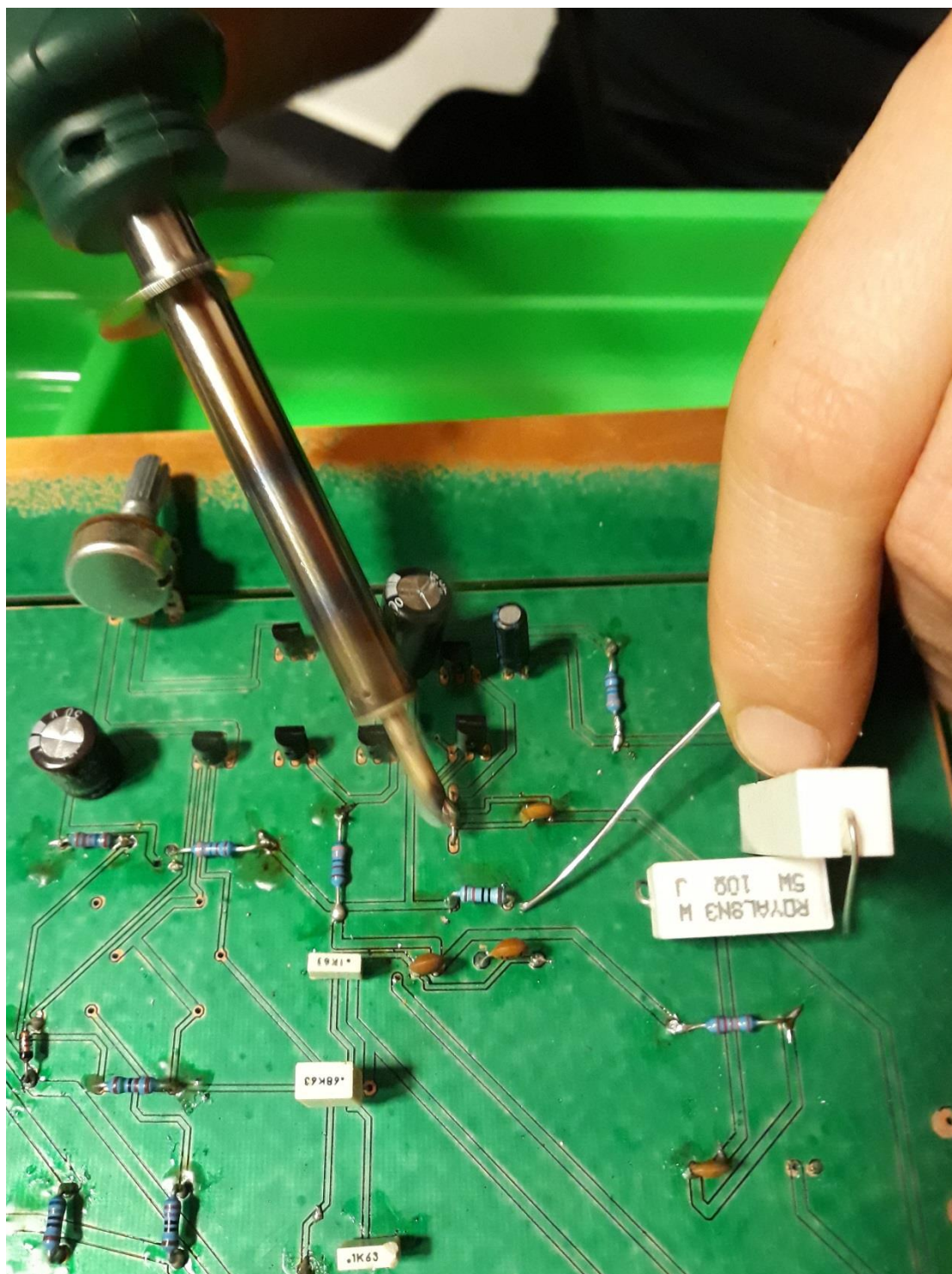
7. LEMLJENJE

Postupak kojim pomoću rastaljenog lema povezujemo metalne materijale, nazivamo lemljenje. Talište lema naravno mora biti manje od metala koje se povezuje, a svrha lemljenja je bila povezati elektroničke komponente na tiskanu pločicu, te osigurati njihovu električnu vodljivost. Da bismo mogli lemiti potrebni su nam lemilica i lemna žica. Lemilica se zagrije na dovoljno visoku temperaturu na kojoj može rastaliti žicu za lemljenje, te tim rastaljenim lemom povezujemo metale.

Za lemljenje osjetljivih komponenti potrebno je imati mirnu ruku i dobar alat. Lemilica s podešavanjem temperature je poželjna, ali ne nužno potrebna. Prije lemljenja potrebno je dobro očistiti bakar, ako želimo dobre rezultate najbolje je ponovno pobrusiti pločicu sa finim vodobrusnim papirom. Tada smo sigurni da neće biti hladnog lema i da će se kontakti dobro zalemiti.

Aktivne elektroničke elemente potrebno je lemiti sa smanjenom temperaturom dok pasivne smijemo s višom. Veliku ulogu naravno ima lem, odnosno odnos materijala koje sadrži. Najpoželjniji za audio tehniku je onaj s velikim postotkom srebra, isto tako bitno je i sredstvo za čišćenje, najčešće „Flux“.

Prema temperaturi, lemljenje možemo podijeliti na meko (do 450°C), tvrdo (450°C - 900°C) te visoko-temperaturno (preko 900°C).



Slika 33 Faza lemljenja

Izvor: Autor

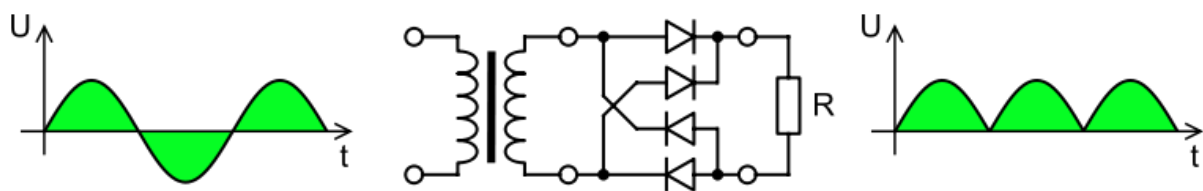
8. NAPAJANJE

8.1 TRANSFORMATOR

Transformator je uređaj koji pretvara napon jedne naponske razine u drugu pod uvjetom da je taj napon izmjeničan. Transformator koje koristi ovaj sklop je 2*40V s dva sekundara. Dva sekundara su potrebna da bi se realiziralo simetrično napajanje. Snaga transformatora se može izračunati (približno) površinom jezgre oko koje je namotan primar. Transformator je vlastoručno namotan na primar i limove od starog transformatora. Snaga transformatora je otprilike 400VA što je jako predimenzionirano za ovaj sklop.

8.2 GRAETZOV SPOJ

Graetzov spoj je spoj 4 diode u most pomoću kojeg punovalno ispravljamo sinusoidni napon.



Korišten je Graetzov spoj u metalnom kućištu, 25A/125V. U ovom slučaju Graetz je korišten kao 2 spoja s 2 diode zbog simetričnog napajanja.

8.3 KONDENZATOR

Kondenzator nam služi za kompenziranje brujanja nakon ispravljanja. Osim što se kompenzira veći dio brujanja diže se i efektivna vrijednost ispravljenog napona. Ako zanemarimo pad napona na diodama, dobiveni napon je 1,41 puta viši od efektivne vrijednosti neispravljenog napona. Primjer: $U_i = U_{ef} * 1,41$, $U_i = 40V * 1,41 = 56,4V$. Ako još oduzmemo pad napona na diodama (2 diode) $U_d = 1,4V$ dobijemo da je dobiveni napon 53,6V. Ovo je značajno jer ako ne uzmemo ispravljanje u obzir možemo dobiti previsoku naponsku razinu.

ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je izraditi audio pojačalo izlazne snage 100W. Zbog cijene i pristupačnosti nekih dijelova izrađeno je pojačalo u tranzistorskoj tehnologiji koje se nalazi u AB klasi. Prilikom razmišljanja o odabiru klase pojačala bilo je potrebno razmotriti više faktora, a to su cijena dijelova, prijenos signala te izlazna snaga samog pojačala. Zato je odabrana AB klasa koja je najbolji omjer cijene i kvalitete.

Početak izrade PCB-a u programu Eagle zahtijeva dosta opreza i strpljenja, jer se na njoj temelji buduća pločica. Pojačalo se sastoji od velikog broja komponenata koje se prolaskom struje zagrijavaju te su zato korištena dva „hladnjaka“ za odvođenje topline na koje je trebalo računati prilikom raspoređivanja komponenata po pločici. Prednost rada u programu Eagle je baza od nekoliko tisuća slikovitih komponenata koje se vrlo jednostavno pozicioniraju.

Rad na CNC strojevima olakšava izradu tiskane pločice no bitno je opremiti stroj odgovarajućim alatima obrade i paziti na pravilan unos parametara u software. Prednosti takvog načina izrade su svakako brzina, praktičnost, ekološka funkcionalnost te sigurnost.

Lemljenje kao postupak nije kompliciran, no kod ovakve pločice on zahtijeva dosta vremena i mirnoće jer se radi o velikom broju komponenata. Poželjno bi bilo da sam imao lemlicu s regulatorom topline radi lemljenja sitnih komponenata kod kojih se nalaze tanki vodovi.

Izrada ovakvog pojačala zahtijeva dosta uloženog vremena, no uz minimalne resurse i maksimalan trud izrađeno je jedno kvalitetno funkcionalno audio pojačalo.

LITERATURA

- [1] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Poja%C4%8Dalo>
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_power_amplifier
- [4] https://hr.wikipedia.org/wiki/Klase_rada_poja%C4%8Dala
- [5] <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>
- [6] https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektroni%C4%8Dki_element
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_component
- [8] <http://www.resistorguide.com/metal-film-resistor/>
- [9] <https://www.petvolta.com/komponente/otpornici-vrste-otpornika/>
- [10] <https://www.petvolta.com/kapacitet-i-kondenzator.html>
- [11] <https://e-radionica.com/hr/blog/2018/04/19/vise-o-tranzistorima/>
- [12] <https://www.electrical4u.com/diode-working-principle-and-types-of-diode/>
- [13] <http://www.inet.hr/~obacan/120w.htm>
- [14] <https://www.lpkf.com/en/>
- [15] https://de.wikipedia.org/wiki/LPKF_Laser_%26_Electronics
- [16] <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/lemlj.html>
- [17] https://hr.wikipedia.org/wiki/Meko_lemljenje
- [18] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Transformator>
- [19] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ispravlja%C4%8D>
- [20] <https://www.tipa.eu/en/amplifier-show-sa-30/d-82483/>