

# IZRADA TISKANE PLOČICE S DEMONSTRACIJOM SEKVENCIJALNOG LED POKAZIVAČA SMJERA

---

**Knežević, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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:128:488706>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-21**



**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  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ MEHATRONIKA

MARKO KNEŽEVIĆ

**IZRADA TISKANE PLOČICE S  
DEMONSTRACIJOM SEKVENCIJALNOG  
LED POKAZIVAČA SMJERA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Professional study of Mechatronics

MARKO KNEŽEVIĆ

**PRINTED CIRCUIT BOARD  
MANUFACTURING WITH A  
DEMONSTRATION OF A SEQUENTIAL LED  
DIRECTION INDICATOR**

FINAL PAPER

KARLOVAC, 2024.  
VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ MEHATRONIKA

MARKO KNEŽEVIĆ

**IZRADA TISKANE PLOČICE S  
DEMONSTRACIJOM SEKVENCIJALNOG  
LED POKAZIVAČA SMJERA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
dr. sc. Anamarija Kirin, v. pred

KARLOVAC, 2024.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
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: Mehatronika  
(označiti)

Usmjerenje: /

Karlovac, 2024.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Marko Knežević

Matični broj: 0248077210

Naslov: Izrada tiskane pločice s demonstracijom sekvencijalnog led pokazivača smjera

Opis zadatka:

U teorijskom dijelu opisati korištene komponente i proces izrade tiskane elektroničke pločice. U praktičnom dijelu izraditi tiskanu pločicu s kojom će se demonstrirati principi rada sekvencijalnog LED pokazivača smjera uz pomoć integriranog sklopa LM3914 i timera NE555.

Zadatak zadan:

05/24.

Rok predaje rada:

06/23.

Predviđeni datum obrane:

06/23.

Mentor:

dr. sc. Anamarija Kirin

Predsjednik Ispitnog povjerenstva

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ja, Marko Knežević, ovaj rad izradio samostalno pomoću stečenog znanja tijekom studija i navedene literature.

Zahvaljujem se svojoj mentorici Anamariji Kirin, na pomoći tijekom izrade ovog završnog rada.

## **SAŽETAK**

Ovaj završni rad fokusira se na detaljan opis korištenih komponenata i proces izrade tiskane elektroničke pločice s kojom će se demonstrirati principi rada sekvencijalnog LED pokazivača smjera uz pomoć integriranog sklopa LM3914 i timera NE555. Demonstrativni sklop izrađen je s namjerom demonstracije principa rada upravljanja frekvencijom paljenja pokazivača smjera.

Ključne riječi: Tiskana pločica, LM3914, NE 555, EAGLE (software), Autodesk Fusion 360

## **SUMMARY**

This final paper focuses on a detailed description of the components used and the process of making a printed circuit board with which the principles of the sequential LED direction indicator will be demonstrated with the help of an integrated circuit LM3914 and timer NE555. The demonstrative assembly was made with the intention of demonstrating the principle of operation of controlling the frequency of turning on the direction indicators.

Keywords: Printed circuit board (PCB), LM 3914, NE555, EAGLE (software), Autodesk Fusion 360



# SADRŽAJ

<b>ZADATAK ZAVRŠNOG RADA</b> .....	4
<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. DEFINICIJA TISKANE PLOČICE</b> .....	2
<b>2.1 Povijest razvoja tiskanih pločica</b> .....	3
2.2.1 Od 1880. do 1900. godine .....	3
2.2.2. Od 1890. do 1920. godine .....	4
2.2.3. 1920-e godine prošlog stoljeća .....	4
2.2.4. U razdoblju od 1930. do 1945. godine .....	6
2.2.5. Od 1947. do 1970. godine .....	8
2.2.6. 1980-e godine prošlog stoljeća .....	8
2.2.7. 1990-e godine prošlog stoljeća .....	9
<b>3. PREGLED KORIŠTENIH KOMPONENTI</b> .....	10
<b>3.1 Integralni sklop LM3914</b> .....	10
<b>3.2 Timer NE555</b> .....	12
3.2.1. Unutarnja konstrukcija .....	13
<b>3.3 Otpornici</b> .....	16
<b>3.4 Elektrolitički kondenzator</b> .....	17
<b>3.5 Poliesterski kondenzator</b> .....	19
<b>3.6 Trimer ili kondenzator promjenjivog kapaciteta</b> .....	20
<b>3.7 LED diode</b> .....	22
<b>3.8 1N4007 dioda</b> .....	23
<b>3.9 Količina upotrebljenih komponenata</b> .....	24
<b>4. IZRADA TISKANE PLOČICE</b> .....	25
4.4.1 Izlaganje pločice ultraljubičastom zračenju .....	34
4.4.2 Postupak razvijanja pločice uz pomoć natrijevog hidroksida .....	38
4.4.3. Priprema za jetkanje .....	42
4.4.4. Pripreme za bušenje i bušenje .....	48
4.4.5. Lemljenje .....	51
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	54
<b>6. LITERATURA</b> .....	55
<b>7. PRILOZI</b> .....	57
<b>7.1 Popis slika</b> .....	57
<b>7.2. Popis tablica</b> .....	58

## 1. UVOD

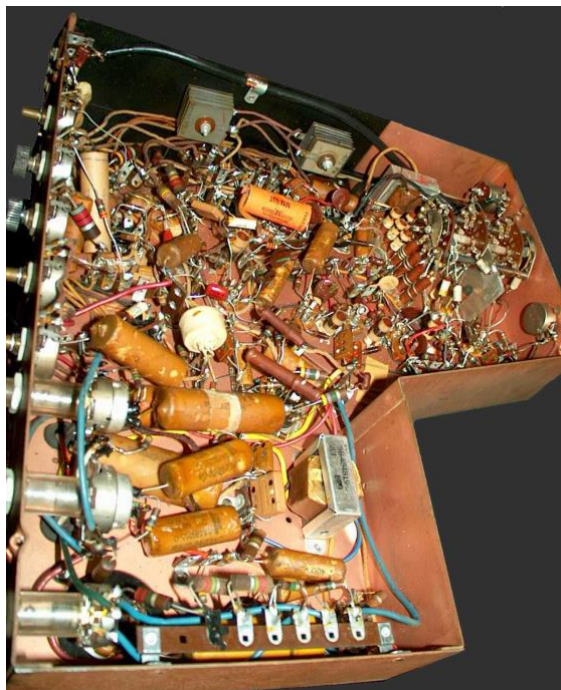
Današnji svijet je pogonjen elektroničkim komponentama povezanima uz pomoć tiskanih pločica. Veći dio tehnologije koju svakodnevno koristimo ne bi bio moguć bez izuma tiskane pločice. Tiskana pločica ne samo da je omogućila smanjenje veličine korištene elektroničke opreme, već je omogućila i ekonomičniju proizvodnju moćnih sklopova. Danas se tiskane pločice nalaze posvuda, od najjednostavnijih dječjih igračaka, do najsloženijih strojeva koje čovječanstvo koristi. S druge krajnosti, njihova proizvodnja je danas toliko jeftina i ekonomična da se nažalost nalaze i u predmetima za jednokratnu primjenu. Iako se njihove fizičke karakteristike enormno razlikuju, i dalje se pridržavaju nekoliko osnovnih načela.

Tiskane pločice su neophodne za modernu elektroniku, djelujući kao platforme za montiranje i povezivanje komponenti. Izrađene od vodljivih tragova na nevodljivom supstratu, tiskane pločice omogućuju protok električnih signala u uređajima. Oni variraju od jednostavnih, jednoslojnih ploča za osnovne uređaje do složenih, višeslojnih sklopova u naprednoj tehnologiji. Dizajn i materijal korišteni u tiskanim pločicama značajno utječu na njihove performanse i pouzdanost elektroničkih proizvoda.

## 2. DEFINICIJA TISKANE PLOČICE

Tiskana pločica je struktura na koju se postavljaju različite elektroničke komponente i njihove veze u jedinstveni krug koji omogućava prolaz električne struje između komponenti. Podloga tiskanih pločica obično je napravljena od krutog nevodljivog materijala, iako se također može izraditi na fleksibilnoj podlozi ili na podlozi koja se sastoji od krutih i fleksibilnih materijala. Elektroničke komponente poput dioda, induktora i tranzistora pričvršćuju se na ploču, a električni vodiči povezuju komponente.

Tiskane pločice podržavaju elektroničke uređaje svih vrsta i veličina. Primjerice, mnogi potrošački proizvodi sadrže tiskane pločice, uključujući prijenosna računala, tablete, pametne telefone i pametne satove, kao i kućanske aparate i sustave za zabavu. Tiskane pločice također pokreću komunikacijske i navigacijske sustave te se nalaze u industrijskoj i medicinskoj opremi, automobilima, zrakoplovima i brodovima.



Slika 1. Prethodnik tiskanih pločica u Motoroli VT-71 "Golden View" za televizijski prijamnik od 7 inča [1]

Iako je tiskana pločica ključan koncept u elektronici danas, važno je zapamtiti da to nije uvijek bio slučaj kao što je to prikazano na slici 1. Tiskane pločice su revolucionarizirale elektrotehniku kada su 1936. godine prvi puta proizvedene u obliku u kojem bi danas bile prepoznatljive. Jednostavno rečeno, tiskane pločice su omogućile masovnu proizvodnju elektroničkih uređaja.

Tiskana ploča je najčešći naziv, ali se također može nazvati "tiskane žičane pločice" ili "tiskane žičane kartice".

## **2.1 Povijest razvoja tiskanih pločica**

Tijekom vremena, tiskane pločice su evoluirale kao jednostavan alat za optimizaciju proizvodnje elektroničkih proizvoda. Ono što je nekada lako montirano ljudskim rukama uskoro je ustupilo mjesto mikroskopskim komponentama koje zahtijevaju preciznost i učinkovitost specijaliziranih strojeva.

U daljnjem tekstu dan je pregled razvoja tiskanih pločica od 1880-ih do današnje proizvodnje i promjena koje su se dogodile između tih godina.

### **2.2.1 Od 1880. do 1900. godine**

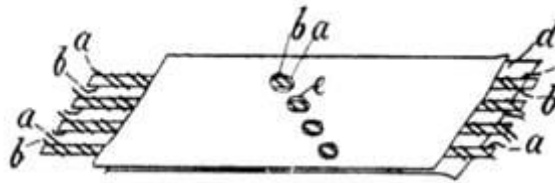
U ovom periodu je počeo process uvođenja električne energije u domove, prvo u gradovima, a zatim i u ruralnim područjima. Tijekom vremena, električna energija je postala alternativa za ugljen, drvo i naftu. Tijekom ovog razdoblja dogodili su se veliki pomaci na području razvoja elektromagneta i električnih motora. Ovo razdoblje se može smatrati razdobljem značajnih izumitelja jer njihov rad još uvijek ima utjecaj na današnju elektroniku.

Jedan od najvećih sukoba tijekom ovog doba inovacija bio je između izmjenične (AC) i istosmjerne (DC) struje. Izmjenična struja koju je zagovarao Nikola Tesla na kraju je prevladala kao jedina metoda prijenosa električne energije na velike udaljenosti. Međutim, zanimljivo je primijetiti kako se i danas suočavamo s problemima konverzije izmjenične u istosmjernu struju.

Iako tiskane pločice nisu izumljene tijekom ovog razdoblja bez napredaka u proizvodnji iz ovog vremenskog razdoblja i bez širenja utjecaja električne energije ne bi došlo do potrebe za stvaranjem tiskanih pločica

### 2.2.2. Od 1890. do 1920. godine

U ovom vremenskom razdoblju se pojavljuje primarni patent za tiskane pločice. 1903. godine, jedan od poznatih njemačkih izumitelja Albert Hanson podnio je britanski patent za uređaj opisan kao ravni, folijski vodič na izolacijskoj ploči s više slojeva (prikazano na slici 2).



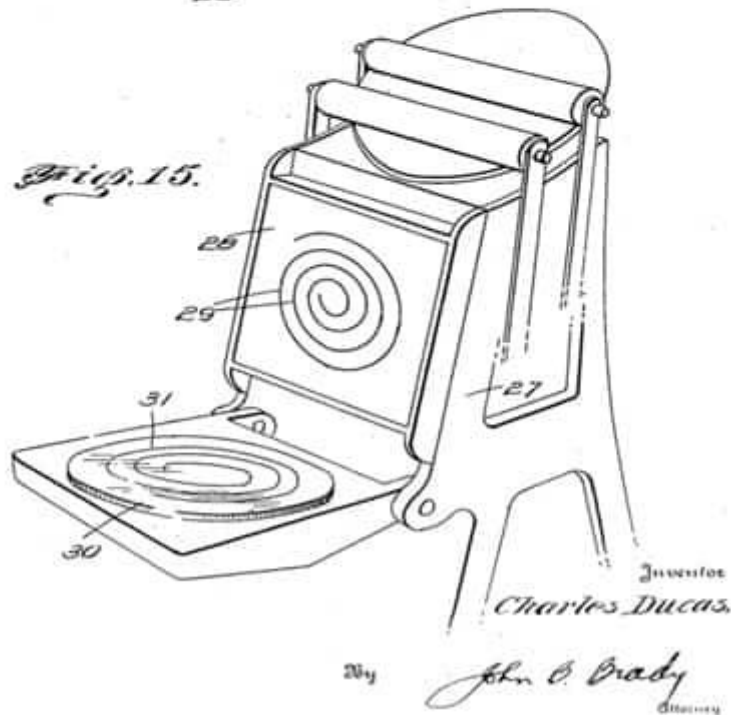
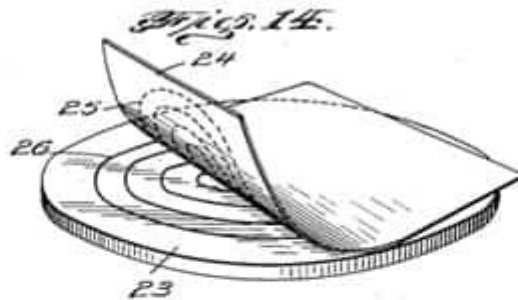
Slika 2. Nacrt prvog Albert Hansonovog patenta za tiskanu pločicu [2]

Albert Hanson je također opisao cijeli koncept primjene rupa u svom patentu. Pokazao je da možemo probiti rupu kroz dva sloja i imati okomite žice kako bi se uspostavio električni vod. Ovo vremensko razdoblje obilježio je Prvi svjetski rat. Ovaj sukob bio je čisto usmjeren na mehaničke uređaje i rješenja (ako se izuzme područje komunikacija). Zapravo, osnovna elektronika, pa čak ni koncept tiskanih pločica još uvijek nije bio u upotrebi u vojnim aplikacijama, ali su se ubrzo razvijali.

### 2.2.3. 1920-e godine prošlog stoljeća

Tijekom ovog vremenskog razdoblja postupno se na tržištima pojavljuju moderni kućanski aparata na koje se i danas oslanjamo poput perilica rublja, usisavača i hladnjaka, ali sva elektronika je još uvijek regulirana bez pomoći tiskanih pločica.

1925. godine Charles Ducas je prijavio patent (Slika 3.) koji opisuje način dodavanja vodljivih tinti na izolirajući materijal. Ovo je dovelo do tiskane žičane pločice. Zapravo, ovaj patent bio je prva stvarna primjena koja se odnosila na tiskane pločice. Bio je korišten samo kao ravna grijaća spirala, ali još uvijek nije dobivena stvarna električna povezanost između ploče i komponenti. [3]

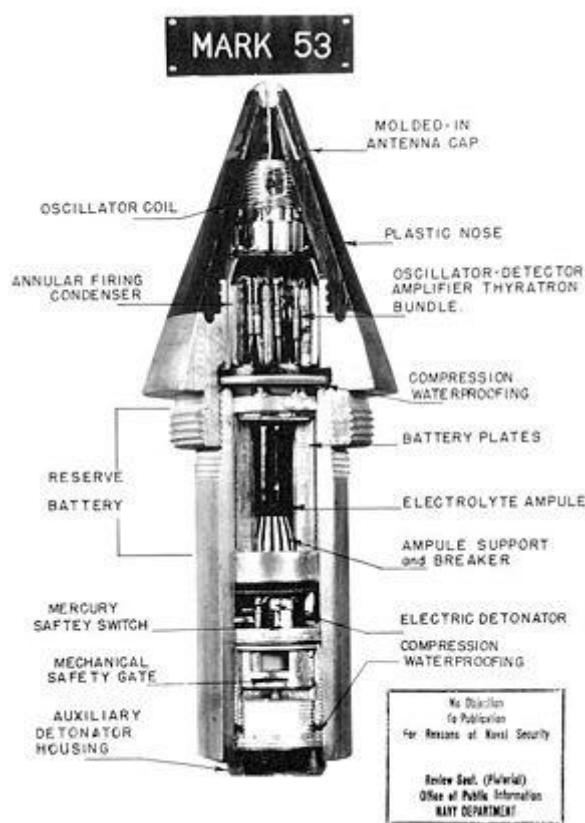


Slika 3. Nacrt patenta Charlesa Ducasa [2]

## 2.2.4. U razdoblju od 1930. do 1945. godine

Ovo razdoblje se može naznačiti kao najznačajnije razdoblje povijesti razvoja tiskanih pločice. Tijekom Drugog svjetskog rata, u koji se SAD uključuje 1942. godine nakon bombardiranja Pearl Harbora, dolazi do prve upotrebe tiskane pločice u obliku kakvog danas poznajemo u blizinskom detonatoru (Slika 4).

Ovaj uređaj koristio se za visokobrzinske artiljerijske i protuavionske granate, koje su trebale precizno pucati na velike udaljenosti kako u zraku tako i na tlu. Ovaj oblik detonatora je izumljen u Velikoj Britaniji, ali je masovna proizvodnja uspostavljena u SAD-u jer Velika Britanija nije bila u stanju minijaturizirati elektroničke komponente.



Slika 4. Blizinski detonatori su bili prva vojna primjena koja je koristila tiskane pločice.[4]

Tijekom tog vremena, Paul Eisler, Austrijanac koji je živio u Ujedinjenom Kraljevstvu, podnosi patent za bakrenu foliju na nevodljivoj bazi stakla. To je koncept koji i danas koristimo za proizvodnju tiskanih pločica s izolacijskim slojem i bakrom na gornjoj/donjoj strani. Eisler je ovaj koncept odveo korak dalje tako što je napravio radio sa svojim patentom 1943. godine (Slika 5.), što je otvorilo put za buduće vojne primjene.



Slika 5. Radio Paula Eislera koji koristi prvu tiskanu pločicu (PCB) [2]

Tijekom 1940-ih. vidimo puno poboljšanja postojećih uređaja poput usisavača, perilica rublja, televizora i radio aparata. Međutim, ono što još uvijek ne vidimo su PCB-ovi na razini potrošača. Gdje je rad Paula Eislera? Na slici 6. prikazan je stari televizijski prijamnik na kojem su vidljive sve komponente, ali ne i osnovna PCB podloga.



Slika 6. Stari Motorolin televizijski prijamnik s pretečom tiskane pločice [2]



### 2.2.5. Od 1947. do 1970. godine

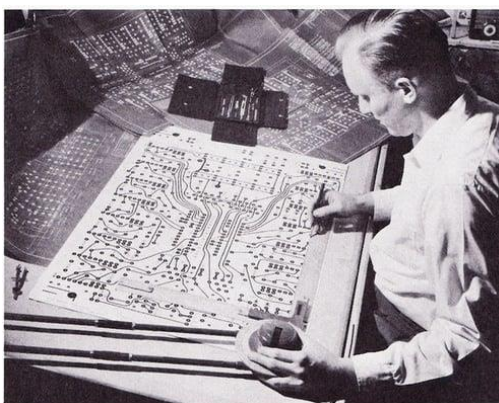
Ovo je razdoblje u kojoj se tiskane pločice počinju koristiti u punom potencijalu. 1956. godine američka vojska objavila je svoj patent za "Obradu sklopovlja električnih krugova". Proizvođačima je taj patent osigurao tehniku koja omogućuje držanje elektronike i uspostavu povezanosti između komponenti bakrenim tragovima. To je dovelo do povećane kompleksnosti, kao što je vidljivo na slici 7, gdje su se tiskane pločice dizajnirale na podlozi od Mylara.

Hazeltine Corporation 1963. godine podnosi patent za prvu tehnologiju "slojevite-ploče". Ovo tehnologija omogućuje da se komponente postave blizu jedna drugoj na tiskanoj pločici bez brige o prekriženim vezama. Dolazi i do izuma tehnologije površinskog montiranja (SMT) koju je razvio IBM. Ove tehnologije prvi su put praktično korištene u raketama Saturn.

### 2.2.6. 1980-e godine prošlog stoljeća

Digitalno doba donosi ogromne promjene u načinu na koji konzumiramo medije s uvođenjem osobnih uređaja poput CD-a, VHS-a, kamere, igraćih konzola, ili bolje rečeno, potrošačka elektronika postaje masovno dostupna.

Važno je znati da su tiskane pločice još uvijek bile crtane ručno na svjetlosnoj ploči i šablonama, no tijekom razdoblja dolazi do pojave automatizacije elektroničkog dizajna (EDA). Dolazi do razvoja EDA softvera softver poput Protela i EAGLE-a. Ovi softwareski paketi su u potpunosti promijenili način na koji konstruiramo i proizvodimo elektroniku.



Slika 7. Konstruiranje tiskanih pločica na podlozi od Mylara [2]

### 2.2.7. 1990-e godine prošlog stoljeća

Tijekom devedesetih vidjeli smo puni zamah uporabe silicija s uvođenjem kugličnih mreža. To omogućuje postavljanje više vrata na jedan čip i ugrađivanje memorije i sustave na čipu zajedno. Ovo je također razdoblje intenzivne minijaturizacije u elektronici. Ne vidimo dodane nove značajke na tiskanim pločicama, ali cijeli proces dizajna počinje se mijenjati i razvijati.

Dizajneri moraju implementirati strategije dizajna za testiranje (DFT) u svoje rasporede komponenata. Inženjeri moraju dizajnirati svoje rasporede imajući na umu buduće preuređivanje, tj. Voditi računa da su sve komponente postavljene na odgovarajući način da se lako mogu ukloniti i zamijeniti drugima.

Ovo je također vrijeme kada manji paketi komponenti poput 0402 čine ručno lemljenje pločica gotovo nemogućim. Inženjeri rade isključivo u EDA softveru, a proizvođač se bavi fizičkom proizvodnjom i montažom.

### 3. PREGLED KORIŠTENIH KOMPONENTI

#### 3.1 Integralni sklop LM3914

LM3914 (prikazan na slici 8) je monolitni integrirani sklop koji registrira analogne razine napona i pokreće 10 LED dioda, pružajući linearno-analogni zaslon. Jedna igla mijenja prikaz iz pokretne točke u stupčasti grafik. Strujni pogon LED dioda je reguliran i programabilan, eliminirajući potrebu za otpornicima. Ova je značajka ona koja omogućuje rad cijelog sustava na manje od 3 V.

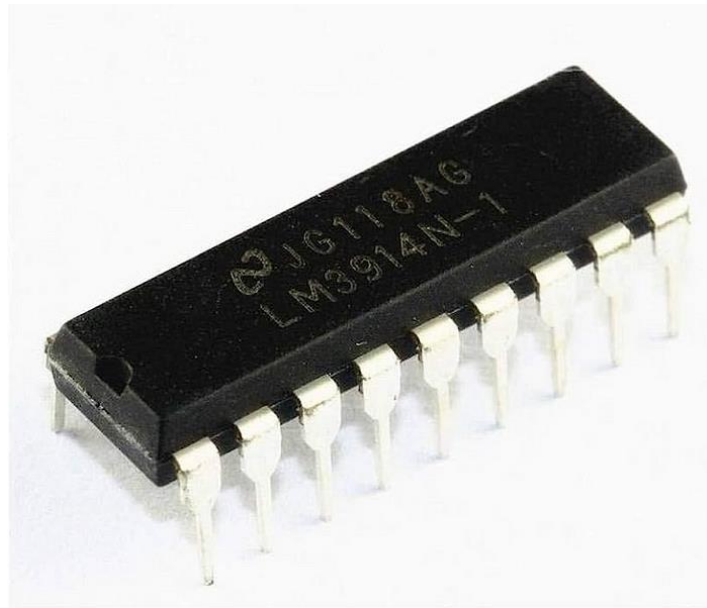
Krug sadrži vlastitu podesivu referentnu vrijednost i točan djeliteľ napona u 10 koraka. Nisko-prednaponski ulazni međuspremnik prihvaća signale do uzemljenja, ili V-, ali ne treba zaštitu od ulaza od 35 V iznad ili ispod zemlje. Međuspremnik pokreće 10 pojedinačnih komparatora koji se odnose na precizni razdjelnik. Nelinearnost indikacije stoga se obično može zadržati na 1/2%, čak i u širokom temperaturnom rasponu. [7]

Svestranost je dizajnirana u LM3914 tako da se funkcije kontrolora, vizualno proširene skale jednostavno dodaju sustavu prikaza. Krug može pokretati LED diode u više boja ili žarulje sa žarnom niti niske struje. Mnogi LM3914 mogu biti povezani, "lančani" u obliku zaslona od 20 do više od 100 segmenata. Oba kraja razdjelnika napona su dostupna izvana, tako da se 2 pokretačka programa mogu napraviti u mjeraču s nultim središtem.

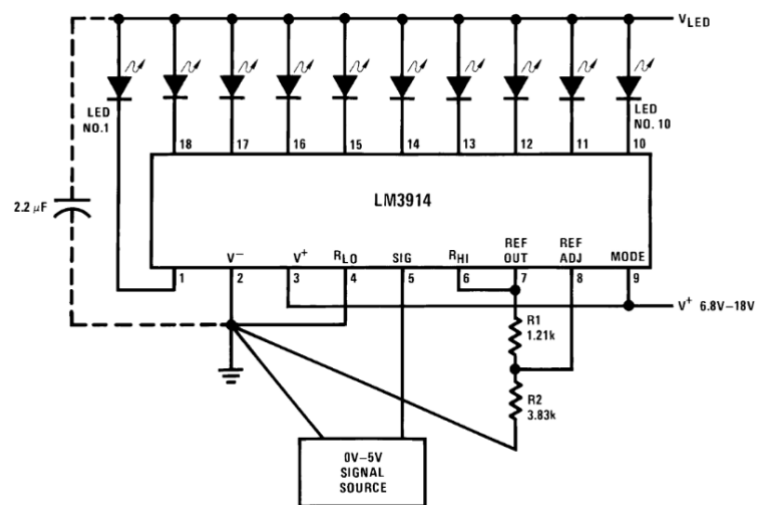
LM3914 vrlo je lako primijeniti kao analogni krug mjerača. Mjerač punog opsega od 1,2 V zahtijeva samo 1 otpornik i jedno napajanje od 3 V do 15 V uz 10 LED zaslona. Ako je 1 otpornik pot, on postaje kontrola svjetline LED-a. Pojednostavljeni blok dijagram prikazan na slici 9. ilustrira ovaj iznimno jednostavan vanjski sklop. [7]

Kada je u točkastom načinu, postoji mala količina preklapanja ili "blijeđenja" (oko 1 mV) između segmenata. Ovo osigurava da će u jednom trenutku sve LED diode biti "ISKLUČENE". Na o taj način se izbjegava svaki dvosmislen prikaz. Mogući su različiti novi zaslone. [7]

Velik dio fleksibilnosti zaslona proizlazi iz činjenice da su svi izlazi pojedinačne, istosmjerne regulirane struje.



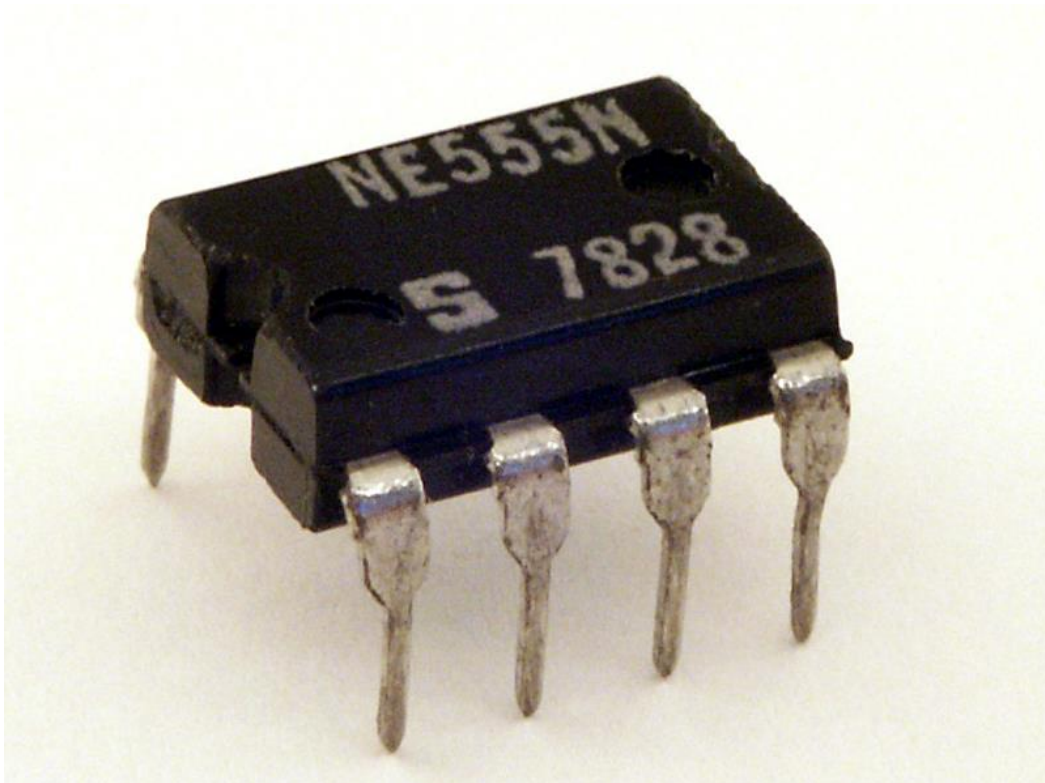
Slika 8. LM3914 [5]



Slika 9. Shema spajanja na naponima od 0 do 5 V [6]

### 3.2 Timer NE555

Integrirani spoj 555 timer (koji je prikazan na slici 10.) je integrirani krug koji se koristi u raznim primjenama kao što su mjerači vremena, kašnjenja, generiranje impulsa i oscilatori. To je jedan od najpopularnijih IC-ova za mjerenje vremena zbog svoje fleksibilnosti i cijene. Derivati pružaju dva (556) ili četiri (558) kruga za mjerenje vremena u jednom paketu. Dizajn je prvi puta plasiran na tržište 1972. godine od strane tvrtke Signetics i koristio je bipolarni tranzistor. Od tada, brojne tvrtke proizvele su originalne timere, a kasnije i slične vremenske krugove niskog napajanja CMOS tehnologije. Prema nekim procjenama iz 2017. godine, rečeno je da se proizvodi preko milijardu 555 timera godišnje te da je dizajn "vjerojatno najpopularniji integrirani krug ikada napravljen". [9]



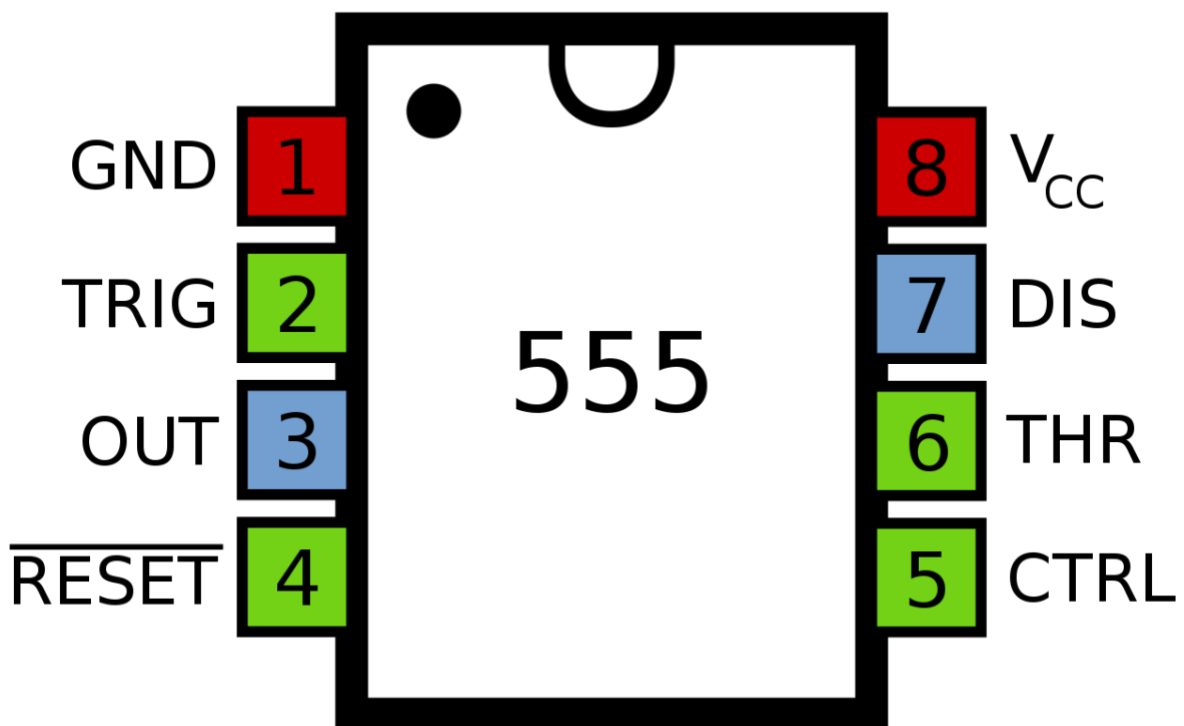
Slika 10. NE555 sa 8 pinova [8]

### 3.2.1. Unutarnja konstrukcija

Ovisno o proizvođaču, standardni paket 555 uključivao je ekvivalent od 25 tranzistora, 2 diode i 15 otpornika na silicijskom čipu pakiranom u 8-pinski DIP-8 paket (dual in-line package). Dostupne su bile različite varijante, uključujući 556 (DIP-14 koji kombinira dva potpuna 555 na jednom čipu) i 558/559 (obje varijante DIP-16 koje kombiniraju četiri vremenska kruga s reduciranim funkcijama na jednom čipu). [9]

NE555 dijelovi bili su komercijalnog temperaturnog raspona, od 0 °C do +70 °C, dok je SE555 broj dijela označavao vojni temperaturni raspon, od -55 °C do +125 °C. Ovi čipovi bili su dostupni u obliku visoko pouzdanih metalnih limenki (T paket) i jeftinih plastičnih epoksi (V paket) oblika. Stoga su puni brojevi dijelova bili NE555V, NE555T, SE555V i SE555T. [9]

Dostupne su sada i niske CMOS verzije 555, poput Intersil ICM7555 i Texas Instruments LMC555, TLC555, TLC551, ali sve imaju isti raspored nožica (Slika 11)



Slika 11. Raspored pinova na timeru NE555 [10]

Tablica 1. Opis funkcija nogica na N555 [9]

Broj	Naziv pina	Ulaz/Izlaz	Opis pina
1	GND (UZEMLJENJE)	Napon	Naponsko uzemljenje: Ovaj pin je referentna točka za uzemljenje (nulta voltaža).
2	TRIGGER (OKIDAČ)	Ulaz	Inicira paljenje i pokretanje procesa timera
3	OUTPUT (IZLAZ)	Izlaz	Izlaz: Ovaj pin je push-pull (P.P.) izlaz koji se dovodi ili u nisku razinu (GND) ili u visoku razinu ( $V_{CC}$ minus približno 1,7 volti za bipolare timere, ili $V_{CC}$ za CMOS timere). Za bipolare timere, ovaj pin može pogoniti do 200 mA, ali CMOS timere mogu pogoniti i manje amperaže (varira o čipu). Za bipolare timere, ako ovaj pin pogoni rubno-osjetljivi ulaz digitalnog logičkog čipa, možda će trebati dodati kondenzator od 100 do 1000 pF (između ovog pina i uzemljenja) kako bi se spriječilo dvostruko okidanje.
4	RESET	Ulaz	Reset: Vremenski interval može biti resetiran povezivanjem ovog pina na uzemljenje, ali vremensko odbrojavanje ne počinje ponovno dok ovaj pin ne poraste iznad približno 0,7 V. Ovaj pin nadjačava TRIGGER, što pak nadjačava THRESHOLD. Ako se ovaj pin ne koristi, trebao bi biti spojen na $V_{CC}$ kako bi se spriječilo slučajno izazivanje resetiranja električnom bukom.
5	CONTROL (KONTROLA)	Ulaz	Kontrola: Ovaj pin omogućuje pristup internom razdjelniku napona (prema zadanim postavkama $2/3 V_{CC}$ ). Primjenom napona na ovaj pin mogu se promijeniti karakteristike vremenskog odbrojavanja. U astabilnom načinu rada, ovaj pin može se koristiti za frekvencijsku modulaciju stanja IZLAZA. Ako se ovaj pin ne koristi, trebao bi biti spojen na dekoblrni kondenzator od 10 nF (između ovog pina i uzemljenja) kako bi se

			osiguralo da električna buka ne utječe na interni razdjelnik napona.
6	<i>THRESHOLD</i> (PRAG)	Ulaz	Prag: Kada je napon na ovom pinu veći od $V_{CONTROL}$ (prema zadanim postavkama $2/3 V_{CC}$ osim kada je KONTROL pokretan vanjskim signalom), tada visoko stanje vremenskog intervala na IZLAZU završava, što dovodi do prelaska IZLAZA u nisku razinu.
7	<i>DISCHARGE</i> (PRAŽNJENJE)	Izlaz	Pražnjenje: Ovaj pin je otvoreni kolektor (O.C.) izlaz za bipolare timere, ili otvoreni odvod (O.D.) izlaz za CMOS timere. Ovaj pin može se koristiti za pražnjenje kondenzatora kada je IZLAZ nizak. U bistabilnom zatvaraču i bistabilnom invertoru, ovaj pin se ne koristi, što omogućuje da se koristi kao alternativni izlaz.
8	$V_{CC}$	Napon	Pozitivno napajanje: Za bipolare timere, opseg napona napajanja obično je od 4,5 do 16 volti (neki su specifikacije do 18 volti, iako će većina raditi s niskim naponom od 3 volti). Za CMOS timere, opseg napona napajanja obično je od 2 do 15 volti (neki su specifikacije do 18 volti, a neki su specifikacije toliko niski kao 1 volt). Pogledajte stupce minimalnog i maksimalnog napajanja u tablici derivata u ovom članku. Dekoblerni kondenzatori općenito se primjenjuju (između ovog pina i GND-a) kao dobra praksa.

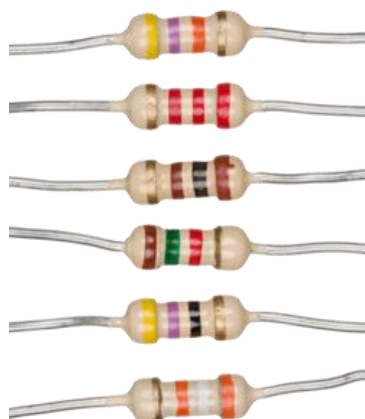


### 3.3 Otpornici

Otpornik je pasivna električna komponenta s dva terminala koja implementira električni otpor kao element kruga (različiti tipovi otpornika su prikazani na slici 12). U elektroničkim krugovima, otpornici se koriste za smanjenje protoka struje, prilagođavanje razina signala, za dijeljenje napona, polariziranje aktivnih elemenata te za završavanje prijenosnih linija, među ostalim namjenama. Visokonaponski otpornici, koji mogu raspršiti mnogo vata električne snage kao toplinu, mogu se koristiti kao dio upravljanja motorima, u distribucijskim sustavima snage ili kao ispitna opterećenja za generatore. Fiksni otpornici imaju otpore koji se samo malo mijenjaju s temperaturom, vremenom ili radnim naponom. Varijabilni otpornici mogu se koristiti za prilagođavanje elementima kruga (kao što su kontrola glasnoće ili regulator svjetla) ili kao senzori za toplinu, svjetlost, vlagu, silu ili kemijsku aktivnost. [10]

Otpornici su uobičajeni elementi električnih mreža i elektroničkih krugova te su sveprisutni u elektroničkim uređajima. Praktični otpornici kao diskretne komponente mogu biti sastavljeni od različitih spojeva i oblika. Otpornici se također implementiraju unutar integriranih krugova.

Električna funkcija otpornika određena je njegovim otporom: uobičajeni komercijalni otpornici proizvode se u rasponu od više od devet redova veličine. Nominalna vrijednost otpora unutar tolerancije proizvodnje naznačena je na komponenti.



Slika 12. Otpornici različitih kapaciteta [11]

### 3.4 Elektrolitički kondenzator

Elektrolitski kondenzator je polarizirani kondenzator čija anoda ili pozitivna ploča izrađena je od metala koji tvori izolacijski oksidni sloj putem anodizacije. Kondenzatori različitih kapaciteta su prikazani na slici 13. Ovaj oksidni sloj djeluje kao dielektrik kondenzatora. Čvrsti, tekući ili gel elektrolit pokriva površinu ovog oksidnog sloja, služeći kao katoda ili negativna ploča kondenzatora. Zbog vrlo tankog oksidnog sloja dielektrika i povećane površine anode, elektrolitski kondenzatori imaju mnogo veći proizvod kapaciteta-napona (CV) po jedinici volumena od keramičkih kondenzatora ili kondenzatora od filma, te stoga mogu imati velike vrijednosti kapaciteta. Postoje tri obitelji elektrolitskih kondenzatora: aluminijevi elektrolitski kondenzatori, tantalovi elektrolitski kondenzatori i niobijevi elektrolitski kondenzatori. [13]

Veliki kapacitet elektrolitskih kondenzatora ih čini posebno pogodnima za propuštanje ili obilazak niskofrekventnih signala, te za pohranu velikih količina energije. Široko se koriste za filtriranje buke u napajanjima i sklopovima DC veze za promjenjive frekvencije pogona, za spajanje signala između stupnjeva pojačala te za pohranu energije kao u bljeskalici.

Elektrolitski kondenzatori su polarizirane komponente zbog njihove asimetrične konstrukcije i moraju se raditi s većim potencijalom (tj. pozitivnije) na anodi nego na katodi u svako vrijeme. Iz tog razloga polaritet je označen na kućištu uređaja. Primjena obrnutog polariteta napona ili napona koji premašuje maksimalno ocijenjeni radni napon od samo 1 ili 1,5 volta može oštetiti dielektrik uzrokujući katastrofalno otkazivanje samog kondenzatora. Otkazivanje elektrolitskih kondenzatora može rezultirati eksplozijom ili požarom, potencijalno uzrokujući oštećenje drugih komponenti kao i ozljede. Također se proizvode i bipolarni elektrolitski kondenzatori koji se mogu koristiti s bilo kojim polaritetom, koristeći posebne konstrukcije s dva anoda spojena u seriju. Bipolarni elektrolitski kondenzator može se također napraviti spajanjem dva normalna elektrolitska kondenzatora u seriju, anoda na anodu ili katoda na katodu. [13]



Slika 13. Elektrolitički kondenzatori različitih kapaciteta [14]

### 3.5 Poliesterski kondenzator

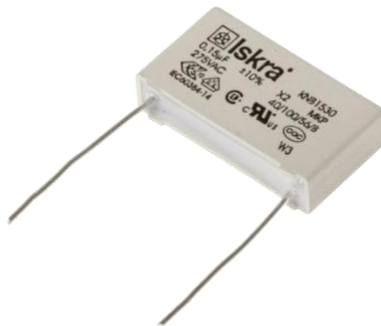
Poliesterski kondenzator (prikazan na slici 14) izrađen je s dva metalna lima razdvojena poliesterskom folijom, ili alternativno, metalizirana folija može biti postavljena preko izolatora. Ovi kondenzatori obično imaju vrijednosti kapaciteta u rasponu od 1nF do 15 $\mu$ F i ocijenjeni su za rad na naponima između 50 i 1500 V. Tolerancija poliesterskih kondenzatora obično se kreće unutar raspona od 5%, 10% i 20%, dok je njihov temperaturni koeficijent relativno visok.

Izolacijski otpor ovih kondenzatora je visok, pa su stoga najbolji izbori za skladištenje ili spajanje aplikacija. Ovi kondenzatori izuzetno su otporni na toplinu pa mogu raditi blizu temperatura od 150 °C.

U usporedbi s drugim vrstama, kapacitet poliesterskih kondenzatora visok je po jedinici volumena, što znači da visok kapacitet može stati u mali kondenzator. Ova značajka, zajedno s njihovom relativno niskom cijenom, čini poliesterske kondenzatore široko korištenim, popularnim i jeftinim. Koriste se u umjereno visokofrekventnim krugovima, audio i oscilacijskim krugovima.

Poliesterski kondenzator koristi dva komada metalne folije poput elektroda koje su složene unutar vrlo tankog izolacijskog medija i namotane u cilindričnu, inače glatku jezgru. Poliesterski kondenzatori dostupni su u dvije vrste poput metalizirane folije i folijske verzije. Ovi kondenzatori dizajnirani su s metalnim i poliesterskim slojevima ili Mylar dielektrikom za stvaranje kapacitivnih vrijednosti u širokom rasponu.[15]

Dielektrična konstanta poliestera visoka je i sposobna je distribuirati proizvod s manjim troškovima u malom dizajnu. Oklop kondenzatora izrađen je od epoksidne smole kapsule koja je čvrsto premazana u području kondenzatora.



Slika 14. Poliesterski kondenzator [16]

### 3.6 Trimer ili kondenzator promjenjivog kapaciteta

Trimer, ili preset, koji je prikazan na slici 15, je minijaturna podesiva električna komponenta. Namijenjena je za pravilno postavljanje prilikom ugradnje u neki uređaj i nikada ju ne vidi ili podešava korisnik uređaja. Trimovi mogu biti promjenjivi otpornici (potenciometri), promjenjivi kondenzatori ili trimabilni induktori. Uobičajeni su u preciznim krugovima kao što su A/V komponente, i možda će ih biti potrebno podesiti prilikom servisiranja opreme. Trimpoti (trim potenciometri) često se koriste za početno kalibriranje opreme nakon proizvodnje. Za razliku od mnogih drugih promjenjivih kontrola, trimovi se montiraju izravno na ploče s elektroničkim sklopovima, podešavaju se malim odvijačem i predviđeni su za mnogo manje podešavanja tijekom svog vijeka trajanja. Trimovi poput trimabilnih induktora i trimabilnih kondenzatora obično se nalaze u superheterodinskim radio i televizijskim prijemnicima, u krugovima srednje frekvencije (IF), oscilatora i radio frekvencije (RF). Podešavaju se u pravilni položaj tijekom postupka poravnanja prijemnika.

Trimovi dolaze u različitim veličinama i razinama preciznosti. Na primjer, postoje višestruko okretni trim potenciometri, kod kojih je potrebno nekoliko okreta vijka za podešavanje kako bi se postigla krajnja vrijednost. To omogućuje vrlo visok stupanj točnosti. Često koriste pužni zupčanik (rotacijski trag) ili vijku (linearni trag). [17]

Položaj za podešavanje na komponenti često treba uzeti u obzir zbog pristupačnosti nakon sastavljanja kruga. Dostupni su trimovi s podešavanjem odozgo i sa strane kako bi se to omogućilo. Podešavanje trimova često se fiksira na mjestu s voskom za zaptivanje nakon podešavanja kako bi se spriječilo pomicanje uslijed vibracija. To također služi kao pokazatelj je li uređaj bio neovlašteno diran.

Trim otpornici obično dolaze u obliku potenciometra (pot), često nazivanog trimpot. Potenciometri imaju tri priključka, ali se mogu koristiti kao uobičajeni dvopriključni otpornik spajanjem klizača na jedan od drugih priključaka ili korištenjem samo dva priključka. Trimpot je registrirani zaštitni znak tvrtke Bourns, Inc., a uređaj je patentirao Marlan Bourns 1952. godine. Od tada je termin postao generički.

Dvije vrste preset otpornika uobičajeno se nalaze u krugovima. Skeletni potenciometar radi poput običnog kružnog potenciometra, ali je lišen kućišta, osovine i pričvršćenja. Puni pokret skeletnog potenciometra je manji od jednog okreta. Druga vrsta je višestruko okretni potenciometar koji pomiče klizač duž otpornog traga putem zupčastog

mehanizma. Zupčasti mehanizam je takav da su potrebni višestruki okreti vijka za podešavanje kako bi se klizač pomaknuo cijelom duljinom otpornog traga, što dovodi do vrlo visoke preciznosti postavljanja. Neki, a možda i većina, višestruko okretnih potencijometara imaju linearni trag umjesto kružnog. Tipično se pužni zupčanik koristi s kružnim tragovima, a vijak s linearnim tragovima.



Slika 15. Otpornički trimer sa 3 nogice i vijkom za podešavanje [18]

### 3.7 LED diode

Svjetleća dioda (LED) je poluvodički uređaj koji emitira svjetlost kada kroz njega teče električna struja. Kada struja prolazi kroz LED, elektroni se rekombiniraju s rupama emitirajući svjetlost u tom procesu. LED-ovi omogućuju protok struje u jednom smjeru i blokiraju struju u obrnutom smjeru.

Svjetleće diode su snažno dopirane p-n spojevi. Na temelju korištenog poluvodičkog materijala i količine dopiranja, LED će emitirati obojenu svjetlost na određenoj spektralnoj valnoj duljini kada je polariziran u jednom smjeru. Kao što je prikazano na slici, LED je zatvoren prozirnim pokrovom kako bi emitirana svjetlost mogla izaći.

Kada je dioda polarizirana u jednom smjeru, manjinski elektroni se šalju iz  $p \rightarrow n$ , dok se manjinske rupe šalju iz  $n \rightarrow p$ . Na granici spoja koncentracija manjinskih nositelja naboja se povećava. Višak manjinskih nositelja naboja na spoju rekombinira s većinskim nositeljima naboja.

Energija se oslobađa u obliku fotona prilikom rekombinacije. U standardnim diodama energija se oslobađa u obliku topline. Ali u svjetlećim diodama energija se oslobađa u obliku fotona. Ovaj fenomen nazivamo elektroluminiscencija. Elektroluminiscencija je optički i električni fenomen gdje materijal emitira svjetlost kao odgovor na električnu struju koja prolazi kroz njega. Kako se napon povećava, intenzitet svjetlosti se povećava i doseže maksimum. [19]

Boja LED-a određena je materijalom korištenim u poluvodičkom elementu. Dva osnovna materijala korištena u LED-ovima su legure aluminij-galij-indij-fosfida i legure indij-galij-nitrida. Aluminijske legure se koriste za dobivanje crvene, narančaste i žute svjetlosti, dok se indijske legure koriste za dobivanje zelene, plave i bijele svjetlosti. Male promjene u sastavu ovih legura mijenjaju boju emitirane svjetlosti.



Slika 16. LED diode različitih boja [20]

### 3.8 1N4007 dioda

Serijska 1N400x, prikazana na slici 17, (ili 1N4001 ili 1N4000) je obitelj popularnih univerzalnih silicijskih ispravljačkih dioda od jednog ampera koje se često koriste u AC adapterima za uobičajene kućanske aparate. Njihov blokirajući napon varira od 50 volti (1N4001) do 1000 volti (1N4007). Ova serija brojeva uređaja prema JEDEC standardu dostupna je u DO-41 aksijalnom kućištu.

Diodama sličnih karakteristika dostupne su u SMA i MELF površinski montiranim kućištima (u drugim serijama brojeva dijelova). Serijska 1N540x (ili 1N5400) je slična popularna obitelj dioda ocijenjena na 3 ampera. Ove diode koriste veće DO-201AD aksijalno kućište kako bi se bolje raspršila toplina. [20]

Ovi uređaji su široko korišteni i preporučeni za univerzalnu uporabu kao ispravljači za frekvenciju napajanja. Uobičajeno se koriste kao ispravljači u AC adapterima električnih uređaja za pretvaranje izmjenične struje u istosmjernu struju, a također se koriste i u drugim vrstama pretvarača napajanja, ili kao slobodno-vodeće diode za zaštitu sklopova od induktivnih opterećenja.

Ove su diode relativno niskih brzina ispravljanja, te su neučinkovite za kvadratne valove većih od 15 kHz. Nisu dizajnirane za primjene s preklapanjem; tehnički listovi često ne specificiraju nikakve informacije o njihovim karakteristikama uključivanja i isključivanja.

U usporedbi sa signalnim diodama, ispravljačke diode općenito imaju veće strujne ocjene, mogu imati mnogo veće ocjene povratnog napona, ali imaju veće curenje struje i veću spojnu kapacitivnost.



Slika 17. 1N4007 dioda [21]



### 3.9 Količina upotrebljenih komponenata

U sljedećoj tablici je dan popis korištenih komponenata i njihove količine.

*Tablica 2. Vrsta i broj upotrijebljenih komponenata*

Vrsta komponente	Količina
LM 3914	2
NE555	1
2.7 k $\Omega$ otpornik	2
100 k $\Omega$ otpornik	1
10 k $\Omega$ otpornik	1
330 $\Omega$ otpornik	1
50 k $\Omega$ trimer	2
0.47 $\mu$ F	1
1K-100	1
LED dioda	21
1N4007 dioda	1

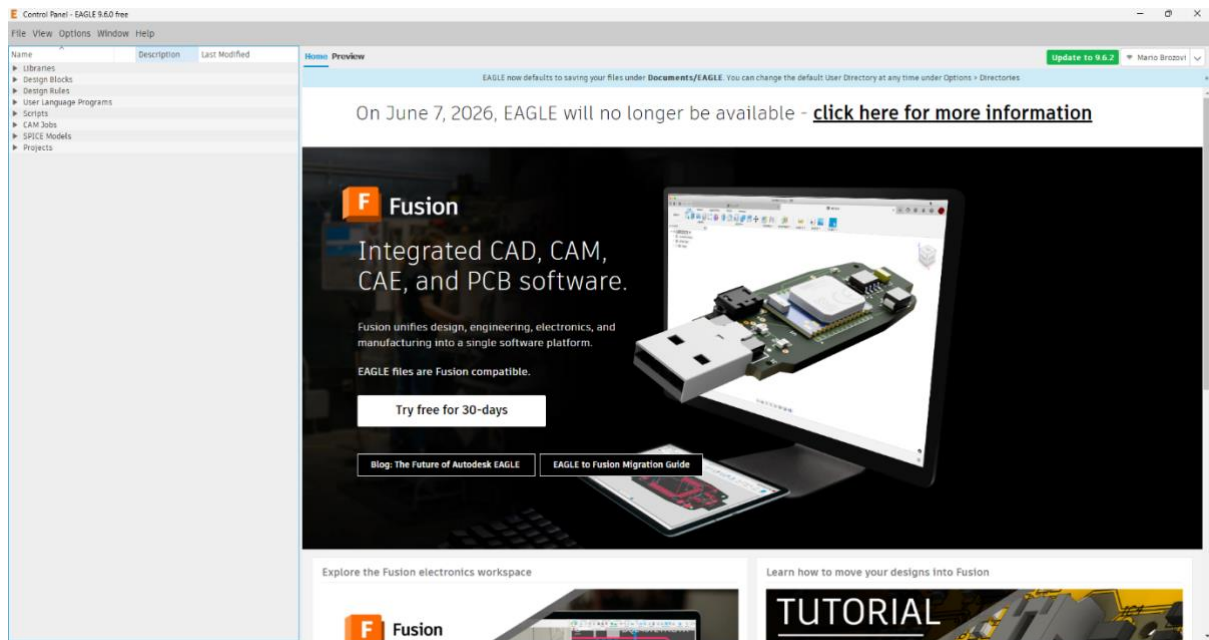
## 4. IZRADA TISKANE PLOČICE

### 4.1 Programski paket Autodesk EAGLE

EAGLE je skriptabilna aplikacija za elektronički dizajn (EDA) s mogućnostima hvatanja shema, izrade tiskanih pločica (PCB), automatskog usmjerivača i značajkama računalno potpomognute proizvodnje (CAM). EAGLE je skraćenica za Easily Applicable Graphical Layout Editor (njemački: Einfach Anzuwendender Grafischer Layout-Editor) i razvijen je od strane CadSoft Computer GmbH. Tvrtku je 2016. godine preuzeo Autodesk Inc., koji je najavio podršku za proizvod do 2026. godine.

### 4.2 Dizajniranje tiskane pločice u programu EAGLE

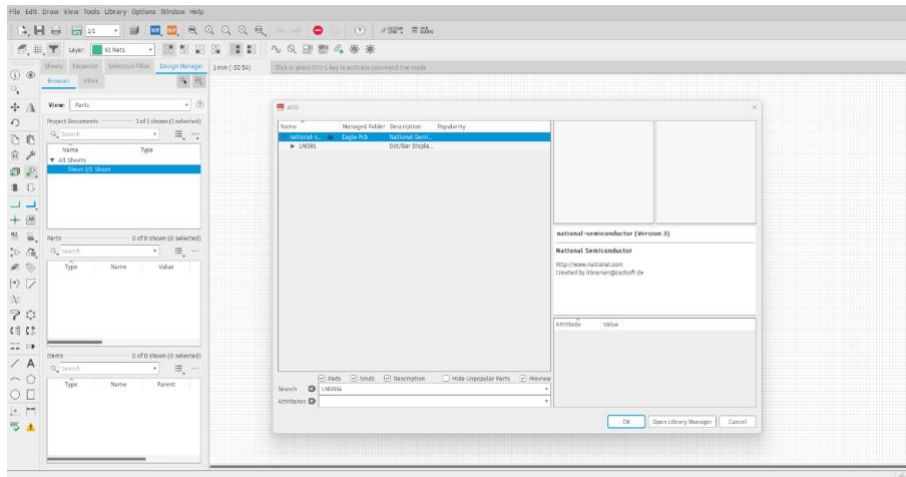
Nakone preuzimanja programa, njegove instalacije i naše registracije kao korisnika potrebno je pokrenuti program. Pokretanje programa će nas dovesti u početni meni u kojem ćemo jasno definirati osnovne postavke. Nakon podešavanja osnovnih postavki moramo izraditi novi projekt unutar kojega će nam se nalaziti svi podaci koji će biti pohranjeni na našem računalu (Slika 18).



Slika 18. Korisničko sučelje programa EAGLE

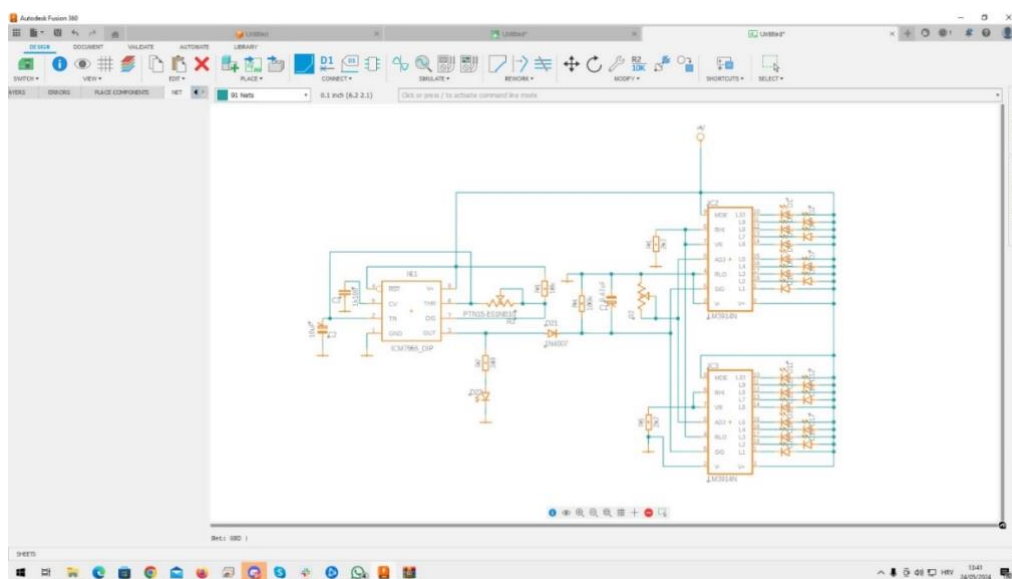
Nakon što smo spremili naš projekt, potrebno je krenuti s izradom plana tiskane pločice, to radimo tako što na području predviđenome za izradu sheme spajanja električnih komponenata.

To radimo tako što iz baze podataka (eng. *library*), prikazanoj na slici 19, pretražujemo potrebne, prethodno izabrane komponente, i stavljamo ih na radnu podlogu u potrebnim količinama, prema rasporedu na koji ćemo ih logično spojiti. Nakon kon postavljanja svih komponenata spajamo ih prema dokumentaciji od dostupnih komponenata (Slika 20).



Slika 19. Izbor timer čipa LM 3914 unutar baze podataka prije postavljanja

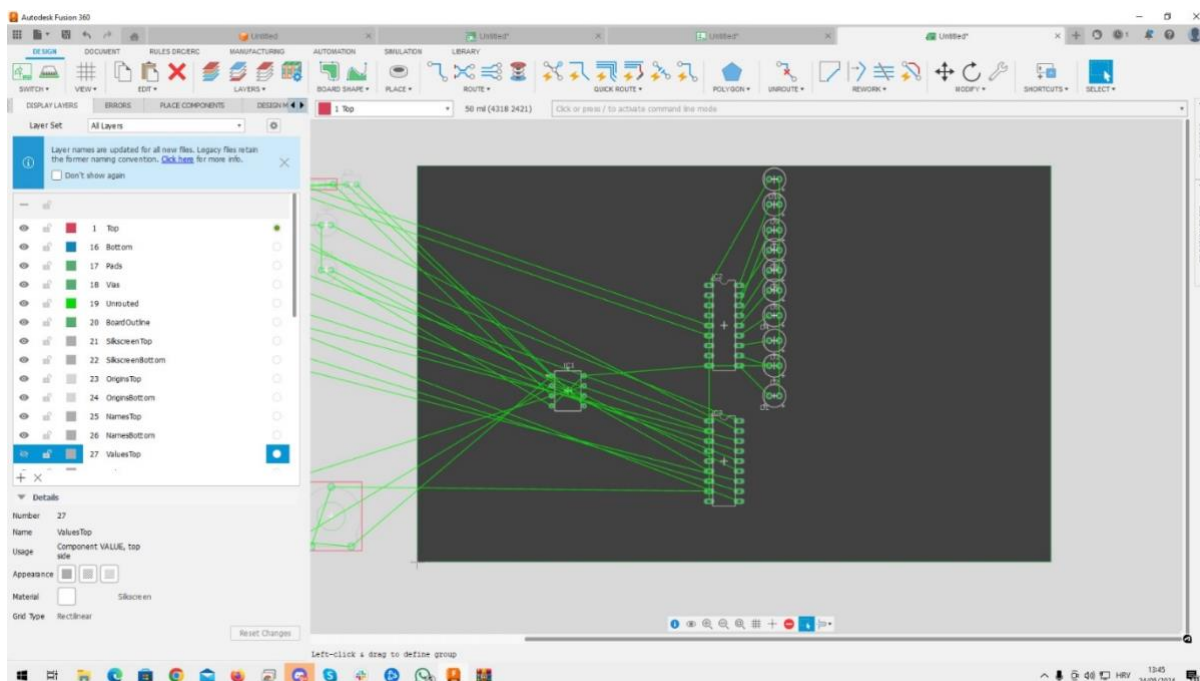
U ovom dijelu postupka je došlo do promjene i prelaska s programskog paketa Autodesk EAGLE na Autodesk Fusion 360 na studentskoj licenci zbog problema s kompatibilnosti u pristupu bazama podataka i zastarjeloj dokumentaciji, a i sam proizvođač softwera Autodesk postupno gasi podršku za program EAGLE te je ovo bila jedina moguća opcija da se nastavi započeti završni rad. Funkcionalno se ništa ne mijenja i nastavak je ekvivalentan, pa čak uvelike i identičan radu u EAGLE-u jer je funkcionalnost i način rada preneseni kako bi se zadržali postojeći korisnici.



Slika 20. Dijagram spojenih komponenata nakon završenog postupka spajanja

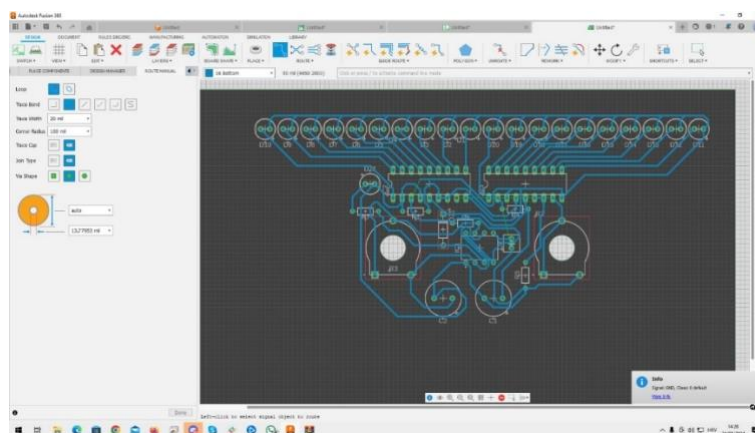
Nakon što je dijagram (shema) dovršena potrebno je izraditi raspored komponenata tiskanoj pločici. Prvo je potrebno odrediti veličinu tiskane pločice, u ovome slučaju to je tiskana pločica je veličine 160 mm sa 100 mm.

Kada su dimenzije pločice određene, ona se učitava u novi prozor u programu koji je namjenjn za raspoređivanje komponenata. Kako se ovaj novi prozor nadovezuje na sve prethodno napravljeno, on direktno zadržava sve veze između komponenata koje smo napravili u prethodnom prozoru. to nam omogućava da rasporedimo komponente na željena mjesta na površini tiskane pločice (Slika 21.). Istovremeno nam omogućuje pregled da li dolazi do ispreplitanja vodova između komponenata prilikom slaganja. Kada smo komponente posložili na željeni raspored posložili u željeni raspored koristimo funkciju automatskog povezivanja (eng. autorute). Kako je pločica jednostrana dolazi do potrebe za postavljanje premosnih završetaka, gdje se umjesto voda u pločici koristi žica koja će poput mosta povezivati vodove koje bi inače bilo nemoguće spojiti na jednostranoj pločici. Kod obostranih pločica to ne bi bio problem, jer bi vodove mogli napravili na drugoj strain, no zbog jednostavnosti izrade je zadržana jednostrana konfiguracija.



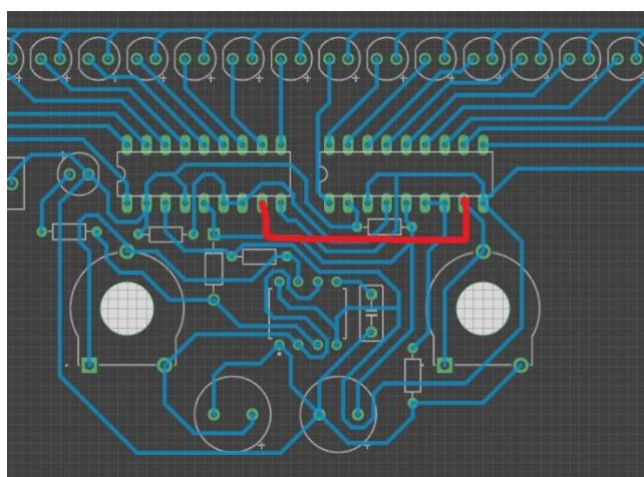
Slika 21. Komponente s vezama koje se povlače na virtualnu tiskanu pločicu

Nakon postavljanja komponenti na željena mjesta i pokretanja opcije auto-route dobiti ćemo izgled gotovih vodova na pločici, zajedno sa rasporedom komponenti i njihovom pravilnom polnom orijentacijom (Slika 22).



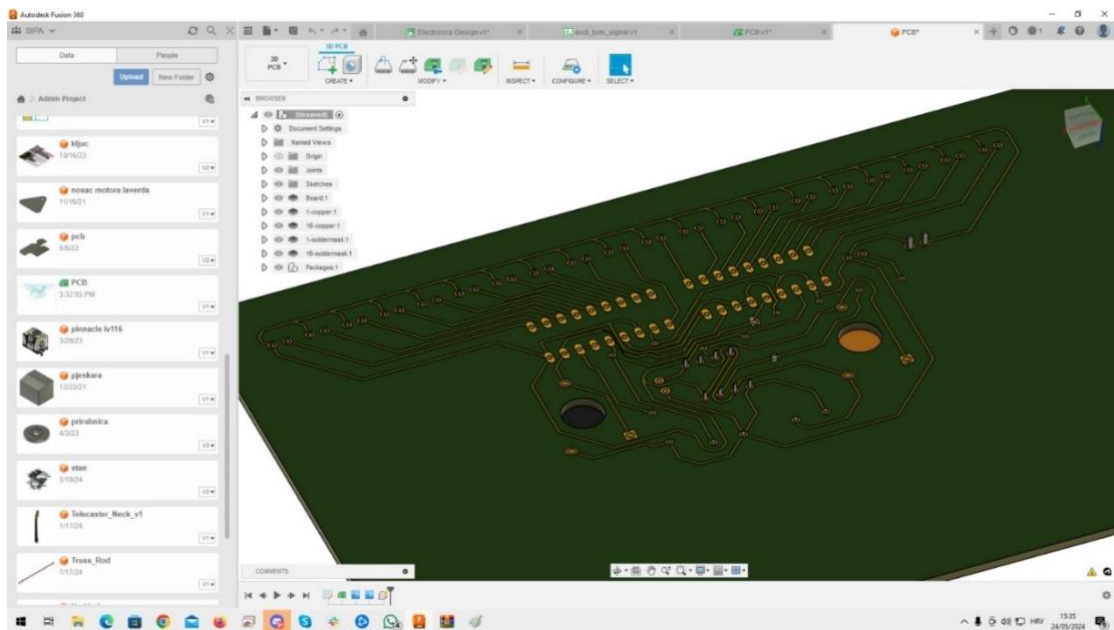
Slika 22. Konačni raspored vodova i komponenta na tiskanoj pločici s predviđenim rupama

No kako ne radimo s obostranom pločicom i potreban je još jedan vod između dva LM 3914 čipa radi njihove komunikacije i praćenja slijeda paljenja LED diode, program će nam izbacivati grešku. Taj problem je premošten prenosnicom, prikazanom na slici 23 (žicom koja će se direktno lemiti na pinove). To nam omogućuje da ostanemo na jednostranom dizajnu pločice i pojednostavljuje izradu iste jer ne moramo simultano raditi obje strane fotopostupkom i voditi računa da su folije za preslikavanje na ispravnim položajima i da se rupe podudaraju na obje strane pločice prilikom bušenja.



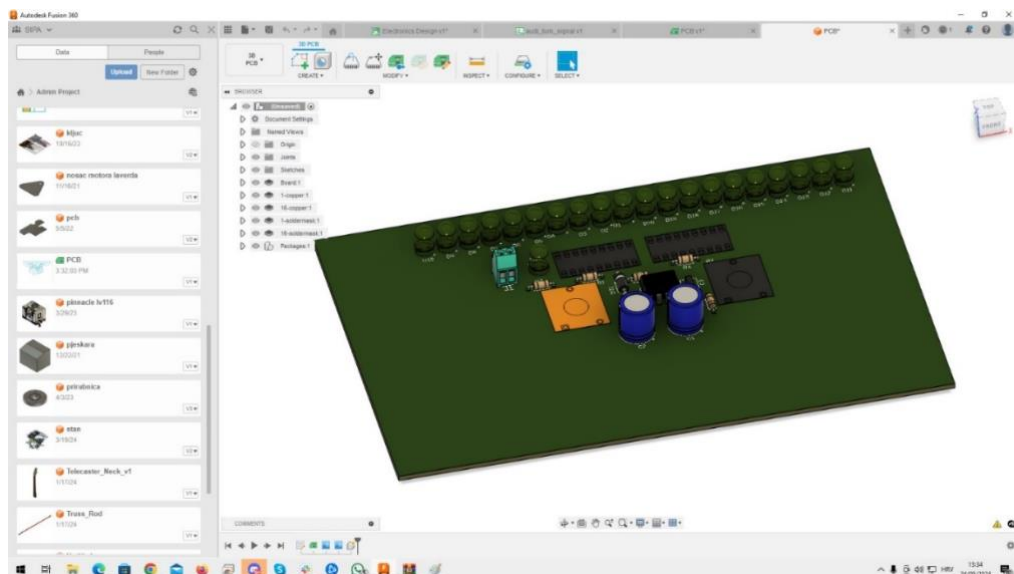
Slika 23. Simbolični prikaz žice kojom se povezuju dva LM 3914 čipa zbog jednostrane pločice

Nakon odrađenih prethodnih postupaka, možemo simulirati pločicu uz pomoć 3D modela da dobijemo prostornu predodžbu kako će ista izgledati (Slika 24).



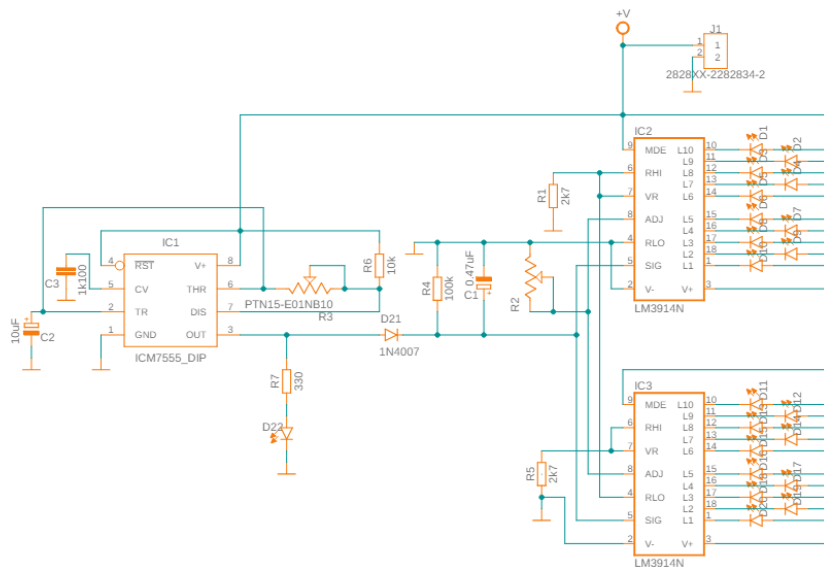
Slika 24. Trodimenzionalni prikaz vodova i rupa na pločici

No još važnije od toga nam je 3D model druge strane pločice da vidimo fizički raspored komponenti na istoj (Slika 25.). Uz ovakvu vizualnu predodžbu znamo da nema fizičke kolizije između komponenti i vidljiv nam je njihov raspored.



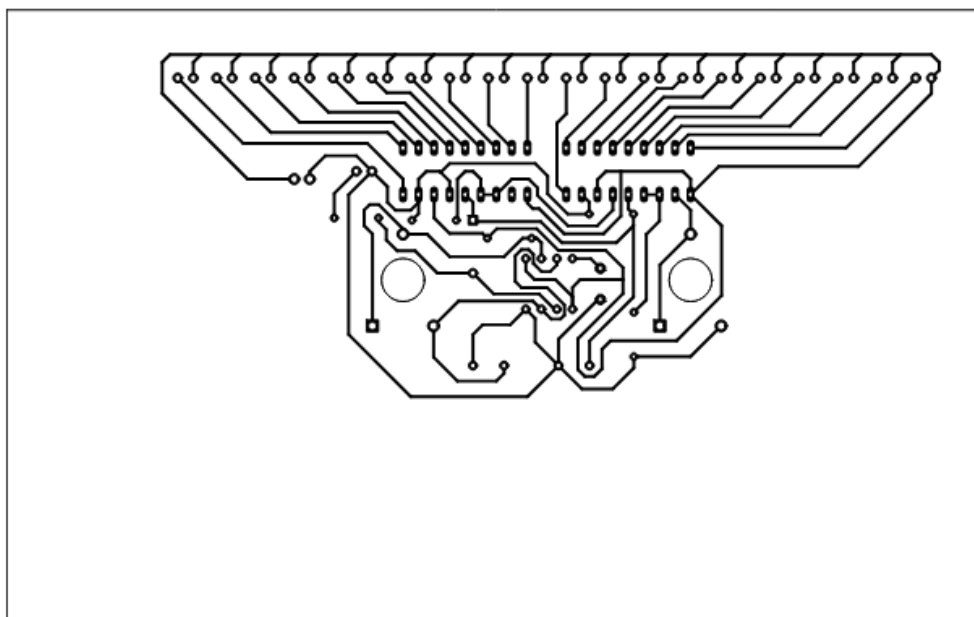
Slika 25. Trodimenzionalni prikaz komponenta i njihov raspored na suprotnoj strani pločice

Dijagram veza između komponenta koji će nam olakšati postavljanje jer sadrži redne oznake i vrijednosti za svaku komponentu (Slika 26).



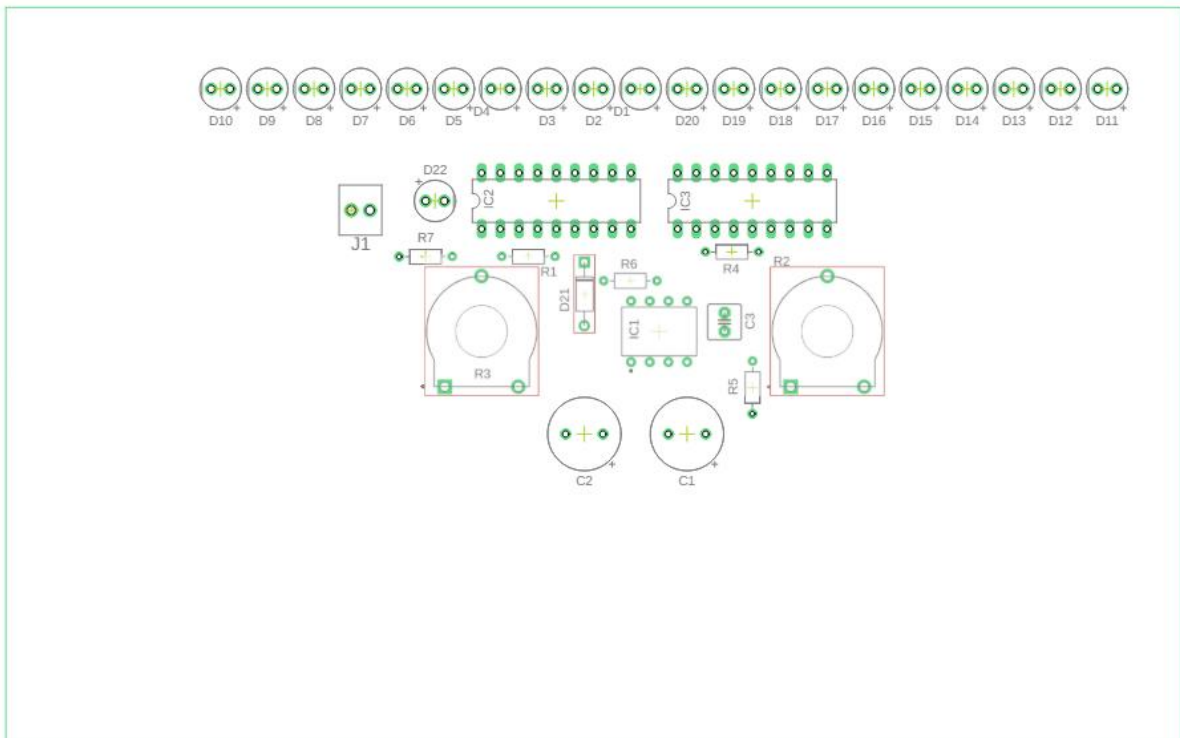
Slika 26. Gotov dijagram spajanja komponenti

Nakon toga je potrebno isprintati presliku, (stencil), koja je vidljiva na slici 27, uz pomoć laserskog printer na projekcijsku foliju (prozirnu foliju za grafoskope). Potrebno je napraviti više kopija koje će se postaviti jedna na drugu (minimalno dvije kako bi došlo do što boljeg pokrića prilikom osvjetljavanja zbog nejednagog nanosa tinte i potencijalnih šupljina u otisku).



Slika 27. Preslika za foliju za fotopostupak

I u konačnici, imamo prikaz i raspored komponenti na suprotnoj strain pločice koji nam daje nazive, veličine i orijentaciju prema polaritetu komponenata (Slika 28).



Slika 28. Gotov dijagram rasporeda komponenti i njihove orijentacije



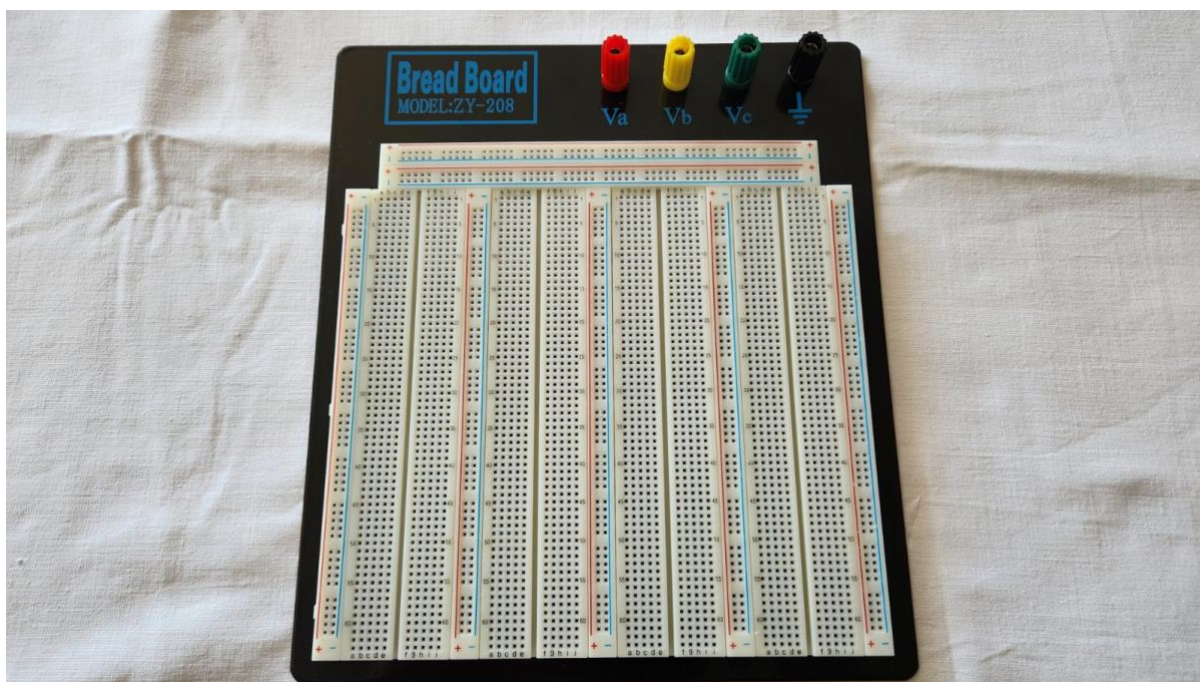
### 4.3 Provjera ispravnosti sheme na prototipnoj ploči

Prije nego se ide u izradu tiskane pločice, poželjno je posložiti komponente prema shemi spajanja na prototipnu ploču prikazanu na slici 29 (eng. *Breadboard*).

Prototipna ploča ili ploča bez lemljenja je konstrukcijska baza koja se koristi za izradu polutrajnih prototipova elektroničkih sklopova. Za razliku od perforirane ploče ili strip ploče, prototipne ploče ne zahtijevaju lemljenje niti uništavanje tragova i stoga su ponovno upotrebljive. Zbog toga su prototipne ploče također popularne među studentima i u tehnološkom obrazovanju.

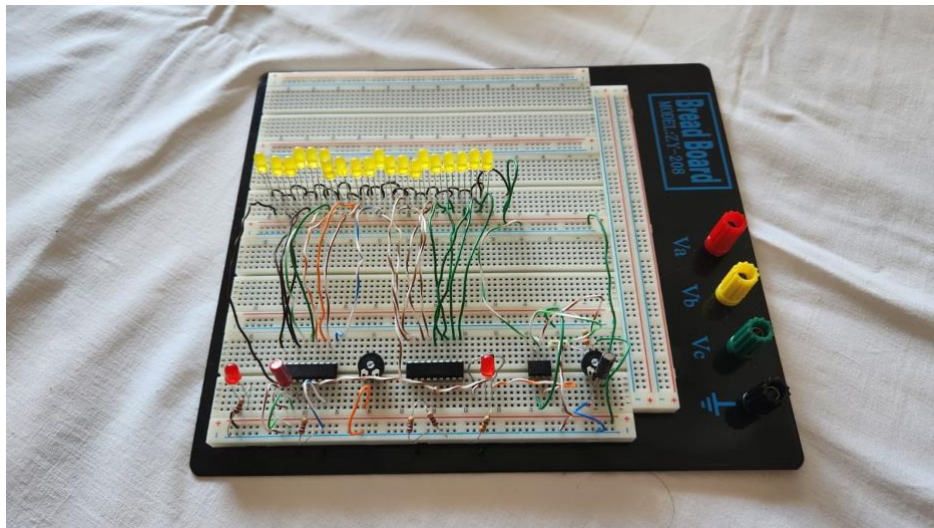
Različiti elektronički sustavi mogu se prototipirati pomoću prototipnih ploča, od malih analognih i digitalnih sklopova do kompletnih centralnih procesorskih jedinica

U usporedbi s trajnijim metodama povezivanja sklopova, moderne prototipne ploče imaju visoku parazitsku kapacitivnost, relativno visoki otpor i manje pouzdane veze, koje su podložne pomicanju i fizičkoj degradaciji. Signalizacija je ograničena na oko 10 MHz, a ne radi sve ispravno ni znatno ispod te frekvencije.



Slika 29. Prazana prototipna ploča

Stavljanjem potrebnih komponenata na odgovarajuća mjesta i povezivanja sa žicama kojima simuliramo vodove na tiskanoj pločici utvrđeno je da su nam dijagrami ispravni te sve funkcioniра (Slika 30). Nakon ovog koraka koji je obavljen iz predostrožnosti, možemo prijeći na izradu tiskanepločice fotopostupkom.



Slika 30. Spojene komponente na prototipnoj ploči u svrhu testiranja prije konačne izrade tiskane pločice

## 4.4 Izrada tiskane pločice fotopostupkom

### 4.4.1 Izlaganje pločice ultraljubičastom zračenju

Kako bismo izradili tiskanu pločicu fotopostupkom potrebna nam je fotoosjetljiva pločica koju ćemo izložiti ultraljubičastom zračenju. Nju kupujemo u dostupnim dimenzijama ili režemo iz veće ploče na željenu mjeru (Slika 31).

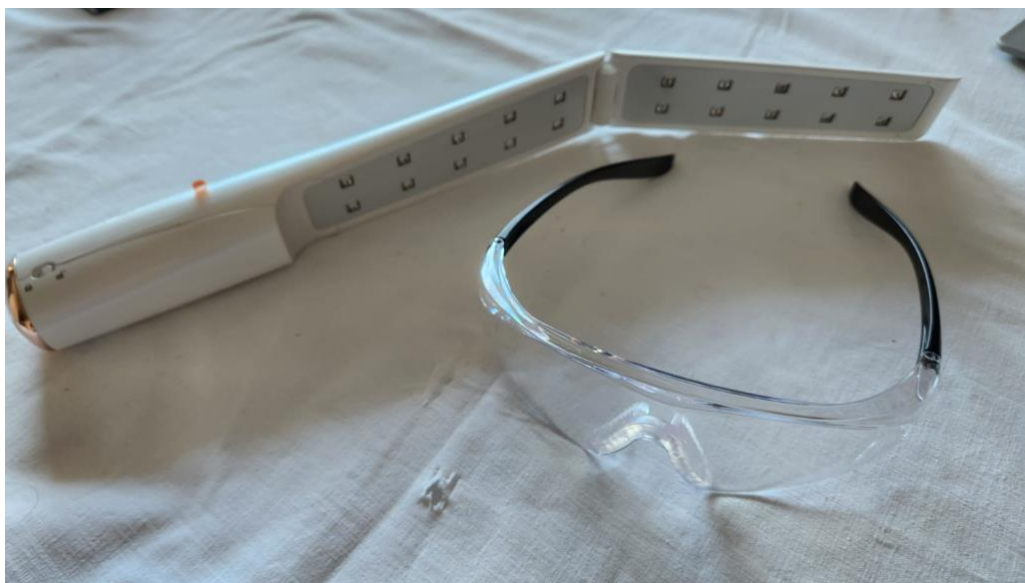


Slika 31. Prazna pločica prije fotopostupka sa zaštitnom folijom protiv UV zračenja  
Za osvjetljavanje ćemo koristiti snažnu lampu (slike 32 i 33) za dezinfekciju koja u sebi ima LED diode koje emitiraju ultraljubičastu svjetlost. U nedostatku specijalizirane opreme poput komore za izlaganje ultraljubičastom zračenju ovo je dobra alternativa koja služi istoj svrsi.



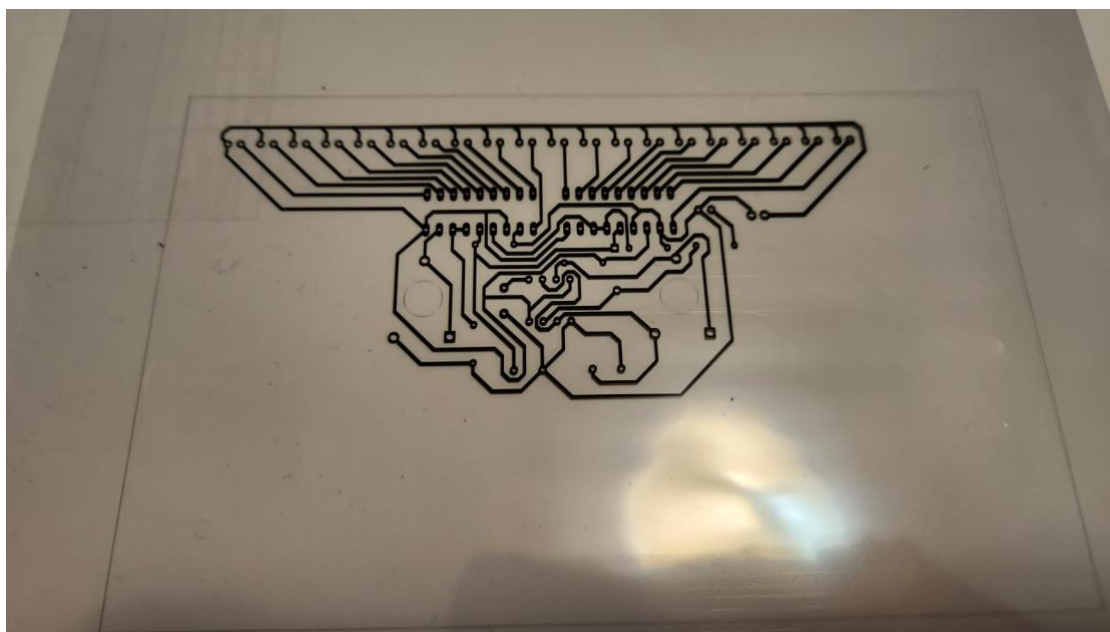
Slika 32. Ručna UV svjetiljka za dezinfekciju sa izrazito jakim UV zračenjem

Prije osvjetljavanja potrebno se je adekvatno zaštititi, u ovom slučaju priloženim zaštitnim naočalama i rukavicama.



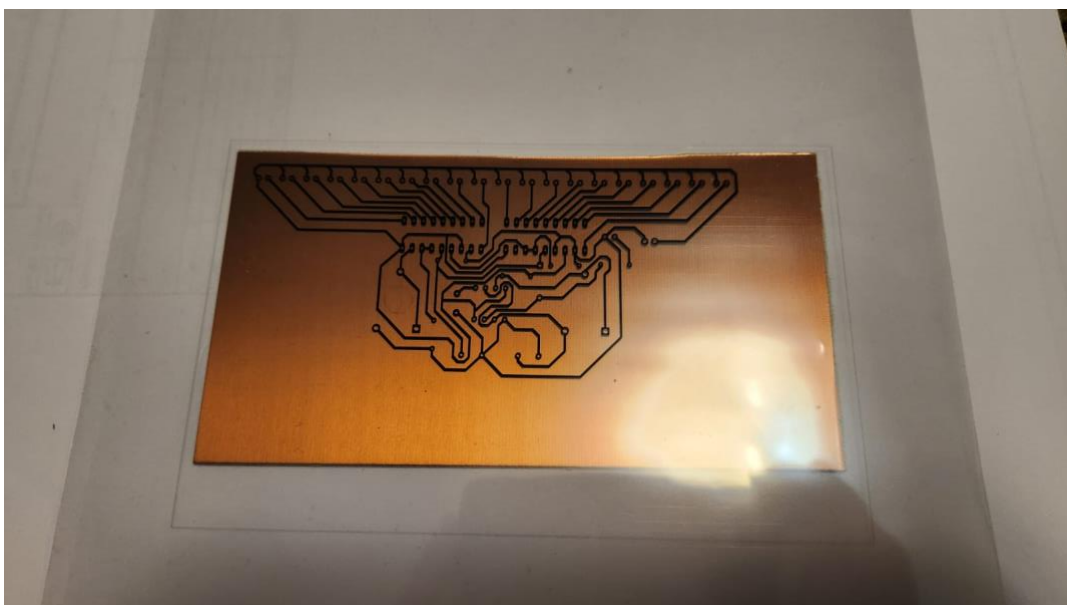
Slika 33. Ručna UV svjetiljka i zaštitne naočale

Na fotosjetljivu pločicu potrebno je staviti preslike otisnute na foliji za grafoskope na laserskom printeru. Potrebno ih je koristiti dvije kako bi šupljine od nepravilnog nanosa tinte bile u potpunosti uklonjene (Slika 34).



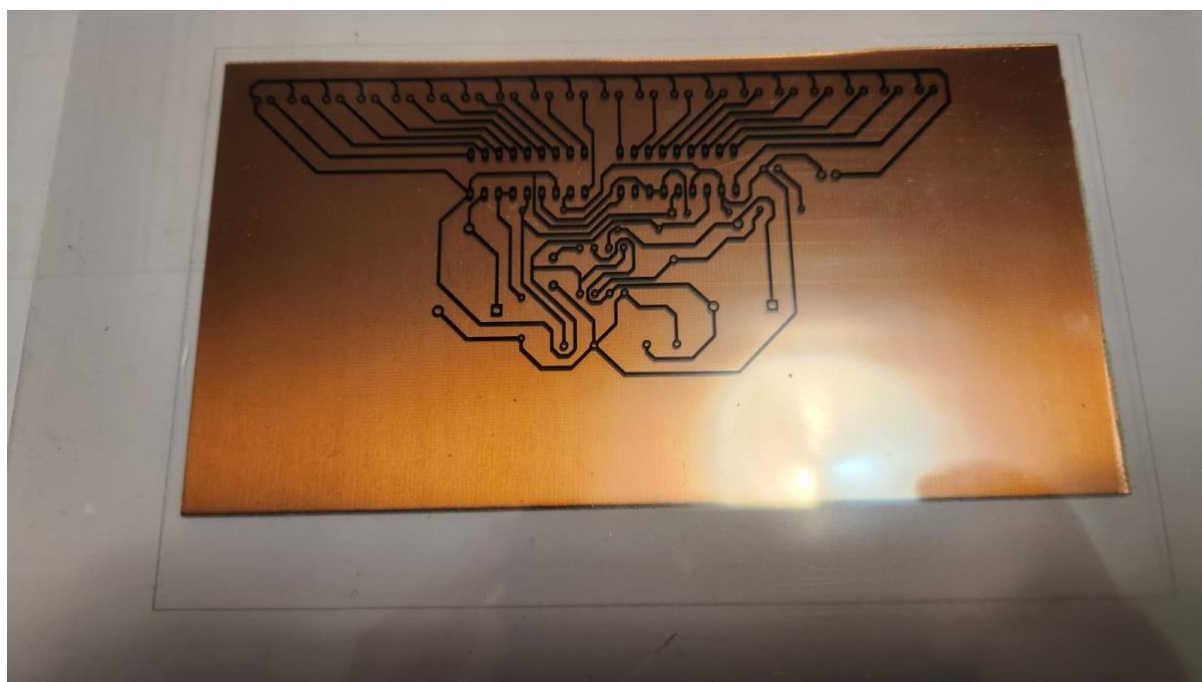
Slika 34. Dvostruka folija za grafoskop s preslikom prije fotopostupka

Nakon što je s pločice uklonjen zaštitni plavi film, stavljaju se folije i dodatno se prekrivaju staklenom pločom kako bi se spriječilo odvajanje folija od površine pločice i ulaska ultraljubičastog osvjetljenja pod kutom (Slika 35).



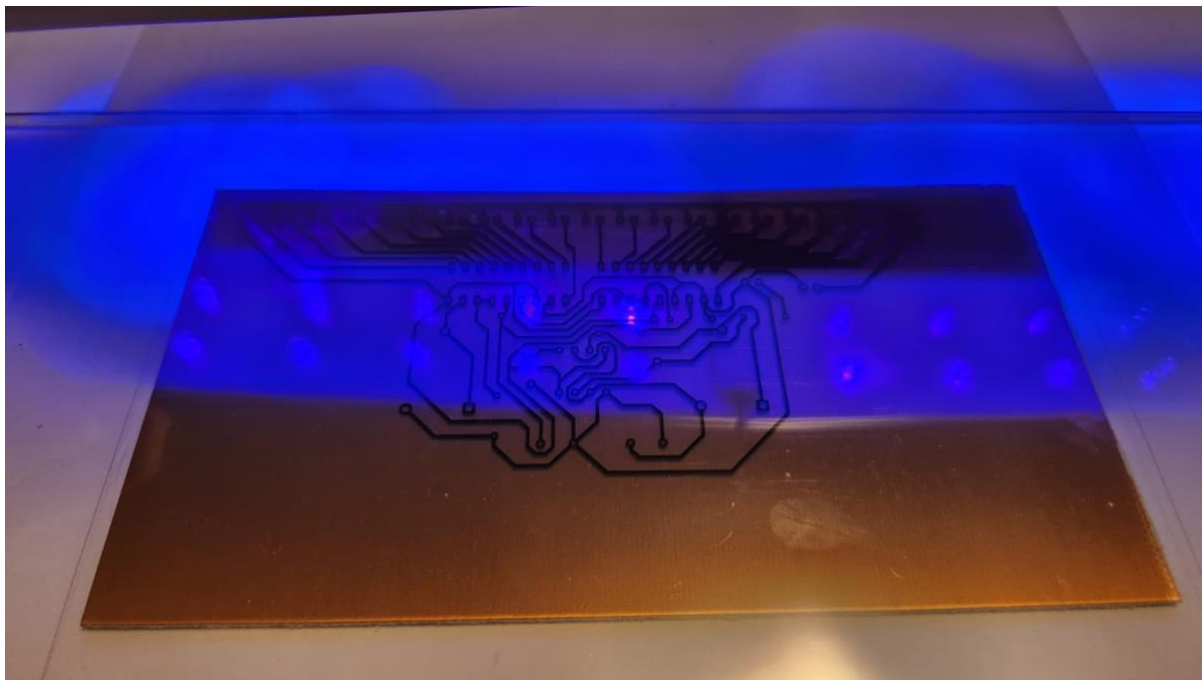
Slika 35. Dvostruka folija za grafoskop s preslikom na pločici s uklonjenom zaštitnom folijom

Stavljanje staklene ploče omogućuje dobro i detaljno otiskivanje uzorka na fotoosjetljivi sloj (Slika 36).



Slika 36. Dvostruka folija za grafoskop sa preslikom na pločici sa uklonjenom zaštitnom folijom pokrivena staklom kako bi se osiguralo prijanjanje

Nakon svih prethodno opisanih koraka potrebno je pločicu osvijetljivati 10 minuta kako bi se foto osjetljiva reakcija u potpunosti odvila (Slika 37).



Slika 37. Osvjetljavanje ultraljubičastom lampom za dezinfekciju

#### 4.4.2 Postupak razvijanja pločice uz pomoć natrijevog hidroksida

Za vrijeme osvjetljavanja možemo pripremiti smjesu natrijevog hidroksida (slike 38. i 39.) koji dolazi u praškastom obliku. Da bi se otopina ispravno pripremila potrebno je sadržaj paketića pomiješati s 500 ml destilirane vode prethodno zagrijane između 40°C i 50°C.



Slika 38. Vrećica praha NaOH (Natrijev hidroksid) i upute za korištenje



Slika 39. Vrećica praha NaOH (Natrijev hidroksid)

Prah se istresa u pripremljenu bocu te se nakon ulijevanja vode ista dobro zatvori i protrese kako bi se natrijev hidroksid dobro rastopio, kao što je prikazano na slikama 40 i 41.



Slika 40. Natrijev hidroksid (NaOH) u bočici

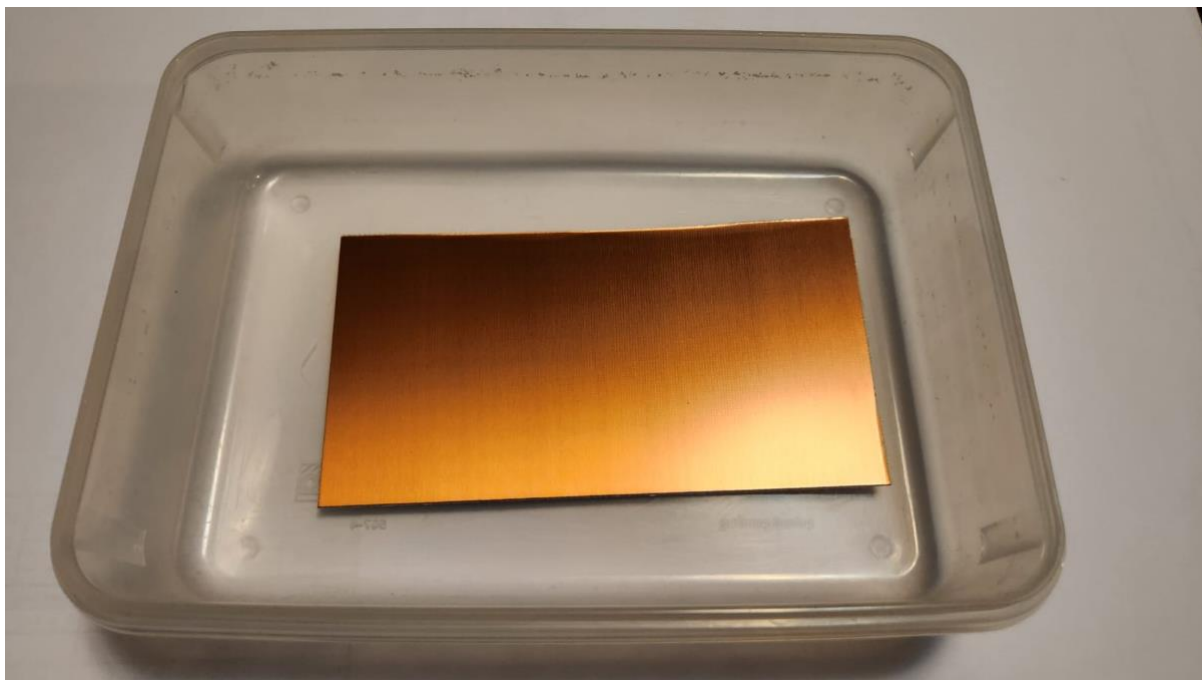


Slika 41. Natrijev hidroksid pomiješan s toplom vodom



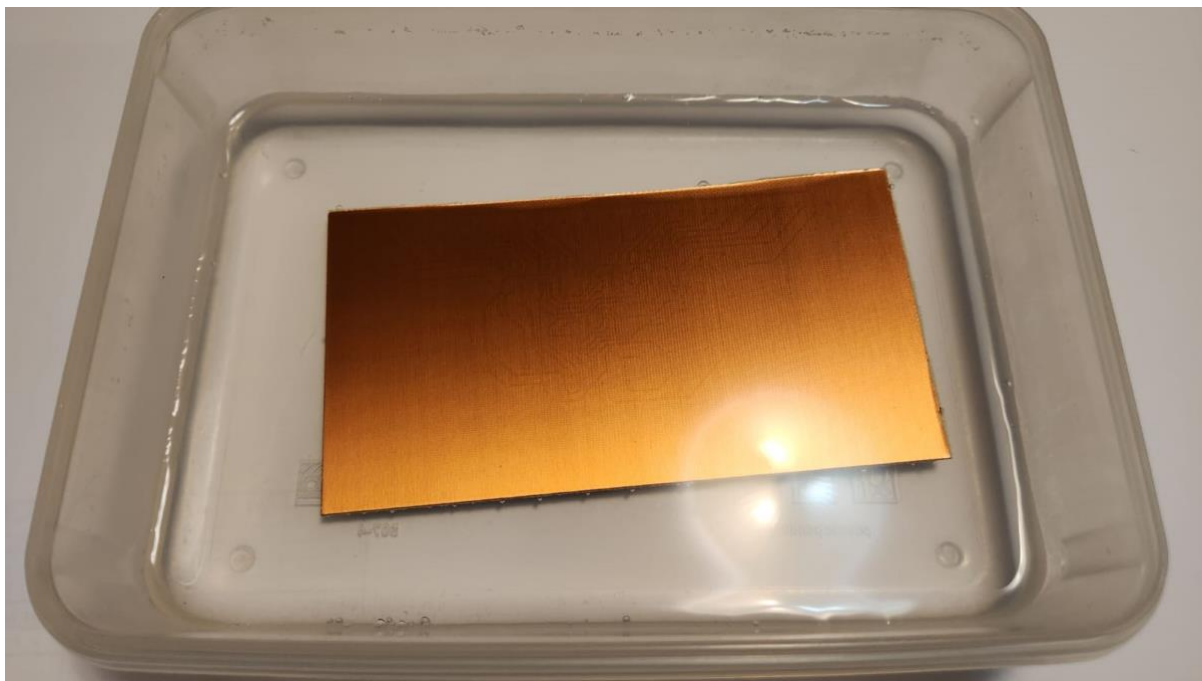
Pločica se uklanja nakon 10 do 15 minuta ispod UV svjetiljke i skidaju se staklo i folije.

Takva prazna pločica se stavlja u čistu posudu (Slika 42).



Slika 42. Pločica nakon osvjetljavanja u posudici za razvijanje

Takva pločica se prelijeva toplom mješavinom natrijevog hidroksida i dolazi do kemijske reakcije koja će se odvijati vrlo brzo (Slika 43).



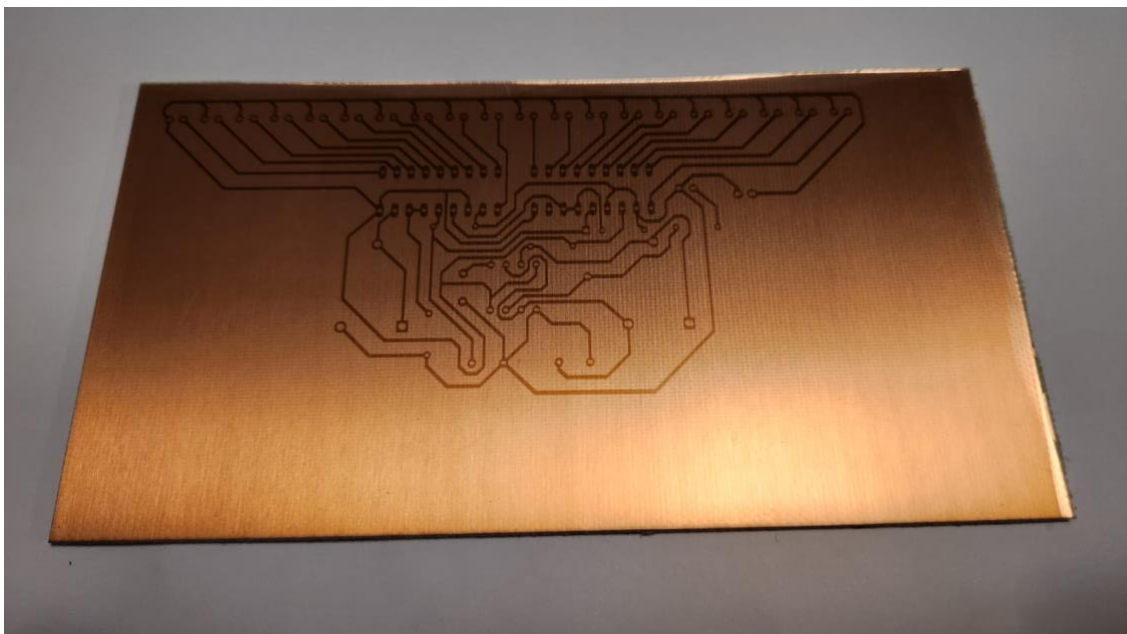
Slika 43. Pločica pokrivena otopinom natrijevog hidroksida za razvijanje

Već nakon nekoliko sekundi (vidljivo na slici 44.) će se početi pojavljivati obrisi vodova i otopina će početi poprimati smeđu boju od otapanja sloja koji je reagira u kontaktu sa ultraljubičastom svjetlosti. Pločica može ostati u toj otopini najviše do 2 minute a nakon toga nastupa izjedanje zaštićenog dijela.



Slika 44. Postupno pojavljivanje obrisa usred kemijske reakcije

Pločica se vadi iz otopine i spire pod mlazom tekuće vode i dobro suši. Takva je spremna za postupak jetkanja i može se skladištiti kao unaprijed pripremljena pločica (Slika 45).



Slika 45. Pločica nakon razvijanja u otopini natrijevog hidroksida i ispiranja

#### 4.4.3. Priprema za jetkanje

Za postupak jetkanja potreban nam je natrijev persulfat (Slike 46 i 47), iako se mogu koristiti i smjese od destilirane vode, peroksida i solne kiseline, ovo je daleko praktičnije rješenje jer ne zahtjeva pravilno poznavanje miješanja omjera navedenih sastojaka.

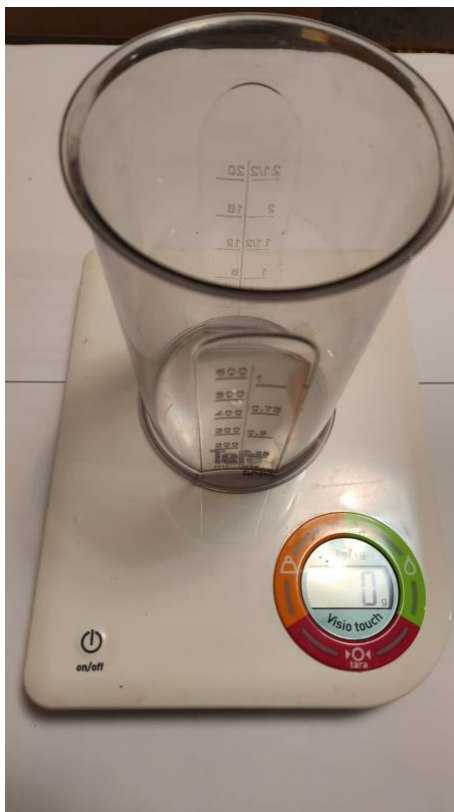


Slika 46. Natrijev persulfat



Slika 47. Upute za korištenje natrijeva persulfata

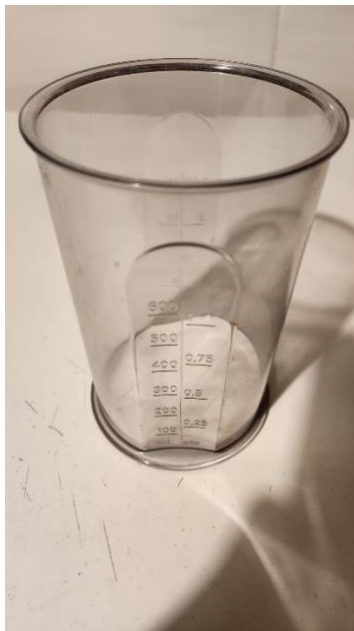
Prije procesa jetkanja potrebno je pripremiti smjesu za koju je potrebno izvagati 100 grama natrijevog persulfata, koji ćemo otopiti u toploj vodi (slike 48, 49 i 50).



Slika 48. Prazna posuda i vaga za doziranje natrijevog persulfata



Slika 49. Točno određena doza natrijevog persulfate za 500 mL vode



Slika 50. natrijevog persulfate prije mješanja sa toplom vodom

Nakon što je pripremljena točna količina, miješa se s 500 ml destilirane vode zagrijane na 50°C i dobro promiješa kako bi se natrijev persulfat dobro rastopio (Slika 51).



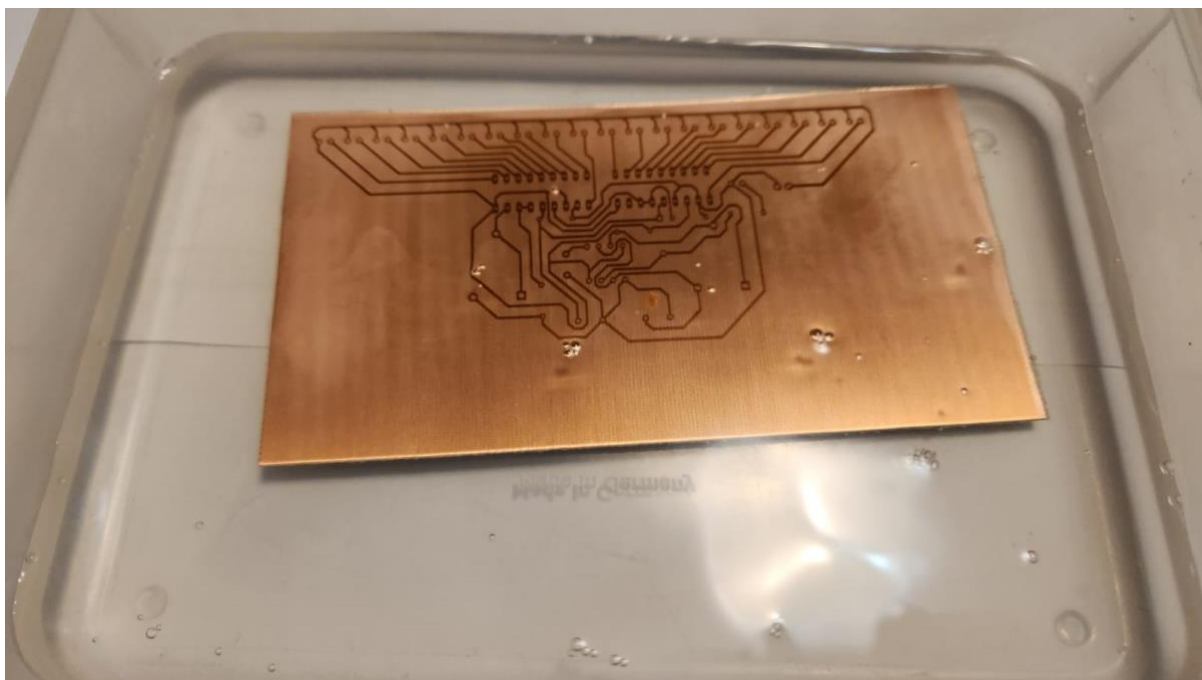
Slika 51. Natrijev persulfat nakon mješanja sa toplom vodom

Prethodno pripremljena pločica se polaže u dobro opranu posudu i zatim se prelijeva prethodno pripremljenom otopinom (Slika 52).



Slika 52. Tiskana pločica s otiskom prije postupka jetkanja

Poželjno je blagim pokretima blago ubrzavati postupak jer tako se ubrzava odnošenje sloja bakra koji nije zaštićen otvrdnutim filom. Ova otopina ima prednost što ne izgriza velikom brzinom bakar ispod filma bočnim putem (Slika 53).

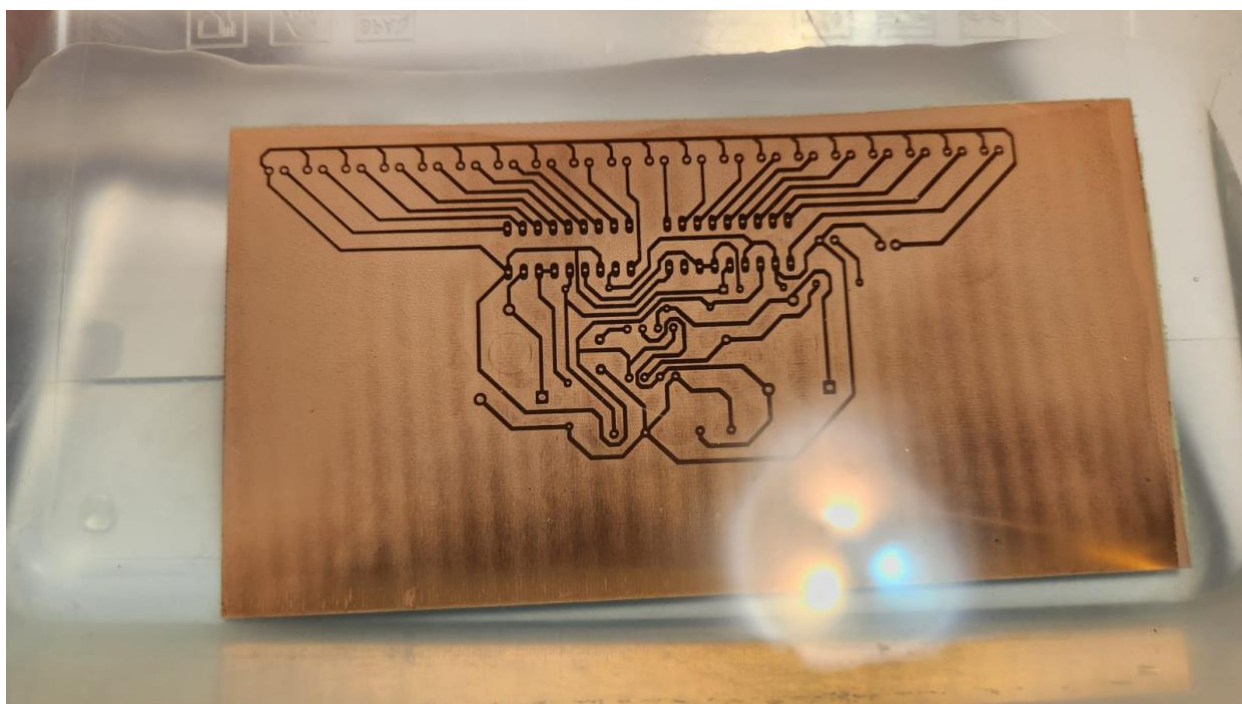


Slika 53. Tiskana pločica u tijeku postupka jetkanja

Vrlo brzo se primjećuje kako ostaju samo čisti vodovi i sav sloj bakra oko njih je ostao rastopljen u otopini (slike 54 i 55).

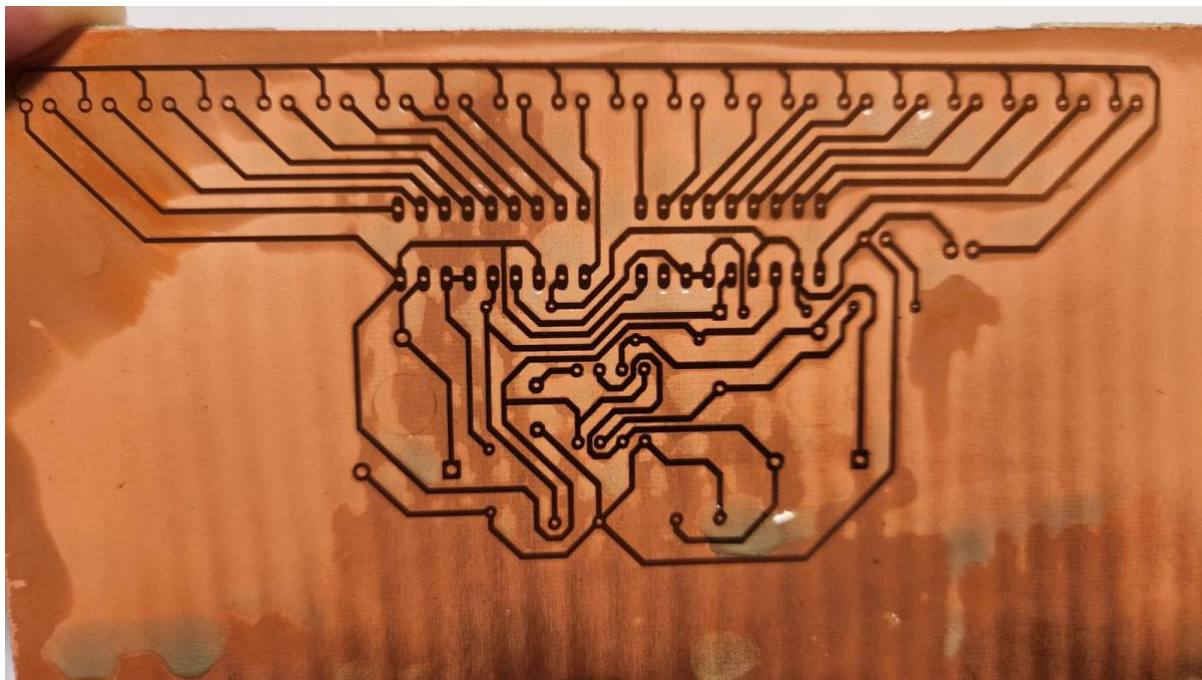


Slika 54. Tiskana pločica u tijeku postupka jetkanja



Slika 55. Tiskana pločica u tijeku postupka jetkanja nakon nagrizanja

Nakon što je otopina izgrizla sve oko vodova potrebno je pločicu oprati te se na njoj mogu izvršavati daljnje potrebne radnje (Slika 56).



Slika 56. Tiskana pločica nakon završenog postupka jetkanja i ispiranja



#### 4.4.4. Pripreme za bušenje i bušenje

Za postupak bušenja rupa za komponente potreban je specijalizirani alat. Taj alat je borer promjera 0.8 mm, precizna bušilica i stalak za istu. Svrdo se montira na bušilicu uz pomoć posebne prihvatne glave (slike 57 i 58).



Slika 57. Svrdo montirano na specijaliziranoj bušilici

Prihvatna glava se zatim stavlja na bušilicu koja se stavlja u postolje s linearnom vodilicom koja se kreće gore dolje uz pomoć ručno pokretanog mehanizma (slike 59 i 60). To omogućuje bušenje bez pomaka i izmicanja. Nakon pripreme još se jednom provjerava promjer svrdla.

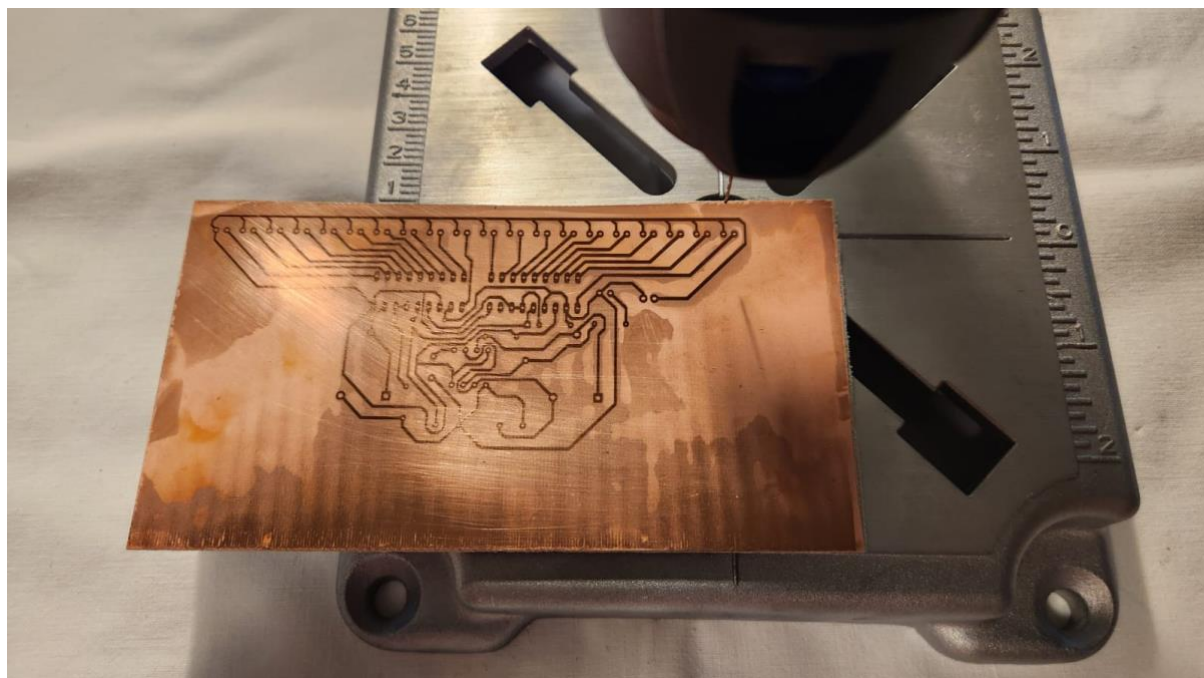


Slika 58. Promjer korištenog svrdla (0.8 mm)

Tako pripremljena bušilica je spremna za daljnji postupak obrade bušenjem.

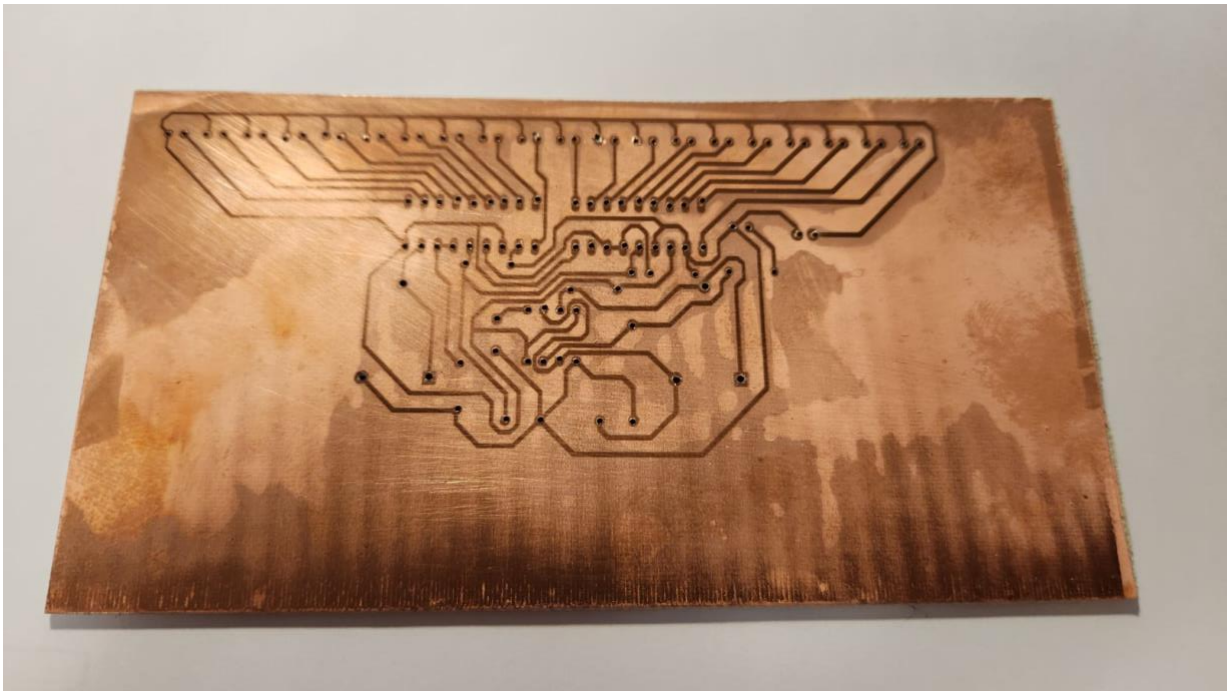


Slika 59. Specijalizirana bušilica sa stalkom za bušenje

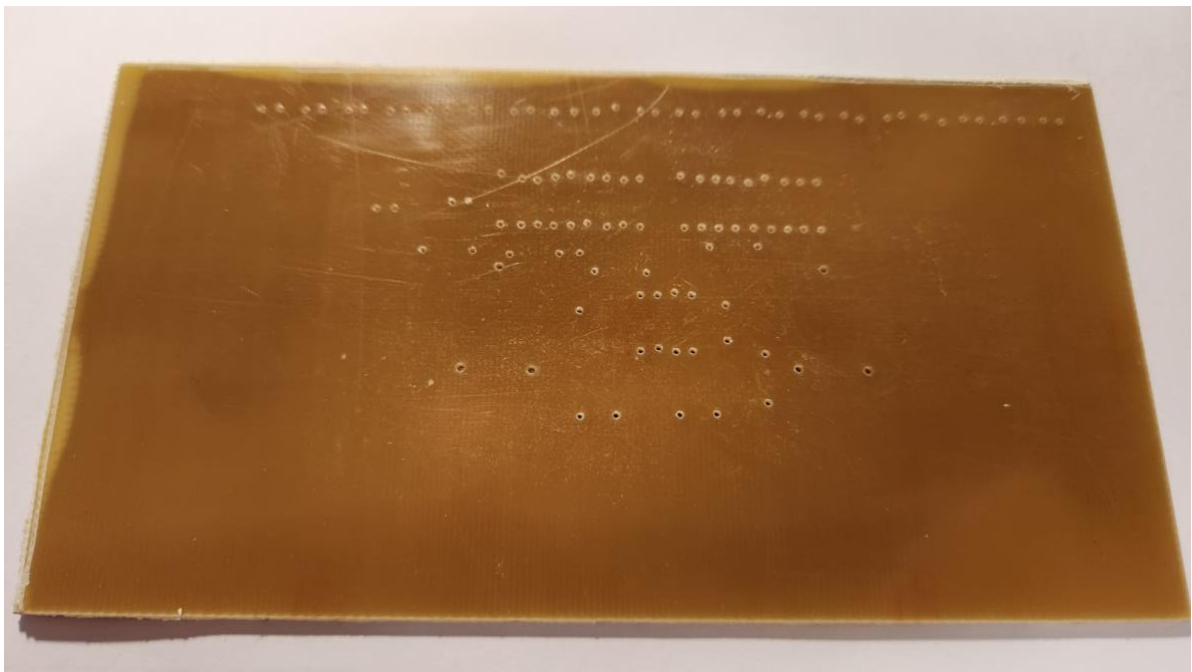


Slika 60. Tiskana pločica prije bušenja

Nakon bušenja svih potrebnih rupa pločica je spremna za montažu elektroničkih komponenti i njihovo povezivanje sa lemljenjem (Slike 61 i 62).



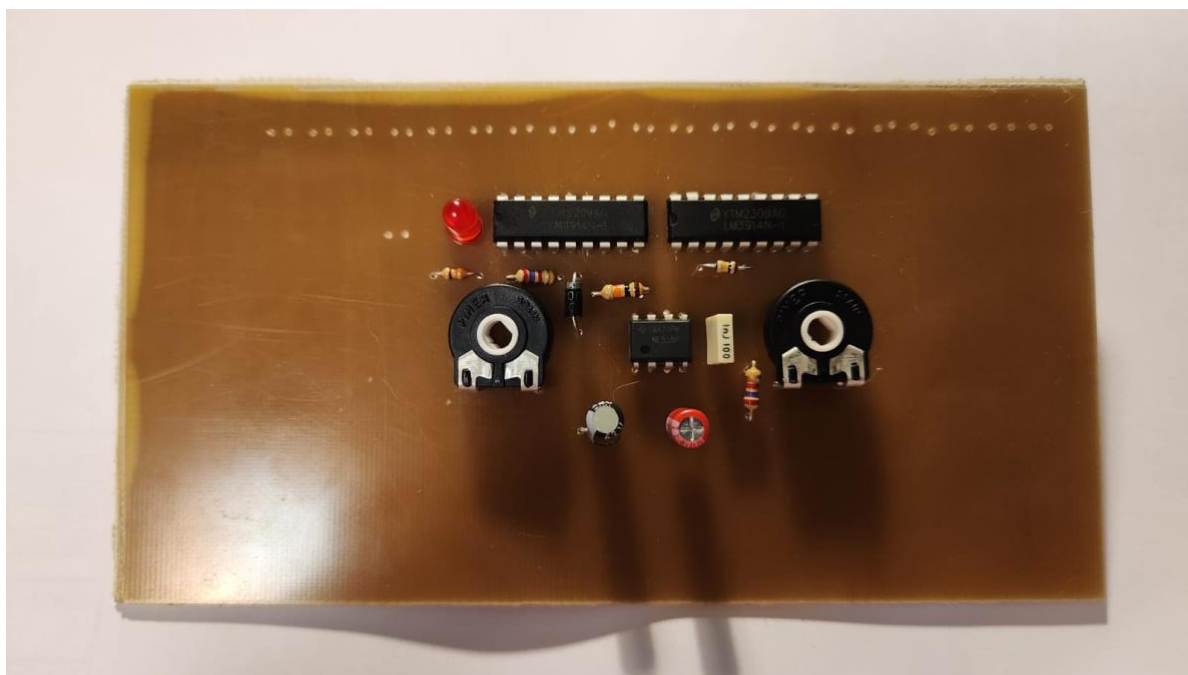
Slika 61. Izbušena pločica sa strane s vodovima



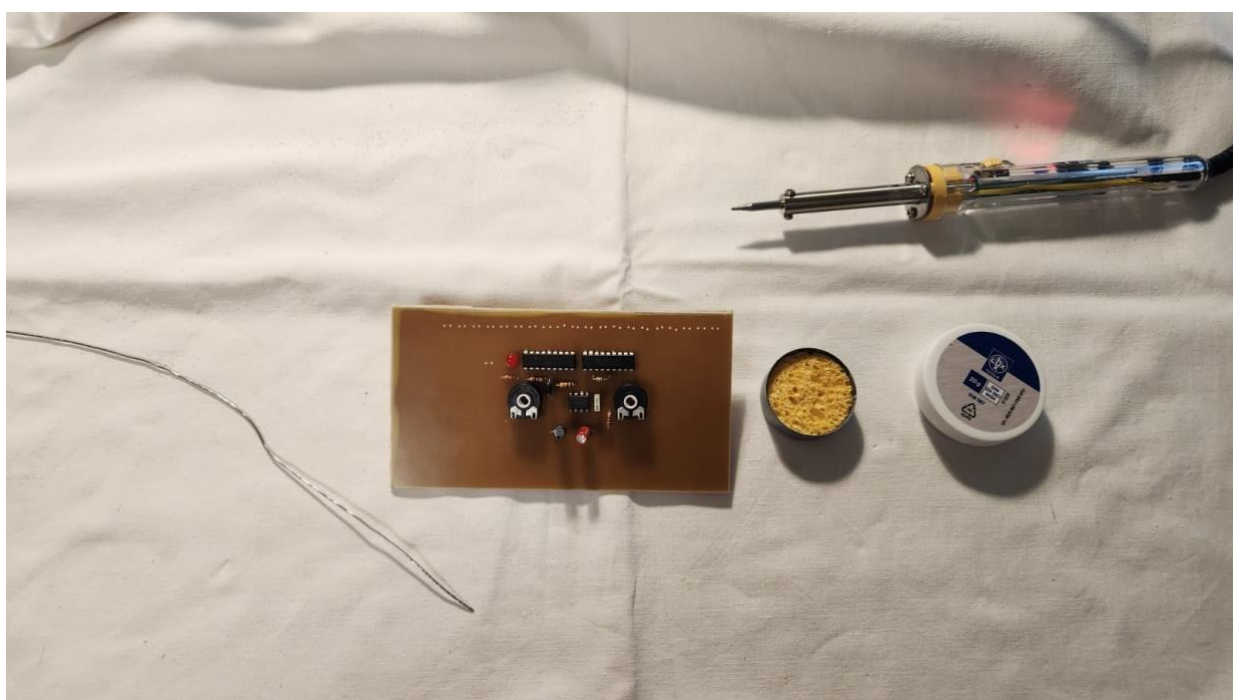
Slika 62. Izbušena pločica sa strane na koju se slažu komponente

#### 4.4.5. Lemljenje

Prije lemljenja prvo se poslože upravljačke komponente (Slika 63) na gornju stranu bez vodova. Nakon što je taj korak napravljen pločica se okreće i počinje postupak lemljenja (Slika 64).

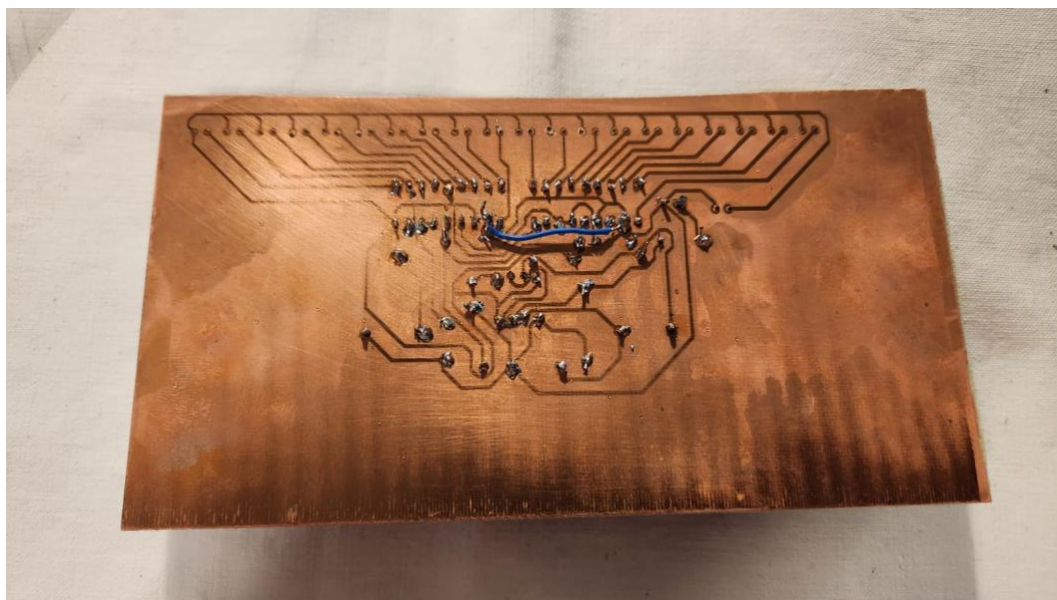


Slika 63. Posložene komponente na pločici prije lemljenja

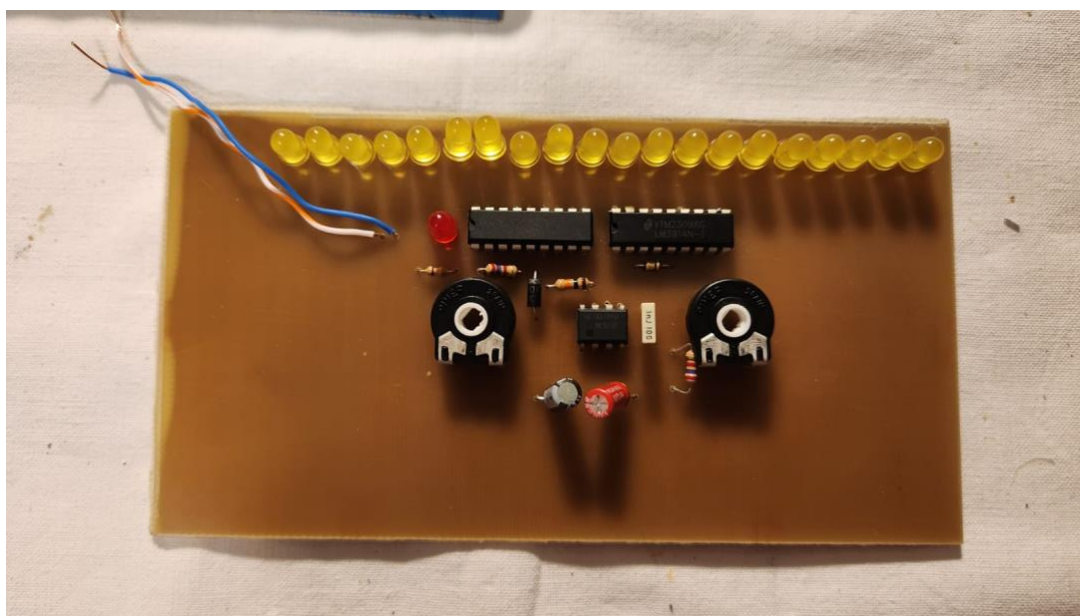


Slika 64. Tiskana pločica prije lemljenja

Prilikom lemljenja moramo paziti da se lemovi međusobno ne dodiruju i da ne dodiruju vodove u neposrednoj blizini jer tada dolazi do kratkog spoja. Uz pomoć žice se povezuje komunikacijska veza između oba LM 3914 (Slika 65) čipa kako bi se omogućila nizna komunikacija (nastavljanje paljenja LED diode u nizu).

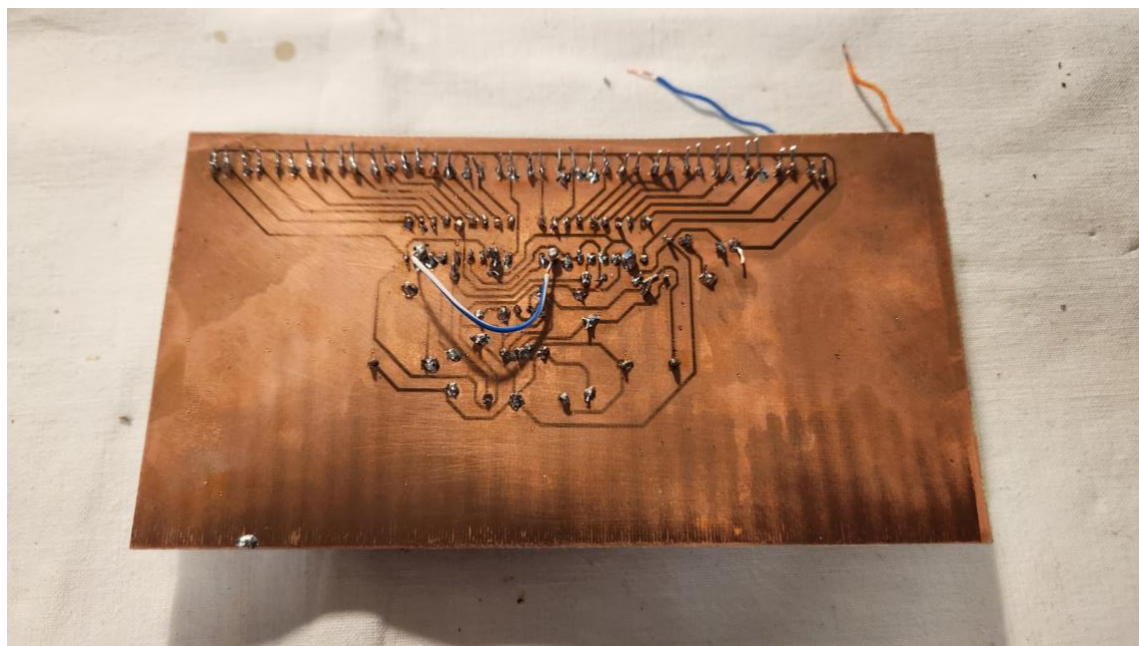


Slika 65. Lemljenje prvo posloženih komponenata na tiskanu pločicu  
Nakon lemljenja složenijih komponenata postavljaju se LED diode i one se na kraju leme jer zauzimaju najviše prostora (slike 66 i 67).



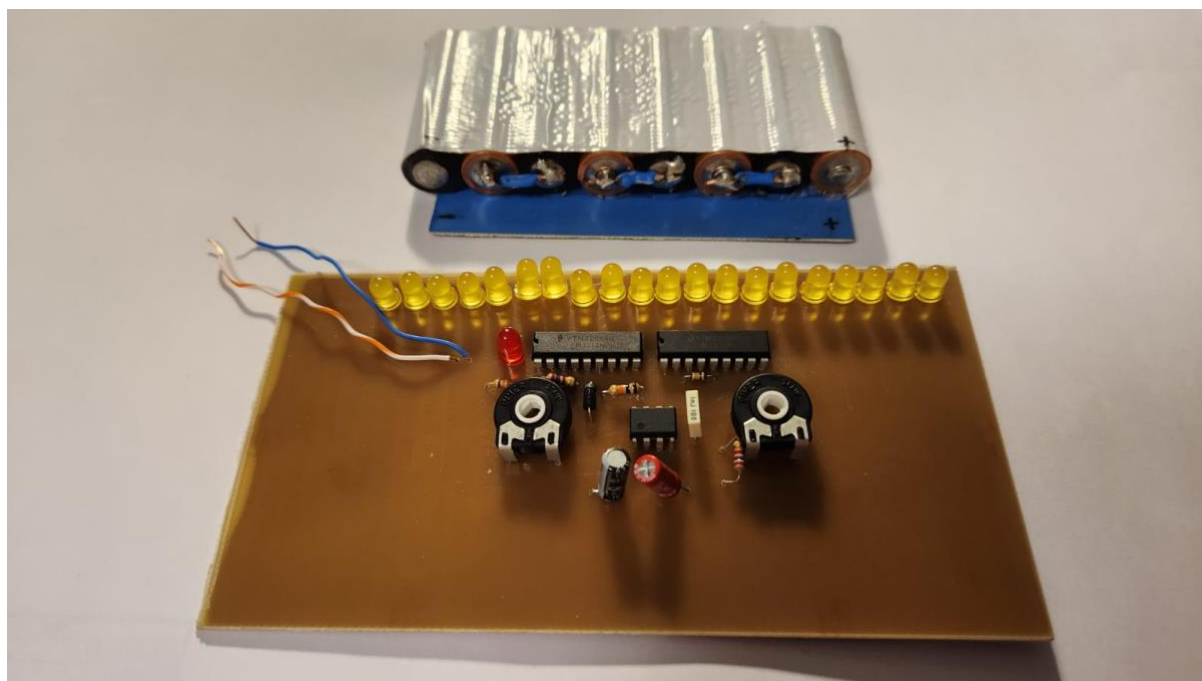
Slika 66. Postavljanje preostalih komponenata na tiskanu pločicu

Nakon lemljenja odstranjuju se duže veze od komponenata jer su nepotrebne.



Slika 67. Zalemljene komponente za pločicu

Takva pločica, nakon što je pomno pregledana, spremna je za danji rad i demonstraciju uz prethodno pripremljenu bateriju od 12 volti (Slika 68).



Slika 68. Gotova pločica i pripadajuća napravljena baterija od 12 V

## 5. ZAKLJUČAK

U načelu izrada tiskane pločice je jednostavan postupak čiji je princip izrade lako razumjeti, ali praktični postupak je puno osjetljiviji, kompliciraniji i zahtjeva puno praktičnog iskustva. Software potreban za dizajn pločice je besplatan, literature i primjeri su sveprisutni i taj postupak se brzo savlada, a ispravnost dizajna se može provjeriti odmah u softwearu i zatim praktično na Bread board-u.

Osnovne elektroničke komponente i kemikalije su jeftine i lako dostupne, no zahtjeva se specijalizirani alat za bušenje. Sam fotopostupak ima vrlo velike margine za grešku prilikom postupka preslikavanja uz pomoć ultraljubičastog osvjetljenja ako folija nije dobro prislonjena na foto osjetljivi sloj pločice. Iako je izrada ove tiskane pločice bila prilika za učenje, ukoliko je potrebno izraditi veliki broj pločica i izrada iste može čekati, poželjno je naručiti pločicu prema vlastitom dizajnu na mnogobrojnim servisima koji nude takve usluge, a takva preporuka naročito vrijedi što se kompleksnost tiskane pločice povećava. Ukoliko je potrebno nešto napraviti brzo, jednostavno i ne može se čekati profesionalno izrađen proizvod, izrada tiskane pločice fotopostupkom je poželjan način izrade.

## 6. LITERATURA

- [1] Phil's Old Radios, <https://antiqueradio.org/motvt73.htm>
- [2] The History of Printed Circuit Board PCB 1880 – Present, <https://how2electronics.com/history-printed-circuit-board-pcb-nextpcb/>
- [3] Povijest Razvoja PCBA-E, <https://hr.eternity-em.com/news/the-development-history-of-pcba-56852462.html>, pristupljeno 01.06.2024
- [4] Proximity fuse, [https://en.wikipedia.org/wiki/Proximity\\_fuze](https://en.wikipedia.org/wiki/Proximity_fuze)
- [5] LM3914: Features and Application, <https://avaqsemi.medium.com/lm3914-ic-price-features-and-application-87541aaa49d4>
- [6] LM3914 voltmeter circuit example, <https://tronixstuff.com/lm3914voltmeter/>
- [7] LM3914 Dot/Bar Display Driver, <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3914.pdf>
- [8] 555 Timer Introduction, <https://electronicsforfun.com/555-timer-introduction/>
- [9] xx555 Precision Timers, <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf?ts=1717907728478>
- [10] Time delay relay circuit using 555 timer, <https://easyelectronicproject.com/mini-projects/time-delay-relay-circuit-555-timer/>
- [11] What is a resistor, <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-fundamentals/what-is-a-resistor/#>
- [12] Understanding Impedance, <https://www.digikey.com/en/maker/tutorials/2024/understanding-impedance>
- [13] Električni kondenzator, "Hrvatska enciklopedija", Leksikografski zavod Miroslav Krleža, [www.enciklopedija.hr](http://www.enciklopedija.hr),
- [14] What are capacitors, <https://weishielectronics.com/what-are-capacitors-used-for/>
- [15] What is Polyester Capacitor, <https://www.elprocus.com/polyester-capacitor/>
- [16] <https://www.iskra.eu/en/Components-for-radio-interference-suppression/Capacitors-KNB1530-RFI-Class-X2/>
- [17] Trimer, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/trimer>, pristupljeno 29.05.2024
- [18] Trimmer, <https://forum.digikey.com/t/whats-the-s-suffix-mean-in-amphenol-pt10h01-502a2020-s/8643>
- [19] LED diode, <https://soldered.com/hr/learn/led-dioda-light-emiting-diode/>
- [20] LED diode, <https://www.flipkart.com/amtech-controls-5mm-red-green-led-each-50-50-pcs-electronic-components-hobby-kit/p/itm69be2089a593>
- [21] General purpose 1N4007 rectifier, <https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf>



[22] 1N4007, <https://www.aiema.com/part/datasheet/rgp30me354-fn15944607>

## 7. PRILOZI

### 7.1 Popis slika

Slika 1. Prethodnik tiskanih pločica u Motoroli VT-71 "Golden View" za televizijski prijamnik od 7 inča [1].....	2
Slika 2. Nacrt prvog Albert Hansonovog patenta za tiskanu pločicu [2] .....	4
Slika 3. Nacrt patenta Charlesa Ducasa [2] .....	5
Slika 4. Blizinski detonatori su bili prva vojna primjena koja je koristila tiskane pločice.[4] .....	6
Slika 5. Radio Paula Eislera koji koristi prvu tiskanu pločicu (PCB) [2] .....	7
Slika 6. Stari Motorolin televizijski prijamnik s pretečom tiskane pločice [2].....	7
Slika 7. Konstruiranje tiskanih pločica na podlozi od Mylara [2] .....	8
Slika 8. LM3914 [5] .....	11
Slika 9. Shema spajanja na naponima od 0 do 5 V [6] .....	11
Slika 10. NE555 sa 8 pinova [8] .....	12
Slika 11. Raspored pinova na timeru NE555 [10] .....	13
Slika 12. Otpornici različitih kapaciteta [11] .....	16
Slika 13. Elektrolitički kondenzatori različitih kapaciteta [14] .....	18
Slika 14. Poliesterski kondenzator [16] .....	19
Slika 15. Otpornički trimer sa 3 nogice i vijkom za podešavanje [18] .....	21
Slika 16. LED diode različitih boja [20] .....	22
Slika 17. 1N4007 dioda [21] .....	23
Slika 18. Korisničko sučelje programa EAGLE .....	25
Slika 19. Izbor timer čipa LM 3914 unutar baze podataka prije postavljanja .....	26
Slika 20. Dijagram spojenih komponenata nakon završenog postupka spajanja .....	26
Slika 21. Komponente s vezama koje se povlače na virtualnu tiskanu pločicu .....	27
Slika 22. Konačni raspored vodova i komponenata na tiskanoj pločici s predviđenim rupama .	28
Slika 23. Simbolični prikaz žice kojom se povezuju dva LM 3914 čipa zbog jednostrane pločice .....	28
Slika 24. Trodimenzionalni prikaz vodova i rupa na pločici .....	29
Slika 25. Trodimenzionalni prikaz komponenata i njihov raspored na suprotnoj strani pločice ...	29
Slika 26. Gotov dijagram spajanja komponenti .....	30
Slika 27. Preslika za foliju za fotopostupak .....	30
Slika 28. Gotov dijagram rasporeda komponenti i njihove orijentacije .....	31
Slika 29. Prazna prototipna ploča .....	32
Slika 30. Spojene komponente na prototipnoj ploči u svrhu testiranja prije konačne izrade tiskane pločice .....	33
Slika 31. Prazna pločica prije fotopostupka sa zaštitnom folijom protiv UV zračenja .....	34
Slika 32. Ručna UV svjetiljka za dezinfekciju sa izrazito jakim UV zračenjem .....	34
Slika 33. Ručna UV svjetiljka i zaštitne naočale .....	35
Slika 34. Dvostruka folija za grafoskop s preslikom prije fotopostupka .....	35
Slika 35. Dvostruka folija za grafoskop s preslikom na pločici s uklonjenom zaštitnom folijom .	36
Slika 36. Dvostruka folija za grafoskop sa preslikom na pločici sa uklonjenom zaštitnom folijom pokrivena staklom kako bi se osiguralo prijanjanje.....	36
Slika 37. Osvjetljavanje ultraljubičastom lampom za dezinfekciju .....	37
Slika 38. Vrećica praha NaOH (Natrijev hidroksid) i upute za korištenje .....	38
Slika 39. Vrećica praha NaOH (Natrijev hidroksid) .....	38
Slika 40. Natrijev hidroksid (NaOH) u bočici .....	39
Slika 41. Natrijev hidroksid pomiješan s toplom vodom .....	39
Slika 42. Pločica nakon osvjetljavanja u posudici za razvijanje .....	40

Slika 43. Pločica pokrivena otopinom natrijevog hidroksida za razvijanje .....	40
Slika 44. Postupno pojavljivanje obrisa usred kemijske reakcije .....	41
Slika 45. Pločica nakon razvijanja u otopini natrijevog hidroksida i ispiranja .....	41
Slika 46. Natrijev persulfat .....	42
Slika 47. Upute za korištenje natrijeva persulfata .....	42
Slika 48. Prazna posuda i vaga za doziranje natrijevog persulfata .....	43
Slika 49. Točno određena doza natrijevog persulfata za 500 mL vode .....	43
Slika 50. natrijevog persulfata prije mješanja sa toplom vodom .....	44
Slika 51. Natrijev persulfat nakon mješanja sa toplom vodom .....	44
Slika 52. Tiskana pločica s otiskom prije postupka jetkanja .....	45
Slika 53. Tiskana pločica u tijeku postupka jetkanja .....	45
Slika 54. Tiskana pločica u tijeku postupka jetkanja .....	46
Slika 55. Tiskana pločica u tijeku postupka jetkanja nakon nagrizanja .....	46
Slika 56. Tiskana pločica nakon završenog postupka jetkanja i ispiranja .....	47
Slika 57. Svrđlo montirano na specijaliziranoj bušilici .....	48
Slika 58. Promjer korištenog svrdla (0.8 mm).....	48
Slika 59. Specijalizirana bušilica sa stalkom za bušenje .....	49
Slika 60. Tiskana pločica prije bušenja .....	49
Slika 61. Izbušena pločica sa strane s vodovima .....	50
Slika 62. Izbušena pločica sa strane na koju se slažu komponente .....	50
Slika 63. Posložene komponente na pločici prije lemljenja .....	51
Slika 64. Tiskana pločica prije lemljenja .....	51
Slika 65. Lemljenje prvo posloženih komponenata na tiskanu pločicu .....	52
Slika 66. Postavljanje preostalih komponenata na tiskanu pločicu .....	52
Slika 67. Zalemljene komponente za pločicu.....	53
Slika 68. Gotova pločica i pripadajuća napravljena baterija od 12 V .....	53

## 7.2. Popis tablica

Tablica 1. Opis funkcija nogica na N555 [9] .....	14
Tablica 2. Vrsta i broj upotrijebljenih komponenata .....	24