

UNIVERZITET U SARAJEVU



ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET  
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

Finalna verzija projekta

---

# Regulacija temperature korištenjem analognih komponenti

---

**Baždar Faris, 18413**

*Predmet: Praktikum elektronike i elektrotehnike*

Akademski godina: 2019/2020

Sarajevo, maj 2020.

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Realizacija sistema za napajanje</b>	<b>2</b>
2.1	Signali u kolu . . . . .	3
2.1.1	Signal na naponskom generatoru . . . . .	3
2.1.2	Signal na sekundaru . . . . .	4
2.1.3	Oblik napona na izlazu graetza . . . . .	5
2.1.4	Oblik napona ripla . . . . .	6
2.1.5	Oblik napona na kondenzatoru . . . . .	7
2.1.6	Oblik napona na izlazu sklopa . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Mjerni pretvarač</b>	<b>9</b>
3.1	Izvor referentnog napona . . . . .	10
3.2	Mjerni most . . . . .	11
3.2.1	NTC termistor . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Realizacija izvršnog organa</b>	<b>16</b>
4.1	Relejni prekidač . . . . .	16
4.2	Realizacija izvršnog organa sa objektima u Proteus-u . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Realizacija regulatora i komparatora</b>	<b>20</b>
5.1	Realizacija dvopoložajnog regulatora . . . . .	20
5.2	Proračun parametara sklopa i provjera funkcionalnosti . . . . .	22
5.3	Realizacija komparatora . . . . .	26
<b>6</b>	<b>Završna šema regulatora i PCB modeli</b>	<b>27</b>
6.1	Proteus šema regulatora . . . . .	27
6.2	Prikaz štampane ploče . . . . .	28
6.3	PCB dizajn (gornji sloj) . . . . .	29
6.4	PCB dizajn (donji sloj) . . . . .	29

## Popis slika

2.1	Shema realizacije napajanja . . . . .	2
2.2	Shema snimanja signala na sinusnom generatoru . . . . .	3
2.3	Oblik ulaznog napona . . . . .	3
2.4	Shema snimanja signala na sekundaru . . . . .	4
2.5	Oblik napona na sekundaru . . . . .	4
2.6	Shema snimanja signala na Graetzovom spoju . . . . .	5
2.7	Oblik napona na izlazu Graetzovog spoja . . . . .	5
2.8	Shema snimanja napona ripla . . . . .	6
2.9	Oblik napona ripla . . . . .	6
2.10	Shema snimanja napona na kondenzatoru . . . . .	7
2.11	Oblik napona na kondenzatoru . . . . .	7
2.12	Shema snimanja napona na izlazu . . . . .	8
2.13	Oblik napona na izlazu(DC) . . . . .	8
3.1	Shema mjernog pretvarača . . . . .	9
3.2	Shema izvora referentnog napona . . . . .	10
3.3	Shema mjernog mosta . . . . .	11
3.4	Ovisnost otpornosti NTC-a od temperature . . . . .	13
3.5	Ovisnost napona $U_x$ od temperature . . . . .	14
3.6	Ovisnost napona $U_x$ od otpora NTC-a . . . . .	14
3.7	Ovisnost napona $U_{izl}$ od temperature . . . . .	15
3.8	Ovisnost napona $U_{izl}$ od otpora NTC-a . . . . .	15
4.1	Relej: a) isključen, b) uključen . . . . .	16
4.2	Model izvršnog organa sa objektima za potrebe testiranja parametara releja	18
4.3	Model izvršnog organa sa objektima koji će se koristiti za realizaciju projekta u laboratoriji . . . . .	19
5.1	Shema Šmitovog trigeru . . . . .	20
5.2	Ulazno-izlazna karakteristika Šmitovog trigeru . . . . .	21
5.3	Primjer ulaznog i izlaznog signala na Šmitovom trigeru . . . . .	21
5.4	Određivanje vrijednosti otpora $R_1$ i $R_2$ . . . . .	23
5.5	Određivanje vrijednosti otpora $R_1$ i $R_2$ . . . . .	23
5.6	Ovisnost napona $U_x$ od temperature . . . . .	24
5.7	Shema korištena za snimanje pragova $V_g$ i $V_d$ uz fiksne otpore ali promjenjivo $V_{ref}$ . . . . .	25
5.8	Shema komparatora . . . . .	26
6.1	Shema regulatora temperature . . . . .	27
6.2	3d prikaz PCB-a (gornji dio) . . . . .	28
6.3	3d prikaz PCB-a (donji dio) . . . . .	28
6.4	PCB dizajn - raspored komponenti . . . . .	29
6.5	PCB dizajn - sloj bakra . . . . .	29

## Popis tabela

1	Tabela ovisnosti električnih veličina od temperature . . . . .	13
2	Tabela koja sadrži vrijednosti pragova izmjerenih u simulaciji. . . . .	25

# 1 Uvod

Mjerenje temperature u industrijskom okruženju obuhvata širok spektar potreba i primjena, tako da danas postoji veliki broj senzora i uređaja koji to omogućavaju. Cilj regulacije jeste održavanje fizičke veličine na zadanoj vrijednosti, kontinuiranim mjerenjem, poređenjem zadane i izlazne vrijednosti i zadavanjem upravljačkih signala kao korektivnog faktora u postizanu željene vrijednosti izlazne veličine.

U ovom radu predstavljen je sistem za regulaciju temperature korištenjem analognih komponenti. Za potrebe ostvarenja modela za regulaciju temperature korištena je dvopoložajna regulacija uključi/isključi. Dvopoložajna regulacija je najjednostavnija vrsta regulacija koja se vrlo često koristi u brojnim industrijskim aplikacijama: regulacija temperature kod elektrotermičkih uređaja (bojler, grijalica, pegla itd.), regulacija temperature rashladne tečnosti u automobilu i brojne druge aplikacije.

Sistem se sastoji iz sistema za napajanje, mjernog pretvrača, komparatora, regulatora i izvršnog organa sa objektima upravljanja. Svaki od pomenutih sistema je teoretski obrađen, data je njegova elektronička shema a proračunski rezultati su validirani mjerenjem kroz eksperimentalna ispitivanja provedena unutar programskog paketa Proteus. U sklopu pomenutog paketa, realizirana je kompletna shema sistema regulacije u šta je ubrojana i izrada štampane elektroničke pločice. Analiza svih signala je prožeta interpretacijom proračunskih i simulacijskih rezultata uz grafički prikaz koji doprinose jasnoj interpretaciji rezultata dok korelacija između sastavnih dijelova postaje jasno sintetizirana.

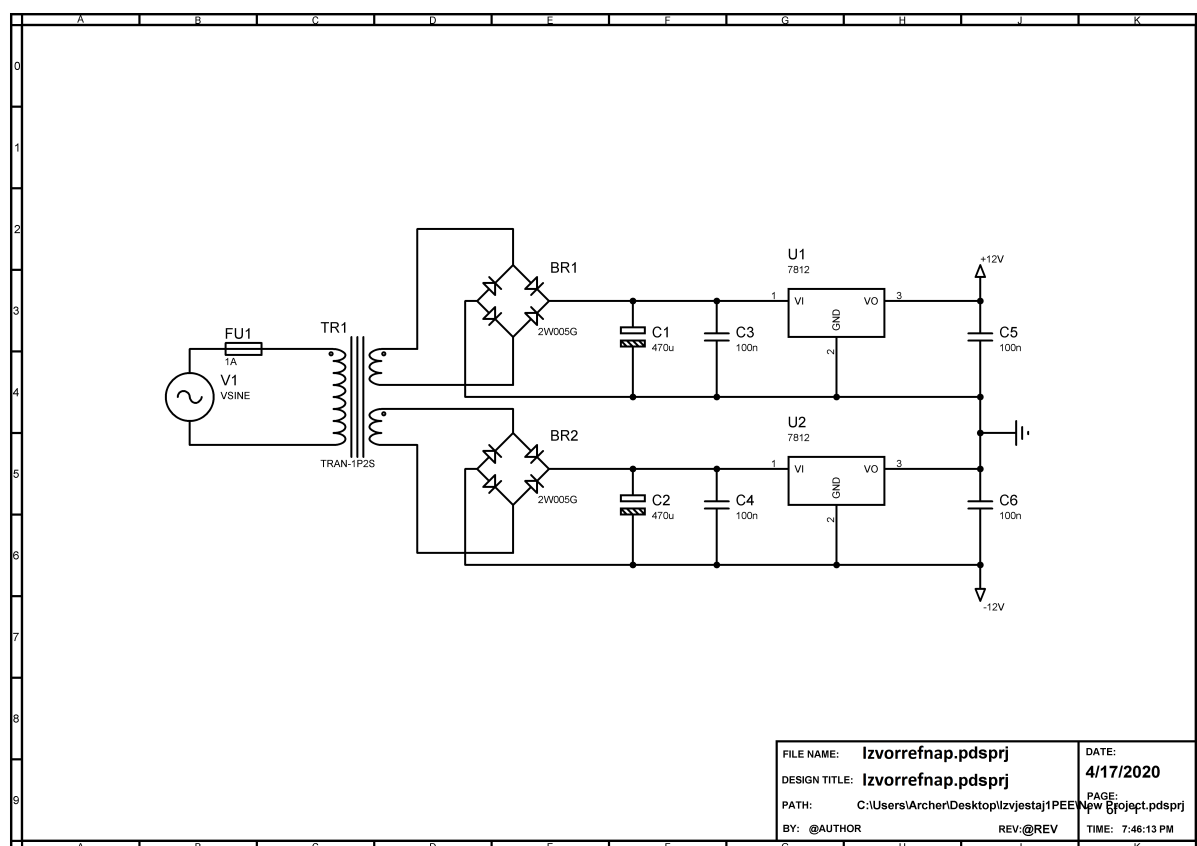
Dobra regulacija temperature produžava životni vijek sklopa ako temperatura ne prelazi zadane granice. Nagle promjene u temperaturi na sklopu mogu uzrokovati štetu na komponentama, te je zato važno pratiti djelovanje regulatora i ograničiti brzinu promjene temperature. Upravo iz prethodno navedenih razloga pažljivo su odabrane aktivne i pasivne komponente koje se koriste za regulaciju temperature. Pored navedenih karakteristika sami sistem je kompaktan i ne zauzima mnogo prostora.

Regulator temperature koji koristi analogne komponente je jednostavan za primjenu i podesiv za korištenje tamo gdje se traži niža cijena sistema za regulaciju, u odnosu na digitalne regulatore temperature.

## 2 Realizacija sistema za napajanje

Napajanje regulatora temperature koristi mrežno napajanje ( $230V$ ,  $50Hz$ ) koje je prilagođeno ostatku sklopa pomoću transformatora koji daje nižu naizmjeničnu vrijednost napona na ulazu koja se kasnije ispravlja putem Grecovog spoja. Osigurač je zaštitni element koji štiti ostatak komponenti od struje prevelike vrijednosti. Za dodatno ispravljanje napona koriste se elektrolitski kondenzatori, zbog njihove veće vrijednosti kapaciteta. Uloga keramičkog kondenzatora je dodatno smanjenje neispravnosti u obliku ispravljenog napona. Ispravljeni napon se dalje šalje na ulaz 7812 regulatora, koji na svome izlazu osigurava vrijednost od  $12V$  sve dok je vrijednost napona na ulazu viša od ili jednaka  $12V$ . Korišten je transformator sa jednim primarnim namotajem i dva sekundarna namotaja da bi se na izlazu sistema za napajanje dobilo  $\pm 12V$ . U ovom dijelu je priložen model realizacije sistema za napajanje. Sistem za napajanje sastoji se od sljedećih komponenti:

- sinusni izvor napajanja ( $V_{pp} = 230V$ ,  $f = 50Hz$ ),
- osigurač ( $1A$ ),
- transformator,
- 2 x Grecova spoja,
- 2 x elektrolitska kondenzatora ( $C = 470\mu F$ ),
- 4 x keramička kondenzatora ( $C = 100nF$ ),
- 2 x regulatora (7812).

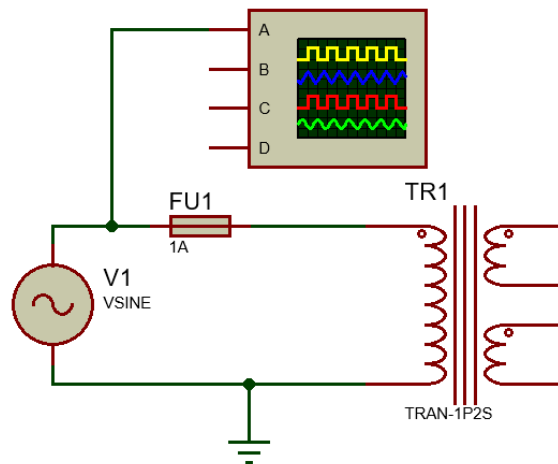


Slika 2.1: Shema realizacije napajanja

## 2.1 Signali u kolu

U nastavku su priloženi naponski signala u određenim tačkama na sklopu.

### 2.1.1 Signal na naponskom generatoru

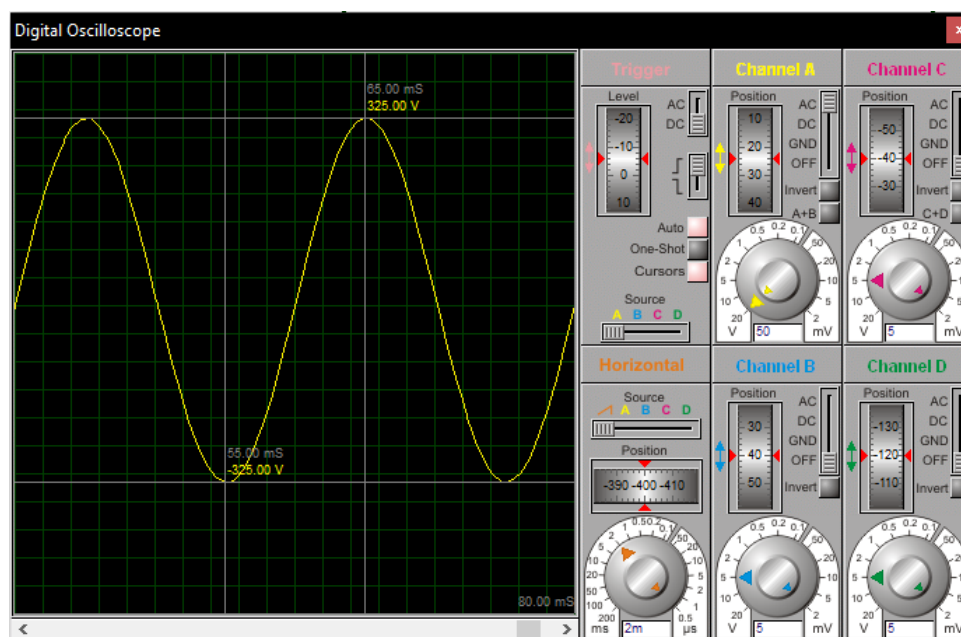


Slika 2.2: Shema snimanja signala na sinusnom generatoru

Koristeći kursore na osciloskopu izmjerena je frekvencija ulaznog signala koja iznosi 50Hz što ne odstupa od očekivanog. Maksimalna izmjerena vrijednost ulaznog napona je 325 V, a efektivna vrijednost izmjerenog napona je 230 V.

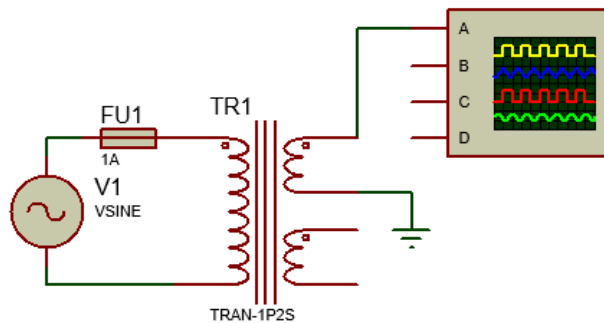
$$T = (T_2 - T_1) \cdot 2 = 20[ms] \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 50[Hz] \quad (2.1)$$

U prilogu se nalazi signal snimljen na naponskom generatoru.



Slika 2.3: Oblik ulaznog napona

## 2.1.2 Signal na sekundaru



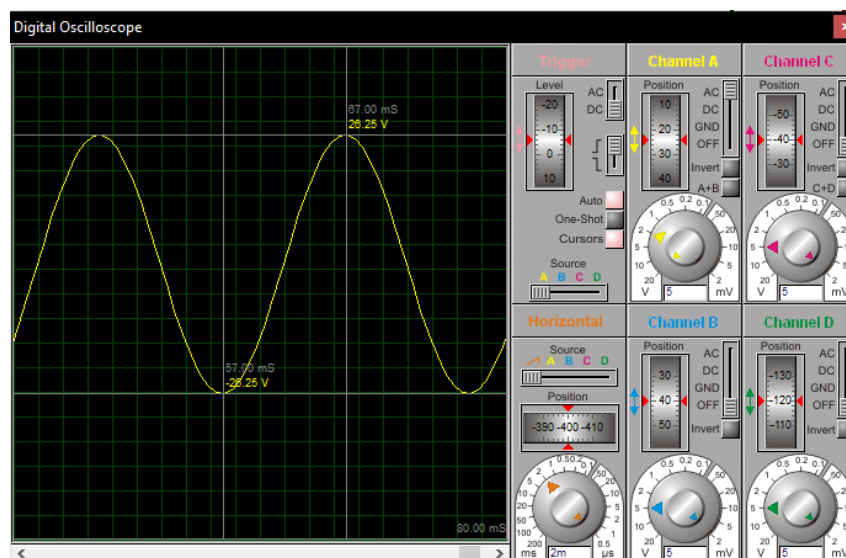
Slika 2.4: Shema snimanja signala na sekundaru

Ukoliko su poznati podaci  $U_1 = 230V$ ,  $\frac{N_1}{N_2} = 12$  i ako su gubici na transformatoru 5%.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow U_2 = 19.16V \quad (2.2)$$

Ukoliko se usvoje gubici na transformatoru, napon na sekundaru je:

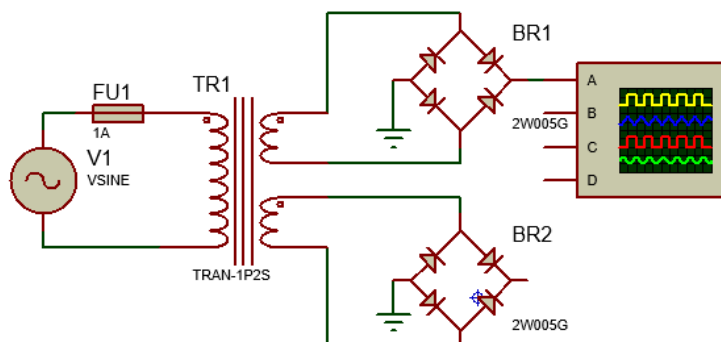
$$U_2 = 19.16 \cdot \sqrt{2} \cdot 0.95 = 26.25V \quad (2.3)$$



Slika 2.5: Oblik napona na sekundaru

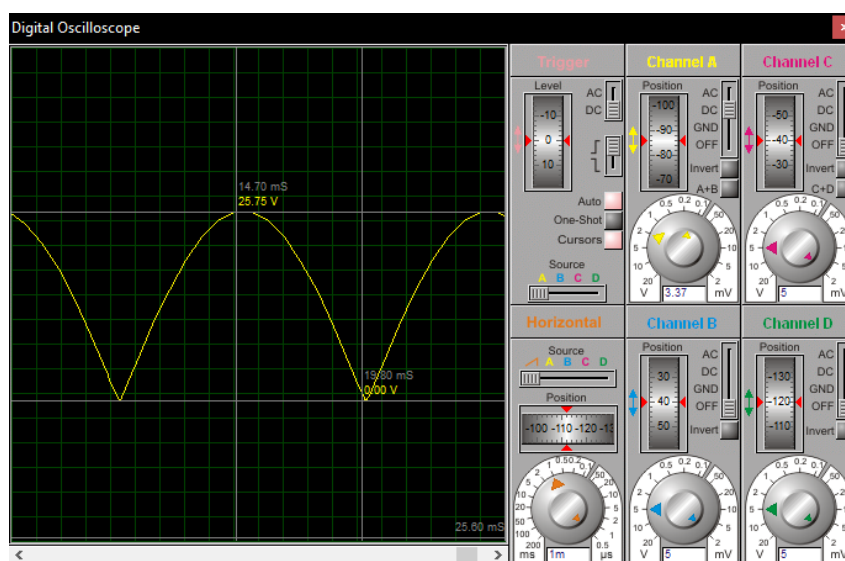
Primjetno je da ne postoji promjena u frekvenciji signala, frekvencija je 50 Hz te je samo vrijednost amplitude ulaznog signala promijenjena. Frekvencija je mjerena na isti način kao i u prethodnom slučaju.

## 2.1.3 Oblik napona na izlazu graetza



Slika 2.6: Shema snimanja signala na Graetzovom spoju

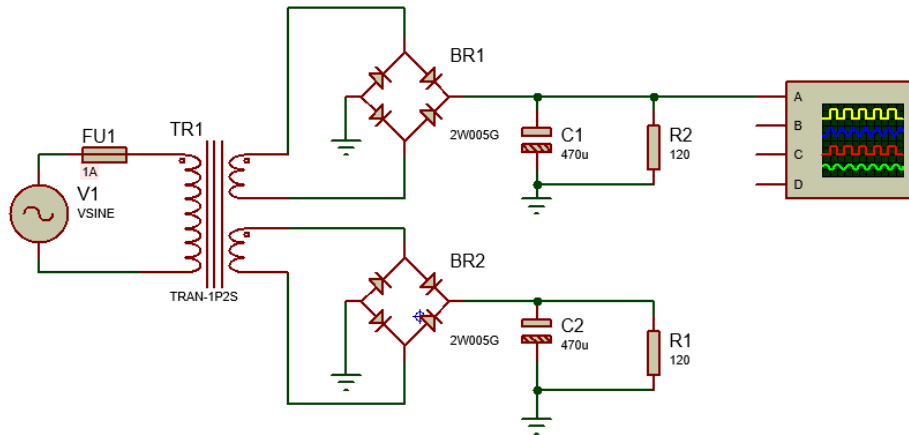
Koristeći se jednačinom 2.1 dobija se da je vrijednost frekvencije 100Hz. Period signala se upola smanjio. Napon na sekundaru je punovalno ispravljen preko Grecovog spoja. Osciloskopom je izmjerena njegova istosmjerna vrijednost koja iznosi oko 25.75V.



Slika 2.7: Oblik napona na izlazu Graetzovog spoja



## 2.1.4 Oblik napona ripla

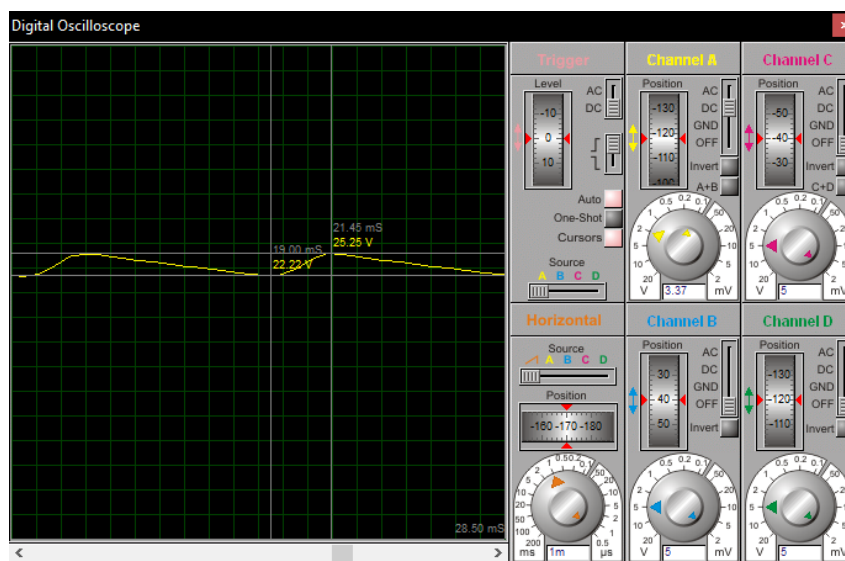


Slika 2.8: Shema snimanja napona ripla

Napon ripla predstavlja rezidualnu periodičnu varijaciju DC napona od izvora napajanja koji je kreiran konverzijom naizmjeničnog u istosmjerni napon. Ovo se desava zbog nepotpunog prigušenja samog oblika izmjeničnog napona nakon ispravljanja, to prigušenje se vrši putem elektrolitskog kondenzatora i otpora ( $R = 120\Omega$ ,  $C = 470\mu F$ ). Mijenjanjem  $R$  i  $C$  dobija se drukčija vremenska konstanta  $RC$ -kola pa je i napon ripla drukčiji. Elektrolitski kondenzator je koršten zbog svoje veće kapacitivnosti. Relacija za napon ripla je:

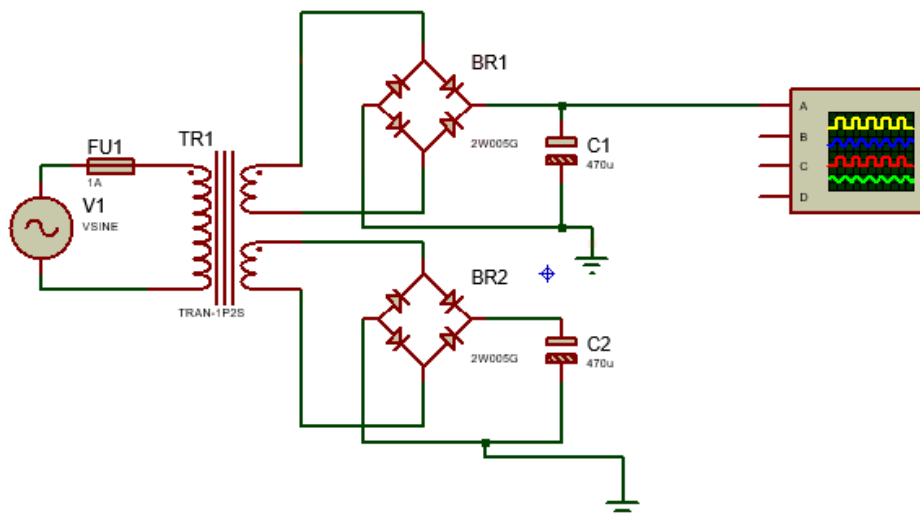
$$V_{ripple} = \frac{V_m - 2 \cdot 0.7}{2 \cdot R \cdot f \cdot C} = 4.3V. \quad (2.4)$$

Maximalan napon ripla u simulaciji iznosi oko 4.24 volta, frekvencija iznosi oko  $100Hz$ .



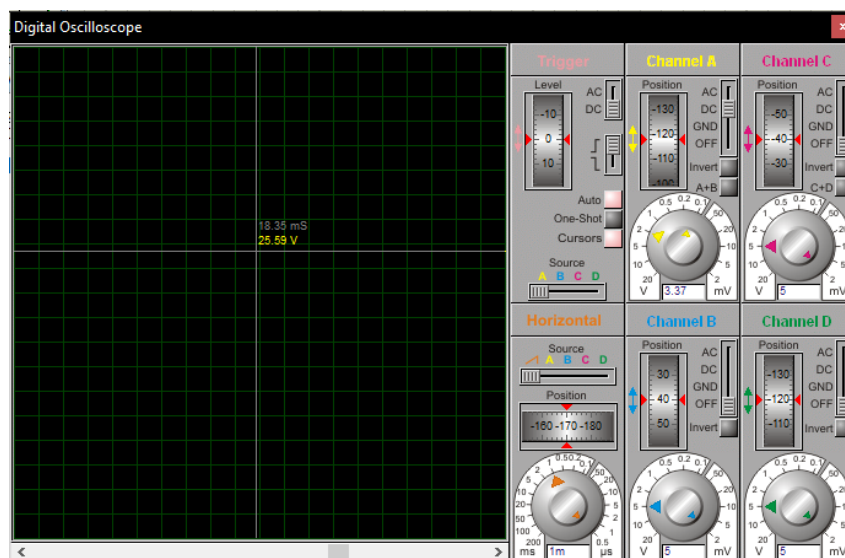
Slika 2.9: Oblik napona ripla

### 2.1.5 Oblik napona na kondenzatoru



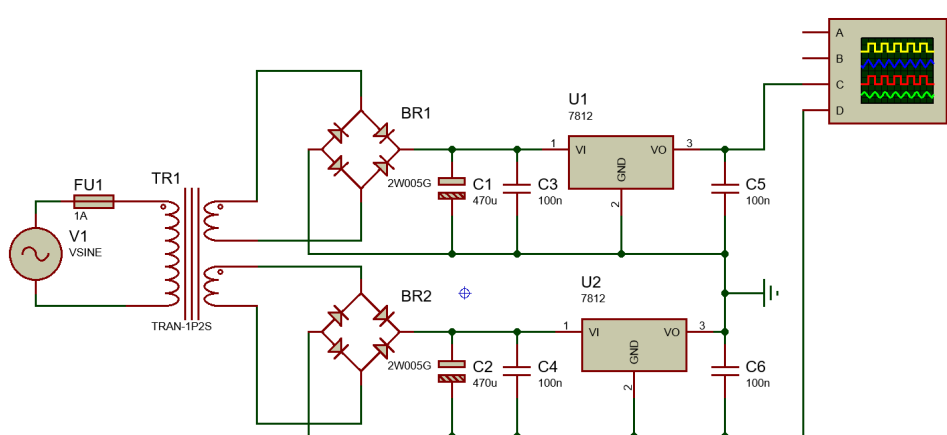
Slika 2.10: Shema snimanja napona na kondenzatoru

Signal na kondenzatoru je ispravljen, vrijednost istosmjernog napona je 25.59V.

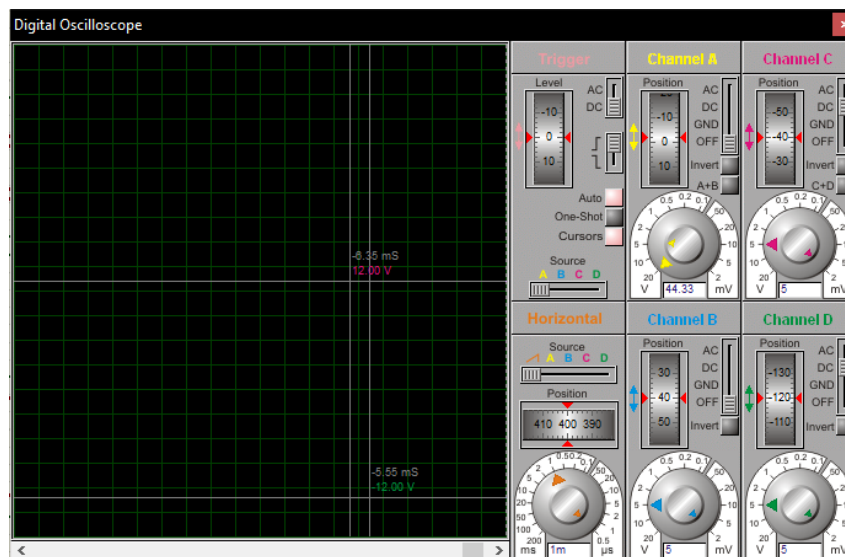


Slika 2.11: Oblik napona na kondenzatoru

### 2.1.6 Oblik napona na izlazu sklopa



Slika 2.12: Shema snimanja napona na izlazu

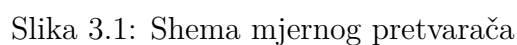


Slika 2.13: Oblik napona na izlazu(DC)

Regulator za sve vrijednosti više od 12 volti na svom ulazu daje vrijednost od 12V na svom izlazu, što se vidi sa slike.

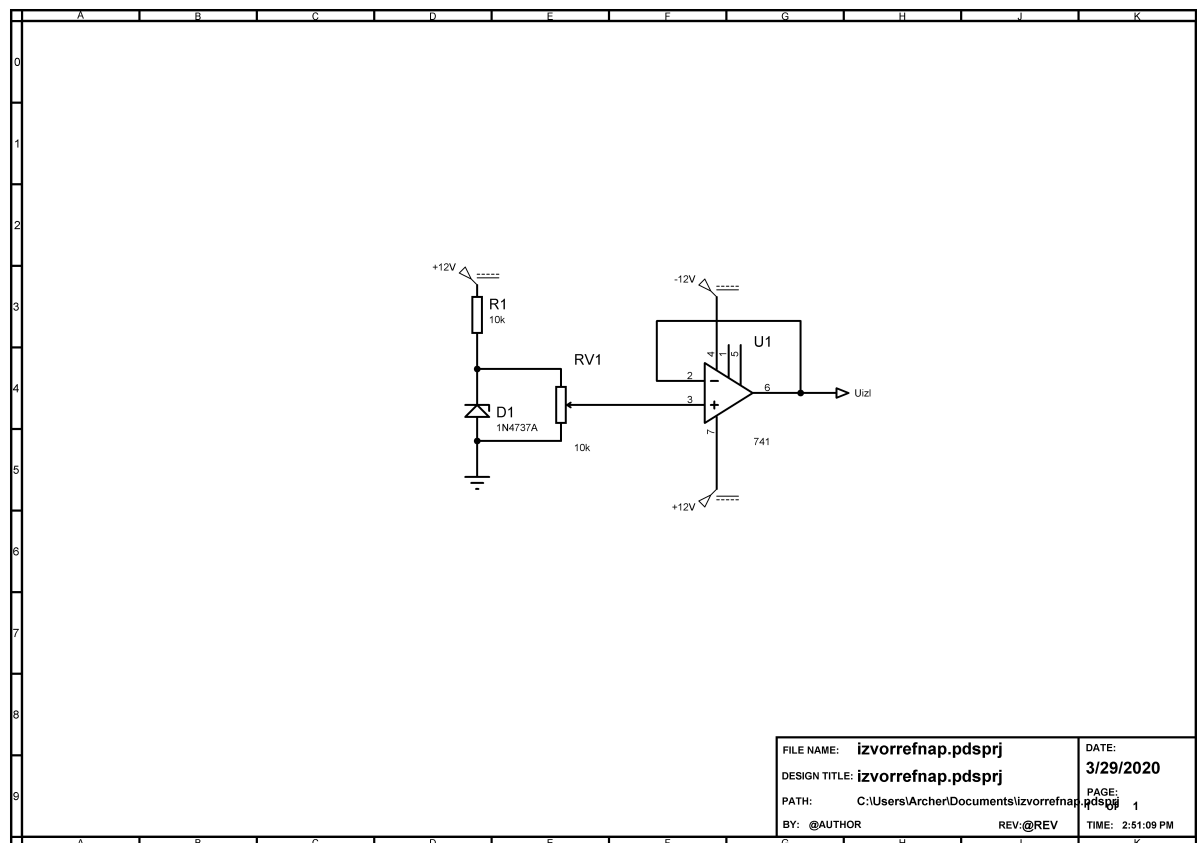
- pasivni pretvarač,
- aktivni pretvarač.

Svaki mjerni pretvarač može biti opisan i predstavljen kao skup funkcionalnih elemenata koji čine sistem, te se mjerni pretvarač u prilogu sastoji od izvora referentnog napona i mjernog mosta.



### 3.1 Izvor referentnog napona

Iako realizirani sistem napajanja obezbjeđuje istosmjerni napon  $\pm 12V$ , uslijed promjena zbog različitih procesa u sistemu regulacije, vrijednost tog napona se može mijenjati. Da bi se obezbijedio konstantan napon željenog iznosa, potrebno je koristiti izvor referentnog napona prikazan na slici 3.2.



Slika 3.2: Shema izvora referentnog napona

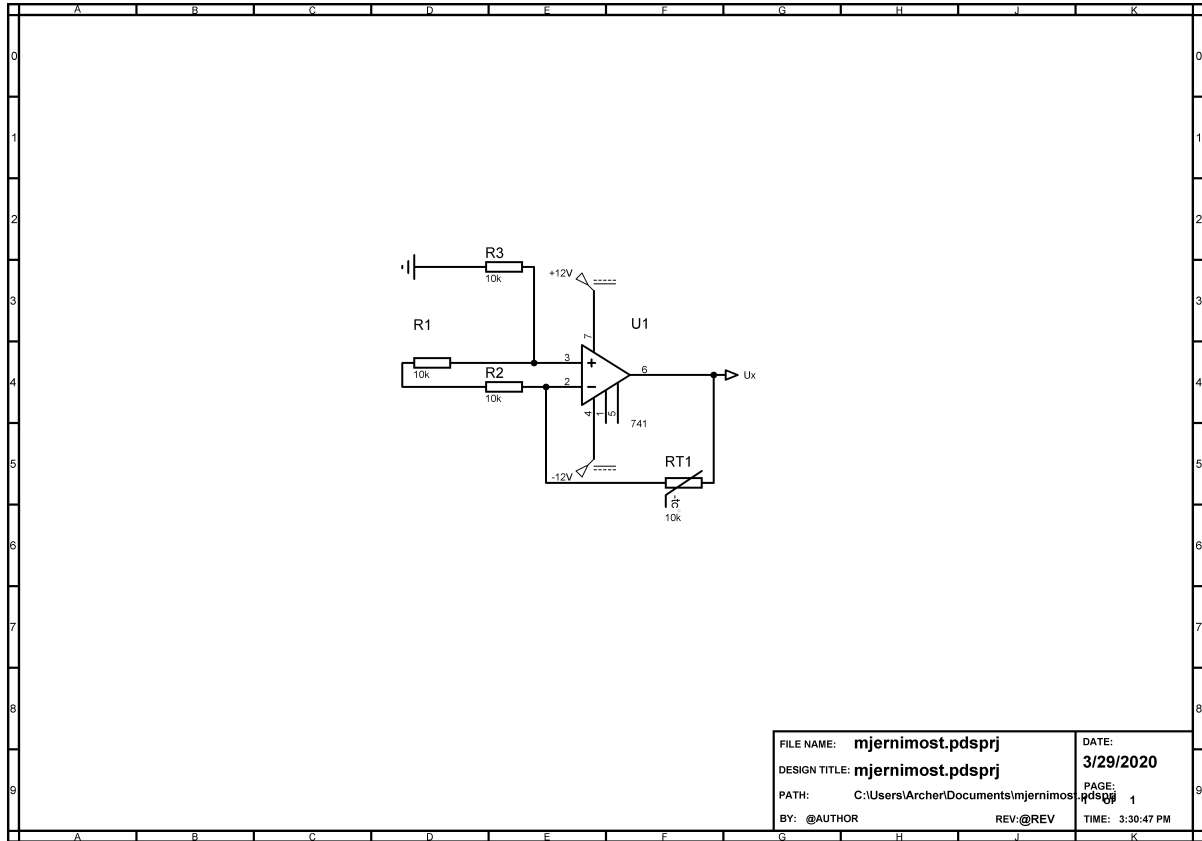
Zener dioda se spaja u shemu na način da je katoda okrenuta ka naponu 12V, a anoda ka masi. Na taj način, dioda je inverzno polarisana, pa će na sebi imati napon 7.5V, tako da se ona pri proračunu može posmatrati kao izvor napona. Zener dioda se bira tako da napon inverzno polarisane diode ne premašuje ostvareni napon (u ovom slučaju je to 12V), dok mora biti veći od napona koji se nastoji ostvariti (5V). Paralelno diodi se postavlja potencijometar, preko kojega se postavlja željeni napon od 5V. Otpornik od 1kΩ obezbjeđuje strujnu zaštitu zener diode u smislu ograničenja struje za posebnu vrijednost, a proračuna se na osnovu inverzne struje koju može podnijeti.

Operaciono pojačalo je u spoju naponskog sljedila. Obzirom da je realizirana negativna povratna sprega, vrijedi jednakost napona na ulaznim stezaljkama (+) i (-), pa će napon na  $U_-$  biti jednak naponu  $U_{ref}$ . Izlaz i  $U_-$  su kratko spojeni te se signal sa  $U_+$  prosljeđuje na izlaz. Prenosna funkcija ovog sklopa je:

$$U_{izl} = U_{ref} \quad (3.1)$$

### 3.2 Mjerni most

Shema mjernog mosta je prikazana na slici 3.3.



Slika 3.3: Shema mjernog mosta

Obzirom da je signal sa izlaza sklopa  $U_x$ , vraćen na invertovani ulaz pojačala  $U_-$ , realizirana je negativna povratna sprega, pa pojačalo radi u linearnom režimu. Za linearni režim vrijedi da se izlaz nalazi unutar vrijednosti ograničene naponom napajanja (konačan), te zbog velikog pojačanja pojačala ulazni napon (razlika napona između ulaza  $U_+$  i  $U_-$ ) mora biti nula (približno nula), tj.

$$\varepsilon = U_+ - U_- = \frac{U_x}{A_u} \rightarrow 0$$

Ako se uzme da je  $\varepsilon = 0$  dobija se jednakost napona na ulazima pojačala tj.  $U_+ = U_-$ . Obzirom da je struja koja ulazi u pojačalo jednaka nuli, slijedi da je struja kroz  $R_1$  ista kao i struja kroz  $R_2$ , tj.  $I_1 = I_2$ . Isto vrijedi i za struju kroz otpornik  $R_3$  i NTC termistor ( $R_4$ ), tj.  $I_3 = I_4$ .

$$I_1 = \frac{U_{ref} - U_+}{R}, I_2 = \frac{U_+}{R}, I_3 = \frac{U_{ref} - U_-}{R}, I_4 = \frac{U_- - U_x}{R(T)} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_2 \\
\frac{U_{ref} - U_+}{R} &= \frac{U_+}{R} \\
U_{ref} &= 2U_+ \\
U_+ &= \frac{U_{ref}}{2} \\
U_+ &= U_-
\end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
I_3 &= I_4 \\
\frac{U_{ref} - U_-}{R} &= \frac{U_- - U_x}{R(T)} \\
U_{ref}RT + U_xR &= U_-(R + R(T)) \\
U_- &= U_{ref} \frac{R(T)}{R + R(T)} + U_x \frac{R}{R + R(T)}
\end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned}
U_+ &= U_- \\
\frac{U_{ref}}{2} &= U_{ref} \frac{R(T)}{R + R(T)} + U_x \frac{R}{R + R(T)} \\
U_x \frac{R}{R + R(T)} &= \frac{U_{ref}}{2} - U_{ref} \frac{R}{R + R(T)} \\
U_x \frac{R}{R + R(T)} &= \frac{RU_{ref} + R(T)U_{ref} - 2R(T)U_{ref}}{2(R + R(T))} \\
U_x \frac{R}{R + R(T)} &= \frac{RU_{ref} - R(T)U_{ref}}{2(R + R(T))} \\
U_x &= \frac{U_{ref}(R - R(T))}{2R} \\
U_x &= \frac{U_{ref}}{2} \left(1 - \frac{R(T)}{R}\right)
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Ukoliko otpornost NTC termistora predstavimo relacijom:  $R(T) = R_0 + \delta R$  pri čemu je  $\delta R < 0$  ako se temperatura poveća, a  $\delta R > 0$  ako se smanjuje, dobijemo:

$$\boxed{
\begin{aligned}
U_x &= \frac{U_{ref}}{2} \left(1 - \frac{R_0 + \delta R}{R_0}\right) \\
U_x &= -\frac{U_{ref}}{2} \frac{\delta R}{R_0}
\end{aligned}
} \tag{3.6}$$

$R_0$  predstavlja početnu otpornost NTC termistora odnosno otpornost otpornika pri temperaturi  $t = 25^\circ\text{C}$  ima otpor  $R_0 = 10k\Omega$ . Obzirom da i otpornici  $R$  imaju vrijednost otpora  $10k\Omega$ , onda je bilo moguće dobiti posljednju relaciju ( $R_0 = R$ ). Iz posljednje formule može se zaključiti da :

- ako  $T$  raste,  $\delta R$  opada i  $U_x$  raste,
- ako  $T$  opada,  $\delta R$  raste i  $U_x$  opada.

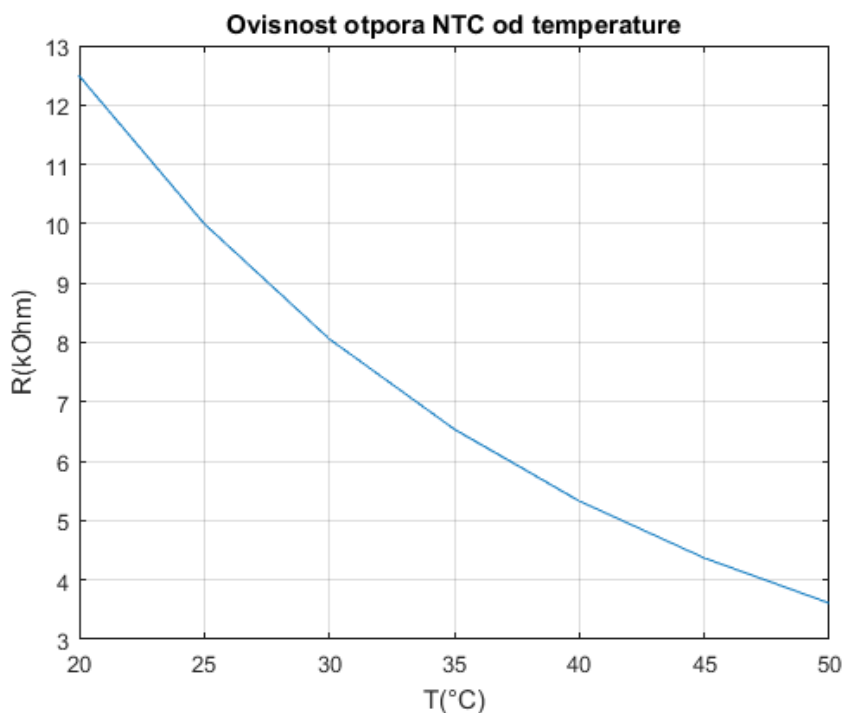
### 3.2.1 NTC termistor

NTC imaju negativni koeficijent temperaturne promjene otpora, to jest kako se temperatura povećava tako se smanjuje električni otpor. Primjenjuju se na primjer za stabilizaciju električnog napona i za mjerenje temperature u termometrima.

Temperatura( $^{\circ}\text{C}$ )	$R(T)(k\Omega)$	Napon $U_x(V)$	$U_{izl}(V)$
20	12.49	-0.63	-0.61
25	10.00	0.00	0.01
30	8.06	0.49	0.48
35	6.54	0.87	0.87
40	5.33	1.18	1.17
45	4.37	1.41	1.41
50	3.61	1.60	1.60

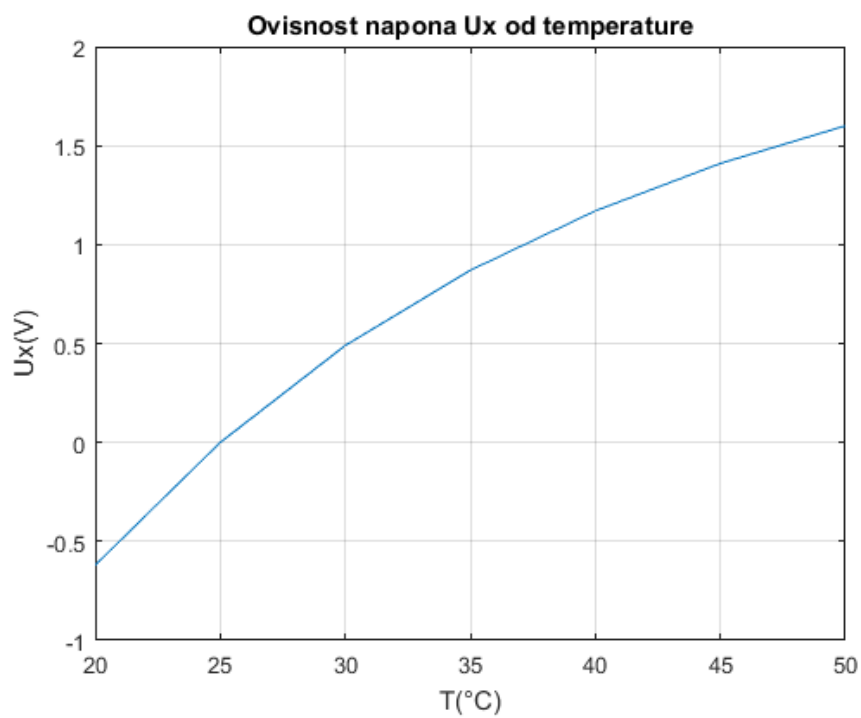
Tabela 1: Tabela ovisnosti električnih veličina od temperature

Na slikama u prilogu su prikazani grafici koji povezuju određene tabelarne vrijednosti, odakle se grafički vide promjene neke veličine u odnosu na drugu.

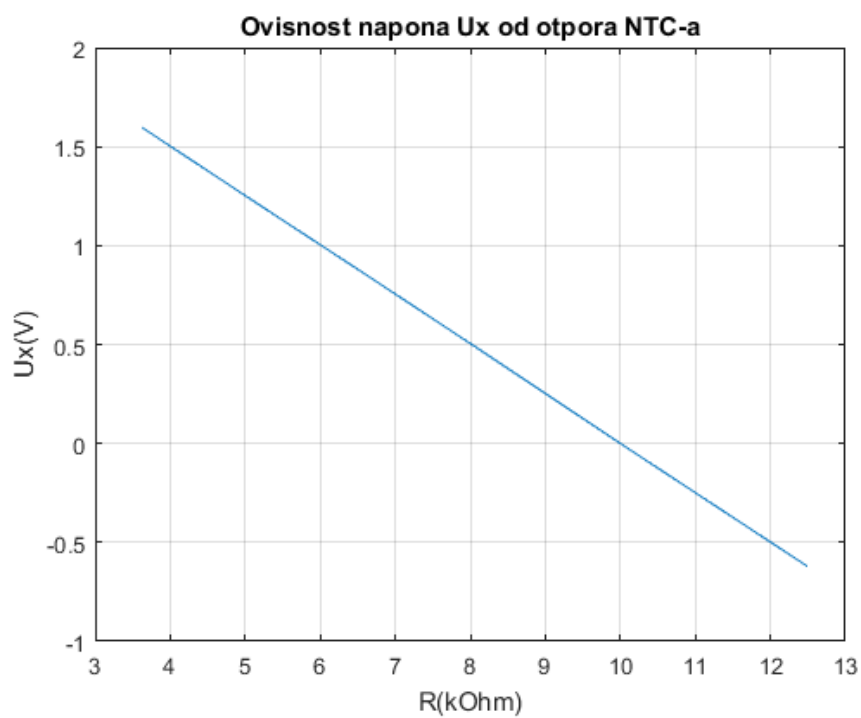


Slika 3.4: Ovisnost otpornosti NTC-a od temperature

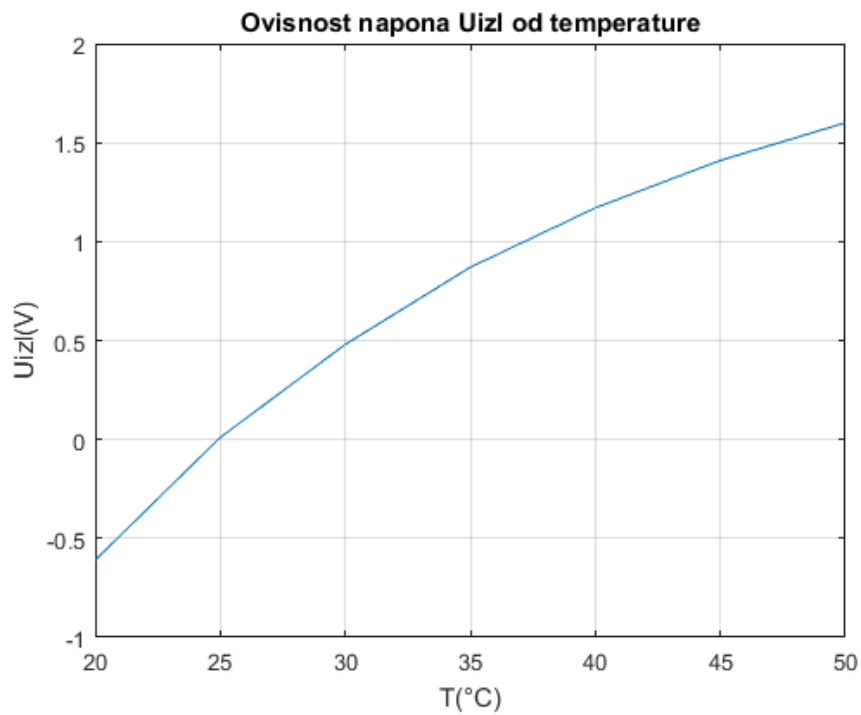
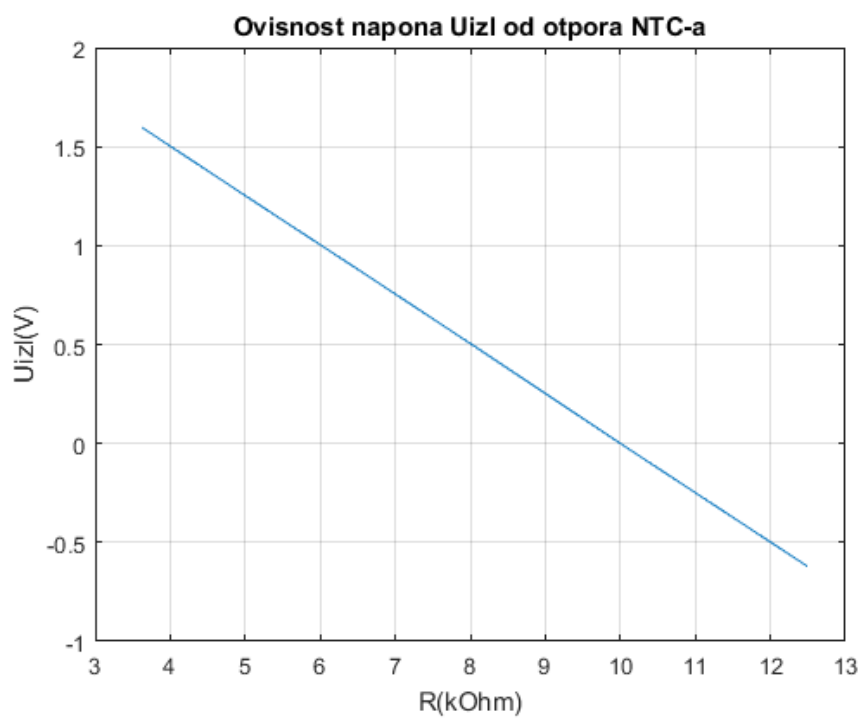




Slika 3.5: Ovisnost napona  $U_x$  od temperature



Slika 3.6: Ovisnost napona  $U_x$  od otpora NTC-a

Slika 3.7: Ovisnost napona  $U_{izl}$  od temperatureSlika 3.8: Ovisnost napona  $U_{izl}$  od otpora NTC-a

Primijetno je da postoji minimalno odstupanje od  $U_x$  i  $U_{izl}$  grafika

## 4 Realizacija izvršnog organa

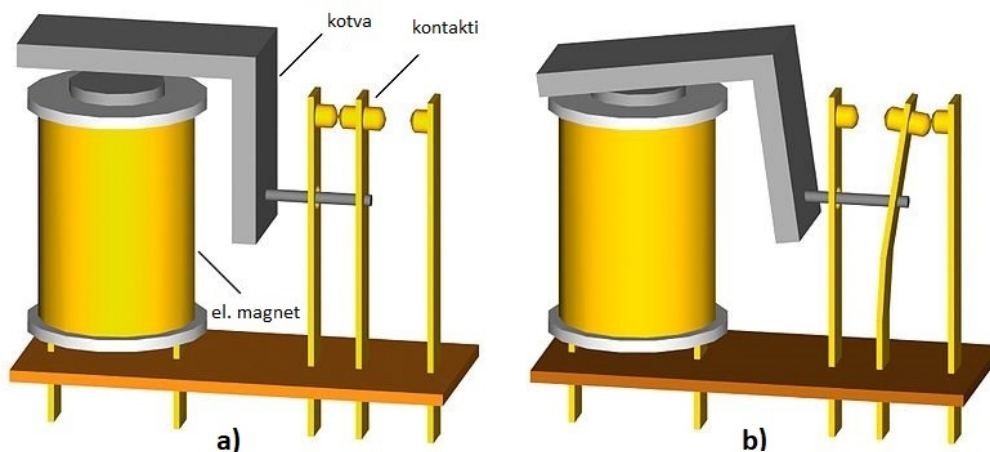
Predmet projekta je regulacija temperature korištenjem analognih komponenti. Regulacija temperature se ostvaruje pomoću grijača(sijalica od 100W) i ventilatora. Grijač se napaja iz mreže (230V, 50Hz) dok se ventilator napaja sa 12V DC. Za potrebe ostvarenja modela za regulaciju temperature bit će korištena dvopoložajna regulacija uključi/isključi. Kada je temperatura na objektu manja od zadane, grijač se uključuje a ventilator isključuje. Kada se dosegne zadana temperatura, grijač se isključuje a uključuje se ventilator. Ovakav režim rada ostvariv je upotrebom releja kao elektromehaničkog elementa u krugu. Obzirom da grijači najčešće rade na naizmjeničnom naponu, neophodno je koristiti relejni prekidač koji će obezbijediti galvansku izolaciju i omogućiti napajanje grijača posebnim naponskim izvorom.

### 4.1 Relejni prekidač

Relej je jedna od najčešće korištenih elektroničkih komponenti koje se koriste u savremenoj automatizaciji. Koristi se za prekidanje strujnog kruga. Sastavni dijelovi releja su:

- a) kotva,
- b) opruga,
- c) ram,
- d) kontakti,
- e) elektromagnet.

Relej je komponenta koja se koristi za prekidanje ili upostavljanje strujnog kola putem elektromagneta koji otvara i zatvara strujne kontakte. Elektromagnet se obično sastoji od mnogobrojnih namotaja bakrene žice na željeznom jezgru. Kada struja teče kroz žicu (primar), oko elektromagneta se stvara magnetno polje koje privlači željeznu kotvu. Kotva nosi na sebi električne kontakte, koji onda otvaraju ili zatvaraju strujno kulo na sekundaru. Radni kontakt predstavlja kontakt koji se pri dovođenju napona zatvara, a mirni kontakt onaj koji se pri dovođenju napona otvara. Lijeva slika predstavlja isključen relej, a desna uključen relej.



Slika 4.1: Relej: a) isključen, b) uključen

Najvažnije karakteristike releja su:

- a) snaga preklapanja releja,
- b) radna temperatura,
- c) induktivnost namotaja releja,
- d) otpor namotaja releja,
- e) struja preklapanja releja,
- f) napon prebacivanja releja,
- g) gornja i donja frekvencija prebacivanja releja.

Induktivnost namotaja releja je moguće odrediti mjerenjem napona (V), struje(A), snage(W) na zavojnici. Tada će vrijediti:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{Z \cdot \sin(\theta)}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (4.1)$$

gdje je  $\theta = \arccos(\frac{W}{V \cdot A})$

Otpor namotaja releja je moguće odrediti korištenjem ohmmetra tako da se sonde postave na dva pina na zavojnici releja.

Struja preklapanja releja je struja koja se javlja na releju kada je on uključen. Mjeri se tako što se ampermetar priključi između izvora napajanja i jednog od krajeva zavojnice na koju je priključeno napajanje, zbog promjene same otpornosti releja pri promjeni stanja mjeri se struja između 0mA i neke vrijednosti koja je potrebna da se formira magnetno polje koje izaziva preklapanje.

Napon prebacivanja releja je moguće odrediti priključujući voltmetar na krajeve zavojnice pri djelovanju napajanja, napon će se kretati između 0V i neke vrijednosti potrebne da relej preklopi.

Gornju i donju frekvenciju prebacivanja releja moguće je pronaći tako što se na ulaz dovode impulsi različitih frekvencija i promatranja kada se relej fizički preklopi(donja frekvencija) ili prestane preklapati(gornja frekvencija).

Odabran je sljedeći model releja: RT424012F.

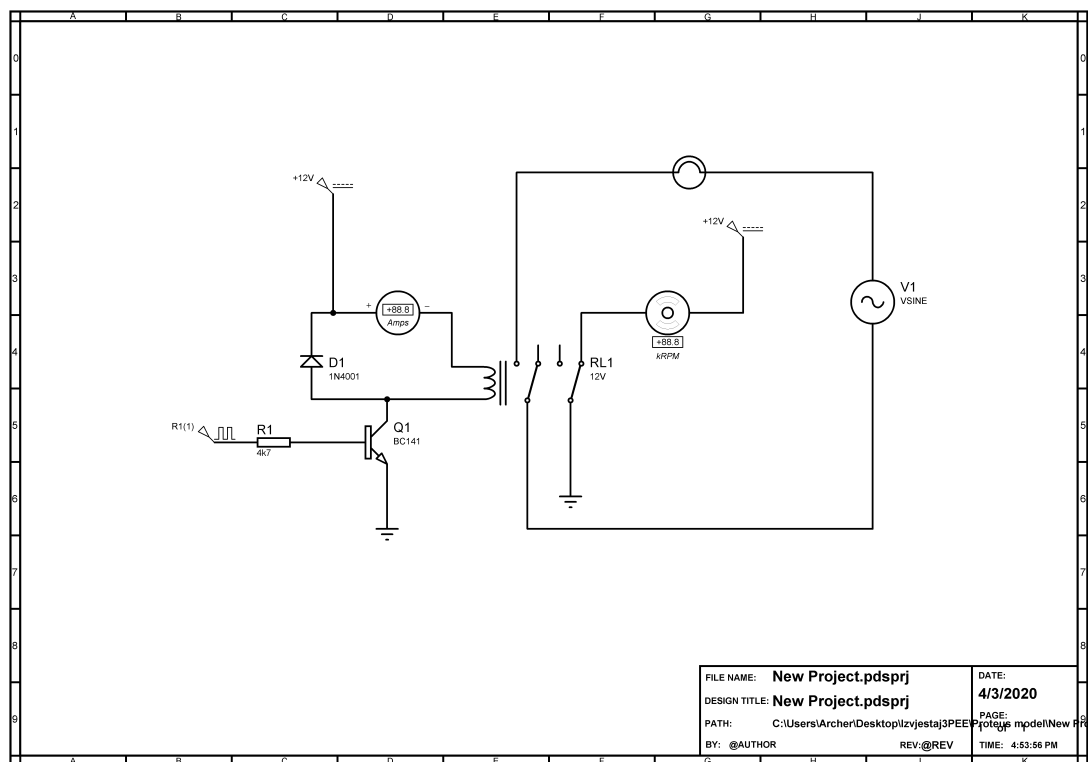
- a) RT - tip releja,
- b) 4 - relej je moguće zalemiti i upotrebljavati bez djelovanja parazitnog fluksa na njega,
- c) 2 - dva (CO) kontakta,
- d) 4 - materijal od kojih su izrađeni kontakti (AgNi 90/10) ,
- e) 012 - napajanje od 12V,
- f) F - verzija.

Otpor namotaja releja je: 360Ω

Struja preklapanja releja je: 8A

Gornja frekvencija preklapanja releja je: 20 Hz, a donja je 0,1 Hz

## 4.2 Realizacija izvršnog organa sa objektima u Proteus-u

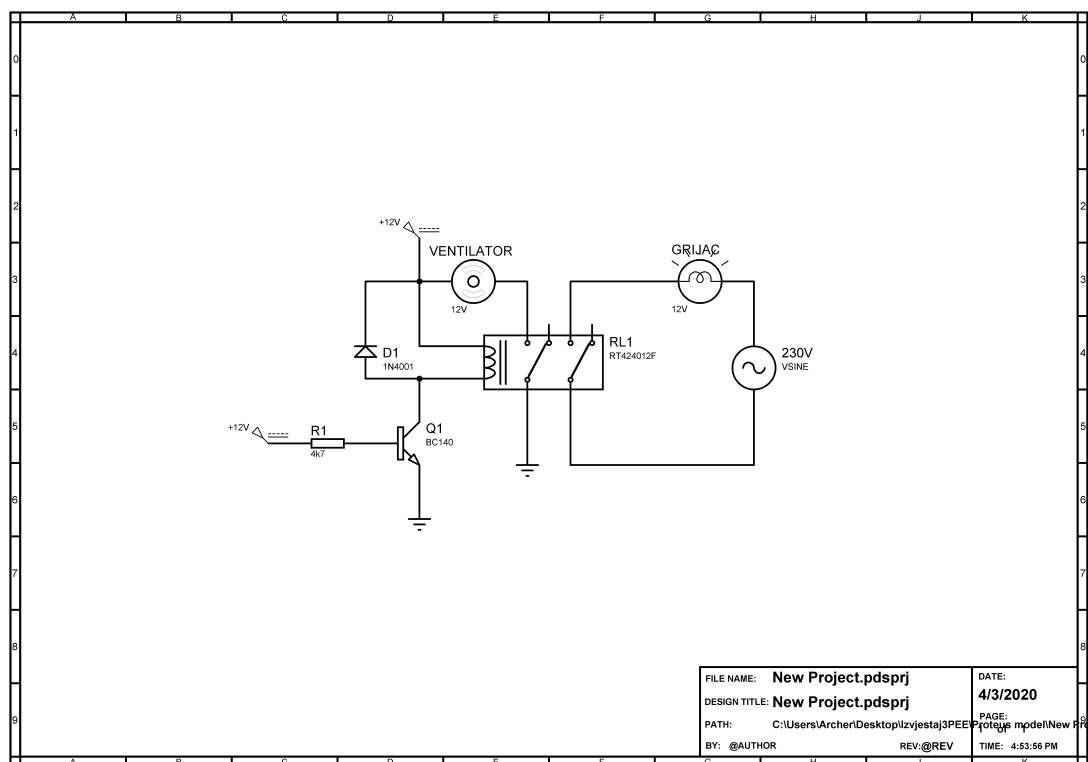


Slika 4.2: Model izvršnog organa sa objektima za potrebe testiranja parametara releja

Tranzistor u ovom sklopu se koristi kao prekidački elemenat, pomoću vrlo male struje moguće ga je dovesti u vođenje što bi dopustilo dosta velikoj struji da prođe kroz namotaje releja i zatvori/otvori prekidač. Ovo se koristi zbog velike brzine promjene stanja tranzistora za razliku od releja koji je mehanički element.

Dioda služi kao zaštitni element od prevelikih napona, kako oni eventualno ne bi oštetili neke osjetljivije komponente.

Mjerenjem je zaključeno da je vrijednost struje preklapanja releja 30mA, a vrijednost gornje frekvencije preklapanja nije moguće jednoznačno odrediti samom simulacijom, zbog ograničenosti simulacionog alata relej može vršiti preklapanja na mnogo višim frekvencijama nego što je u stvarnosti dopustivo (frekvencije reda MHz-a). Problem je u biti što simulacioni alat proteus samo emulira komponente kroz neki kompajler, te se te komponente samo ponašaju kao stvarne. U slučaju konfiguracije korištene za izradu ovog projekta izmjerena frekvencija je oko 50Hz.



Slika 4.3: Model izvršnog organa sa objektima koji će se koristiti za realizaciju projekta u laboratoriji

## 5 Realizacija regulatora i komparatora

### 5.1 Realizacija dvopoložajnog regulatora

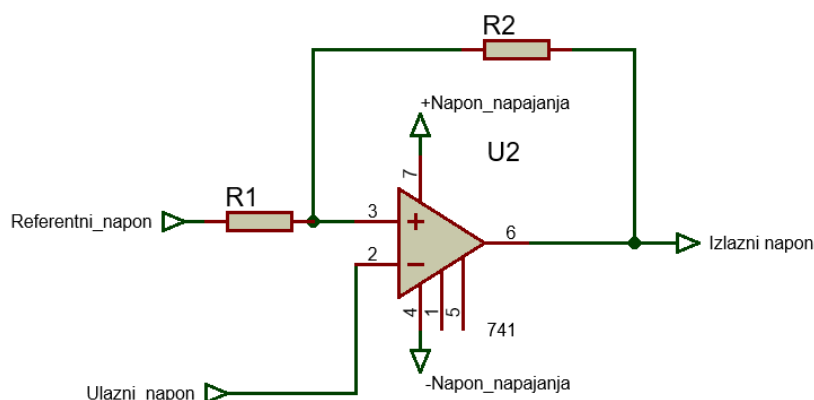
Dvopoložajni regulator jedan je od najčešćih i u industriji i u domaćinstvu. Većina kućnih sistema grijanja i bojlera radi sa dvopoložajnim regulatorom. Kod dvopoložajne regulacije upravljačka varijabla poprima ili maksimalnu ili minimalnu vrijednost, ovisno o tome je li vođena varijabla ispod ili iznad radne tačke. Minimalna vrijednost upravljačke varijable obično je nula.

Izvršni organ u sebi sadrži relej. Relej se isključuje na 0V, a uključuje na 5V. Korištenjem sklopa za dvopoložajnu regulaciju realizovan je sklop koji daje ili 0V, ili 5V na ulazu izvršnog organa. Korišten je Šmitov triger zbog toga što ne dolazi do pojave osciliranja oko tačke na kojoj se prebacuje napon.

Šmitov triger je vrsta komparatora koja koristi pozitivnu povratnu spregu za ostvarivanje histereze.

Šmitov triger se sastoji od:

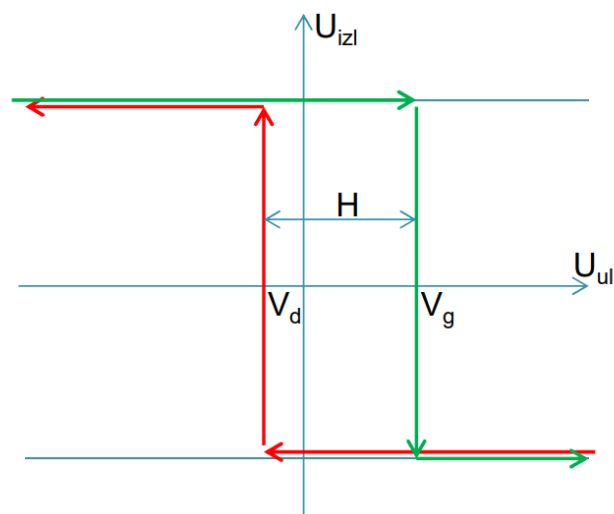
- operacionog pojačala,
- dva otpornika,
- napajanja operacionog pojačala.



Slika 5.1: Shema Šmitovog triger

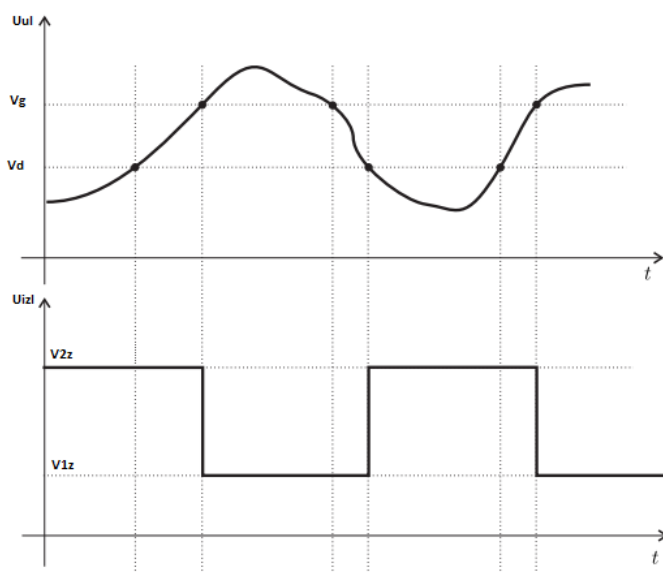
Kod Šmitovog triger ostvarena je pozitivna povratna sprega. Izlaz se nalazi u zasićenju. Ukoliko je razlika napona na ulazu samog operacionog pojačala veća od nule, izlaz će biti pojačana vrijednost tog ulaznog napona. Zbog postojanja pozitivne povratne sprege to pojačavanje se događa mnogo puta u vrlo kratkom vremenu. Nemoguće je da izlaz operacionog pojačala pređe vrijednost napona sa kojom se napaja pa se zaustavlja na toj vrijednosti (pozitivnoj) umanjenoj za jedan volt  $+V_z$ .

Ukoliko je razlika napona na ulazu operacionog pojačala manja od nule, izlaz će biti vrijednost (negativna) napajanja uvećana za jedan volt  $-V_z$ . Naponi pri kojima dolazi do promjene napona na izlazu nazivaju se naponi pragova i to napon gornjeg praga  $V_g$  i napon donjeg praga  $V_d$ . Vrijedi da je potrebno da ulazni napon Šmitovog triger pređe određeni prag kako bi došlo do promjene na izlazu, zbog tog kašnjenja pojavljuje se Histereza  $H$  što je pojava da rezultati nekog djelovanja kasne u odnosu na to djelovanje.



Slika 5.2: Ulazno-izlazna karakteristika Šmitovog trigeru

U prilogu se nalazi ilustrativni primjer nekog signala  $U_{ul}$  koji je doveden na ulaz Šmitovog trigeru, te odziv na taj ulaz  $U_{izl}$ .



Slika 5.3: Primjer ulaznog i izlaznog signala na Šmitovom trigeru



## 5.2 Proračun parametara sklopa i provjera funkcionalnosti

Pošto je ostvarena pozitivna povratna sprega, kao na slici 5.1 izlaz se nalazi u zasićenju. Uz pretpostavku da je  $U_{\text{ulazni\_napon}} = 0V$  ( $U_{ul}$ ) a da je  $U_{\text{Referentni\_napon}} > 0V$  ( $U_{ref}$ ), te da je  $U_{\text{Izlazni\_napon}} = +V_z$  ( $U_{izl}$ ). Krug se može opisati sa jednačinama:

$$\varepsilon = U_{(+)} - U_{(-)} \quad (5.1)$$

Struja kroz granu koja sadrži otpornik  $R_1$  je približno ista kao i struja koja prolazi kroz granu koja sadrži  $R_2$  (slika 5.1) jer je ulazna otpornost operacionog pojačala reda  $M\Omega$  pa se struja koja ulazi u operaciono pojačalo zanemaruje.

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 \\ \frac{U_{ref} - U_{(+)}}{R_1} &= \frac{U_{(+)} - U_z}{R_2} \\ U_{(+)} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_z \end{aligned} \quad (5.2)$$

Pri određenom iznosu ulaznog napona  $\varepsilon$  postaje negativno i izlazni napon postaje  $-U_z$ .

$$\begin{aligned} \varepsilon &= U_{(+)} - U_{(-)} < 0 \\ U_{(-)} &= U_{ul} \\ U_{ul} &> \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_z \end{aligned} \quad (5.3)$$

Napon gornjeg praga  $V_g$  je:

$$V_g = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_z \quad (5.4)$$

Ukoliko se sad pretpostavi da je  $U_{\text{Izlazni\_napon}} = -V_z$  onda se krug opisuje jednačinama:

$$\varepsilon = U_{(+)} - U_{(-)} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 \\ \frac{U_{ref} - U_{(+)}}{R_1} &= \frac{U_{(+)} - (-U_z)}{R_2} \\ U_{(+)} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ref} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_z \end{aligned} \quad (5.6)$$

Pri određenom iznosu ulaznog napona  $\varepsilon$  postaje nenegativno i izlazni napon postaje  $+U_z$ .

$$\begin{aligned} \varepsilon &= U_{(+)} - U_{(-)} > 0 \\ U_{(-)} &= U_{ul} \\ U_{ul} &< \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ref} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_z \end{aligned} \quad (5.7)$$

Napon donjeg praga  $V_d$  je:

$$V_d = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ref} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_z \quad (5.8)$$

Razlika napona  $V_g$  i  $V_d$  predstavlja histerezu.

$$H = \frac{2R_1}{R_1 + R_2} U_z \quad (5.9)$$

**Zadatak 1**

Za vrijednosti  $U_{ref} = 0.5V$ ,  $V_g = 0.6V$  i  $H = 0.2V$ . Vrijednosti  $R_1$  i  $R_2$  se usvajaju po odnosu:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_{ref} - V_1}{V_1 - U_{izl}} \quad (5.10)$$

$V_1$  odgovara  $V_g$  kada  $U_{izl} = U_{z-}$ .  $V_1$  odgovara  $V_d$  kada  $U_{izl} = U_{z+}$ . Za usvojeni napon napajanja  $U = 12V$ , vrijedi:

$$U_{z-} = 2U_{ref} - U_{z+} = -10V \quad (5.11)$$

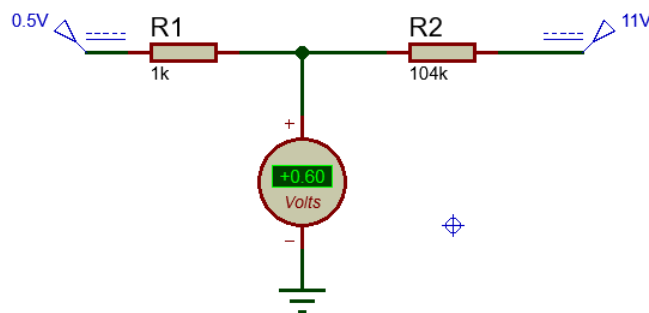
U konačnici:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{104} \quad (5.12)$$

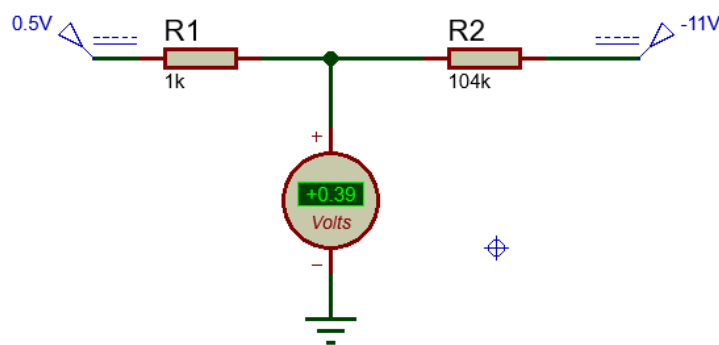
Usvojeno je  $R_1 = 1k\Omega$  pa je  $R_2 = 104k\Omega$ .

**Zadatak 2**

Ukoliko je lijevi izvor  $0.5V$ , a desni  $11V$ . Pokazivanje voltmetra predstavlja  $V_g$ . Dok ukoliko je lijevi izvor  $0.5V$ , a desni  $-11V$ . Pokazivanje voltmetra predstavlja  $V_d$ .



Slika 5.4: Određivanje vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$

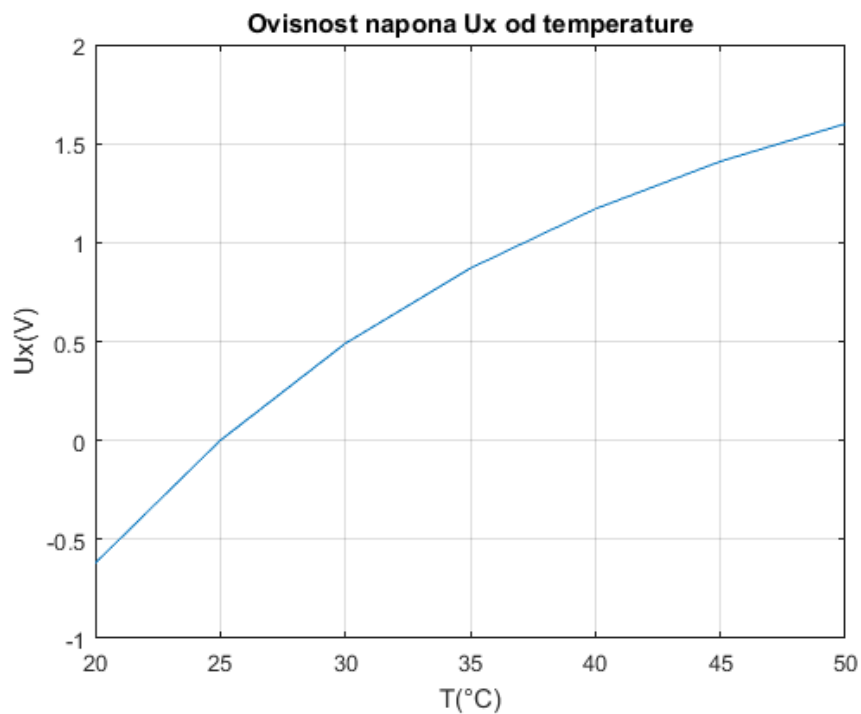


Slika 5.5: Određivanje vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$

$H = V_g - V_d = 0.6 - 0.39 = 0.21V \approx 0.2V$  što se poklapa sa zadatom histerezom, što znači da su otpori pravilno odabrani.

**Zadatak 3**

Na bazi karakteristike  $U_x(T)$  vrijednost temperature koja odgovara naponu gorenjeg praga je 32 °C. Na slici ispod je prikazana karakteristika.



Slika 5.6: Ovisnost napona  $U_x$  od temperature

Ova karakteristika se može dobiti snimanjem napona na izlazu regulatora pri promjeni temperature na NTC-u u opsegu od 20 °C do 50 °C.

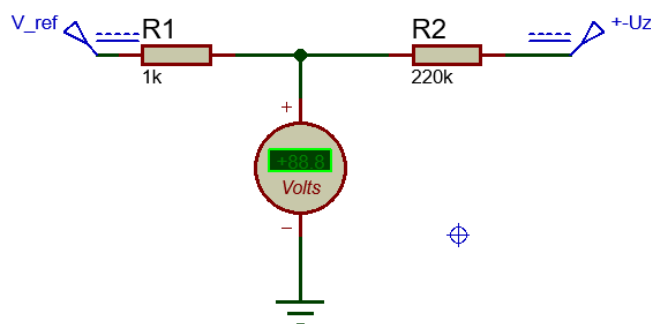
**Zadatak 4**

Pošto se vrijednosti temperature kreću od 30 °C do 50 °C promjenom napona  $V_{ref}$  linearno se mijenja iznos gornjeg praga.

Konačne vrijednosti  $R_1$  i  $R_2$  uz histerezu  $H = 0.1$  određuju se po relaciji:

$$R_2 = R_1 \left( \frac{2U_z}{H} - 1 \right) \quad (5.13)$$

Dobijene vrijednosti otpora je moguće provjeriti u simulaciji koristeći sljedeću šemu:



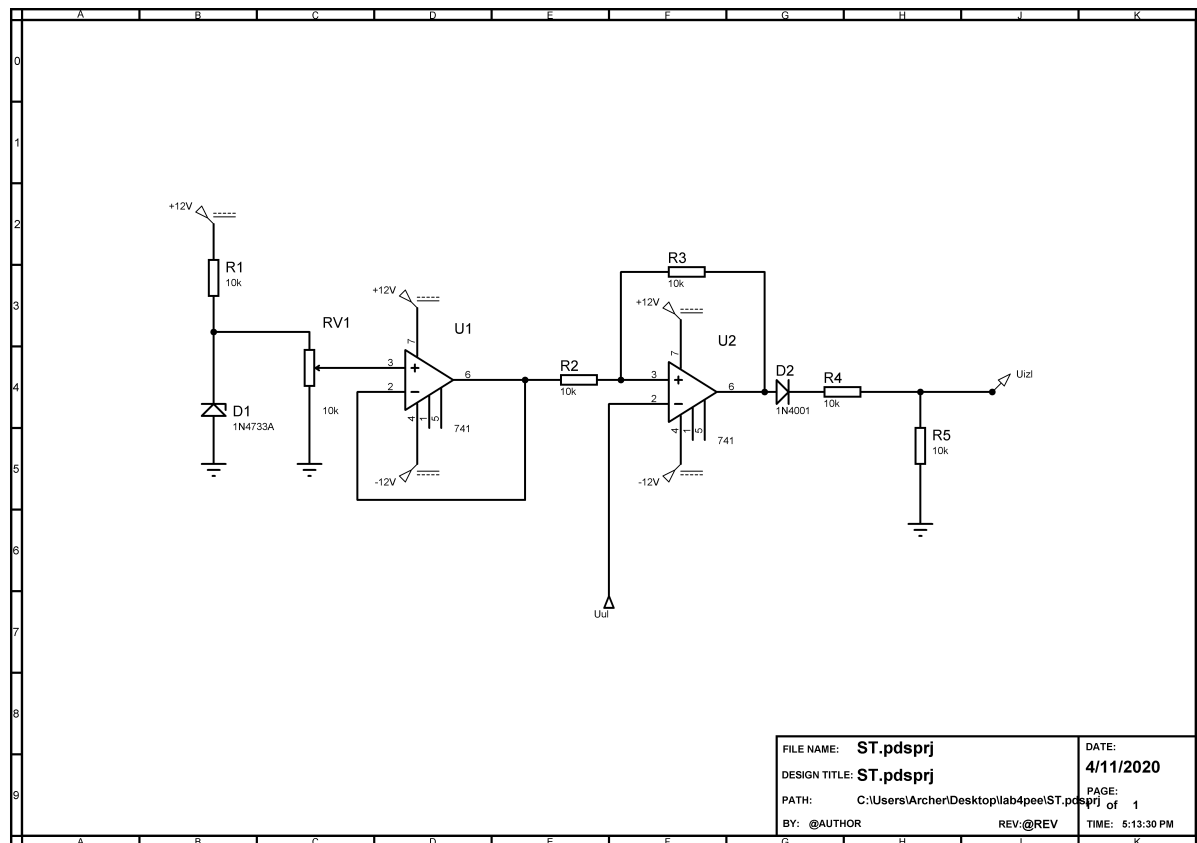
Slika 5.7: Shema korištena za snimanje pragova  $V_g$  i  $V_d$  uz fiksne otpore ali promjenjivo  $V_{ref}$

Temperatura (°C)	$U_{ref}(V)$	$V_g(V)$	$V_d(V)$	$H(V)$
30	0.41	0.46	0.36	0.1
35	0.81	0.86	0.76	0.1
40	1.12	1.16	1.06	0.1
45	1.37	1.41	0.31	0.1
50	1.55	1.59	1.49	0.1

Tabela 2: Tabela koja sadrži vrijednosti pragova izmjerenih u simulaciji.

### 5.3 Realizacija komparatora

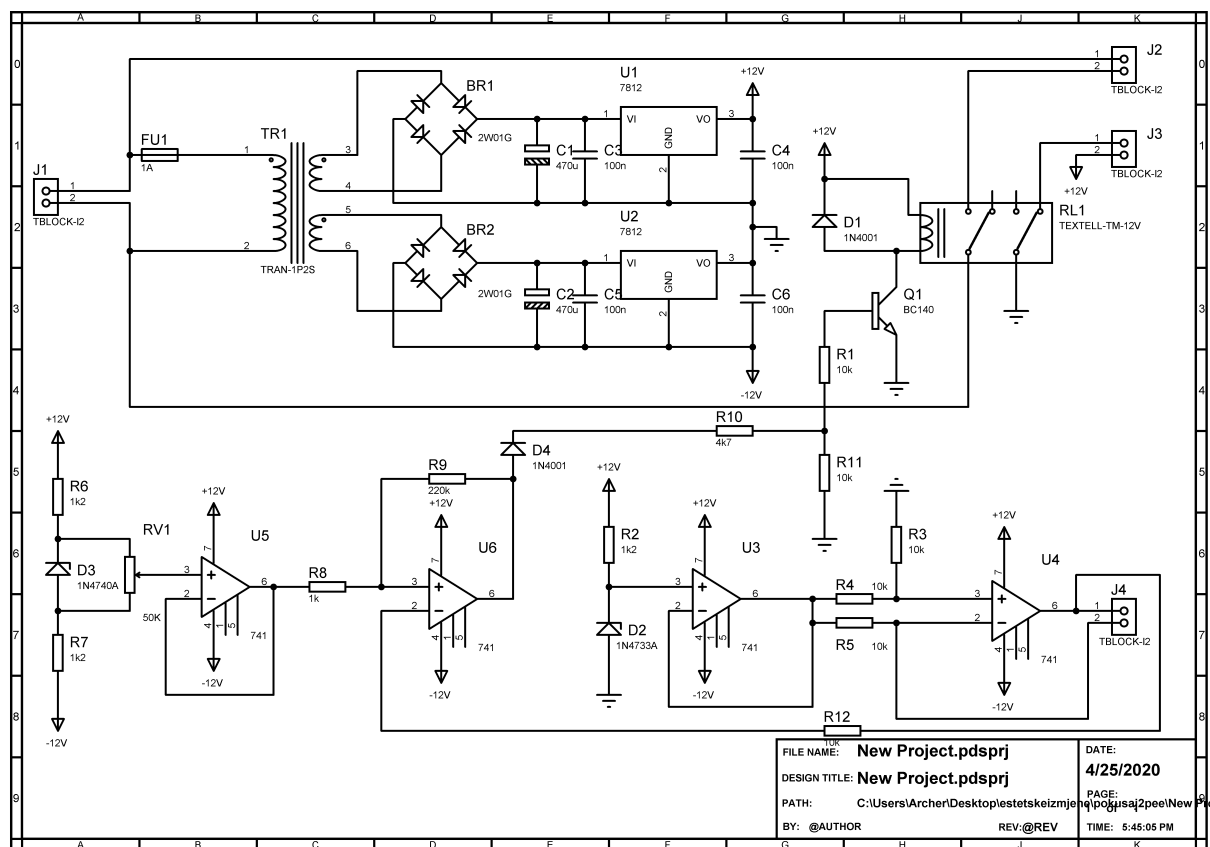
Potenciometrom se mijenja vrijednost  $V_{ref}$  koji se dovodi na ulaz Šmitovog trigeru. Promjenom napona na ulazu Šmitovog trigeru dolazi ili do uključenja grijača ili do uključenja ventilatora, ali nikad oboje istovremeno.



Slika 5.8: Shema komparatora

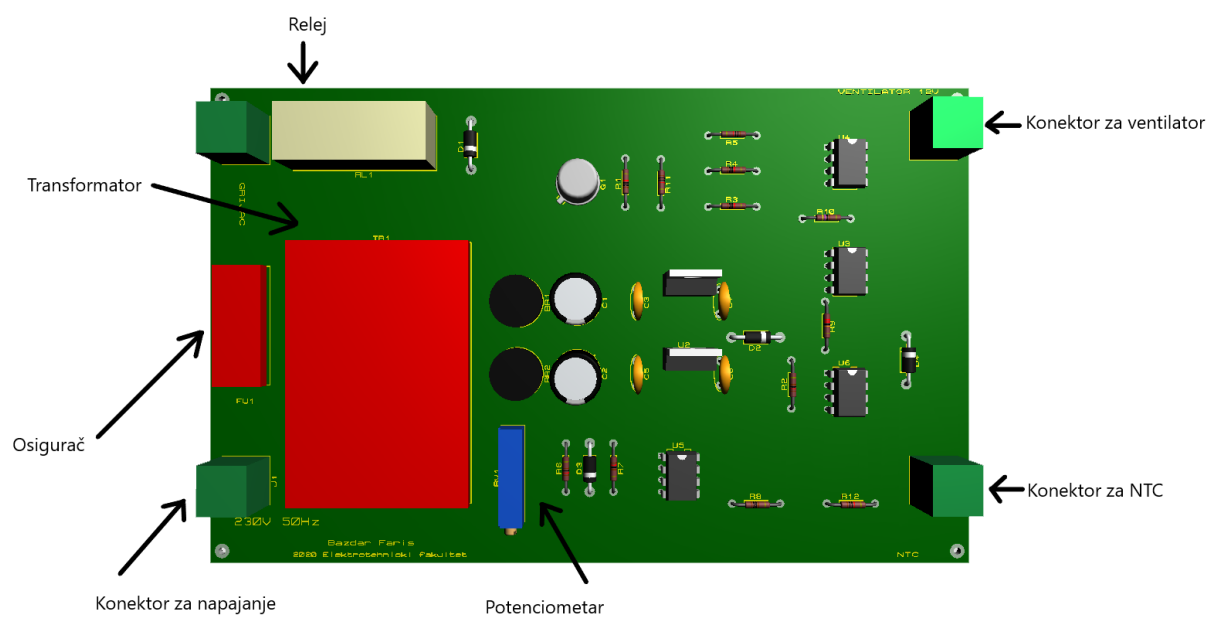
## 6 Završna šema regulatora i PCB modeli

### 6.1 Proteus šema regulatora

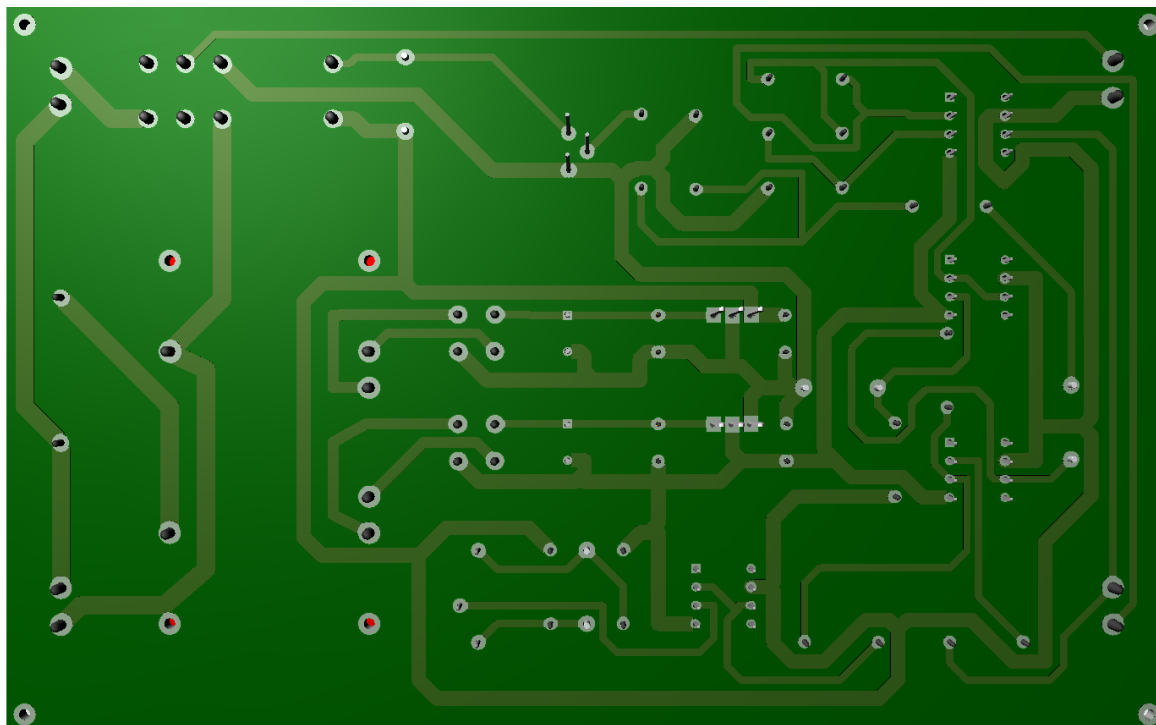


Slika 6.1: Shema regulatora temperature

## 6.2 Prikaz štampane ploče

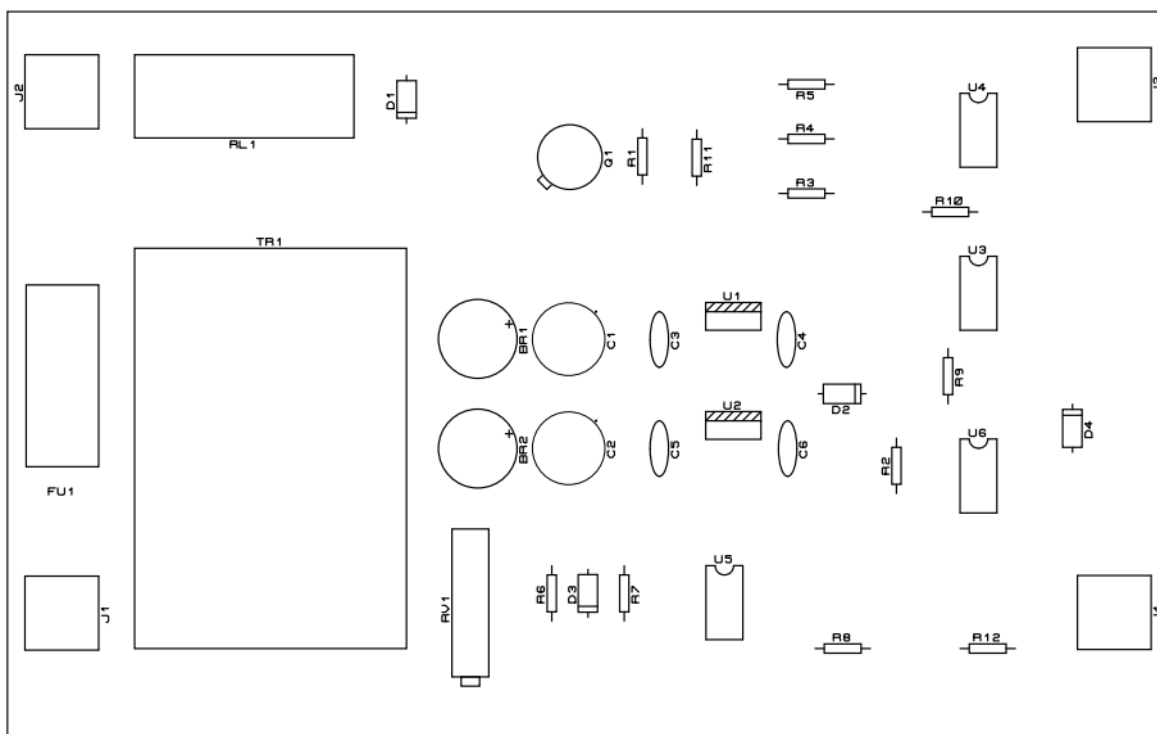


Slika 6.2: 3d prikaz PCB-a (gornji dio)



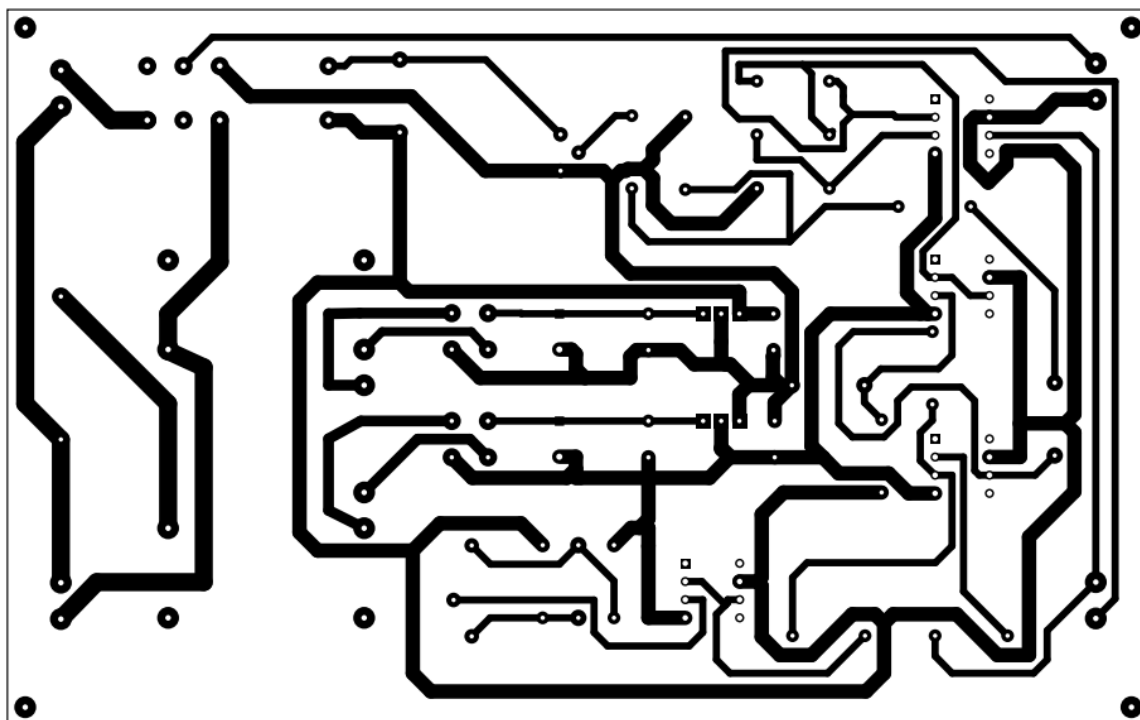
Slika 6.3: 3d prikaz PCB-a (donji dio)

### 6.3 PCB dizajn (gornji sloj)



Slika 6.4: PCB dizajn - raspored komponenti

### 6.4 PCB dizajn (donji sloj)



Slika 6.5: PCB dizajn - sloj bakra