



UNIVERZITET U SARAJEVU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET  
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

# **Regulacija temperature korištenjem analognih komponenti**

PREDMET:

- PRAKTIKUM ELEKTROTEHNIKE I ELEKTRONIKE -

Mentor: **Red. prof. dr. Abdulah Akšamović**

Student: **Demir Hasičić**

Broj indeksa: **18522**

Sarajevo, juni 2021.g.

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Realizacija sistema za napajanje</b>	<b>4</b>
2.1	Oblik ulaznog napona . . . . .	4
2.2	Oblik napona na sekundaru transformatora . . . . .	5
2.3	Oblik napona na izlazu Grecovog spoja . . . . .	7
2.4	Oblik napona na kondenzatoru . . . . .	8
2.5	Oblik napona ripla . . . . .	9
2.6	Oblik napona na izlazu generatora . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Mjerni pretvarač</b>	<b>14</b>
3.1	Izvor referentnog napona . . . . .	14
3.2	Mjerni most . . . . .	16
3.3	NTC termistor . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Izvršni organ</b>	<b>19</b>
4.1	Relej . . . . .	20
4.1.1	Dijelovi releja . . . . .	20
4.1.2	Vrste releja . . . . .	20
4.1.3	Kontakti releja . . . . .	20
4.1.4	Parametri releja . . . . .	21
4.2	Realizacija izvršnog organa u <i>Proteus-u</i> . . . . .	22
4.2.1	Provjera teoretskih proračuna . . . . .	22
4.2.2	Spoj sa svijetlećim diodama na mjestu izvršnog organa . . . . .	22
4.2.3	Dimenzioniranje unutrašnjeg otpora $R_B$ . . . . .	23
4.2.4	Spoj izvršnog organa . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Regulator</b>	<b>25</b>
5.1	Komparator . . . . .	25
5.2	Šmitov Triger . . . . .	26
5.2.1	Zadatak 1: . . . . .	27
5.2.2	Zadatak 2: . . . . .	28
5.2.3	Zadatak 3: . . . . .	28
5.2.4	Zadatak 4: . . . . .	29
5.3	Realizacija regulatora . . . . .	30
<b>6</b>	<b>Shema i dizajn sklopa u <i>Proteus-u</i></b>	<b>32</b>
6.1	Shema sklopa . . . . .	32
6.2	2D Prikaz komponenti . . . . .	33
6.3	3D Visualizer . . . . .	34

## Popis slika

1	Shema naizmjeničnog naponskog izvora . . . . .	4
2	Signal na izvoru . . . . .	5
3	Primjer transformatora . . . . .	5
4	Shema transformatora sa naizmjeničnim naponskim izvorom . . . . .	6
5	Signal na sekundaru transformatora . . . . .	6
6	Shema sa Grecovim spojem . . . . .	7
7	Grecov spoj . . . . .	7
8	Signal na izlazu Grecovog spoja . . . . .	8
9	Shema Grecovog spoja sa elektrolitskim kondenzatorom . . . . .	8
10	Signal na kondenzatoru . . . . .	9
11	Shema spoja Grecovog spoja sa elektrolitskim kondenzatorom i otpornikom . .	9
12	Shema paralelnog spoja kondenzatora i otpornika . . . . .	9
13	Signal napona na otporniku od $120\Omega$ . . . . .	11
14	Signal napona na otporniku od $10\Omega$ . . . . .	11
15	Shema spoja Grecovog spoja sa regulatorom i kondenzatorima . . . . .	12
16	Signal napona na izlazu regulatora . . . . .	12
17	Shema konačnog spoja . . . . .	13
18	Shema spoja Zener diode i otpornika . . . . .	14
19	Shema podešavanja napona na Zener diodi pomoću potencijometra . . . . .	15
20	Shema sa operacionim pojačalom kao naponskim slijedilom . . . . .	16
21	Shema mjernog mosta . . . . .	17
22	Zavisnost otpora NTC-a od temperature u $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	18
23	Zavisnost izlaznog napona $U_x$ od otpora $R(t)$ . . . . .	19
24	Shema mjernog pretvarača . . . . .	19
25	Dijelovi releja . . . . .	20
26	Form C (C0): kontakti releja . . . . .	21
27	Shema spoja releja sa dvije svijetleće diode . . . . .	22
28	Shema spoja sa diodama na mjestu izvršnog organa . . . . .	23
29	Shema spoja sa ventilatorom i sijalicom kao izvršnim organom . . . . .	24
30	Shema operacionog pojačala kao komparatora . . . . .	25
31	Shema Šmitovog triger . . . . .	26
32	Prenosna karakteristika Šmitovog triger . . . . .	27
33	Sheme određivanja vrijednosti napona $V_g$ i $V_d$ . . . . .	28
34	Shema realizacije regulatora kada je na ulazu sinusni signal . . . . .	29
35	Shema realizacije regulatora kada je na ulazu sinusni signal . . . . .	30
36	Signal ulaza i izlaza na osciloskopu . . . . .	30
37	Shema regulatora . . . . .	31
38	Shema sklopa za automatsku regulaciju temperature u <i>Proteus-u</i> . . . . .	32
39	<i>Top Silk</i> . . . . .	33
40	<i>Bottom Copper</i> . . . . .	33
41	<i>3D View Front</i> . . . . .	34
42	<i>3D View Back</i> . . . . .	34
43	<i>3D View</i> . . . . .	34

# 1 Uvod

Primarni cilj regulacije predstavlja održavanje neke fizičke veličine na određenoj, zadanoj vrijednosti. Sklop na osnovu kontinuiranog mjerenja, poređenjem ulaznih i izlaznih vrijednosti, te zadavanje upravljačkih signala kojima se postižu željene vrijednosti. Za potrebe vježbe koristi se dvopoložajna regulacija, a manipulacija se vrši grijačem i ventilatorom. Svaki sistem obrađen je teoretski, te je data njegova elektronička shema unutar *Proteus*-a. Cilj rada bio je upoznati se sa procesom projektovanja i realiziranja elektoničkih sklopova prema zadanim uslovima.

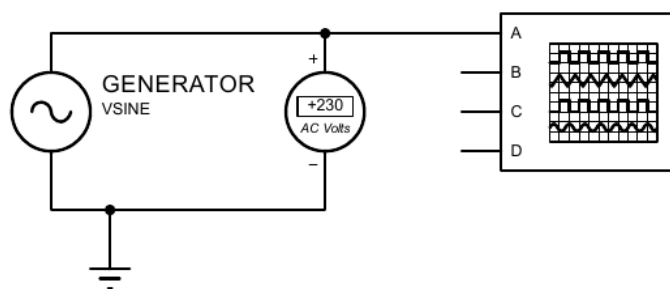
## 2 Realizacija sistema za napajanje

Prvi dio projekta predstavlja realizaciju napajanja sistema. Potrebno je napraviti sklop koji napon efektivne vrijednosti  $230\text{ V}$  i frekvencije  $50\text{ Hz}$ , pretvara u izlazni napon vrijednosti  $\pm 12\text{ V}$  koji će predstavljati izvor napajanja koji će biti iskorišten u svrhu realizacije regulatora temperature. Komponente korištene za realizaciju sklopa su:

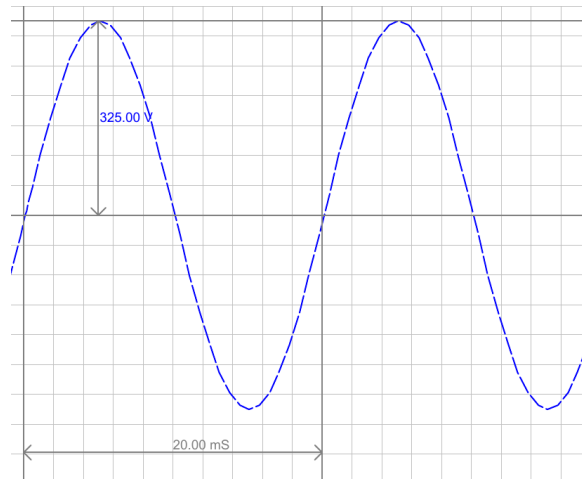
- Izvor naizmjeničnog napona vrijednosti  $230\text{ V}$  i frekvencije  $50\text{ Hz}$
- Transformator sa jednim primarom i dva sekundara
- Osigurač
- Grecov spoj 2W005G
- Keramički kondenzator  $100\text{ nF}$
- Elektrolitski kondenzator  $470\mu\text{ F}$
- Regulator 7812

### 2.1 Oblik ulaznog napona

U ovom potpoglavlju prikazana je shema naizmjeničnog naponskog izvora sinusoidalnog oblika, efektivne vrijednosti  $230\text{ V}$  i frekvencije oscilovanja  $50\text{ Hz}$  koji se koristi kao generator. U tu svrhu je odabrana komponenta *VSIN*. Na shemi su također prikazani i *AC Voltmetar* koji mjeri efektivnu vrijednost napona izvora, te *osciloskop* kojim se snima ulazni signal. Kako bi osciloskop pokazao ispravne vrijednosti ulaznog signala, postavljena je i masa koja predstavlja referentnu tačku u odnosu na koju se vrijednost napona mjeri. Ova masa je, u realnosti, masa koju omogućava distributer električne struje, ali za potrebe simulacije je dodana, jer ne postoji odgovarajuća komponenta koja bi zamijenila generator sa ugrađenom masom.



Slika 1: Shema naizmjeničnog naponskog izvora

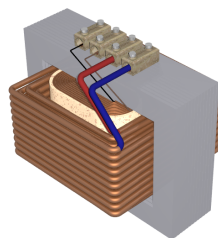


Slika 2: Signal na izvoru

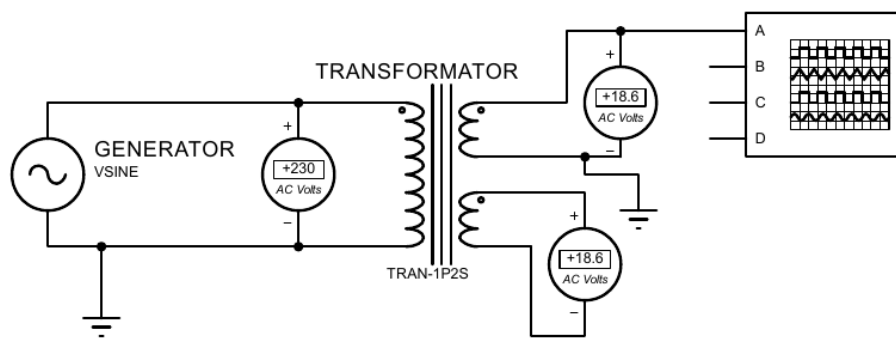
## 2.2 Oblik napona na sekundaru transformatora

U ovom dijelu je razmatran napon na sekundaru transformatora. Transformator (prema lat. *transformare*: preobraziti, pretvoriti) ili električni transformator je električni uređaj bez pokretnih dijelova koji međuinduktivno povezuje dva električna kruga izmjenične struje i izmjeničnu električnu struju zadanoga električnoga napona pretvara u izmjeničnu struju višega ili nižega električnoga napona. Glavni dijelovi transformatora su magnetska jezgra i najmanje dva međusobno odvojena namota (takozvani primar i sekundar) s izolacijom (osim kod autotransformatora). U jednofaznom se transformatoru primar i sekundar u načelu sastoji od jednoga, a u trofaznom od triju namota. Primarni i sekundarni namoti obično su postavljeni jedan preko drugoga ili jedan pokraj drugoga kako bi se postigla što bolja međuinduktivna veza. Električna energija prenosi se elektromagnetskom indukcijom od primara na sekundar, bez promjene frekvencije. Omjer efektivne vrijednosti napona primara  $U_p$  i sekundara  $U_s$  približno je razmjeran omjeru broja zavoja primara  $N_p$  i sekundara  $N_s$ , to jest:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (1)$$



Slika 3: Primjer transformatora



Slika 4: Shema transformatora sa naizmjeničnim naponskim izvorom

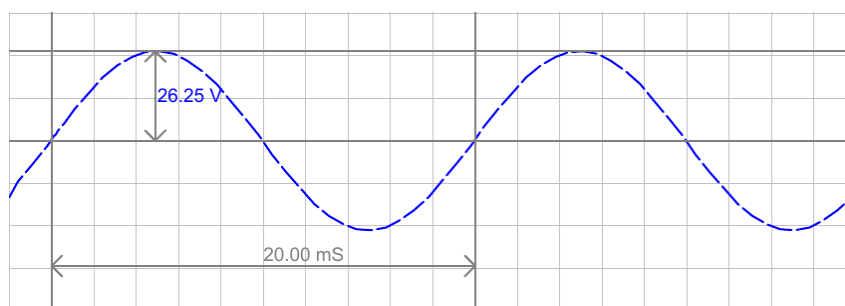
Na slici 4. prikazana je shema spoja transformatora sa jednim primarom i dva sekundaru u spoju sa naizmjeničnim naponskim izvorom sinusoidalnog oblika efektivne vrijednosti 230 V i frekvencije 50 Hz. Shodno tome, napon primara je 230 V, te ukoliko želimo na sekundaru vrijednost napona od 18 V, prenosni odnos se dobije iz sljedećih relacija i ima vrijednost 12.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{230}{18} = 12 \quad (2)$$

U izrazu treba uzeti u obzir i činjenicu da postoje gubici na transformatoru, u ovom slučaju je gubitak 5

$$U_2 = \frac{U_1}{12} \cdot 0.95 \quad (3)$$

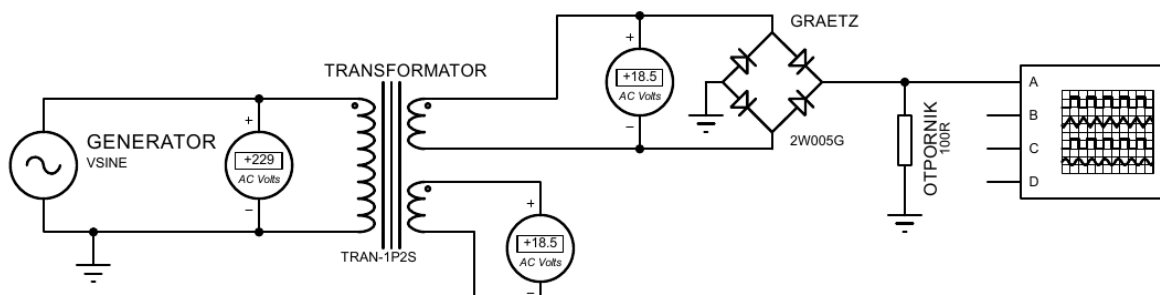
i iznosi 18.208 V, tj. dobiva se signal amplitude 25.75 V i frekvencije 50 Hz.



Slika 5: Signal na sekundaru transformatora

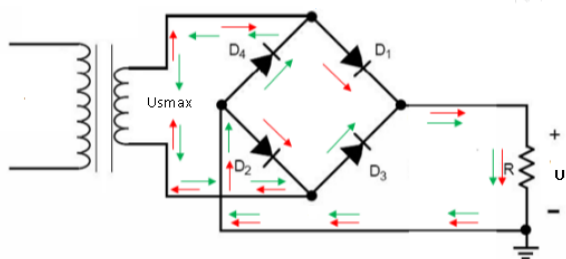
Na slici 5. je prikazan signal napona na jednom od sekundara transformatora, amplitude 26.25 V. AC voltmetri spojeni na sekundare transformatora pokazuju vrijednost 18.6 V. Razlike u ovim vrijednostima su očekivane zbog različitih aproksimacija pri računanju.

## 2.3 Oblik napona na izlazu Grecovog spoja



Slika 6: Shema sa Grecovim spojem

Na slici 6. prikazana je shema spoja transformatora sa Grecovim spojem. Grecov spoj predstavlja tip punovalnog ispravljača koji se sastoji od četiri diode, kao na slici:



Slika 7: Grecov spoj

Crvenim strelicama je označen smjer proticanja struje za pozitivnu poluperiodu a zelenim strelicama je označen smjer proticanja struje za negativnu poluperiodu. Ispravljač radi tako što pri pozitivnoj poluperiodi vode diode  $D_1$  i  $D_2$ , dok su diode  $D_3$  i  $D_4$  zakočene. U ovom intervalu struja teče iz sekundara transformatora, prolazi kroz diodu  $D_1$ , kroz R i vraća se preko diode  $D_2$  u sekundar transformatora. Napon na otporniku R bit će jednak naponu na sekundaru transformatora umanjen za dva pada napona na diodi.  $U_r$  je pad napona na otporniku R,  $U_{D1}$  i  $U_{D2}$  pad napona na diodama  $D_1$  i  $D_2$ ,  $U_{smax}$  je maksimalna vrijednost napona na sekundaru transformatora. U sljedećem koraku je izračunat pad napona na otporniku R i iznosi 24.35 V.

$$U_{smax} + U_{D1} + U_{D2} + U_r = 0 \quad (4)$$

$$U_r = U_{smax} - U_{D1} - U_{D2} \quad (5)$$

$$U_{D1} = U_{D2} = 0.7V \quad (6)$$

$$U_r = 24.35V \quad (7)$$

Pri negativnoj poluperiodi vode diode  $D_3$  i  $D_4$ , a diode  $D_1$  i  $D_2$  su zakočene. U ovom intervalu struja teče iz sekundara transformatora, prolazi kroz diodu  $D_3$  kroz R i vraća se preko diode  $D_4$  u sekundar transformatora. Napon na otporniku R će biti isti kao u prethodnom slučaju. U signalu nema više negativne poluperiode tj. negativna poluperioda se preslikava u pozitivnu.

$$U_{smax} + U_{D3} + U_{D4} + U_r = 0 \quad (8)$$

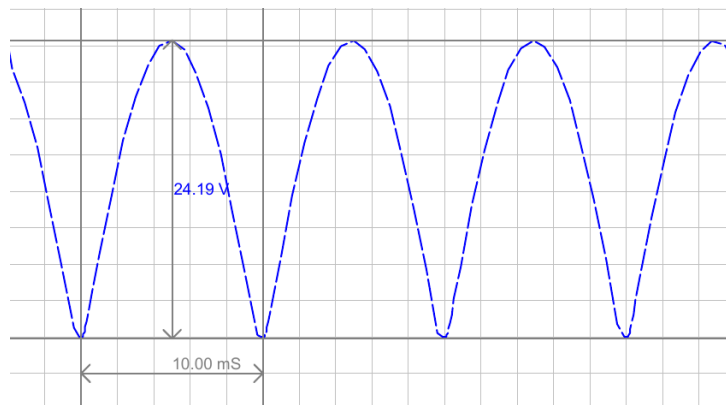


$$U_r = U_{smax} - U_{D3} - U_{D4} \quad (9)$$

$$U_{D3} = U_{D4} = 0.7V \quad (10)$$

$$U_r = 24.35V \quad (11)$$

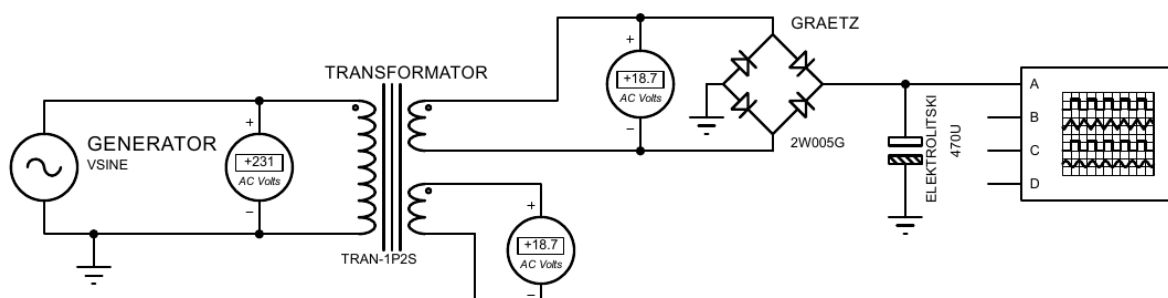
Na izlazu iz greca dobiven je signal, prikazan na slici 8., amplituda signala iznosi 24.19 V. Vidimo da postoji manje odstupanje od proračuna, razlog tome mogu biti komponente korištene u Proteusu, neprecizno postavljanje kursora pri mjerenju i slično.



Slika 8: Signal na izlazu Grecovog spoja

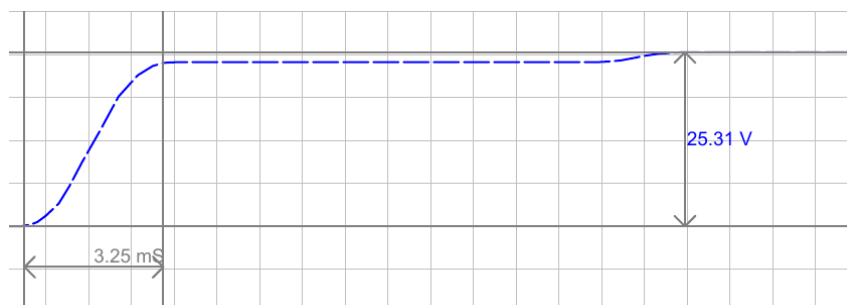
## 2.4 Oblik napona na kondenzatoru

Na prethodnu šemu sa Grecovim spojem dodan je elektrolitski kondenzator vrijednosti  $470 \mu F$ . Kondenzator će se napuniti do određene vrijednosti i čuvati će je, jer se ne prazni. Poenta dodavanja kondenzatora je da se signal naizmjeničnog napona na ulazu pretvori u istosmjerni od 12 V koji nam je potreban.



Slika 9: Shema Grecovog spoja sa elektrolitskim kondenzatorom

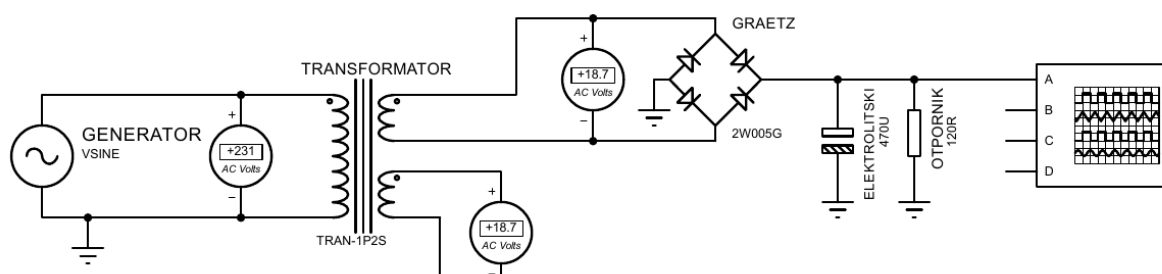
Na slici 10. je prikazan signal na izlazu iz kondenzatora. Ono što se zaključuje sa slike je da se punjenje kondenzatora ne vrši instantno, nego postoji prelazni proces. Bitno je napomenuti i činjenicu da je na slici prikazan napon koji je veći od vrijednosti napona na izlazu iz Grecovog spoja, što u realnosti nije moguće, a rezultat je grešaka mjerenja i nesavršenosti na Grecu.



Slika 10: Signal na kondenzatoru

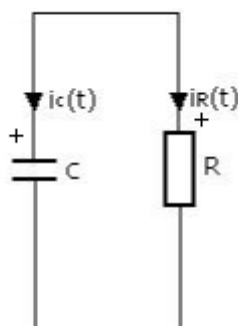
## 2.5 Oblik napona ripla

Kako bi se ispitao napon ripla, paralelno sa kondenzatorom spaja se otpornik vrijednosti otpora  $120 \Omega$ . Na ovaj način se sav napon kondenzatora troši preko otpornika.



Slika 11: Shema spoja Grecovog spoja sa elektrolitskim kondenzatorom i otpornikom

Formulu za napon ripla možemo izvesti koristeći se diferencijalnim računom na sljedeći način:



Slika 12: Shema paralelnog spoja kondenzatora i otpornika

$$U_c = U_R \quad (12)$$

$$i_c = C \cdot \frac{dU_c(t)}{dt} \quad (13)$$

$$U_R = i_R \cdot R \quad (14)$$

$$i_R = -i_c \quad (15)$$

$$U_c(t) = -R \cdot C \cdot \frac{dU_c(t)}{dt} \quad (16)$$

$$U_c(t) + R \cdot C \cdot \frac{dU_c(t)}{dt} = 0 / \cdot \frac{1}{RC} \quad (17)$$

$$\frac{dU_c(t)}{dt} + \frac{1}{RC} \cdot U_c(t) = 0 \quad (18)$$

$$U_c(t) = e^{\lambda t} \quad (19)$$

$$\frac{dU_c(t)}{dt} = \lambda \cdot e^{\lambda t} \quad (20)$$

$$\lambda \cdot e^{\lambda t} + \frac{1}{RC} \cdot e^{\lambda t} = 0 / \cdot \frac{1}{e^{\lambda t}} \quad (21)$$

$$\lambda + \frac{1}{RC} = 0 \quad (22)$$

$$\lambda = -\frac{1}{RC} \quad (23)$$

$$U_c(t) = C_1 \cdot e^{\lambda t} \quad (24)$$

Rješenje posljednje diferencijalne jednačine je realno, jedinstveno i različito od nule. Posmatramo početni i krajni trenutak:

$$U_c(0) = U_{cmax} = C_1 \quad (25)$$

$$U_c(t) = U_{cmax} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (26)$$

$U_{cmax}$  predstavlja maksimalnu vrijednost napona na kondenzatoru. Pražnjenje kondenzatora približno je jednako periodu ulaznog punovalnog ispravljenog signala, tj. polovini perioda na sekundaru transformatora  $t_1 = \frac{T}{2}$ . Minimalna vrijednost napona na kondenzatoru je :

$$U_{cmin} = U_{cmax} \cdot e^{-\frac{T}{2RC}} \quad (27)$$

Pošto vrijedi da je  $R \cdot C \gg \frac{T}{2}$  imamo:

$$U_{cmin} = U_{cmax} \cdot \left(1 - \frac{T}{2 \cdot R \cdot C}\right) \quad (28)$$

Napon ripla predstavlja razliku između maksimalne i minimalne promjene napona na kondenzatoru.

$$V_R = U_{cmax} - U_{cmin} \quad (29)$$

$$V_R = U_{cmax} - U_{cmax} \cdot e^{-\frac{T}{2RC}} \quad (30)$$

$$V_R = U_{cmax} - U_{cmax} + \frac{T}{2 \cdot R \cdot C} \cdot U_{cmax} \quad (31)$$

$$V_R = \frac{U_{cmax} \cdot T}{2 \cdot R \cdot C} \quad (32)$$

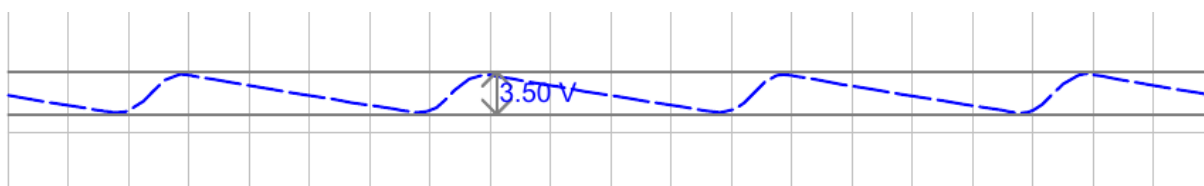
$$V_R = \frac{U_{cmax}}{2 \cdot f \cdot R \cdot C} \quad (33)$$

Maksimalna vrijednost napona iznosi:

$$U_{cmax} = U_{smax} - 2 \cdot U_D \quad (34)$$

$$U_{cmax} = 24.35V \quad (35)$$

Vrijednost napona ripla zavisi od odabira vrijednosti otpora otpornika i kondenzatora. Za odabrane vrijednosti otpora od  $120 \Omega$  i kondenzatora kapaciteta  $470 \mu F$ , računskim putem dobija se vrijednost od  $V_r = 4.31 V$ . Ipak snimanjem signala na osciloskopu dobija se vrijednost koja nije potpuno ista teoretski očekivanoj. Na osciloskopu je dobijena vrijednost od  $V_r = 3.5 V$ , prikazana na narednoj slici. Ovakva odstupanja prisutna su zbog nesavršenosti Grecovog spoja ili nepreciznosti kursora pri mjerenju.



Slika 13: Signal napona na otporniku od  $120\Omega$

Ovisnost napona ripla od vrijednosti kapaciteta i otpornika može se provjeriti na način da se vrijednost kapaciteta održi konstantnom, te promjenom vrijednosti otpora, povećavanjem i smanjivanjem, posmatrati promjene napona ripla.

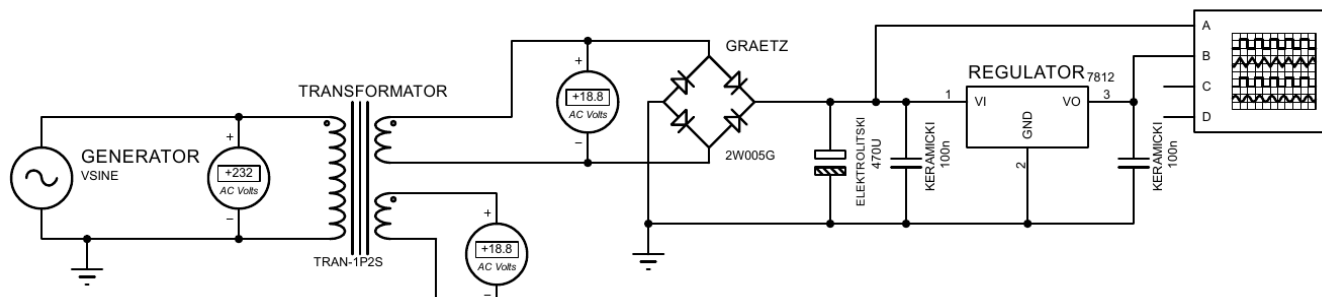


Slika 14: Signal napona na otporniku od  $10\Omega$

Vidimo da su vrijednosti napona ripla i otpornika obrnuto proporcionalne, tj. povećavanjem otpora napon se smanjuje i smanjivanjem otpora napon se povećava.

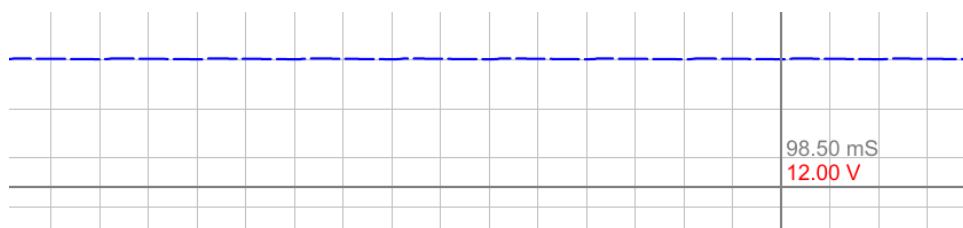
## 2.6 Oblik napona na izlazu generatora

Posljednja komponenta koja će biti upotrijebljena, potrebna za napajanje sistema je regulator. Regulator predstavlja sistem koji se koristi u svrhe pružanja konstantnog izlaznog napona. U konkretnoj shemi iskorišten je tip regulatora 7812. Na ulaz i izlaz regulatora spojeni su po jedan keramički kondenzator vrijednosti kapaciteta 100 nF. Na sljedećoj slici prikazana je shema spoja na koju je nadovezan regulator, što ujedno predstavlja i konačnu shemu na jednom sekundaru transformatora potrebnu za realizaciju napajanja sistema.



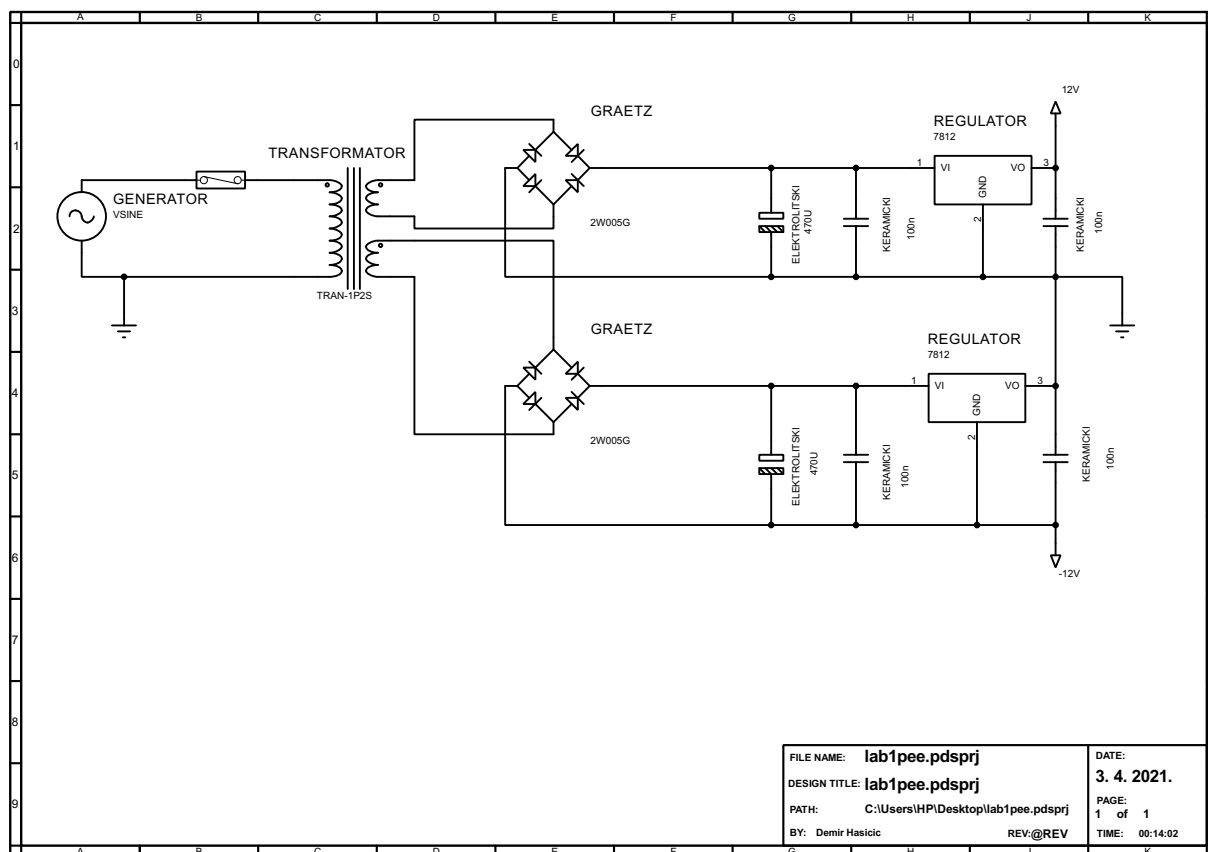
Slika 15: Shema spoja Grecovog spoja sa regulatorom i kondenzatorima

Dakle, pošto je regulator sistem koji se koristi u svrhu postizanja konstantnog, u ovom slučaju istosmjernog, napona na izlazu, na osciloskopu se očitava upravo signal konstantnog napona vrijednosti 12 V.



Slika 16: Signal napona na izlazu regulatora

Krajnja shema predstavlja simetričan spoj sa *Slike 15* preslikan i na drugi sekundar transformatora, prikazan na sljedećoj slici:



Slika 17: Shema konačnog spoja

### 3 Mjerni pretvarač

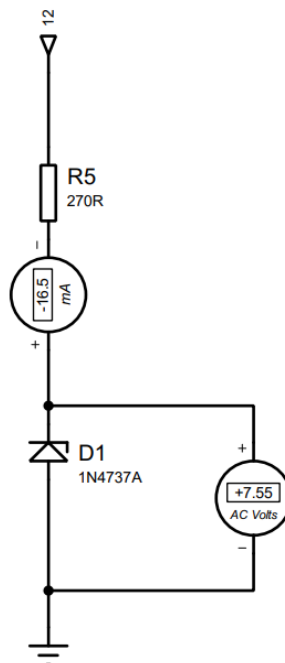
Za realizaciju modela regulacije temperature, pošto je upravljana veličina neelektrična, potrebno ju je pretvoriti u električnu korištenjem mjernog pretvarača. Osnovna uloga mu je da obezbijedi prijenos informacija iz opsega temperature u opseg napona. Također, stepen linearizacije i naponsko prilagođenje opsegu koji je prihvatljiv za rad regulatora. Sastoji se iz referentnog napona i mjernog mosta.

#### 3.1 Izvor referentnog napona

Izvor referentnog napona sastoji se iz Zener diode, koja je inverzno polarisana, te tada na sebi drži određeni napon, otpornika koji se spaja serijski sa diodom, te operacionog pojačala kao naponskog slijedila. Izbor komponente Zener diode vrši se na osnovu nominalne vrijednosti napona i struje. Potrebna vrijednost napona na Zener diodi je 5V. Međutim, za potrebe vježbe neće se koristiti Zener dioda nominalne vrijednosti napona 5V, jer ona uvijek ima odstupanja od te vrijednosti za nekoliko procenata. Vrijednost napona Zener diode koja će biti korištena za potrebe vježbe je 7.5V (1N4737A) kroz koju protiče struja (pri inverznoj polarizaciji) od 35 mA. Otpornik služi kako bi se obezbijedila strujna zaštita diode u smislu da ograničava jačinu struje diode. Vrijednost otpora ovog otpornika može se odrediti kao:

$$R_0 = \frac{12V - 7.5V}{17mA} = 264.705\Omega \quad (36)$$

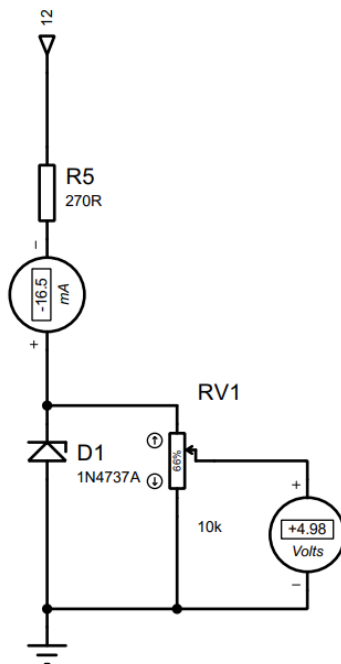
Gdje je 12V vrijednost napona koji je doveden na ulaz, 7.5V vrijednost napona Zener diode i 17mA vrijednost struje, koja je na polovini opsega od 35mA.



Slika 18: Shema spoja Zener diode i otpornika

Na slici 1. iskorišten je otpornik vrijednosti 270Ω, jer vrijednost od 264.705Ω ne postoji u realnosti, pa je iskorištena vrijednost iz 5% niza koja je najbliža teoretski proračunatoj. Pošto se ulazni napon kreće u intervalu [0-5] [V], potrebna nam je dioda upravo vrijednosti napona od 5V. Zbog napomenutih grešaka odstupanja, već je rečeno da se za potrebe zadatka

iskoristila dioda od 7.5V, pa je sada potrebno prilagoditi taj napon kako bi on iznosio 5V. Jedan od načina da se to uradi je pomoću potencijometra. Za potrebe vježbe iskorišten je potencijometar opsega [0-10] [kΩ].



Slika 19: Shema podešavanja napona na Zener diodi pomoću potencijometra

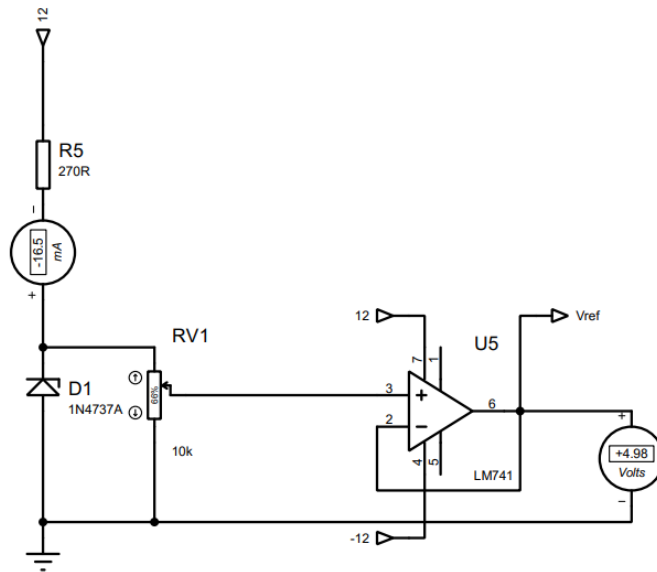
Na slici 2. možemo vidjeti shemu na kojoj se pomoću potencijometra podešava napon na Zener diodi. Vidimo da je vrijednost potencijometra na 66%, što odgovara otpornosti od 6.6kΩ, a razlog ovakve postavke je što se za tu vrijednost otpora, dobija tražena vrijednost napona. Ova vrijednost otpora lako se dobija na sljedeći način:

$$R_p = \frac{5V \cdot 10k\Omega}{7.5V} = 6.666k\Omega \quad (37)$$

Naravno, vidimo da napon nije tačno 5V, a razlozi za to su same karakteristike komponenti korištenih u proteusu, te konkretno što nije moguće na potencijometru koji je korišten u proteusu otpor podesiti na vrijednost od 6.66kΩ, nego na najbližu moguću vrijednost od 6.6kΩ.

Sada smo ostvarili cilj, gdje imamo izvor referentnog napona od 5V. Sljedeći korak je korištenje operacionog pojačala u spoju naponskog slijedila.





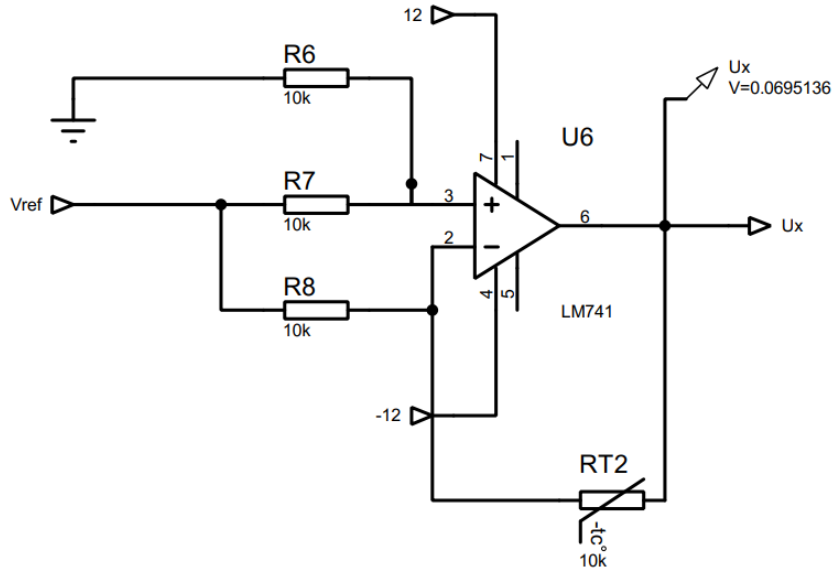
Slika 20: Shema sa operacionim pojačalom kao naponskim slijedilom

Na slici 3. vidimo shemu sa operacionim pojačalom kao naponskim slijedilom. Iskorišteno je pojačalo tipa LM741. Dakle, pošto kroz njega ne protiče struja, uloga mu je da razdvoji referentni napon i mjerni most, tako da je na izlazu moguće postaviti opterećenje bilo koje vrijednosti, a da se vrijednost napona  $V_{ref}$  i struje ne promijeni. Napon napajanja operacionog pojačala je  $\pm 12V$ . Stoga, prenosna funkcija sklopa je:

$$U_{izl} = V_{ref} \quad (38)$$

### 3.2 Mjerni most

Na slici 4. prikazana je shema mjernog mosta koji se sastoji od 3 otpornika vrijednosti otpora od po  $10k\Omega$ , NTC termistora vrijednosti  $R(25^\circ) = 10k\Omega$  i operacionog pojačača vrijednosti napajanja  $\pm 12V$ . Na izlazu mjernog mosta se dobija napon  $U_x$ , koji zavisi od  $V_{ref}$  i otpora  $R(t)$ , koji se mijenja promjenom temperature na NTC termistoru.



Slika 21: Shema mjernog mosta

Prenosna funkcija ovisnosti  $U_x$  od  $V_{ref}$  dobija se na sljedeći način:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R = 10k\Omega \quad (39)$$

$$U_{(+)} = U_{(-)} = U_1 \quad (40)$$

$$I_1 = I_2 \quad (41)$$

$$I_3 = I_4 \quad (42)$$

$$\frac{U_1}{R} = \frac{V_{ref} - U_1}{R} / \cdot R \quad (43)$$

$$U_1 = \frac{V_{ref}}{2} \quad (44)$$

$$\frac{V_{ref} - U_1}{R} = \frac{U_1 - U_x}{R(t)} / \cdot R \quad (45)$$

$$U_x \cdot R = U_1 \cdot (R + R(t)) - V_{ref} \cdot R(t) \quad (46)$$

$$U_x \cdot R = V_{ref} \cdot \left( \frac{R}{2} + \frac{R(t)}{2} - R(t) \right) / \cdot \frac{1}{R} \quad (47)$$

$$U_x = \frac{V_{ref}}{2} \cdot \left( 1 - \frac{R(t)}{R} \right) \quad (48)$$

Upravo posljednja relacija nam daje napon na izlazu mjernog mosta  $U_x$  koji zavisi od napona  $V_{ref}$ .

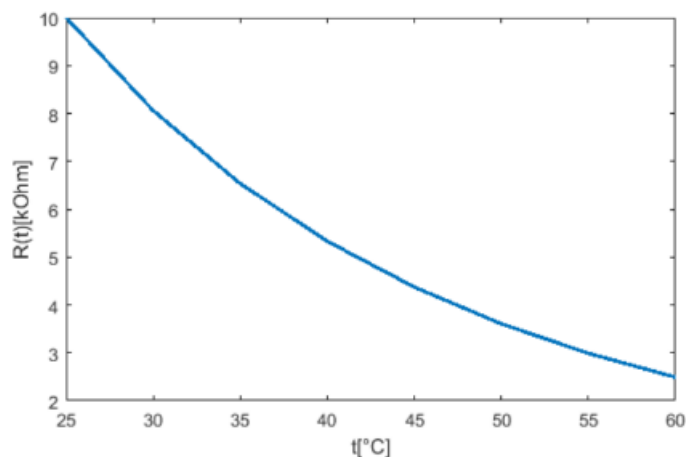
### 3.3 NTC termistor

NTC termistor koji je korišten za potrebe vježbe je NTCLE100E3103. Na osnovu njegovih podataka vršen je proračun izlaznog napona za temperature u rasponu (25°C - 60°C), te upoređivanje sa naponom dobijenim u proteusu na shemi sa Slike 4.

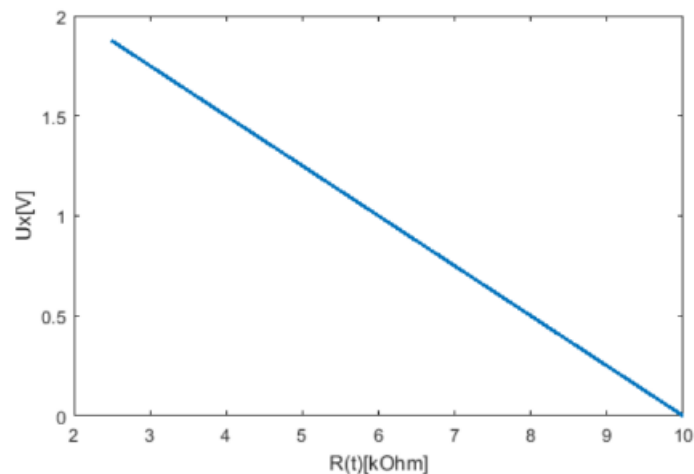
t(°C)	R(t)[kΩ]	U <sub>x</sub> [V]	U <sub>xs</sub> [V]
25	10	0	0.04
30	8.059	0.485	0.528
35	6.535	0.865	0.907
40	5.330	1.168	1.204
45	4.372	1.407	1.439
50	3.605	1.599	1.626
55	2.989	1.753	1.776
60	2.490	1.878	1.897

Tabela 1: Zavisnost R(t), U<sub>x</sub> i U<sub>izl</sub> od t(°C)

U<sub>x</sub>[V] je napon koji je dobijen teoretskim proračunom, dok je U<sub>xs</sub>[V] napon dobijen simulacijom u Proteusu. Vidimo da se rezultati razlikuju za određene vrijednosti, koje su rezultat nesavršenosti korištenih komponenti u simulaciji. Karakteristike zavisnosti otpora termistora R(t), te napona U<sub>x</sub>[V], od temperature u °C, dati su na sljedećim slikama:

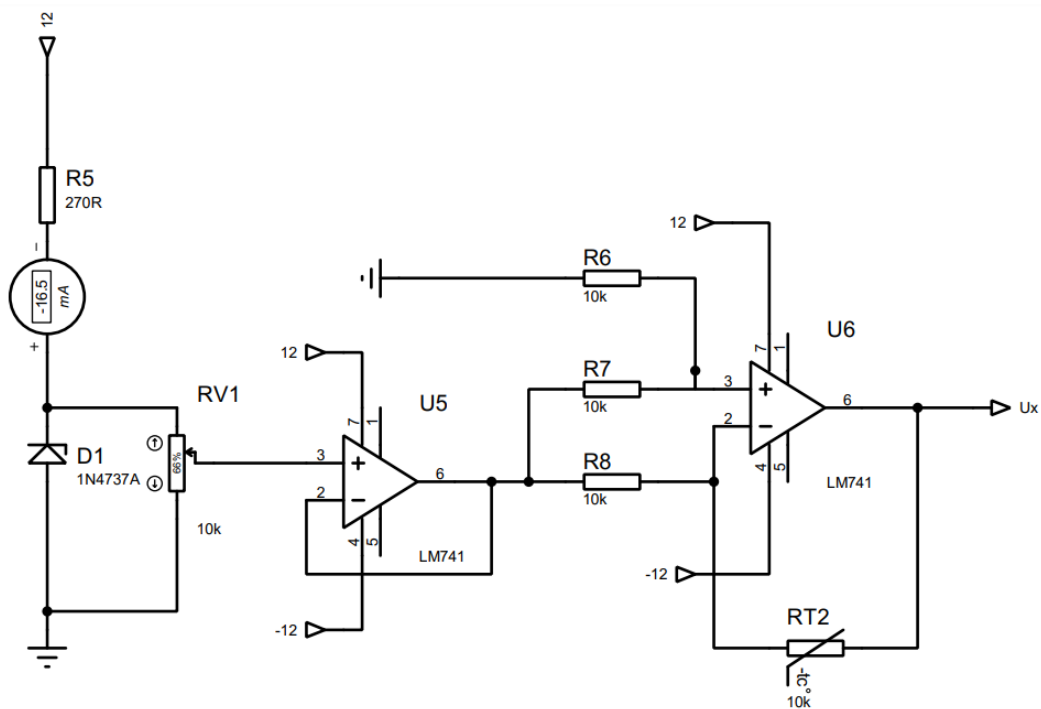


Slika 22: Zavisnost otpora NTC-a od temperature u °C



Slika 23: Zavisnost izlaznog napona  $U_x$  od otpora  $R(t)$

Konačna shema mjernog pretvarača je objedinjenje shema referentnog napona i mjernog mosta.



Slika 24: Shema mjernog pretvarača

## 4 Izvršni organ

Za realizaciju modela izvršnog organa korišten je grijač (sijalica) i ventilator. Grijač će se uključivati kada temperatura na objektu bude manja od zadane, a tada će se isključiti ventilator. Vrijedi i suprotno, kada temperatura na objektu bude veća od zadane, uključuje se ventilator, dok se grijač isključuje. Na ovaj način postiže se ravnoteža, te se devijacija od zadane temperature svodi na minimum. Za potrebe vježbe, grijač će biti napajan sa naizmjeničnim naponskim izvorom, sinusnog oblika, nominalne vrijednosti napona 230V, te frekvencije od 50Hz. S druge

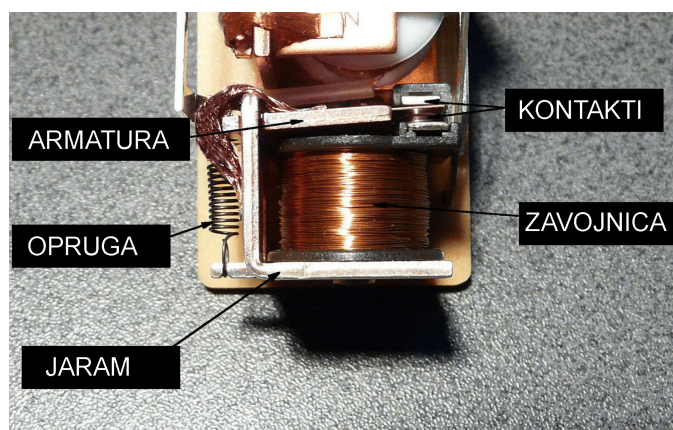
strane, ventilator se napaja sa istosmjernim naponskim izvorom konstante vrijednosti napona od 12V. Za uključivanje navedene dvije komponente, bit će iskorišten relej.

## 4.1 Relej

Relej je uređaj koji se koristi za prekidanje ili uspostavljanje strujnog kola putem elektromagneta koji otvara i zatvara strujne kontakte. Ovakva vrsta releja se naziva elektromagnetski relej. Uz ovu vrstu, postoji i elektronski relej (engl. *solid state relay*) kod kojega prekopčavanje strujnog kola vrše poluprovodnički elementi. Kod ovakvog tipa releja, takođe je obezbijeđeno fizičko razdvajanje dva dijela kola, dakle između njih nema električnih veza. Elektromagnetni releji koriste mehanički pomjeraj kotve kako bi obezbijedili promjenu stanja u kolu (uloga prekidača), a kod elektronskih releja najčešće se koriste fotoosjetljivi elementi, često LED kao davač signala u primarnom kolu, a fototranzistor kao primač signala u sekundarnom kolu.

### 4.1.1 Dijelovi releja

Jaram ili ram na sebi drži elektromagnet, koji privlači gvozdenu kotvu. Kotva uspostavlja ili prekida niz električnih kontakata, a vraća se u polazni položaj uz pomoć opruge, kad kroz elektromagnet više ne teče struja.



Slika 25: Dijelovi releja

### 4.1.2 Vrste releja

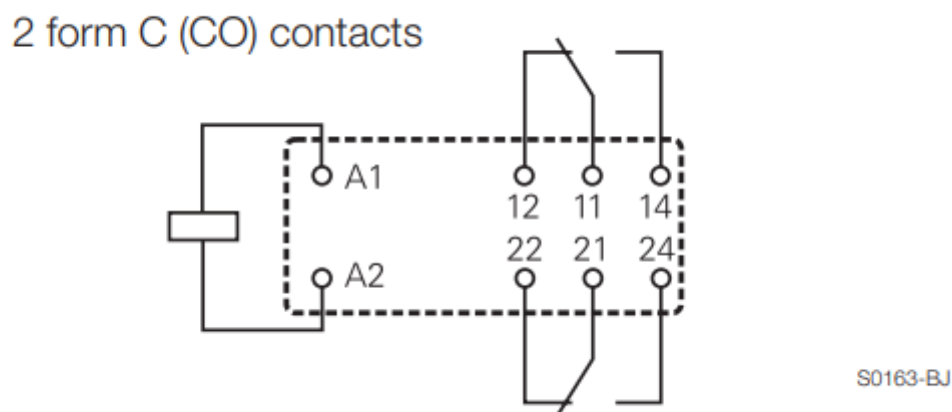
Postoje više vrsta releja kao što su: obični (neutralni) i polarizovani elektromagnetski releji. Kod običnih, kotva od gvožđa će biti privučena nezavisno od smjera struje, dakle rade i na naizmjeničnu i na jednosmjernu struju. Polarizovani releji koriste stalni (permanentni) magnet, pa su osjetljivi samo na jedan smjer struje.

### 4.1.3 Kontakti releja

Što se tiče kontakata releja, većina releja ima više parova kontakata. Da bi se razjasnila operacija istih, uzima se da je normalno stanje kada struja ne teče kroz elektromagnet (relej je isključen). Tako ako je navedeno da je određeni par kontakata normalno otvoren, to znači da su ti kontakti otvoreni kad je relej isključen (nema struje kroz elektromagnet), a zatvoreni kad je relej uključen. Obrnut slučaj vrijedi za normalno zatvorene kontakte.

#### 4.1.4 Parametri releja

Relej korišten u ovoj vježbi se napaja naponom od 12V, zato što je na prethodnoj vježbi realiziran naponski izvor od 12V. Bitni kataloški podaci za relej su induktivitet i njegov unutrašnji otpor, koji je rezultat namotaja žice koja ima sopstvenu otpornost. Bitnost ovih podataka ogleda se u činjenici što će isti biti iskorišteni za proračunavanje vrijednosti otpora koji će se stavljati u bazu tranzistora, što će biti tematika nekog od sljedećih dijelova vježbe. Relej koji je korišten ima dva para kontakata, jer postoje dva izvršna organa, ventilator i sijalica. Kod releja je bitno razlučiti tri tačke: radna, mirna i neutralna.



Slika 26: Form C (CO): kontakti releja

Na slici 3. vidimo kontakte releja. Relej ima primarne kontakte,  $A_1$  i  $A_2$  na kojima se napaja sam relej, 11 i 21 predstavljaju neutralni kontakt, 12 i 22 je mirni kontakt, te 14 i 24 je radni kontakt. Ukoliko relej nije energiziran neutralni kontakt je spojen na mirni, a u slučaju kada jest onda je na radni. Relej koji je odabran za vježbu je 012, zbog toga što je vrijednost napona koji će na njega biti doveden 12V. *Operate voltage*, ili minimalna vrijednost napona koja se dovodi kako bi relej bio funkcionalan, za ovaj relej je  $U_{min} = 8.4V$ . *Rated voltage*, odnosno idealni napon kojim bi se relej trebao napajati je  $U_R = 12V$ . Podaci koji su takođe relevantni su i već pomenuti unutrašnji otpor  $R_U$ , koji iznosi  $360\Omega$ , te snaga  $400mW$ . Na osnovu podataka o  $U_{min}$  i  $R_U$ , moguće je odrediti minimalnu struju  $I_{min}$ :

$$I_{min} = \frac{U_{min}}{R_u} = \frac{8.4V}{360\Omega} = 23.33mA \quad (49)$$

Radna struja se može odrediti na više načina, a jedan od njih je:

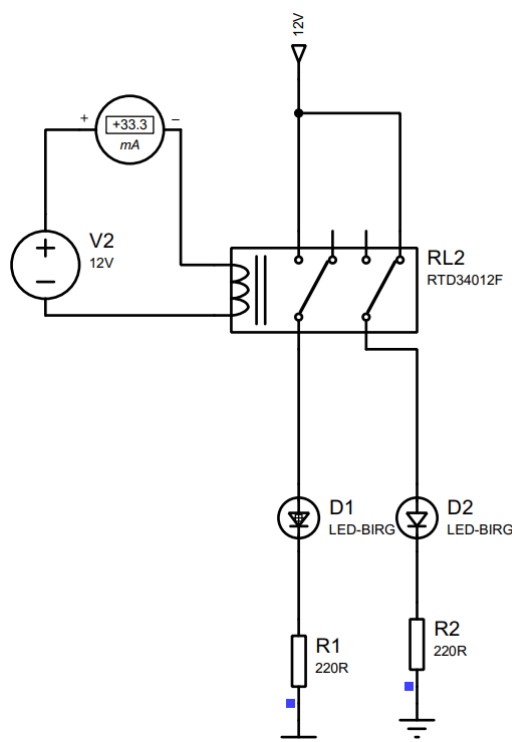
$$I_R = \frac{U_R}{R_u} = \frac{12V}{360\Omega} = 33.33mA \quad (50)$$

Bitno je pomenuti još jedan pojam, a to je frekvencija preklapanja. To je frekvencija koja govori o tome koliko puta relej može maksimalno puta preklopiti, odnosno prelazak iz mirnog u radno stanje i obrnuto. Informaciju o frekvenciji preklapanja takođe dobijamo u katalogu, ali u nešto drugačijem obliku. Naime, za konkretan slučaj navedena je frekvencija od  $72000 h^{-1}$  preklapanja, što predstavlja broj preklapanja po satu. Potrebno je ovu frekvenciju pretvoriti u sekunde:  $f_p = 72000h^{-1} \Leftrightarrow f_p = 20s^{-1} = 20Hz$ . U osnovi, postoje gornja i donja frekvencija preklapanja, a navedena je donja frekvencija preklapanja.

## 4.2 Realizacija izvršnog organa u *Proteus-u*

### 4.2.1 Provjera teoretskih proračuna

Releji koji će biti korišten za simulaciju u *Proteus-u* je RTD34012F, sa dva para kontakata. Problem s kojim se susrećemo, pri korištenju ovog releja, jeste taj što ne postoji povratna informacija kada postoji preklapanje. Za te potrebe bit će iskorištene dvije svijetleće diode, koje će signalizirati preklapanje. Potrebno ih je spojiti na način da kada prva radi, druga ne radi, i obrnuto.

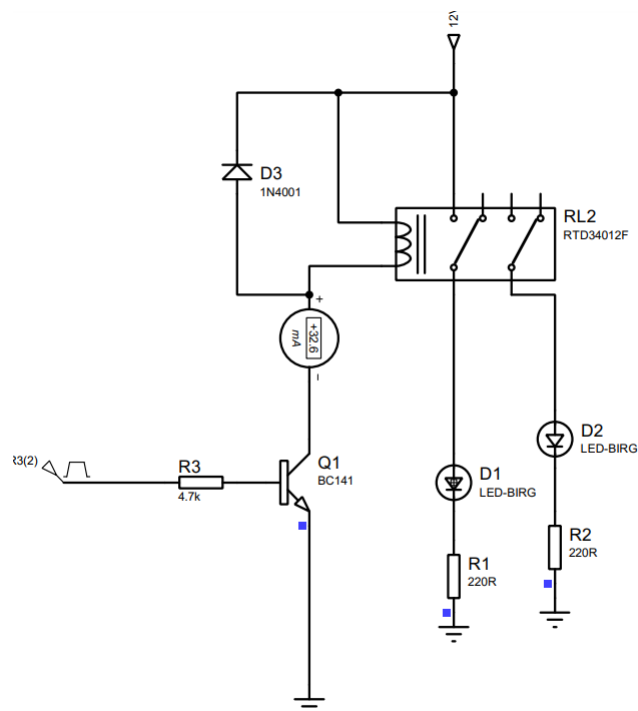


Slika 27: Shema spoja releja sa dvije svijetleće diode

Na slici 4. moguće je uočiti na koji način su navedene diode spojene, kako bi se postigao željeni efekat. Napon koji smo doveli na primar releja, iznosi pomenutih 12V. Također, uočava se da je teoretski proračunata vrijednost radne struje  $I_R = 33.33\text{mA}$ , identična izmjerenoj struji sa slike, što i predstavlja radnu struju simuliranu u Proteus okruženju. Ipak, pošto je na ulaz doveden istosmjerni napon, nije moguće u stvarnom vremenu pratiti izmjenu stanja diode. Da bi se postigao željeni rezultat, potrebno je dovesti napon u obliku četvrtke.

### 4.2.2 Spoj sa svijetlećim diodama na mjestu izvršnog organa

Sljedeći korak je da se na dio sheme sa relejom i svijetlećim diodama, na primar releja doda tranzistor (BC141), otpor  $R_B$ , Zener dioda (1N4001), te da je izvor napajanja u obliku četvrtke. Uloga tranzistora u spoju je da vrši upravljanje relejnim krugom (kao prekidač) na način da kada radi, tranzistor bude u oblasti zasićenja ili zakočenja. Na osnovu toga, potrebno je dimenzionirati otpornik  $R_B$  na određen način kako bi se postigao taj rezultat. Dioda služi da bi se preko nje praznio napon koji je uskladišten u zavojnici, kada je tranzistor zakočen, da ne bi došlo do njegovog pregaranja. Napon koji dovodimo je nivoa od 0 do 5V.



Slika 28: Shema spoja sa diodama na mjestu izvršnog organa

#### 4.2.3 Dimenzioniranje unutrašnjeg otpora $R_B$

Unutrašnji otpor potrebno je dimenzionirati na način da tranzistor bude uvijek u stanju zasićenja ili zakočenja. Prilagodbu njegove vrijednosti vršimo na sljedeći način:

$$\frac{5 - 0.7}{R_B} > \frac{I_R}{\beta_{min}} \quad (51)$$

Uvrštavanjem vrijednosti:  $I_R = 33.33\text{mA}$  i  $\beta_{min} = 50$  dobija se:

$$R_B < 5.8052\text{k}\Omega \quad (52)$$

Vrijednost koja će se usvojiti za potrebe vježbe je  $R_B = 4.7\text{k}\Omega$ .

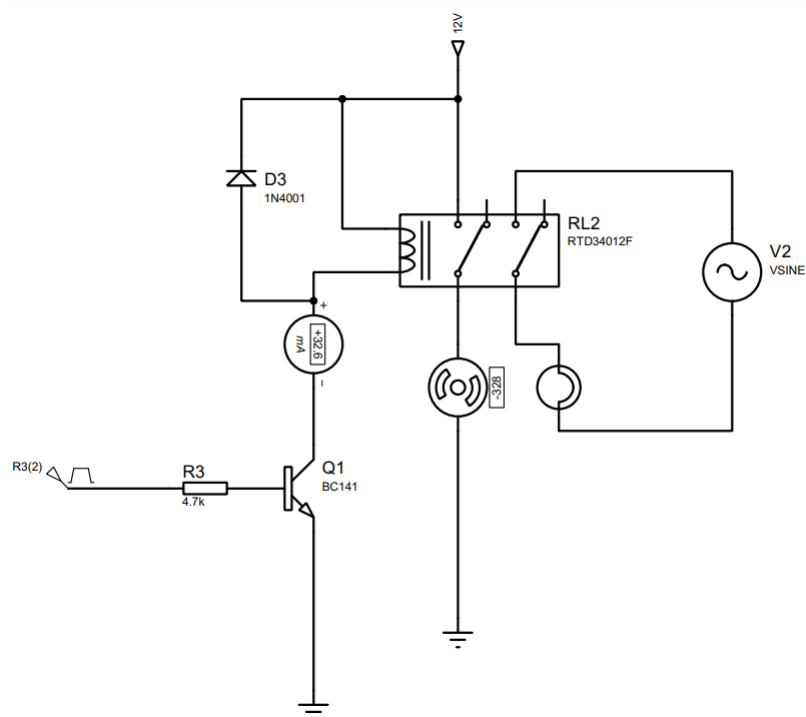
Uočava se da je struja koju očitava ampermetar  $I_R = 32.6\text{mA}$ , što je približno ranije proračunatoj vrijednosti od  $33.33\text{mA}$ , a odstupanje je rezultat samih svojstava korištenih komponenti, te okruženja *Proteus*. Ranije pomenuta frekvencija preklapanja može se utvrditi eksperimentalnim putem, na način da se promjenom vrijednosti frekvencije izvora napajanja u obliku četvrtke posmatra ponašanje svijetlećih dioda. Sve dok se povećavanjem frekvencije održava normalan i očekivan rad dioda, tj. njihovo naizmjenično uključivanje i isključivanje, nije dostignuta frekvencija preklapanja. Kada se utvrdi frekvencija na kojoj se uočava randomizirano ponašanje dioda, ili nepravilan rad došli smo do vrijednosti tražene frekvencije preklapanja. U ovom slučaju ona je iznosila  $f_p = 30\text{Hz}$ , dakle za vrijednosti veće od navedene javljaju se problemi pomenute prirode.

#### 4.2.4 Spoj izvršnog organa

Posljednji korak bio bi da se svijetleće diode koje su do sada korištene, zamijene odgovarajućim izvršnim organom, u ovom slučaju ventilatorom i sijalicom. Ventilator se spaja na izvor



napajanja od 12V, dok se sijalica napaja sinusoidalnim izvorom frekvencije 50Hz i amplitude 230V. Dakle to nam daje konačnu shemu prikazanu na Slici 6.

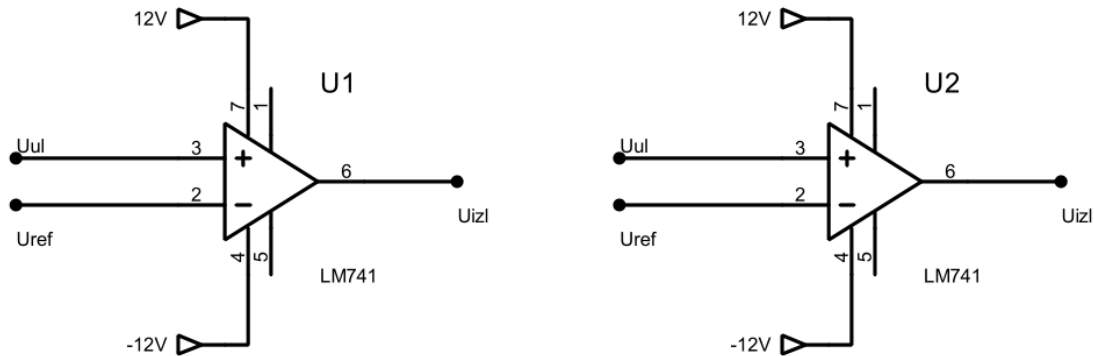


Slika 29: Shema spoja sa ventilatorom i sijalicom kao izvršnim organom

## 5 Regulator

### 5.1 Komparator

U slučaju kada se na jedan od ulaza operacionog pojačala dovodi neki ulazni signal, a na drugi ulaz dovodi referentni napon kaže se da operaciono pojačalo ima ulogu komparatora. Operaciono pojačalo napaja se dvostranim naponom čija se vrijednost kreće od  $\pm 5V$ , pa do  $\pm 18V$ . Za industrijske potrebe se najčešće upotrebljava vrijednost napona od  $\pm 12V$ .



Slika 30: Shema operacionog pojačala kao komparatora

Na izlazu pojačala pojavljuje se napon zasićenja  $\pm U_Z$ , i on predstavlja najveći napon koji se može pojaviti na izlazu tog pojačala. Apsolutna vrijednost ovog napona je za 1V manja od apsolutne vrijednosti napona napajanja. Tačnije, ovu situaciju je moguće pogodnije predstaviti pomoću prenosne funkcije u relacijama (1) i (2).

Kada se  $U_{ul}$  dovede na "+" ulaz operacionog pojačala :

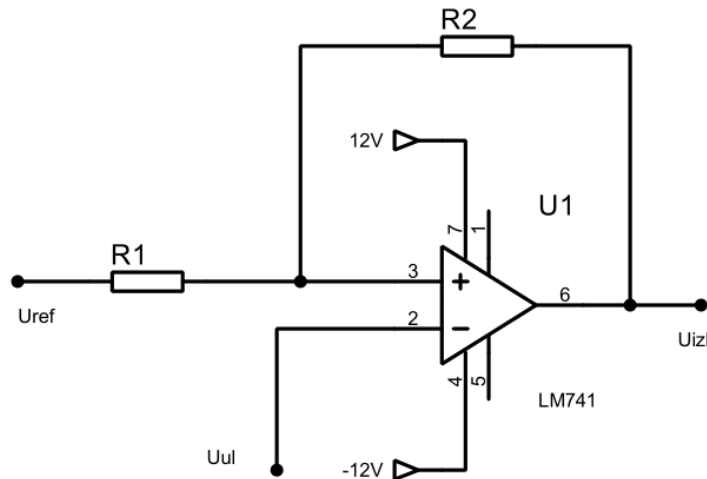
$$U_{izl} = +U_Z, \epsilon > 0, \quad t.j. \quad U_{ul} > U_{ref} - U_Z, \epsilon < 0, \quad t.j. \quad U_{ul} < U_{ref} \quad (1.1)$$

Kada se  $U_{ul}$  dovede na "-" ulaz operacionog pojačala :

$$U_{izl} = -U_Z, \epsilon < 0, \quad t.j. \quad U_{ul} > U_{ref} + U_Z, \epsilon > 0, \quad t.j. \quad U_{ul} < U_{ref} \quad (1.2)$$

## 5.2 Šmitov Triger

Kao regulator koristi se Šmitov triger koji omogućava dvopoložajnu regulaciju izvršnog organa, što znači da izvršni organ može imati dva položaja, uključen i isključen. Šmitov triger upoređuje ulaze i na osnovu toga zadaje reguliran izlaz. Triger se sastoji od operacionog pojačala i dva otpornika.



Slika 31: Shema Šmitovog trigeru

Operaciono pojačalo Šmitovog trigeru se napaja sa  $\pm 12V$ , te dakle na osnovu (1.1) i (1.2), napon  $U_Z$  će biti  $\pm 11V$ .

Pošto je u pojačalu vraćena pozitivna povratna sprega, naponi  $U_{(+)}$  i  $U_{(-)}$  nisu jednaki, ali zbog činjenice da je na ulazu operacionog pojačala impedansa "beskonačna", struja u operaciono pojačalo je nula. Na osnovu toga može se zaključiti da su struje koje prolaze kroz otpornike  $R_1$  i  $R_2$  jednake.

$$U_{(+)} \neq U_{(-)} \quad (1.3)$$

$$I_1 = I_2 \quad (1.4)$$

$$\frac{U_{ref} - U_{(+)}}{R_1} = \frac{U_{(+)} - U_{izl}}{R_2} \quad (1.5)$$

$$U_{ref} \cdot R_2 - U_{(+)} \cdot R_2 = U_{(+)} \cdot R_1 - U_{izl} \cdot R_1 \quad (1.6)$$

$$U_{(+)} \cdot (R_2 + R_1) = U_{ref} \cdot R_2 + U_{izl} \cdot R_1 \quad (1.7)$$

$$U_{(+)} = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{izl} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1.8)$$

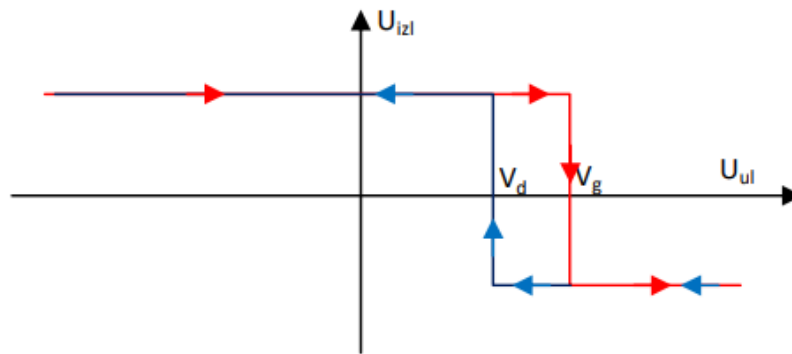
Kada je  $U_{ul}$  doveden na "-" ulaz operacionog pojačala, tada vrijedi  $U_{ul} < U_{ref}$ , tj.  $\varepsilon > 0$ , i tada je na izlazu  $+U_Z$ . U tom slučaju napon na "+" ulazu operacionog pojačala se definiše kao napon gornjeg praga i on se dobije tako što se u izraz (1.8) na mjesto  $U_{izl}$  uvrštava  $+U_Z$ .

$$V_g = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_Z \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1.9)$$

Kada se ulazni napon povećava do vrijednosti veće od  $V_g$ ,  $\varepsilon$  mijenja znak i odlazi u "-" zasićenje,  $U_{ul} > U_{ref}$ , tj.  $\varepsilon < 0$ . Tada se na "+" ulazu operacionog pojačala javlja napon donjeg praga  $V_d$ , i on se dobija analogno kao i  $V_d$ , s tim da se na mjesto  $U_{izl}$  uvrštava  $-U_Z$ .

$$V_d = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_Z \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1.10)$$

Svakim sljedećim povećavanjem ulaznog napona, napon će ostati na  $-U_Z$ , jer  $\varepsilon$  neće mijenjati svoje stanje, koje je  $< 0$ . S druge strane, ukoliko se ulazni napon smanjuje  $\varepsilon$  će promijeniti znak kada ulazni napon postane manji od  $V_d$ , te tada izlaz ponovo postaje  $+U_Z$ .



Slika 32: Prenosna karakteristika Šmitovog trigeru

Histereza se definira kao razlika gornjeg i donjeg napona.

$$H = V_g - V_d = \frac{2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_Z \quad (1.10)$$

### 5.2.1 Zadatak 1:

Ako je  $V_{ref} = 0.5V$ ,  $V_g = 0.6V$  i  $H = 0.2$ . Odrediti vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$ .

**Rješenje:**

Vrijednosti otpora mogu se dobiti iz relacije za histerezu :

$$H = V_g - V_d = \frac{2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_Z \quad (1.11)$$

$$H \cdot (R_1 + R_2) = 2 \cdot R_1 \cdot U_Z \quad (1.12)$$

$$0.2 \cdot R_1 + 0.2 \cdot R_2 = 22 \cdot R_1 \quad (1.13)$$

$$0.2 \cdot R_2 = 21.8 \cdot R_1 \quad (1.14)$$

$$R_2 = 109 \cdot R_1 \quad (1.15)$$

Sada imamo linearnu ovisnost ova dva otpora, te vrijednost otpora  $R_1$  usvajamo  $R_1 = 1\text{k}\Omega$ , pa je  $R_2 = 109\text{k}\Omega$ , te biramo približnu vrijednost od  $R_2 = 110\text{k}\Omega$ .

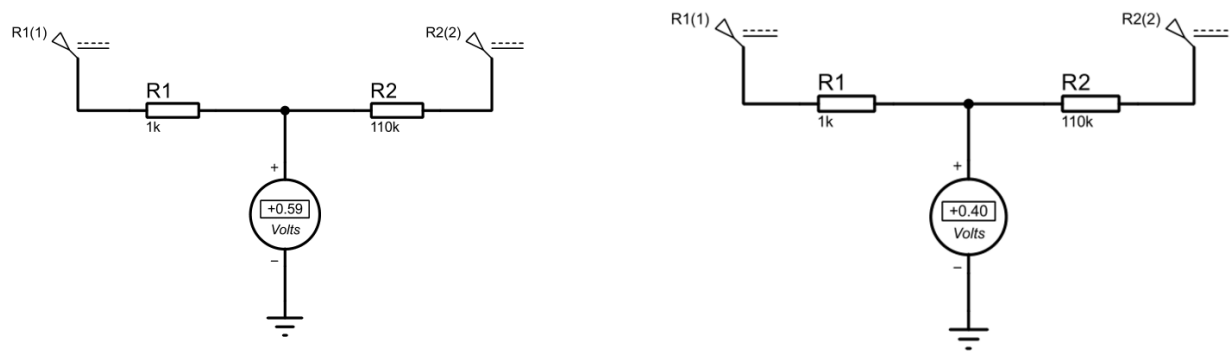
Na osnovu izraza:  $H = V_g - V_d \Rightarrow V_d = V_g - H = 0.6\text{V} - 0.2\text{V} = 0.4\text{V}$

### 5.2.2 Zadatak 2:

Provjeriti dobijene vrijednosti u *Proteus-u*.

**Rješenje:**

U *Proteus-u* spajamo sheme na sljedeći način:



Slika 33: Sheme određivanja vrijednosti napona  $V_g$  i  $V_d$

Na oba spoja vrijednosti otpora  $R_1 = 1\text{k}\Omega$  i  $R_2 = 110\text{k}\Omega$  su jednake. Vrijednost napona R1(1) je ista u oba slučaja i iznosi  $R1(1) = 0.5\text{V}$ , dok je vrijednost napona R2(2) na lijevom spoju  $R2(2) = +11\text{V}$ , što rezultira naponom gornjeg praga  $V_g$ , a na desnom  $R2(2) = -11\text{V}$ , što rezultira naponom donjeg praga  $V_d$ . Uočavamo da je vrijednost određena eksperimentalnim putem za slučaj donjeg praga  $V_d = 0.4\text{V}$  identična teoretski izračunatoj, dok je za  $V_g$  prisutna mala razlika, koja je rezultat grešaka koje nastaju iz svojstava samih komponenti korištenih u simulaciji i okruženja *Proteus*, te odabranih otpora. Iz toga zaključujemo da su vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$  korektno odabrane.

### 5.2.3 Zadatak 3:

Na bazi karakteristike  $U(T)$  snimljene kod mjernog pretvarača odrediti kojoj vrijednosti temperature odgovara napon gornjeg praga.

**Rješenje:**

Vrijednost temperature koja na bazi karakteristike  $U(T)$  snimljene kod mjernog pretvarača odgovara naponu gornjeg praga  $V_g$  je  $t = 35^\circ\text{C}$ .

#### 5.2.4 Zadatak 4:

Odrediti konačne vrijednosti  $R_1$  i  $R_2$  tako da se temperatura može regulisati od  $26^\circ\text{C}$  do  $34^\circ\text{C}$ .

**Rješenje:**

Temperaturni opseg koji je dat u zadatku pretvara se u naponski opseg. Vrijednost napona na  $26^\circ\text{C}$  je  $0.15\text{V}$  što je vrijednost napona donjeg praga, a na temperaturi  $34^\circ\text{C}$  je  $0.84\text{V}$  i to predstavlja napon gornjeg praga. U prvom koraku se izračunava histereza:

$$H = V_g - V_d = 0.84\text{V} - 0.15\text{V} = 0.69\text{V} \quad (1.16)$$

Zatim vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$ :

$$H = \frac{2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_z \quad (1.17)$$

$$H \cdot (R_1 + R_2) = 2 \cdot R_1 \cdot U_z \quad (1.18)$$

$$0.69 \cdot R_1 + 0.69 \cdot R_2 = 22 \cdot R_1 \quad (1.19)$$

$$0.69 \cdot R_2 = 21.31 \cdot R_1 \quad (1.20)$$

$$R_2 = 30.88 \cdot R_1 \quad (1.21)$$

Usvaja se vrijednost otpora  $R_1 = 1\text{k}\Omega$ , pa je  $R_2 = 30.88\Omega$ , te se uzima približna vrijednost  $R_2 = 31\text{k}\Omega$ . Sada se računa vrijednost napona  $U_{ref}$ :

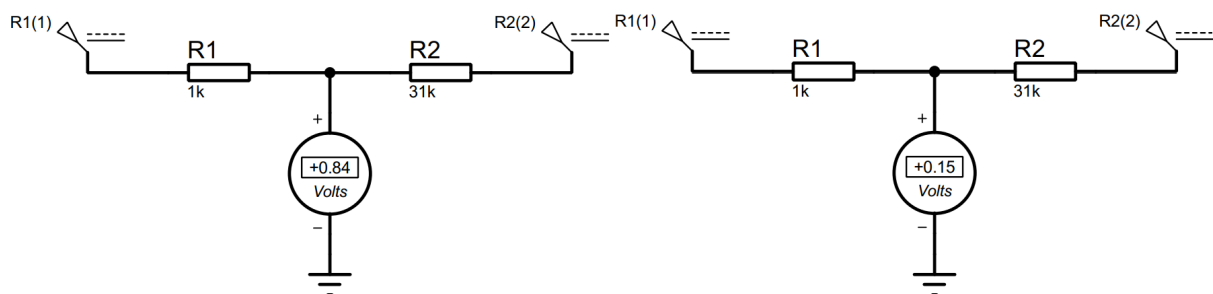
$$V_g = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_z \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1.22)$$

$$0.84 = U_{ref} \cdot \frac{31}{1 + 31} + 11 \cdot \frac{1}{1 + 31} \quad (1.23)$$

$$0.968 \cdot U_{ref} = 0.84\text{V} - 0.34\text{V} \quad (1.24)$$

$$U_{ref} = 0.516\text{V} \approx 0.51\text{V} \quad (1.25)$$

Sada je potrebno pomoću simulacije provjeriti da li su vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$  korektno izračunate. Sheme spajamo na sljedeći način:

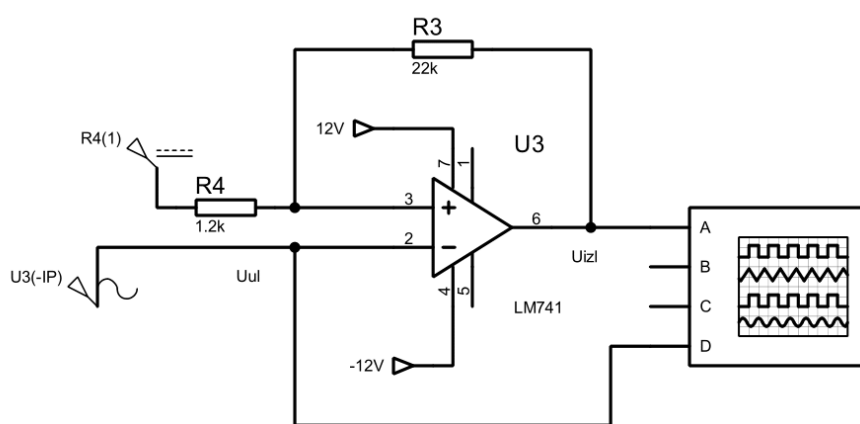


Slika 34: Shema realizacije regulatora kada je na ulazu sinusni signal

Na oba spoja vrijednosti otpora  $R_1 = 1\text{k}\Omega$  i  $R_2 = 110\text{k}\Omega$  su jednake. Vrijednost napona  $R1(1)$  je ista u oba slučaja i iznosi  $R1(1) = 0.51\text{V}$ , dok je vrijednost napona  $R2(2)$  na lijevom spoju  $R2(2) = +11\text{V}$ , što rezultira naponom gornjeg praga  $V_g$ , a na desnom  $R2(2) = -11\text{V}$ , što rezultira naponom donjeg praga  $V_d$ . Uočavamo da je vrijednost određena eksperimentalnim putem za oba slučaja približno jednaka teoretski utvrđenim vrijednostima. Razlike koju su nastale su rezultat grešaka koje nastaju iz svojstava samih komponenti korištenih u simulaciji i okruženja *Proteus*, te odabranih otpora. Iz toga zaključujemo da su vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$  korektno odabrane.

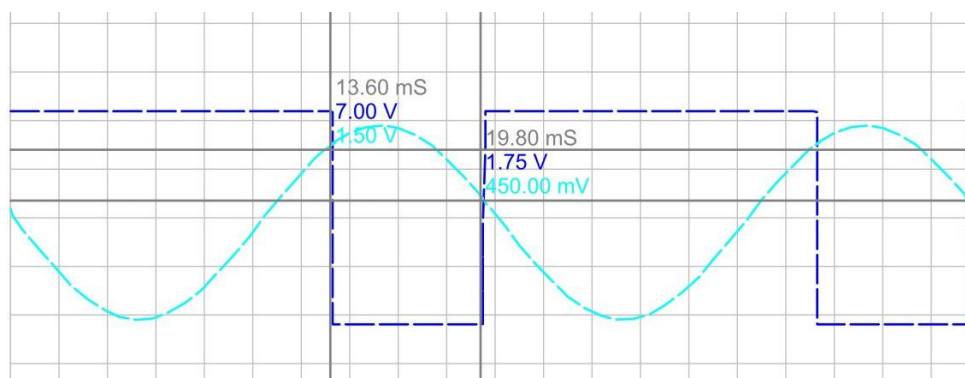
### 5.3 Realizacija regulatora

Regulator je realizovan pomoću Šmitovog trigeru na način prikazan na slici 6.



Slika 35: Shema realizacije regulatora kada je na ulazu sinusni signal

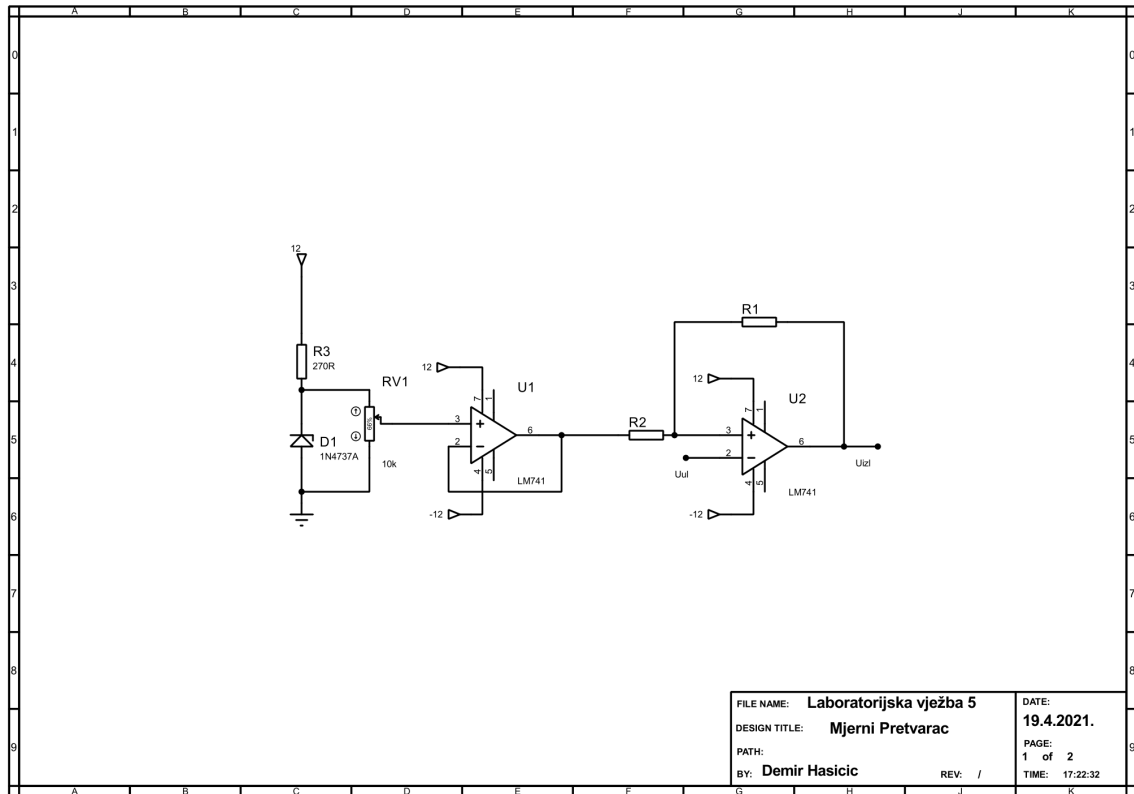
Dakle na Slici 6. vidi se realizacija regulatora pomoću Šmitovog trigeru tako što se na ulaz operacionog pojačala dovodi sinusni signal vrijednosti amplitude 2V i frekvencije 50Hz, te se pomoću osciloskopa posmatra presjek ulaza i izlaza, gdje je izlaz signal u obliku četvrtke.



Slika 36: Signal ulaza i izlaza na osciloskopu

Signal koji je dobijen na osciloskopu prikazan je na Slici 7. Presječne tačke označene na slici

predstavljaju vrijednosti napona pragova. Vrijednost napona gornjeg praga na osciloskopu iznosi  $V_g = 1.5V$ , dok vrijednost napona donjeg praga iznosi  $V_d = 0.45V$ . Uočavamo da su vrijednosti približne izračunatim, sa određenim odstupanja koja su prisutna zbog nepreciznosti upravljanja kursorom. Na slici 8. prikazana je konačna shema regulatora u okruženju *Proteus*.



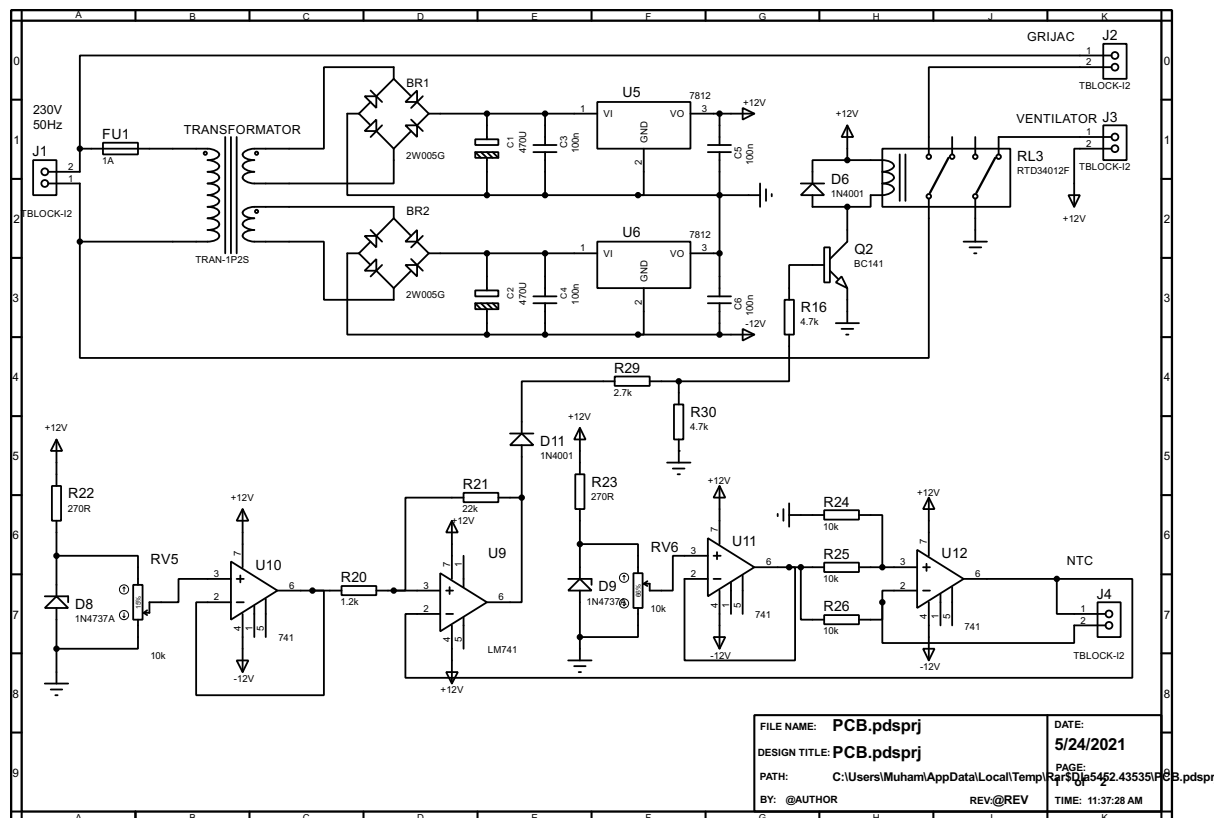
Slika 37: Shema regulatora



## 6 Shema i dizajn sklopa u *Proteus-u*

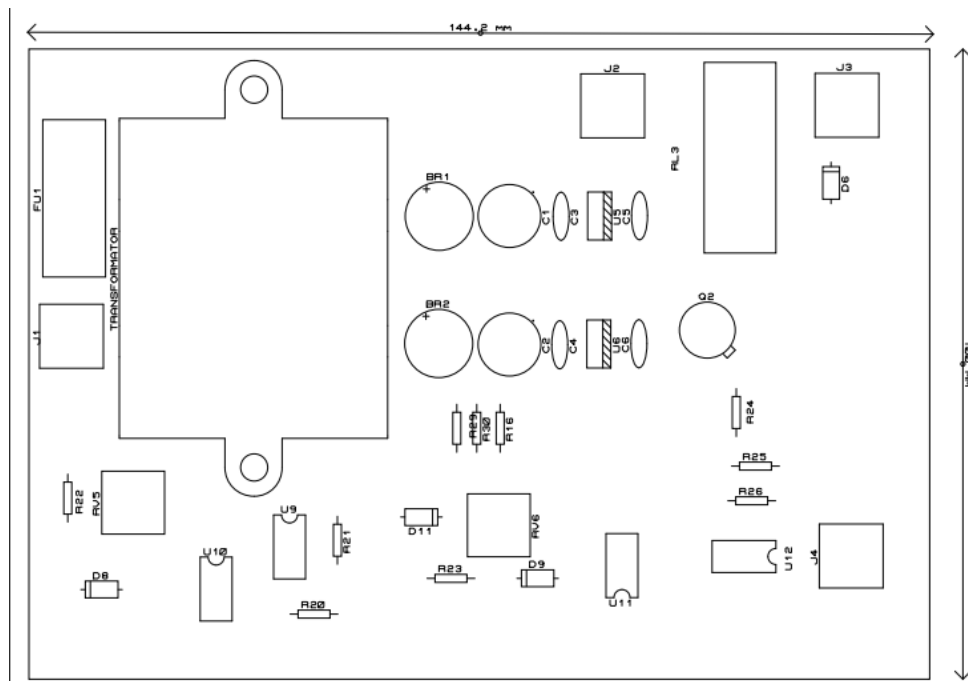
U ovom dijelu laboratorijskih vježbi izvršeno je objedinjavanje svih cjelina koje su prethodno urađene, kao jedna konačna shema, za koju je izgrađen i PCB layout, gdje su sve komponente povezane na virtuelnu ploču i povezane na odgovarajući način.

### 6.1 Shema sklopa

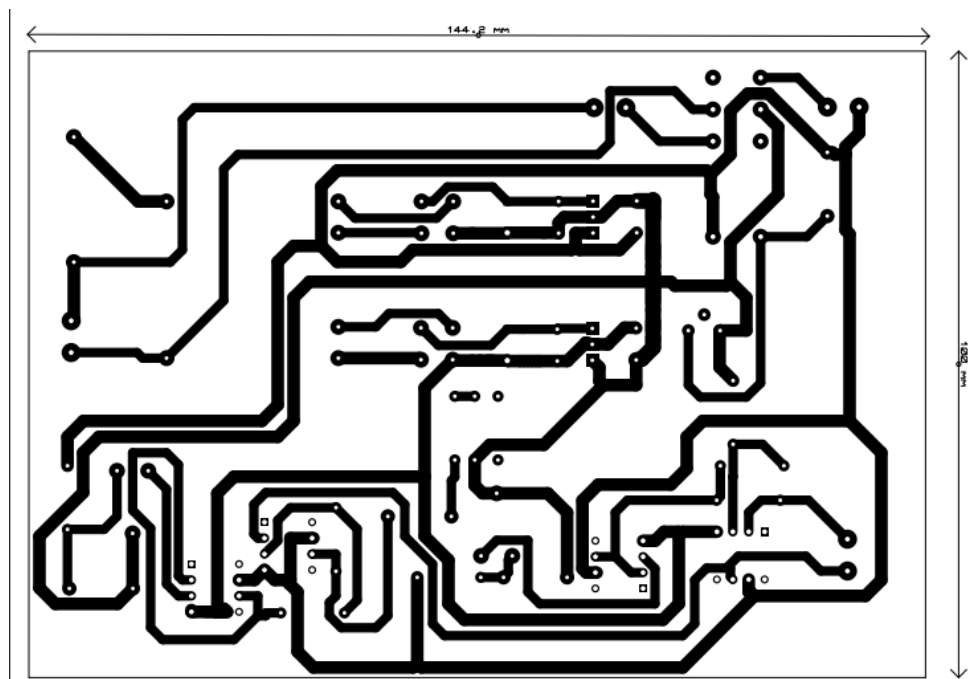


Slika 38: Shema sklopa za automatsku regulaciju temperature u *Proteus-u*

## 6.2 2D Prikaz komponenti

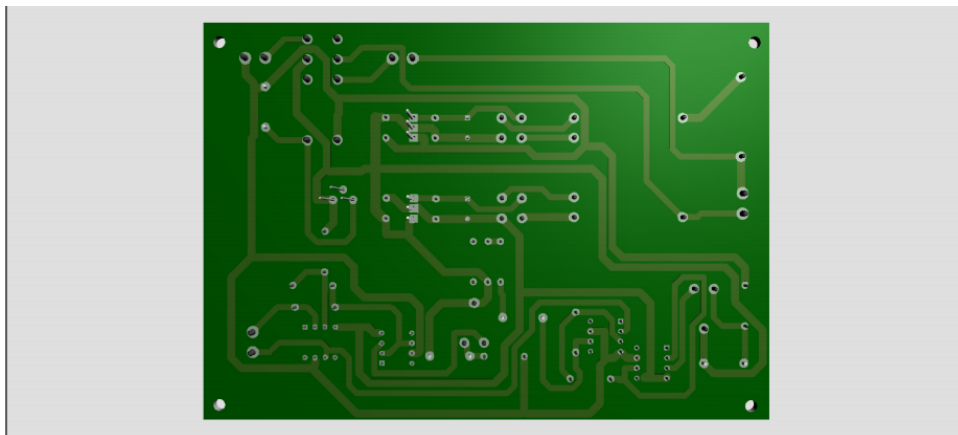


Slika 39: Top Silk

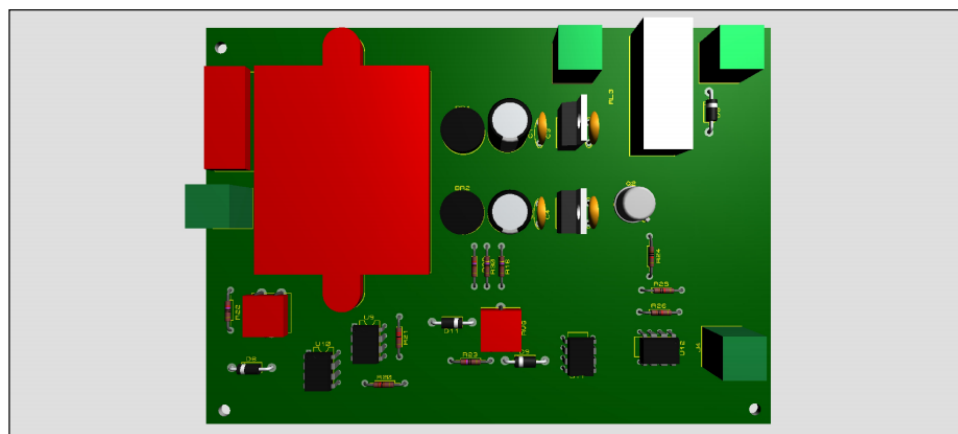


Slika 40: Bottom Copper

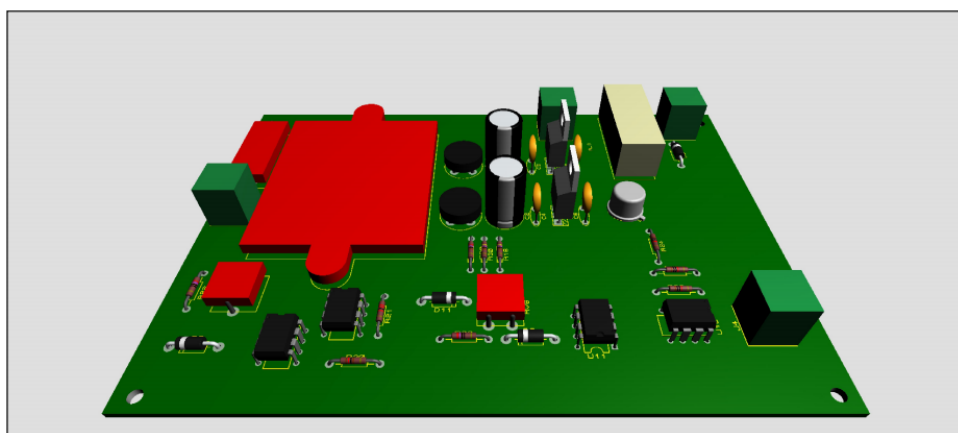
### 6.3 3D Visualizer



Slika 41: *3D View Front*



Slika 42: *3D View Back*



Slika 43: *3D View*