



UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

Regulator temperature

PREDMET:

- PRAKTIKUM ELEKTROTEHNIKE I ELEKTRONIKE -

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

Student: **Mutilović Anela**

Broj indeksa: **19156**

Sarajevo, juni 2023.g.

Sadržaj

1	Uvod	4
2	Realizacija sistema za napajanje	5
2.1	Analiza signala u karakterističnim tačkama	5
2.1.1	Oblik ulaznog napona	5
2.1.2	Oblik napona na sekundaru transformatora	6
2.1.3	Oblik napona na izlazu Grecovog spoja	8
2.1.4	Oblik napona na kondenzatoru	9
2.1.5	Oblik napona na izlazu regulatora	11
3	Izvršni organ	14
3.1	Bipolarni tranzistor	14
3.2	Relej	17
3.3	Relej kao prekidač	18
4	Mjerni pretvarač	20
4.1	Mjerni most	20
4.2	Izlazni napon u zavisnosti od otpora NTC-a	21
4.3	Izvor referentnog napona	22
5	Regulacija temperature	24
5.1	Mjerenje izlaznog napona	25
6	Komparator	28
6.1	Šmitov triger	29
6.2	Proračun parametara Šmitovog trigera	31
7	Konačna shema	33
7.1	Spisak materijala	34
8	PCB (Printed Circuit Board)	35
8.1	PCB predlošci	35
8.2	PCB shema	36
8.3	PCB komponente	37
8.4	PCB vodovi	38
9	3D model sklopa za regulacije temperature	39
10	Sklop za regulaciju temperature	40
10.1	Komponente	40
10.2	Vodovi	41

Popis slika

1	Shema za mjerjenje vrijednosti ulaznog napona	5
2	Prikaz ulaznog signala na osciloskopu	6
3	Shema za mjerjenje napona na sekundaru transformatora	7
4	Prikaz signala sa sekundara transformatora na osciloskopu	7
5	Shema Grecovog spoja	8
6	Shema za mjerjenje izlaznog napona nakon spajanja Grecovog spoja	8
7	Prikaz signala sa Grecovog spoja na osciloskopu	9
8	Shema za mjerjenje napona sa elektrolitskog kondenzatora	9
9	Prikaz signala tripla	10
10	Linearni regulator 7812	11
11	Shematski prikaz spojenog linearног regulatora sa keramičkim kondenzatorima	11
12	Signal napona na izlazu regulatora	12
13	Shematski prikaz spoja sa bipolarnim napajanjem	13
14	Pozicija izvršnog organa	14
15	Bipolarni tranzistor sa tri izvoda	14
16	Shema za oblast rada tranzistora pri 0 V na ulazu	15
17	Shema za oblast rada tranzistora pri 5 V na ulazu	16
18	Relej	17
19	Shematski prikaz sklopa sa relejom kada je sijalica uključena	18
20	Shematski prikaz sklopa sa relejom kada je ventilator uključen	19
21	Shema izvršnog organa	19
22	Shema mjernog mosta	20
23	Shema izvora stabilnog referentnog napona	22
24	Shema mjernog pretvarača	23
25	Grafički prikaz ovisnosti otpora od temperature NTC	24
26	Grafički prikaz ovisnosti očekivanog izlaznog napona i temperature	26
27	Grafički prikaz ovisnosti izlaznog napona i temperature uz idealne vrijednosti	26
28	Grafički prikaz ovisnosti mјerenog i izračunatog izlaznog napona od temeperature	27
29	Operaciono pojačalo u otvorenom krugu kao komparator	28
30	Shematski prikaz Šmitovog tragera	29
31	Histeresa	30
32	Shematski prikaz Šmitovog tragera i dovedenog referentnog napona	32
33	Konačna shema	33
34	Spisak materijala	34
35	Izgled transformatora u PCB okruženju	35
36	Izgled osigurača u PCB okruženju	35
37	Izgled potenciometra u PCB okruženju	36
38	Izgled releja u PCB okruženju	36
39	Konačni prikaz PCB sheme regulatora temperature	36
40	Prikaz komponenti sklopa za regulaciju temperature	37
41	Prikaz vodova i rupica sklopa za regulaciju temperature	38
42	3D prikaz pločice sa gornje strane	39
43	3D prikaz pločice sa donje strane	39
44	3D prikaz pločice pod uglom	40
45	Prikaz komponenti	40
46	Prikaz komponenti pod uglom	41

47 Prikaz vodova 41

Popis tabela

1 Tabelarni prikaz izlaznog napona i otpora NTC termistora u zavisnosti od temperature 25

1 Uvod

Cilj projekta je regulacija temperature korištenjem analognih komponenti. Napajanjem na gradsku mrežu i korištenjem analognih komponenti realizuje se napon $\pm 12V$, što je potrebno za rad ostalih komponenti sklopa. Mjerenje temperature ostvarujemo pomoću mjernog pretvarača koji prevodi izmjerenu vrijednost u napon kojim se dalje upravlja. Regulacija temperature se vrši u opsegu od $27^{\circ}C$ do $33^{\circ}C$. Potrebno je da se prilikom prekoračenja najviše dozvoljene temperature pomoću releja aktivira ventilator. Naravno, ukoliko se temperatura smanji do tog nivoa da izlazi iz opsega regulacije, dolazi do aktiviranje sijalice kao grijajućeg.

Sklop za regulaciju temperature je sačinjen od nekoliko cjelina: sklopa za napajanje, izvršnog organa, mjernog pretvarača, komparatora (Šmitovog tragera) i objekta upravljanja. U nastavku dokumenta će se, dio po dio, prikazati i opisati način rada svakog od dijelova sistema.

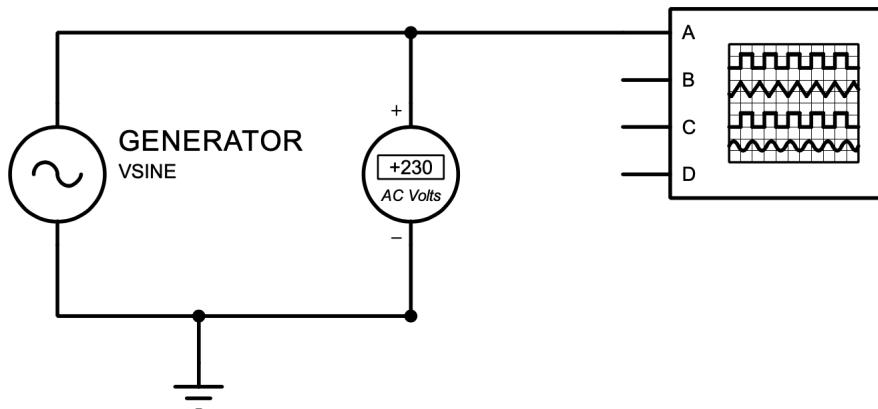
2 Realizacija sistema za napajanje

U ovom poglavlju prikazano je kako od vrijednosti napona gradske mreže dobiti istosmjerne napone od ± 12 V. Opisan je postupak dodavanja pojedinačnih komponenti i njihov uticaj na sistem.

2.1 Analiza signala u karakterističnim tačkama

2.1.1 Oblak ulaznog napona

Generatorom sinusnog signala amplitude 230 V efektivno i frekvencije 50Hz se vrši napajanje sistema za regulaciju temperature. Vrijednosti koje su izabrane odgovaraju vrijednostima gradske mreže. Masa koja se nalazi na shemi je potrebna zbog mjerjenja, s tim što ona nije povezana sa ostalim masama sistema.



Slika 1: Shema za mjerjenje vrijednosti ulaznog napona

Pomoću voltmetra mjerimo efektivnu vrijednost napona izvora koja iznosi 230V. Na osciloskopu koji je sa shemom povezan preko kanala A prikazan je signal snimljen na generatoru. Generator signala prikazuje maksimalnu vrijednost napona, te je sa naponom koji pokazuje voltmetar povezan relacijom:

$$U_{max} = U_{eff} \cdot \sqrt{2} \quad (1)$$

Korištenjem navedene relacije i jednostavnim matematičkim proračunom dolazi se do maksimalne vrijednosti napona:

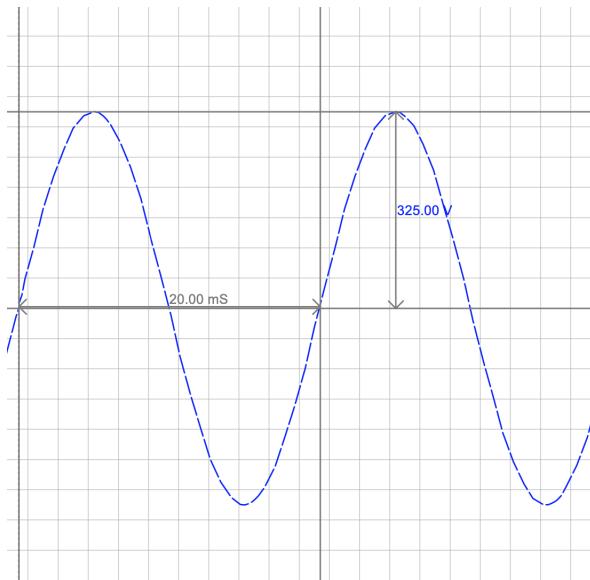
$$U_{max} = 230 \cdot \sqrt{2} = 325.26912V \quad (2)$$

Vrijednost napona očitanog sa osciloskopa i prikazanog na slici 2. iznosi 325V što se podudara sa proračunom. Greška koja se pojavljuje se može zanemariti. Sa osciloskopa je očitana periodičnost sinusnog signala i iznosi 20 ms. Korištenjem relacije (3) može se dobiti informacija o frekvenciji datog signala.

$$f = \frac{1}{T} \quad (3)$$

Nakon uvrštavanja očitane vrijednosti sa osciloskopa frekvencija iznosi:

$$f = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}} = 50Hz \quad (4)$$



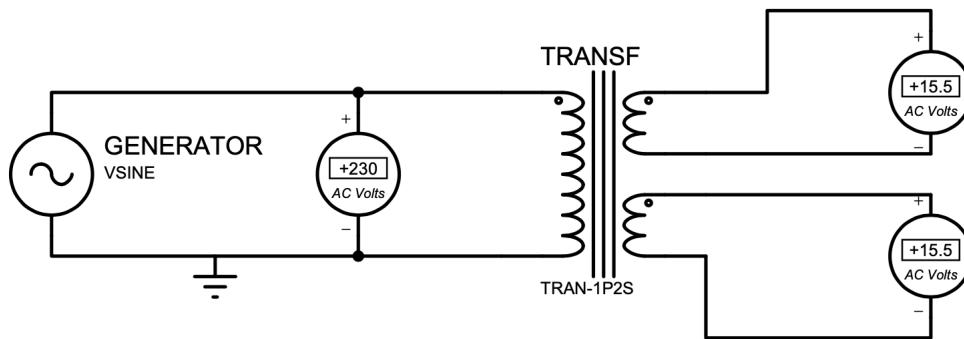
Slika 2: Prikaz ulaznog signala na osciloskopu

2.1.2 Oblik napona na sekundaru transformatora

Transformator sa jednim primarom i dva sekundara koristimo za galvansko razdvajanje dijela za napajanje od ostatka sistema. Galvansko razdvajanje transformatora odnosi se na stvaranje električne izolacije između ulaznog i izlaznog kruga transformatora, čime se osigurava da nema izravnog električnog kontakta između njih.

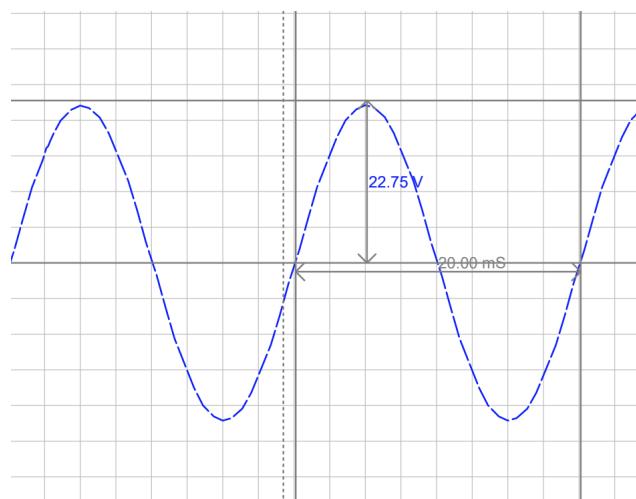
Kod transformatora, primarni i sekundarni namotaji su međusobno povezani putem feromagnetskog jezgra, što omogućuje prijenos energije putem elektromagnetne indukcije. Važno je napomenuti da galvansko razdvajanje transformatora ne osigurava samo sigurnost od električnih udara, već također pomaže u smanjenju elektromagnetskih smetnji i prekidačkih šumova koji se mogu prenositi iz jednog kruga u drugi.

Napon na primaru je iste frekvencije kao i naponi na sekundarima, ali različite amplitude. Transformator pretvara ulazni signal povećavanjem ili smanjivanjem amplitude. Odnos napona na primaru i sekundaru je proporcionalan odnosu namotaja na primaru i sekundaru. Efektivna vrijednost napona na sekundaru iznosi 15.5 V, dok na primaru iznosi 230 V.



Slika 3: Shema za mjerjenje napona na sekundaru transformatora

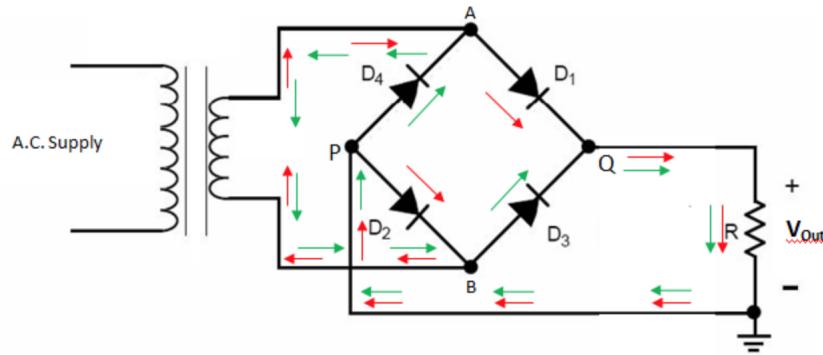
Napon na sekundaru transformatora je u fazi sa ulaznim naponom, ali je manje amplitude, što je i glavna uloga ovog transformatora. Period je ostao isti i iznosi 20 ms, dok je sada vrijednost napona 22.75 V kao što je prikazano na slici 4. Frekvencija signala na sekundaru prema relaciji (4) iznosi 50 Hz, što pokazuje da je frekvencija na primaru i sekundaru iste vrijednosti.



Slika 4: Prikaz signala sa sekundara transformatora na osciloskopu

2.1.3 Oblik napona na izlazu Grecovog spoja

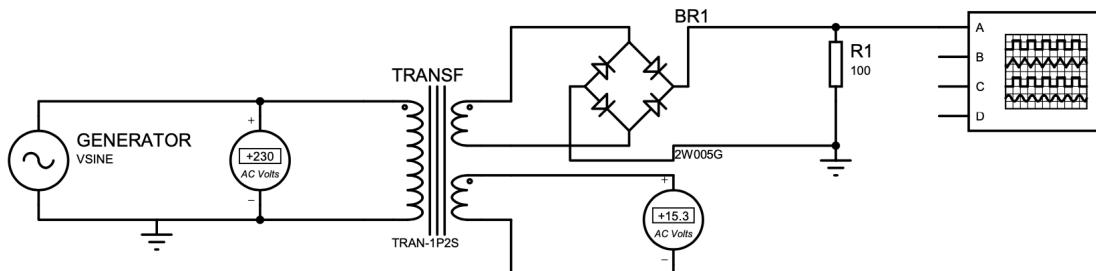
Grecov spoj je sastavljen od 4 diode i pomoću takvog spoja je omogućeno punovalno ispravljanje naizmjeničnog signala. Sistem rada je takav da bilo da je na ulazu pozitivna ili negativna poluperioda dvije diode spoja će da budu propusno polarizovane dok su preostale dvije zakočene. Pad napona na diodama je 0.7V.



Slika 5: Shema Grecovog spoja

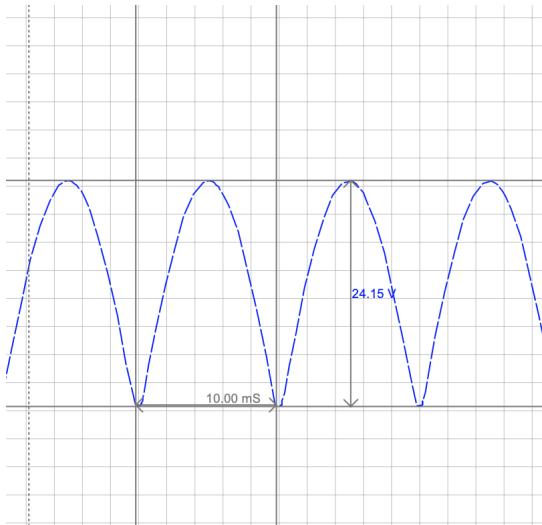
Tokom trajanja pozitivne poluperiode diode D1 i D2 su propusno polarisane, dok su preostale dvije diode zakočene. Pozitivna poluperioda se može prikazati pomoću crvenih strelica na slici 5. Diode poluvalno ispravljaju signal. Tokom trajanja negativne poluperiode diode D3 i D4 vode, dok su preostale dvije diode nepropusno polarisane.

Negativna poluperioda se može prikazati pomoću zelenih strelica na slici 5. Signal sa ulaza nakon Grecovog spoja je punovalno ispravljen. Takav signal je dvostruko veće frekvencije i manjeg perioda.



Slika 6: Shema za mjerjenje izlaznog napona nakon spajanja Grecovog spoja

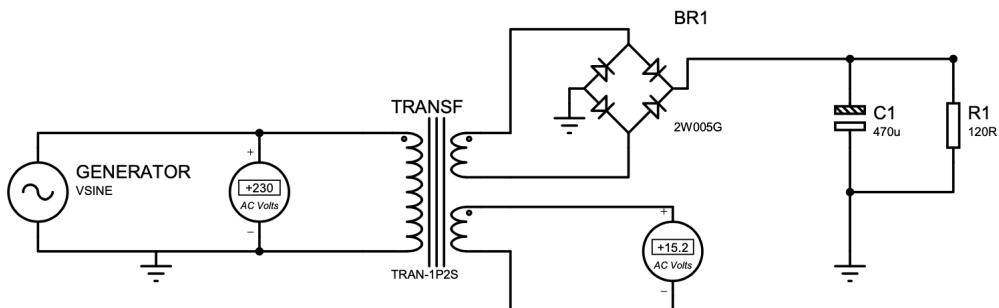
Izlazni napon mjerimo pomoću osciloskopa spojenog na kanal A. Potrebno je spojiti otpornik od 100Ω zbog očitanja vrijednosti napona na instrumentu. Na slici 7 je moguće uočiti vrijednost napona od 24.15V što odgovara vrijednostima koje se dobiju proračunom. Vrijednost napona sa ulaza je smanjena za pad napona na diodama. Frekvencija iznosi 100Hz, dok je period 10ms. Očekivano je da je frekvencija dva puta veća nego na ulazu zbog punovalnog ispravljanja, to jeste funkcija $\sin(t)$ se pretvara u $|\sin(t)|$.



Slika 7: Prikaz signala sa Grecovog spoja na osciloskopu

2.1.4 Oblak napona na kondenzatoru

Nakon Grecovog spoja se spaja elektrolitski kondenzator kapaciteta $470\mu F$. Kondenzatoru je potrebno neko vrijeme da se napuni nakon čega on poprima konstantnu vrijednost. Shema tog spoja je prikazana na slici 8. Napon na osciloskopu će ostati konstantan sve dok se ne spoji neki teret.



Slika 8: Shema za mjerjenje napona sa elektrolitskog kondenzatora

Vrijednost napona na kondenzatoru se računa preko relacije:

$$V(t) = V_{max} \cdot e^{\frac{-t}{RC}} \quad (5)$$

Gdje V_{max} predstavlja vrijednost izračunatu kao:

$$V_{max} = U_{smax} - 2 \cdot U_D \quad (6)$$

Vrijeme koje je potrebno da se isprazni kondenzator jednako je periodu oscilacija signala na Grecovom spoju. Tačnije signal na Grecovom spoju je duplo manjeg perioda od ulaznog signala zbog punovalnog ispravljanja što je njegova glavna funkcija. Dakle, vrijeme pražnjenja kondenzatora je:

$$t \approx \frac{T}{2} \quad (7)$$

Dok je minimalna vrijednost napona na kondenzatoru dobivena relacijom:

$$V_{min} = V_{max} \cdot e^{\frac{-T}{2RC}} \quad (8)$$

Napon ripla predstavlja razliku maksimalne i minimalne vrijednosti izmjereno napona na kondenzatoru, to jeste:

$$V_r = V_{max} - V_{min} \quad (9)$$

$$V_r = V_{max} \cdot (1 - e^{\frac{-T}{2RC}}) \quad (10)$$

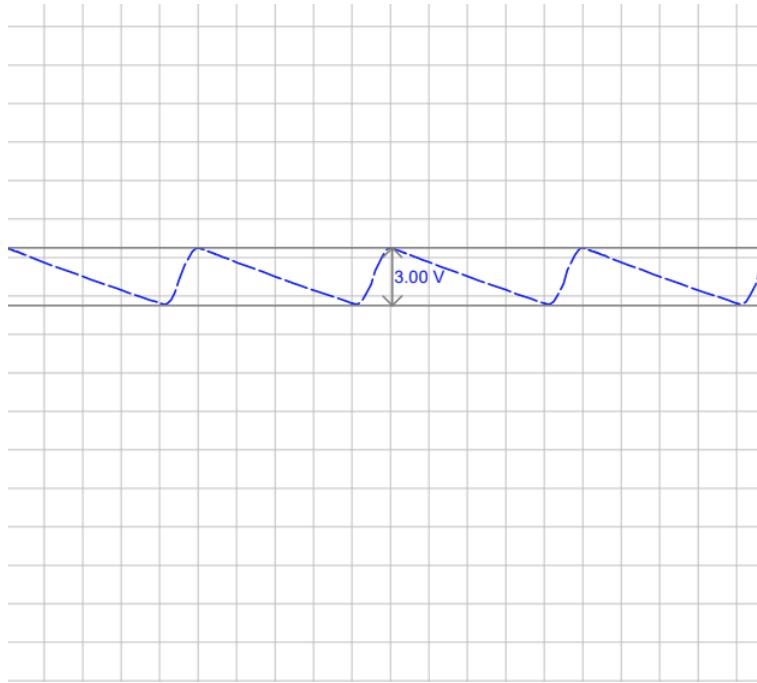
Ukoliko u obzir uzmemos Taylor-ov razvoj:

$$e^{\frac{-T}{2RC}} \approx 1 - \frac{T}{2RC} \quad (11)$$

Konačna formula za računanje napona ripla je:

$$V_r = \frac{V_{max} \cdot T}{2RC} \quad (12)$$

U RC krugu gdje su kondenzator i otpornik paralelno spojeni, javlja se fenomen napona ripla. Kondenzator koji je, kada je napunjen, čuvao konstantnu vrijednost napona, sada se počinje prazniti preko dodatnog opterećenja. Razlika između maksimalne vrijednosti napona do koje se kondenzator puni i minimalne vrijednosti napona do koje se kondenzator prazni, naziva se naponom ripla i prikazana je na slici ispod.

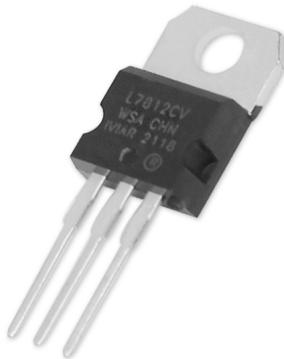


Slika 9: Prikaz signala ripla

Shema spoja koju je potrebno spojiti da bi se izmjerio napon ripla je prikazana na slici 8. Za vrijednost otpora 120Ω , povezivanjem ulaza osciloskopa na kraj kondenzatora, dobije se signal prikazan na slici 9. Izmjerena vrijednost napona ripla u laboratoriji je 3.6V, prisutno je odstupanje od vrijednosti sa slike 9, ali se može zanemariti.

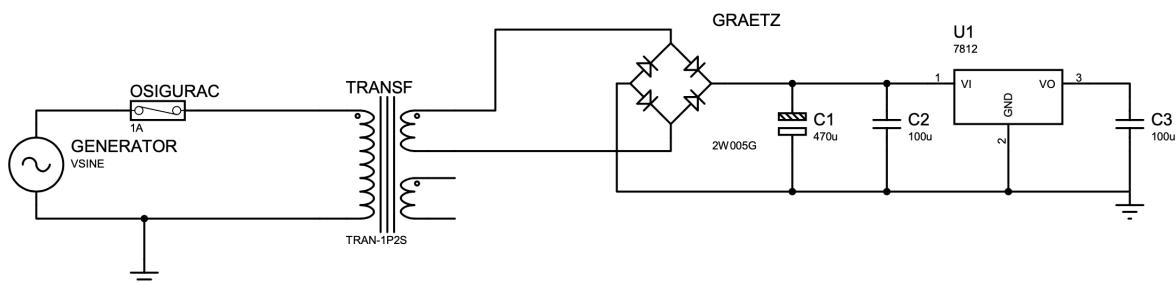
2.1.5 Oblik napona na izlazu regulatora

Linearni regulatori su elementi koju na osnovu ulaznog, slabo promjenjivog napona, obezbjeđuju stabilan izlazni napon. Korišteni regulator je prikazan na slici ispod.



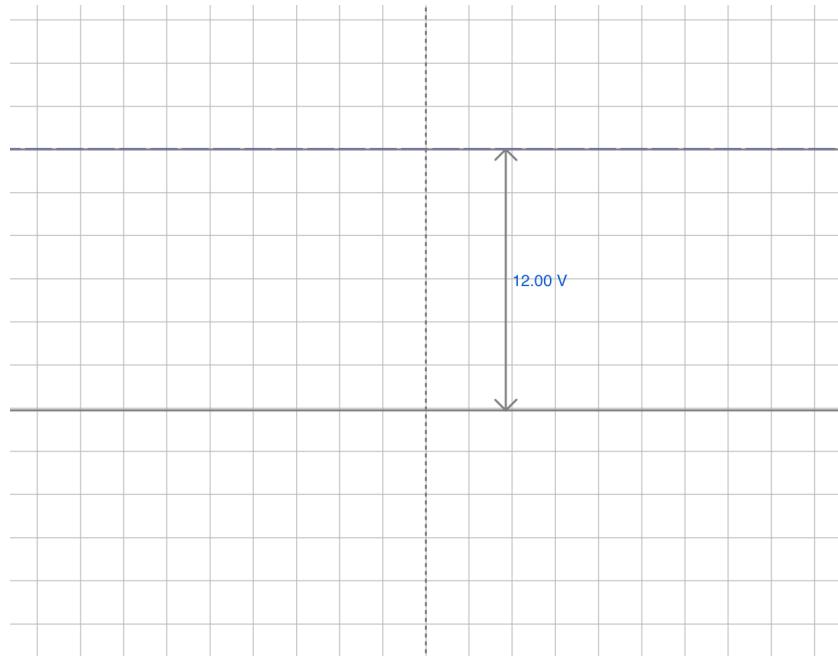
Slika 10: Linearni regulator 7812

Glavna uloga linearног regulatora je da na uštrb toplove smanji napon. Posljednje dvije cifre ovog regulatora prikazuju nominalni izlazni napon to jeste 12V. Kako bi se omogućilo ispravno funkcionisanje regulatora, prihvatljiv ulazni napon treba biti u granicama između 18 - 19 V. Linearни regulator ima tri izvoda, ulaz - masa - izlaz gledajući sa lijeve strane. Ako se na regulator dovede nestabilan ulazni napon, izlazni će također biti nestabilan. U cilju prevencije navedenog, na ulazu i izlazu regulatora se dodaju dva keramička kondenzatora. Na ovaj način će se obezbijediti ispravan rad regulatora. Izmjereni izlazni napon regulatora u laboratoriji iznosi 12.13V što je prihvatljivo zbog veoma malog odstupanja od idealnih 12V na izlazu.



Slika 11: Shematski prikaz spojenog linearног regulatora sa keramičkim kondenzatorima

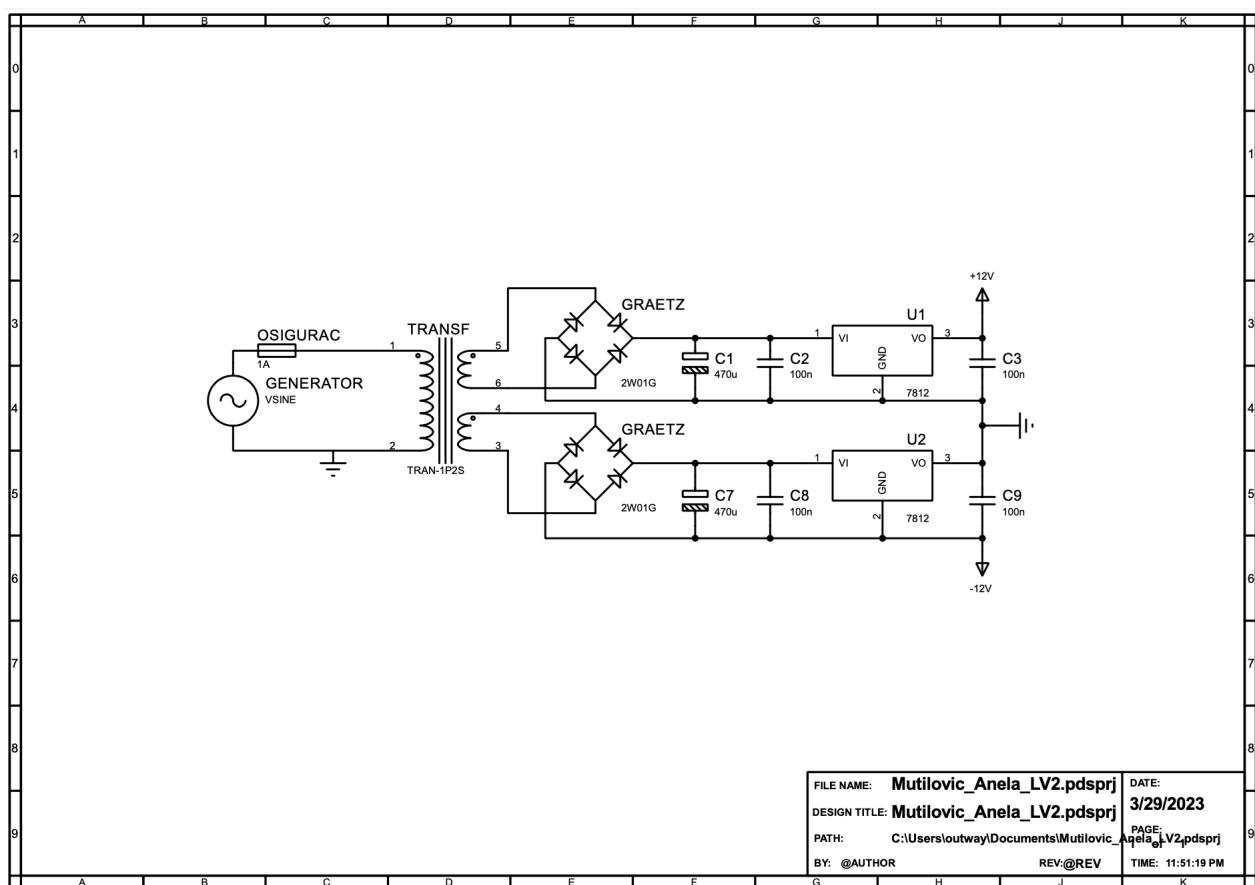
Signal na ulazu linearnog regulatora ima veću vrijednost napona, a na izlazu istosmjerni napon konstantne vrijednosti od 12 V, kao na sljedećoj slici:



Slika 12: Signal napona na izlazu regulatora

Cijeli postupak je proveden za jedan sekundar transformatora, dakle isto treba provesti i za drugi sekundar. Također na izlazu drugog sekundara treba biti konstantnih 12 V. Napon se posmatra od neke referentne tačke, u našem slučaju uzemljenje uzimamo kao referentnu tačku. Spajanjem uzemljenja između dva sekundara dobit će se napon na prvom sekundaru od +12 V i na drugom od -12 V.

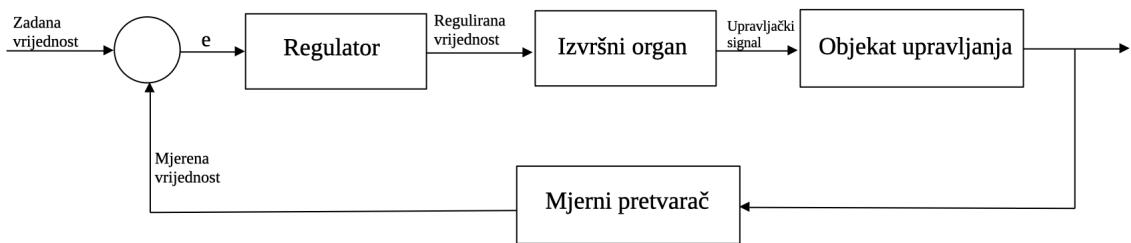
Na slici 13 je moguće uočiti i osigurač čija se nazivna struja bira u skladu sa strujom primara, s tim što se uzima u obzir da navedena struja bude malo veća od struje primara, da ne bi došlo do njegovog pregaranja, glavna uloga mu je zaštita cijelog sklopa. Sa takvim bipolarnim napajanjem je finaliziran sistem za napajanje u sklopu za regulaciju temperature.



Slika 13: Shematski prikaz spoja sa bipolarnim napajanjem

3 Izvršni organ

Izvršni organ je element koji vrši regulaciju temperature na principu *On – Off*. Pomoću njega je omogućena jednostavna regulacija temperature. Ukoliko je potrebno zagrijavati uključena će biti sijalica, dok će ventilator biti *off*, i obrnuto. Na slici 14 moguće je uočiti gdje se u sistemu automatskog upravljanja nalazi izvršni organ. Iz regulatora, regulirana vrijednost predstavlja ulaz u izvršni organ, dok je izlaz upravljački signal koji predstavlja ulaz u objekat upravljanja. Izvršni organ predstavlja bitnu komponentu sistema automatskog upravljanja koja provodi naredbe i kontroliše rad sistema.

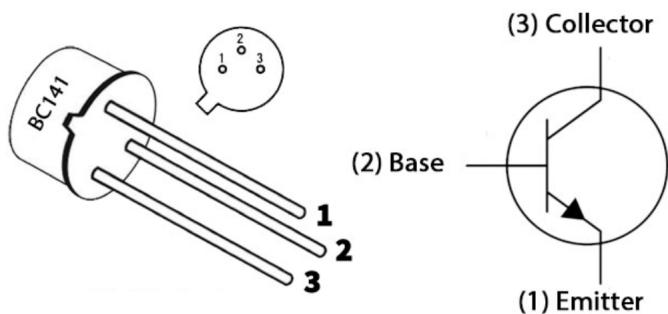


Slika 14: Pozicija izvršnog organa

U nastavku će biti detaljnije objašnjen svaki dio izvršnog organa regulatora temperature.

3.1 Bipolarni tranzistor

Bipolarni tranzistor je strujno upravljeni element te se pomoću njega najjednostavnije vrši regulacija temperature. Bipolarni tranzistor ima tri oblasti rada: linearna oblast, zasićenje i zakočenje. Potreba za brzim promjenama stanja dovodi do zaključka da će tranzistor raditi u oblastima zasićenja ili zakočenja.



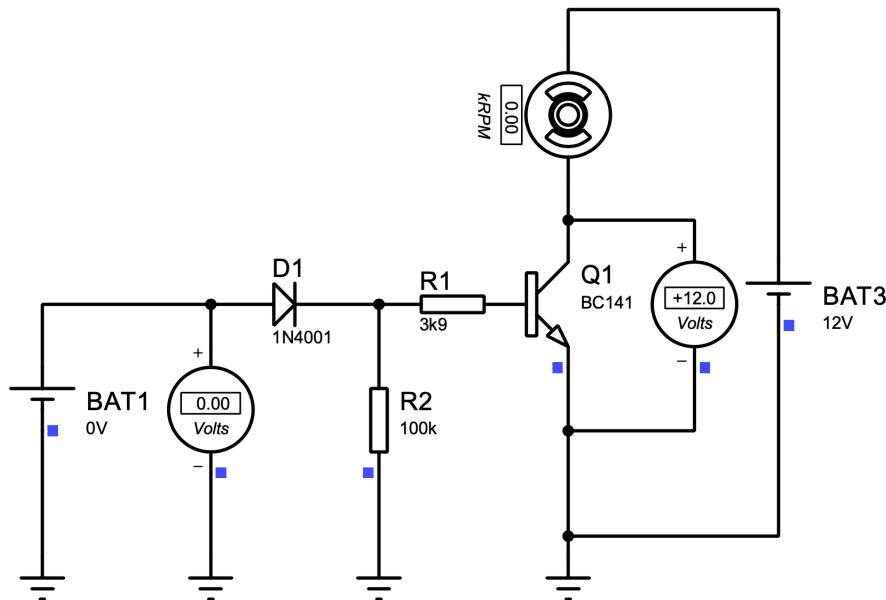
Slika 15: Bipolarni tranzistor sa tri izvoda

U zakočenom načinu rada, bipolarni tranzistor se ponaša kao prekidač koji je potpuno isključen. U ovoj oblasti, struja kolektora je nula i nema prolaza struje kroz tranzistor. Zakočeni način rada se koristi kada je potrebno isključiti struju u krugu.

U zasićenom načinu rada, tranzistor se ponaša kao prekidač i koristi se za kontrolu struje koja prolazi kroz krug. U ovoj oblasti, tranzistor djeluje kao niskootporni prekidač koji se zatvara kada se primijeni dovoljno visok napon na bazi.

Kada je tranzistor u zasićenju, struja kolektora se maksimalno približava vrijednosti napajanja. U zasićenom načinu rada, struja kolektora više nije proporcionalna struji baze, dok je struja emitera jednaka zbiru struje kolektora i baze.

Važno je napomenuti da se prebacivanje iz aktivnog načina rada u zasićeni ili zakočeni način rada, i obrnuto, obično događa brzo i naglo. Stoga, pri korištenju bipolarnih tranzistora kao prekidača, važno je osigurati da se tranzistor ne pregrijava i da se ne ošteti zbog brzih promjena stanja, što ostvarujemo sa diodom.



Slika 16: Shema za oblast rada tranzistora pri 0 V na ulazu

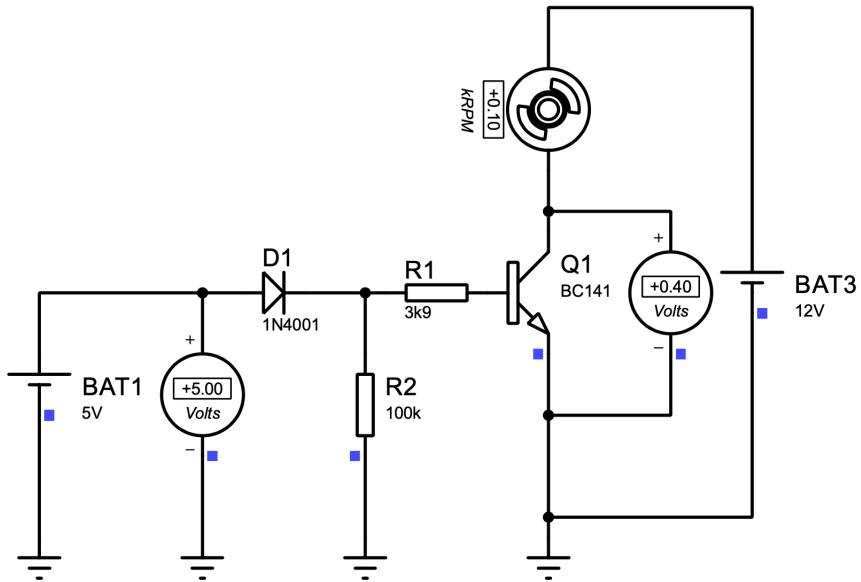
Kao što je moguće uočiti na slici 16, ukoliko se na tako spojenu shemu dovede 0 V na ulazu tranzistor će biti u zakočenju te neće doći do vrtnje ventilatora.

Otpornik R1 na šemi biramo tako da se uspostavlja konstantna vrijednost struje. Također ovaj otpornik reguliše bilo kakve oscilacije na ulazu.

Otpornikom R2 od $100\text{ k}\Omega$ omogućava se konstantan napon baza-emiter kod bipolarnog tranzistora. Njegova uloga u ovakovom sklopu je zaštitnog karaktera, što znači da ne može doći do nastanka inverzne struje.

Dioda u sklop se dodaje da zaštititi tranzistor od pregaranja. Njena uloga je da propusti 0 i 5V to jeste pozitivne napone. Ukoliko se na ulazu pojavi negativan napon dioda će biti nepropusno polarisana, čemu slijedi činjenica da nema struje u ostatku sheme.

Na slici 17 moguće je zaključiti da ukoliko se na tako spojenu shemu dovede 5V na ulazu tranzistor će biti u zasićenju te se ventilator vrti. Tada dolazi do proticanja kolektorske struje. Napon U_{be} tranzistora iznosi 0.40V što odgovara navedenom režimu rada tranzistora. Brzina kojom se vrti ventilator iznosi 0.10 što se može očitati sa navedene slike.



Slika 17: Shema za oblast rada tranzistora pri 5 V na ulazu

Kao što prikazuju sheme na slikama 16 i 17, tranzistorom je moguće upravljati na principu *On – Off*. Za regulaciju temperature je korišten istosmjeni DC motor, te je njegovo upravljanje vršeno preko tranzistora. Ukoliko želimo zagrijavati objekat potrebno je spojiti sijalicu na naizmjenični AC napon. Da bi se izbjeglo miješanje naizmjeničnog i istosmjernog signala potrebno je u shemu dodati relej.

3.2 Relej

Relej se koristi kao elektromehanički prekidač sastavljen od primara i sekundara. Glavna uloga releja je galvansko razdvajanje naponskih nivoa ili signala. Relej prikazan na slici 18 ima 3 izvoda - radni, mirni i zajednički. Ukoliko nema struje u krugu kratkospojeni su zajednički i mirni izvod, dok ukoliko je struja prisutna kratkospojeni su zajednički i radni izvodi.



Slika 18: Relej

Raspored izvoda se može očitati iz datasheet-u odabrane komponente, ili zaključiti testiranjem kontakata prije i poslije magnetizacije. Kada dođe do prolaska struje kroz namotaj primara dolazi do stvaranja elektromagnetskog polja. Nakon što se stvori polje, dolazi do privlačenja magneta i poluge pričvršćene za njega. Poluga koja se pomjera povezuje ili prekida vezu između kontakata. Kontakt koji je i u slučaju kada protiče struja i kada je nema ostao kratkospojen naziva se zajedničkim kontaktom.

Kao što je ranije navedeno pomoću releja je omogućeno kombiniranje AC i DC napona. Kreiranjem dva odvojena električna kruga, različitih tipova napona, te dodavanjem releja kao elektromehaničkog prekidača će se omogućiti spajanje jednog, a prekidanje drugog strujnog kruga.

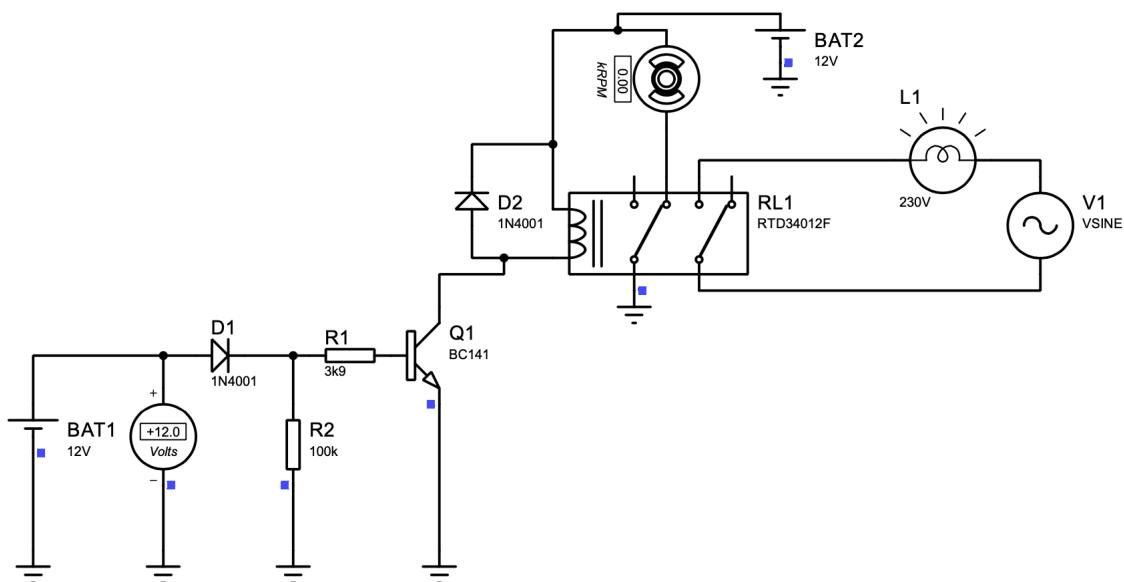
Šest osobina releja su bitne za regulaciju temperature. Otpornost primara reguliše struju kroz njega, te za korišteni reloj iznosi 214Ω . Radni napon primara može biti istosmjerni ili naizmjenični, s obzirom da do magnetizacije i privlačenja poluge unutar releta dolazi bez obzira na smjer toka struje. Kao upravljački signal najčešće koristimo istosmjerni napon. Relej koji koristimo ima radni istosmjerni napon primara 12V zbog napajanja, dok naizmjenična vrijednost napona iznosi 250V.

Bitni parametri releta su napon i struja prekidanja sekundarnog kruga. Struja prekidanja sekundarnog kruga iznosi 8A, dok napon iznosi 250V. Prelazak preko napona i struje prekida može uzrokovati bespovratno pomjeranje kontakata, pa čak i topljenje i lemljenje kontakata. Preostale dvije osobine releta su donja i gornja frekvencija prebacivanja. Ispituje se dovođenjem četvrtki sa različitim frekvencijama. Donja frekvencija predstavlja prag ispod kojeg reloj ne reaguje, a gornja frekvencija je vrijednost iznad koje reloj ne stiže da isprati brzinu promjene. Izmjerene vrijednosti gornje i donje frekvencije u laboratoriji iznose 50Hz i 50mHz respektivno.

3.3 Relej kao prekidač

Relej ima sposobnost galvanskog razdvajanja kao i transformator. Galvansko razdvajanje je postupak koji omogućava izolaciju i odvajanje električnih krugova kako bi se osigurala sigurnost, sprječavanje prijenosa električnih signala ili smetnji te zaštita elektroničkih komponenti. U toj karakteristici releja se ogleda rješenje regulacije temperature u objektu. Ukoliko je potrebno hlađenje pomoću DC napona dolazi do rada ventilatora, dok ukoliko je potrebno grijanje objekta pomoću AC napona dolazi do zagrijavanja putem sijalice.

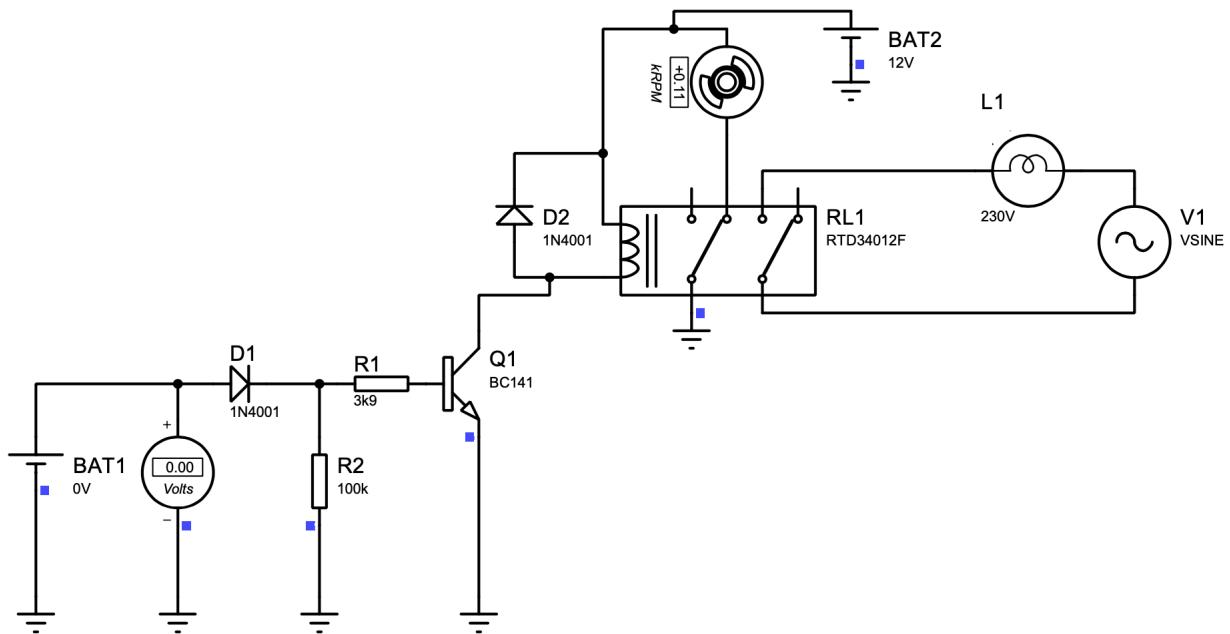
Na slici 19 je prikazan sklop releja sa dva izlazna kruga, jedan sa ventilatorom spojenim na mirni kontakt, a drugi sa sijalicom spojenom na radni kontakt. Kada dođe do propuštanja nominalne struje kroz relej kontakt sa mirnog se prebacuje u radni i dolazi do paljenja sijalice, dok je ventilator, koji je spojen na mirni kontakt, isključen.



Slika 19: Shematski prikaz sklopa sa relejom kada je sijalica uključena

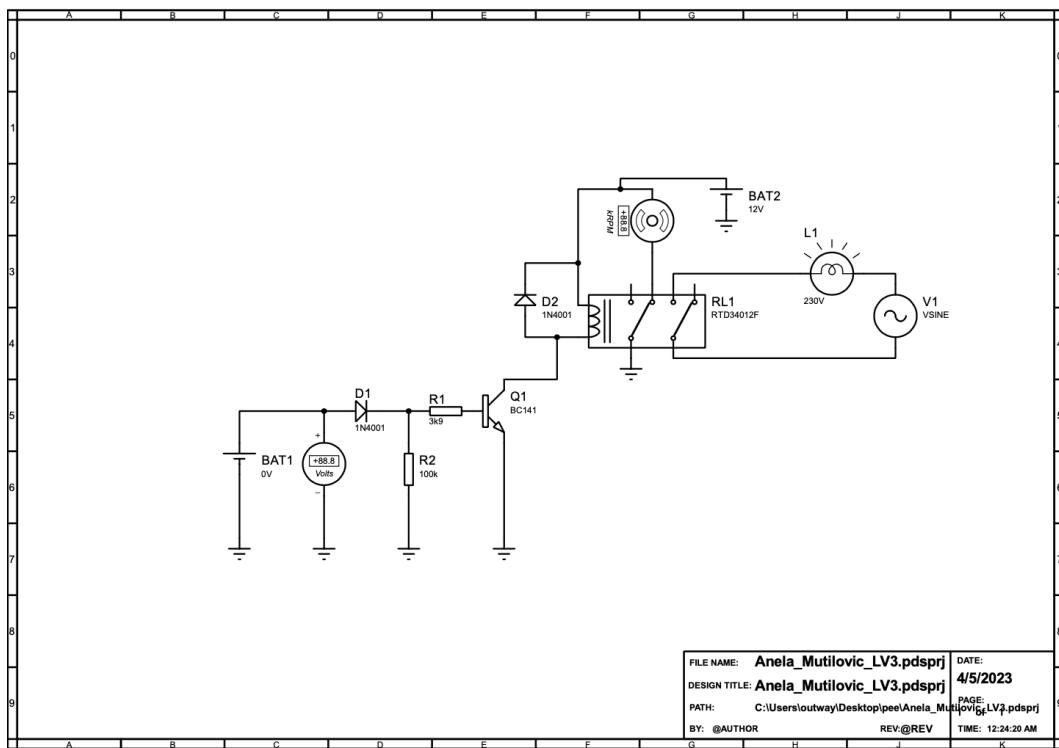
Dioda koja je spojena paralelno sa relejom ima zaštitnu ulogu. Zavojnica u primarnom krugu akumulira energiju zbog koje dolazi do magnetiziranja. Kada se relej isključi na krajevima se stvara strujni izvor sa otvorenim krajevima što može prouzrokovati uništenje sklopa. Struja koja se stvara dolazi do tranzistora, to jeste preko emitera ide prema masi, ali zbog velikih vrijednosti bipolarni tranzistor tu struju ne može podnijeti. Uloga diode je da snizi navedenu struju i zaštiti cijeli sklop.

Sve dok se ne dostigne vrijednost nominalne struje bipolarni tranzistor će biti u zakočenom režimu rada. Tada na releju ostaju povezani mirni i zajednički kontakt koji prouzrokuju rad ventilatora brzinom 0.11, što je prikazano na slici 20.



Slika 20: Shematski prikaz sklopa sa relejom kada je ventilator uključen

Na slici 21 prikazana je konačna shema izvršnog organa sistema za regulaciju temperature.



Slika 21: Shema izvršnog organa

4 Mjerni pretvarač

Mjerni pretvarači se često koriste u sistemima upravljanja kako bi se pretvorile ulazne veličine u odgovarajuće električne signale koji se mogu dalje obraditi i upotrijebiti za upravljanje procesima. Mjerni pretvarači sa NTC otpornicima (negativni temperaturni koeficijent) su pretvarači koji se koriste za mjerjenje temperature u rasponu od -55 do +200 °C. Oni su pouzdani i imaju relativno jednostavnu konstrukciju, što ih čini ekonomičnim rješenjem za mjerjenje temperature u raznim primjenama.

U nastavku je prikazana realizacija dijelova mjernog pretvarača za potrebe sisteme za regulaciju temperature.

4.1 Mjerni most

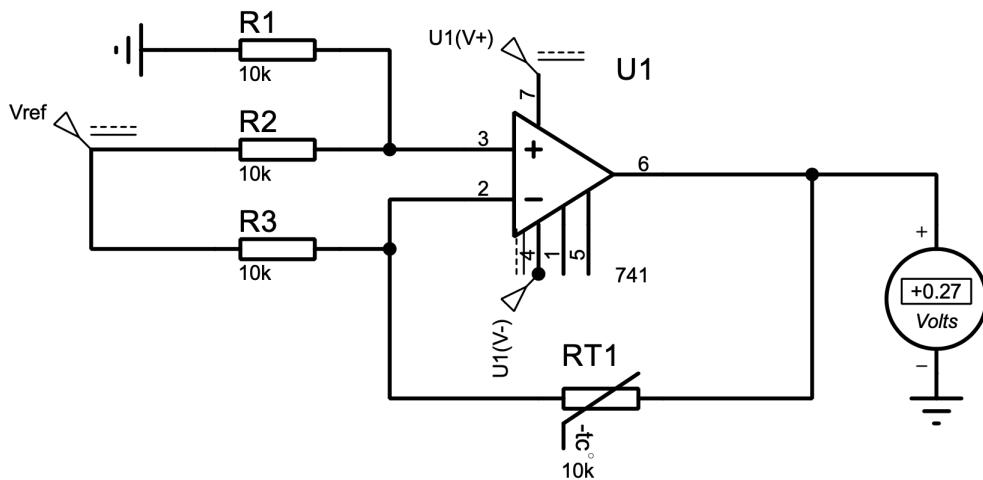
Mjerni most sa operacionim pojačalom i NTC otpornikom se koristi za mjerjenje temperature. Ovaj sklop se sastoji od Wheatstoneovog mosta s NTC otpornikom, operacionog pojačala i drugih pasivnih komponenti. Shema mjernog mosta je prikazana na slici 22.

Operaciono pojačalo napojeno je sa ± 12 V, te su mu na neinvertirajući (+) ulaz spojena dva otpornika u seriji, kao i stabilni napon vrijednosti 5V. Između invertirajućeg ulaza (-) i izlaza operacionog pojačala spojen je NTC termistor.

NTC termistor se koristi kao senzor temperature. Kada se temperatura povećava, otpornost NTC-a se smanjuje. Kao rezultat, promjena otpora se pretvara u promjenu napona, to jest napon se smanji povećanjem otpora. Ovaj signal napona je vrlo mali, te se iz tih razloga koristi operaciono pojačalo.

Operaciono pojačalo se pored pojačavanje signala koristi i za povećanje osjetljivosti mjernog mosta. Ovo pojačalo ima vrlo visok ulazni otpor i nisku izlaznu impedansu, što ga čini idealnim za pojačavanje signala iz mjernog mosta.

Pasivne komponente, poput otpornika koriste se za podešavanje i filtriranje signala. Kao što se vidi na slici 22, svi otpornici su jednakih ($10\text{ k}\Omega$) i izabrani su na način da se njihova otpornost podudara sa nominalnom otpornošću NTC-a, koja je $10\text{ k}\Omega$. Kada se signal napona pojača, može se priključiti na mjerni instrument za prikaz temperature.



Slika 22: Shema mjernog mosta

4.2 Izlazni napon u zavisnosti od otpora NTC-a

Operaciono pojačalo (OP) je vrsta pojačala koja se koristi za pojačavanje i obradu analognih signala u elektroničkim sklopovima. Jedna od najvažnijih karakteristika navedenog operacionog pojačala je pojačanje, koje se odnosi na omjer izlaznog i ulaznog signala. Navedeno pojačanje je vrlo visoko, šta više može biti u rasponu od nekoliko desetina do nekoliko hiljada.

Operaciono pojačalo ima vrlo visoku ulaznu impedansu, što znači da je struja koja prolazi kroz pojačalo obično vrlo mala, te se može zanemariti. S tim se postiže da su naponi na ulazima U+ i U- jednaki. Kao što se vidi na slici 22, svi otpornici su jednaki ($10\text{ k}\Omega$). Time se postiže djeljitelj napona, te napon na operacionom pojačalu iznosi:

$$U = \frac{V_{ref}}{2R} \cdot R = \frac{V_{ref}}{2} \quad (13)$$

Struje koje prolaze kroz otpornik R_3 i NTC se izjednače, jer je $I_p \approx 0$. I_p predstavlja struju koja ulazi u operaciono pojačalo.

$$i_{R_3} = i_{R(T)} \quad (14)$$

$$\frac{V_{ref}-U}{R} = \frac{U-U_x}{R_{(T)}} \quad (15)$$

Uvrštavanjem relacije (13) u (15) dobije se:

$$\frac{V_{ref}-\frac{V_{ref}}{2}}{R} = \frac{\frac{V_{ref}}{2}-U_x}{R_{(T)}} \quad (16)$$

$$\frac{V_{ref}}{2 \cdot R} = \frac{V_{ref}-2 \cdot U_x}{2 \cdot R_{(T)}} \quad (17)$$

$$\frac{V_{ref} \cdot R_{(T)}}{R} = V_{ref} - 2 \cdot U_x \quad (18)$$

$$U_x = \frac{V_{ref} - \frac{V_{ref} \cdot R_{(T)}}{R}}{2} \quad (19)$$

Relacija za izlazni napon U_x je :

$$U_x = \frac{V_{ref}}{2} \cdot \left(1 - \frac{R_{(T)}}{R}\right) \quad (20)$$

Uz relaciju:

$$\Delta R = R - R_{(T)} \quad (21)$$

Sa konstantnim linearним prirastom, vrijednost izlaznog napona iznosi:

$$U_{izl} = \frac{V_{ref}}{2} \cdot \frac{R - R_{(T)}}{R} \quad (22)$$

Uzimajući u obzir relaciju (21) izlazni napon je :

$$U_{izl} = \frac{V_{ref}}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (23)$$

Ovim je postignuta linearna zavisnost izlaznog napona, čemu se teži jer se elementi bolje poнашају kada imaju linearnu karakteristiku. Referentni napon koji se dovodi na ulazu mora biti stabilan, da bi se to osiguralo potrebno je realizovati sklop izvora referentnog napona.

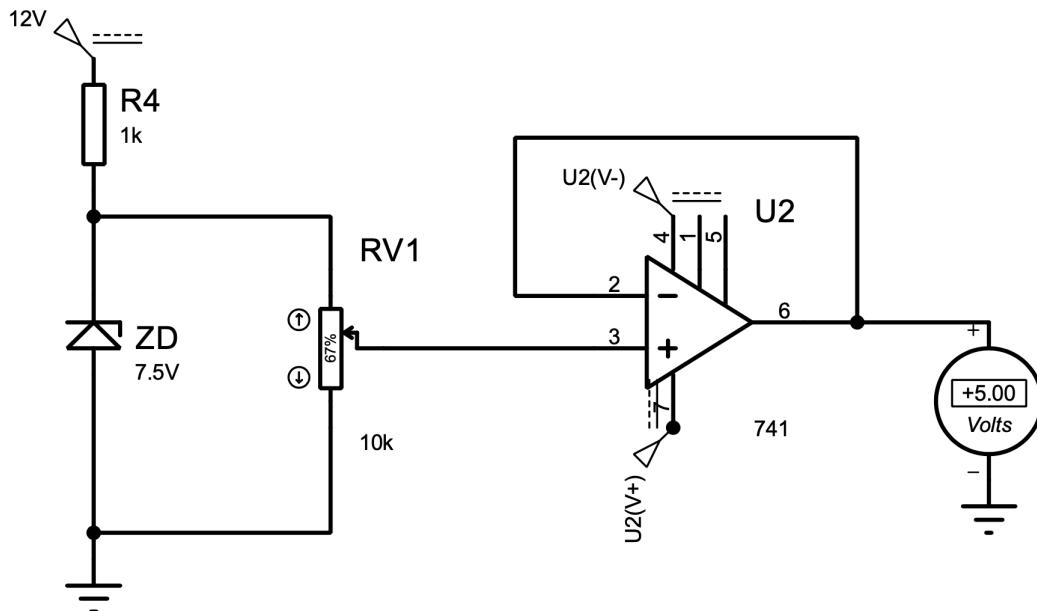
4.3 Izvor referentnog napona

Izvor referentnog napona sa Zener diodom, potenciometrom i naponskim sljedilom je jedan od načina za stvaranje preciznog i varijabilnog izlaznog napona u elektroničkim krugovima. Ovaj izvor referentnog napona se često koristi u jednostavnim izvedbama regulatora temperature.

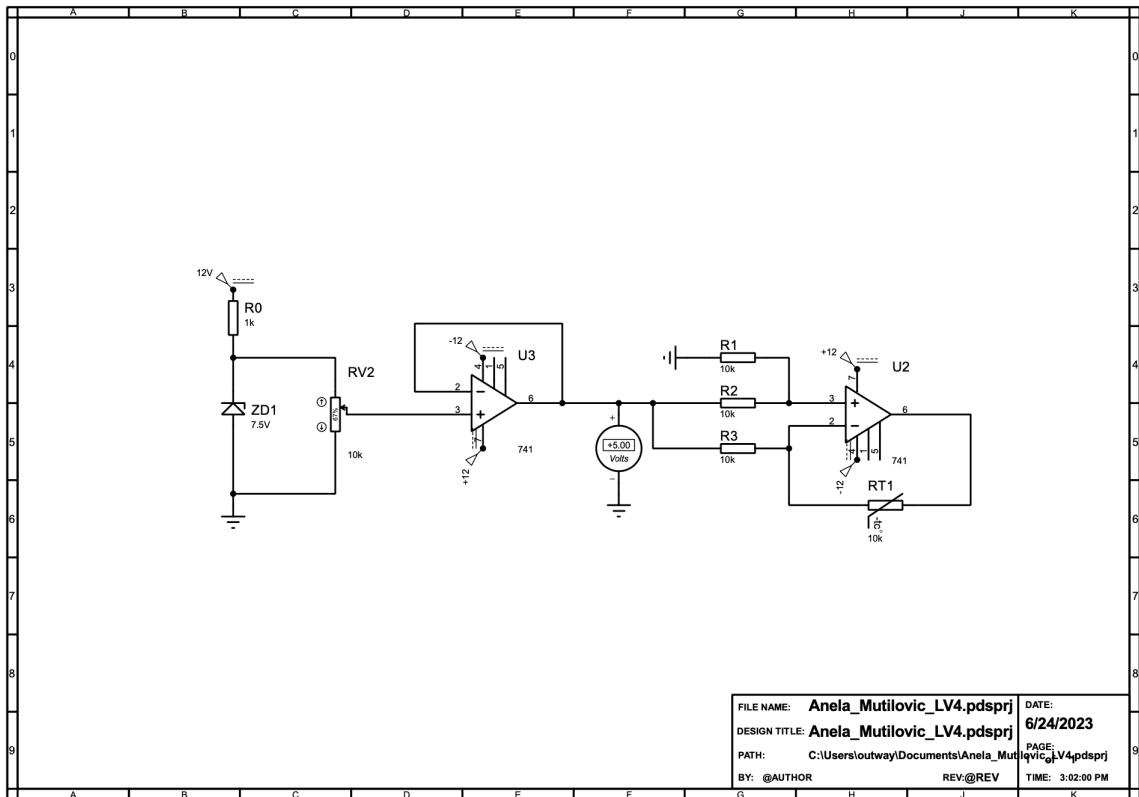
Kada se primjeni odgovarajući napon između Zener diode i odgovarajućeg otpornika, dioda će početi provoditi u inverznom smjeru i održavati stabilan izlazni napon na svom spoju. Potenciometar se koristi za podešavanje izlaznog napona, a naponsko sljedilo osigurava da se izlazni napon održava na konstantnoj razini, čak i ako se opterećenje u krugu mijenja. Potenciometar na 67% od ukupne vrijednosti ($10k\Omega$) daje napon od 5V na izlazu sklopa. Prednosti ovog izvora referentnog napona uključuju precizno podešavanje izlaznog napona, visoku stabilnost i jednostavan dizajn.

Za referentni napon je izabrana vrijednost od 5V, te je u skladu s tim neophodno bilo izabrati Zener diodu koja ima veci napon od referentnog. Kao što se vidi na slici 23 korištena je Zener dioda 7V5 jer ostavlja više prostora za kompenzaciju greške. Otpornik koji se nalazi iznad diode služi kao zaštita diode od prevelike struje izvora, a njegova vrijednost je izračunata na osnovu inverzne struje korištene diode.

Naponsko sljedilo je sklop koji vrši impedantno razdvajanje. Zbog visokooomskog ulaza ne može doći do propuštanja struje, te se napon sa ulaza premjesti na izlaz. Ukoliko dođe do pojavljivanja struje na izlazu neće doći do promjene ranije podešenog napona. Stabilan naponski izvor je postignut obzirom da je sva struja kroz potenciometar fiksna.



Slika 23: Shema izvora stabilnog referentnog napona



Slika 24: Shema mjernog pretvarača

Na slici 24 je prikazana cijela shema mjernog pretvarača. Može se primijetiti da je V_{ref} postavljeno pomoću potenciometra i ostatka sheme na 5V. Izmjerena vrijednost referentnog napona u laboratoriji je 5.03V. Prisutno je odstupanje od referentne vrijednosti napona, ali je zbog veoma male vrijednosti zanemarivo.

5 Regulacija temperature

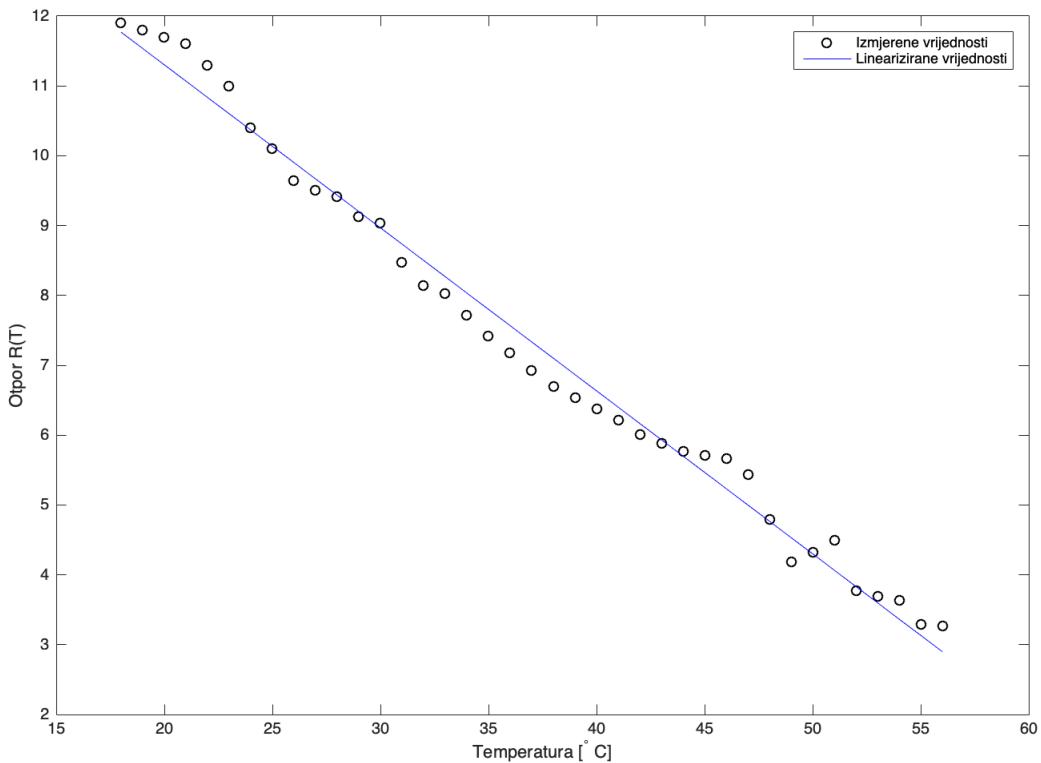
Opseg u kojem se vrši regulaciju temperature je od 18 do 55 °C. Vrijednosti otpora NTC termistora izmjerene na laboratorijskog vježbi se mogu očitati u tabeli 1. Kako je za očekivati otpor NTC termistora opada porastom temperature. Pomoću Matlaba je izvršeno iscrtavanje karakteristike navedenog termistora za regulaciju temperature. Izvršena je linearizacija, te se može zaključiti da karakteristika nema velika odstupanja od linearne funkcije.

Vrijednosti parametara a i b, potrebnih za linearizaciju formulom $R_{(T)} = a \cdot T + b$ su:

$$a = -0.2334 \\ b = 15.97$$

Linearizacija je izvršena polinomom prvog reda:

$$R_{(T)} = -0.2334 \cdot T + 15.97 \quad (24)$$



Slika 25: Grafički prikaz ovisnosti otpora od temperature NTC

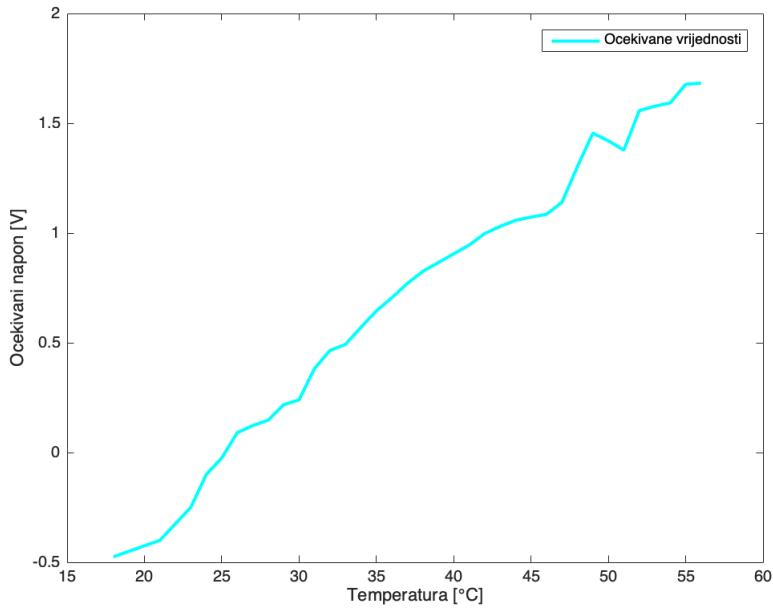
Na slici 25 je prikazana linearna aproksimacija karakteristike NTC termistora sa izmjerenim vrijednostima. Karakteristika prikazana grafikom potvrđuje teoriju da NTC termistor ima negativni temperaturni koeficijent.

5.1 Mjerenje izlaznog napona

Tabela prikazuje odgovarajuće otpore, temperature i proračunate napone ($U_{x_{ocekivano}}$) pomoću relacije (20) za cijelokupni posmatrani temperaturni opseg NTC termistora, te napon $U_{x_{mjereno}}$ izmjerен u laboratoriji. Porastom temperature izlazni napon se u datom opsegu temperatura povećava približno linearno. Proračunati napon se nalazi u opsegu od -0.5 do 1.7 V, što je očekivano s obzirom da je referentni ulazni napon 5 V.

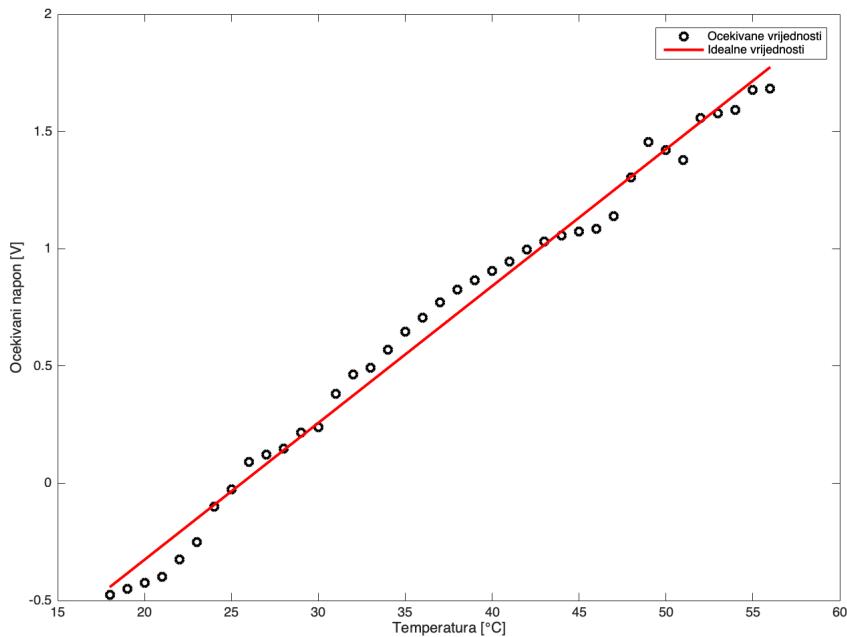
T[°C]	$R_{(T)}$	$U_{x_{ocekivano}}$	$U_{x_{mjereno}}$
18	11.9	-0.475	-0.42
19	11.8	-0.45	-0.41
20	11.7	-0.425	-0.39
21	11.6	-0.4	-0.37
22	11.3	-0.325	-0.29
23	11.0	-0.25	-0.23
24	10.4	-0.1	-0.05
25	10.1	-0.025	0.02
26	9.64	0.09	0.12
27	9.51	0.1225	0.15
28	9.41	0.1475	0.17
29	9.13	0.2175	0.24
30	9.04	0.24	0.26
31	8.47	0.3825	0.42
32	8.14	0.465	0.48
33	8.03	0.4925	0.51
34	7.72	0.57	0.58
35	7.42	0.645	0.66
36	7.18	0.705	0.72
37	6.92	0.77	0.78
38	6.7	0.825	0.84
39	6.54	0.865	0.88
40	6.38	0.905	0.92
41	6.22	0.945	0.95
42	6.01	0.9975	1.01
43	5.88	1.03	1.04
44	5.77	1.0575	1.07
45	5.71	1.0725	1.08
46	5.66	1.085	1.1
47	5.44	1.14	1.15
48	4.79	1.3025	1.31
49	4.18	1.455	1.46
50	4.32	1.42	1.43
51	4.49	1.3775	1.46
52	3.77	1.5575	1.56
53	3.69	1.5775	1.58
54	3.63	1.5925	1.6
55	3.29	1.6775	1.68
56	3.27	1.6825	1.69

Tabela 1: Tabelarni prikaz izlaznog napona i otpora NTC termistora u zavisnosti od temperature



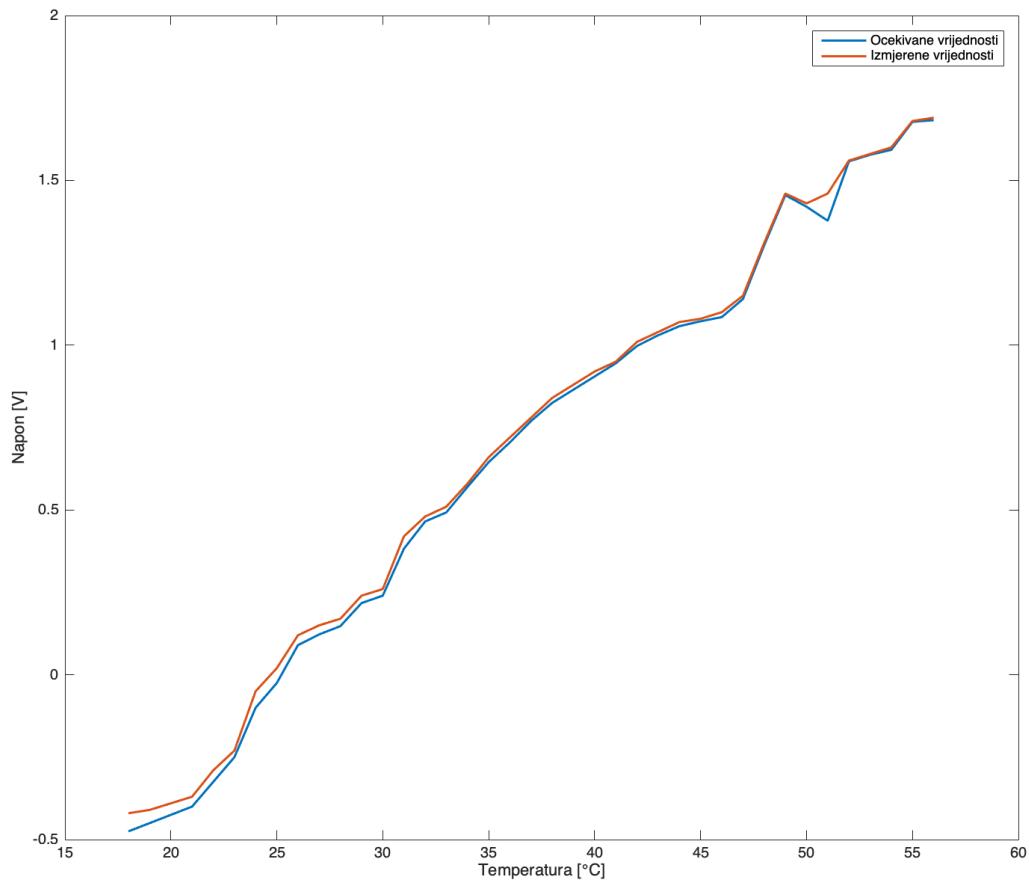
Slika 26: Grafički prikaz ovisnosti ocekivanog izlaznog napona i temperature

Na slici 26 je prikazana ovisnost izlaznog napona u datom opsegu temperature od 18 do 55 °C. Može se lako zaključiti da porastom temperature dolazi do porasta izlaznog napona. Taj porast se može smatrati linearnim jer nema puno odstupanja. Razlika između idealnog porasta vrijednosti napona aproksimiranog polinomom prvog reda ($a=0.05834$; $b=-1.493$) i napona koji je očekivan proračunom ($U_{x_{\text{ocekivano}}}$) je prikazan na slici 27.



Slika 27: Grafički prikaz ovisnosti izlaznog napona i temperature uz idealne vrijednosti

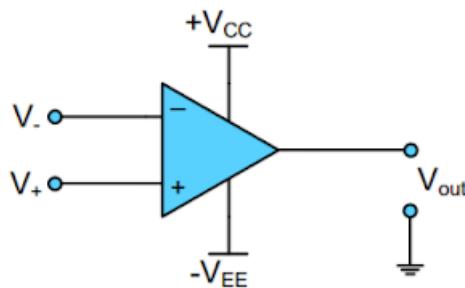
Na narednoj slici (28) je korištenjem vrijednosti iz tabele 1 prikazana ovisnost izlaznog napona od temperature. Lahko je primijetiti da se očekivane i izmjerene vrijednosti poklapaju sa veoma malim odstupanjem. Porastom temperature izlazni napon se u datom opsegu temperatura povećava približno linearno.



Slika 28: Grafički prikaz ovisnosti mјerenog i izračunatog izlaznog napona od temeperature

6 Komparator

Komparator prikazan na slici 29 je potreban zbog neophodnog poređenja trenutne temperature sa željenom. Najprostija izvedba takve vrste komparatora je operaciono pojačalo "u otvorenom krugu". Operaciono pojačalo "u otvorenom krugu" je vrsta operacionog pojačala koja nema povratnu vezu izlaza na ulaz. To znači da nema stabilizaciju pojačanja i može imati veoma veliko pojačanje, koje je u isto vrijeme veoma nestabilno i sklonije oscilacijama. Princip rada operacionog pojačala se ogleda u tome da se na ulaz dovode dvije veličine pomoću kojih se generiše izlazna veličina vrijednosti U_z predstavljena razlikom ulaznih veličina.



Slika 29: Operaciono pojačalo u otvorenom krugu kao komparator

$$V_{out} = \begin{cases} +U_z, & \text{ako } V_+ > V_- \\ -U_z, & \text{ako } V_+ < V_- \end{cases} \quad (25)$$

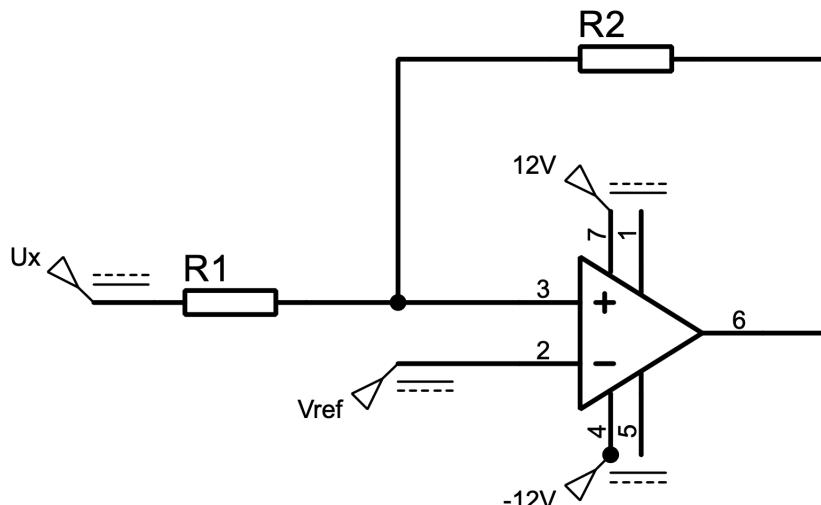
Operaciono pojačalo "u otvorenem krugu" kao komparator, što je i ranije navedeno, ima veoma veliko pojačanje, što znači da će izlazni signal biti ili visok ili nizak u skladu sa odnosom između ulaznih signala. Zbog toga se ovaj tip operacionog pojačala rijetko koristi u praksi, osim u slučajevima kada je visoka brzina reakcije važnija od stabilnosti pojačanja. Za sistem regulacije temperature koristi se složeniji oblik komparatora - Šmitov triger, koji je detaljno obrađen u nastavku.

6.1 Šmitov triger

Šmitov triger, poznat kao negativni diferencijalni triger, je elektronski sklop koji generiše impulse kada ulazni signal pređe preko određenog praga. Ovo se postiže upotrebom dva operaciona pojačala povezana u negativnu povratnu vezu, sa impedansom povratne sprege koja je veća od ulazne impedanse.

Kada ulazni signal pređe preko određenog praga, izlaz prvog operacionog pojačala se naglo mijenja i izaziva promjenu polariteta izlaza drugog operacionog pojačala, što dovodi do generisanja kratkog impulsa. Ovaj impuls može biti korišten za kontrolu drugih sklopova.

Šmitov triger, prikazan na slici 30, se može koristiti kao komparator, što znači da se može koristiti za poređenje dva ulazna signala i za generisanje izlaznog signala na osnovu njihove razlike. U ovom režimu rada, ulazni signali se primjenjuju na ulaze prvog operacionog pojačala, a drugo operaciono pojačalo se koristi za generisanje izlaznog signala. Izlaz ovog pojačala će biti visok kada je ulazni signal na prvom ulazu veći od signala na drugom ulazu, a nizak kada je ulazni signal na prvom ulazu manji od signala na drugom ulazu.



Slika 30: Shematski prikaz Šmitovog trigera

Šmitov triger kao komparator ima nekoliko prednosti u odnosu na druge komparatore. Jedna od najvažnijih prednosti je ta što se može lako podešiti prag za poređenje signala promjenom vrijednosti otpornika u povratnoj sprezi. Ovo omogućava precizno podešavanje pragova, što je korisno u situacijama kada je potrebno vršiti precizna mjerena.

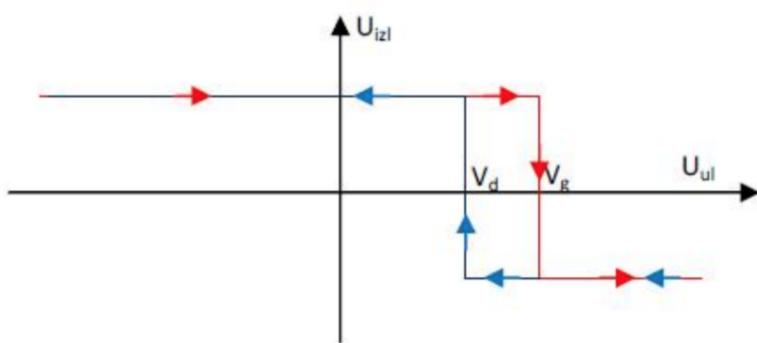
Histeresa je efekat koji se koristi u mnogim elektronskim sklopovima, a podrazumijeva postojanje dvije vrijednosti praga za aktiviranje i deaktiviranje sklopa. Kada se ulazni signal kreće u jednom smjeru i pređe prvi prag, sklop se aktivira i ostaje u aktivnom stanju sve dok ulazni signal ne padne ispod drugog praga za deaktiviranje. Ukoliko se signal kreće u suprotnom smjeru i pređe drugi prag, sklop se deaktivira i ostaje u tom stanju sve dok signal ne pređe prvi prag za aktiviranje.

Kod Šmitovog trignitora kao komparatora, histereza je također prisutna. Kada se ulazni signal približi donjem pragu, izlazni signal će se aktivirati i ostati u aktivnom stanju sve dok signal ne pređe gornji prag. Kada signal pređe gornji prag, izlazni signal će se deaktivirati i ostati u tom stanju sve dok signal ne padne ispod donjeg praga. Histereza predstavlja razliku gornje i donje vrijednosti napona.

Ovaj efekat se može koristiti za regulaciju temperature. Ulazni signal u obliku temperature koristi se za kontrolu grijanja i hlađenja, a histerezom se postiže stabilnost sistema i sprečava se nepotrebno uključivanje i isključivanje grijanja i hlađenja.

Invertirajući i neinvertirajući Šmitov trignitor razlikujemo po vrsti signala na ulazu. Oba tipa su podjednako korisna i rade na istom principu. Porastom napona U_x dolazi do porasta temperature, što znači da prelaskom gornjeg praga dolazi do prelaska gornje granice temperaturnog opsega. Na shemi izvršnog organa (slika 21) je mirni kontakt releja spojen sa ventilatorom, što znači da je potrebno invertiranje ulaznog signala pri generisanju izlaznog, kako bi se osigurao rad ventilatora pri visokim temperaturama, i pri niskim temperaturama rad grijачa/sijalice.

Na slici 31 je prikazana histerezna petlja takvog invertirajućeg Šmitovog trignitora.



Slika 31: Histereza

Regulacija se obavlja za temperature u opsegu od 27°C do 33°C . Mjernim pretvaračem se, na osnovu temperature, dobija informacija o izlaznom naponu U_x koji se dovodi na ulaz sklopa Šmitovog trignitora.

6.2 Proračun parametara Šmitovog trigera

Na osnovu slike 30 se postavlja jednačina:

$$\frac{U_x - V_{ref}}{R_1} + \frac{V_{ref} - V_{izl}}{R_2} = 0 \quad (26)$$

Odnosno ako se izrazi U_x :

$$U_x = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{ref} - \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{izl} \quad (27)$$

Na izlazu se mogu pojaviti dvije vrijednosti napona U_z . Kod proračuna napona gornjeg praga, traži se vrijednost ulaznog napona pri kome će se napon izjednačiti sa V_+ , do tog trenutka je na izlazu $+U_z$. Ako se pretpostavi da je napon na izlazu $V_{izl} = U_z$, to će onda biti vrijednost napona gornjeg praga kada je $V_+ = V_g$:

$$V_g = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{ref} + \frac{R_1}{R_2} \cdot U_z \quad (28)$$

Prilikom prelaska ulaznog napona preko tačke gornjeg praga promijeni se predznak napona na ulazu pojačala. Izračunava se napon kada će doći do promjene sa U_z na $-U_z$. Izlazni napon će imati vrijednost $V_{izl} = -U_z$, to će onda biti vrijednost napona donjeg praga kada je $V_+ = V_d$:

$$V_d = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{ref} - \frac{R_1}{R_2} \cdot U_z \quad (29)$$

Histereza je jednaka:

$$H = V_g - V_d \quad (30)$$

$$H = 2 \cdot U_z \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (31)$$

Iz prethodnih mjeranja su poznate vrijednosti gornjeg i donjeg praga napona u opsegu temperatura gdje se vrši regulacija. Cilj je na osnovu relacija proračunati vrijednost referentnog napona V_{ref} i otpornike R_1 i R_2 .

Oduzimanjem relacija 29 i 28 dobije se:

$$V_g - V_d = 2 \cdot U_z \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (32)$$

V_g je vrijednost napona koji na temperaturi 33°C , dok je V_d na 27°C . Ove vrijednosti, očitane iz tabele 1 iznose:

$$V_d = 0.15V \quad (33)$$

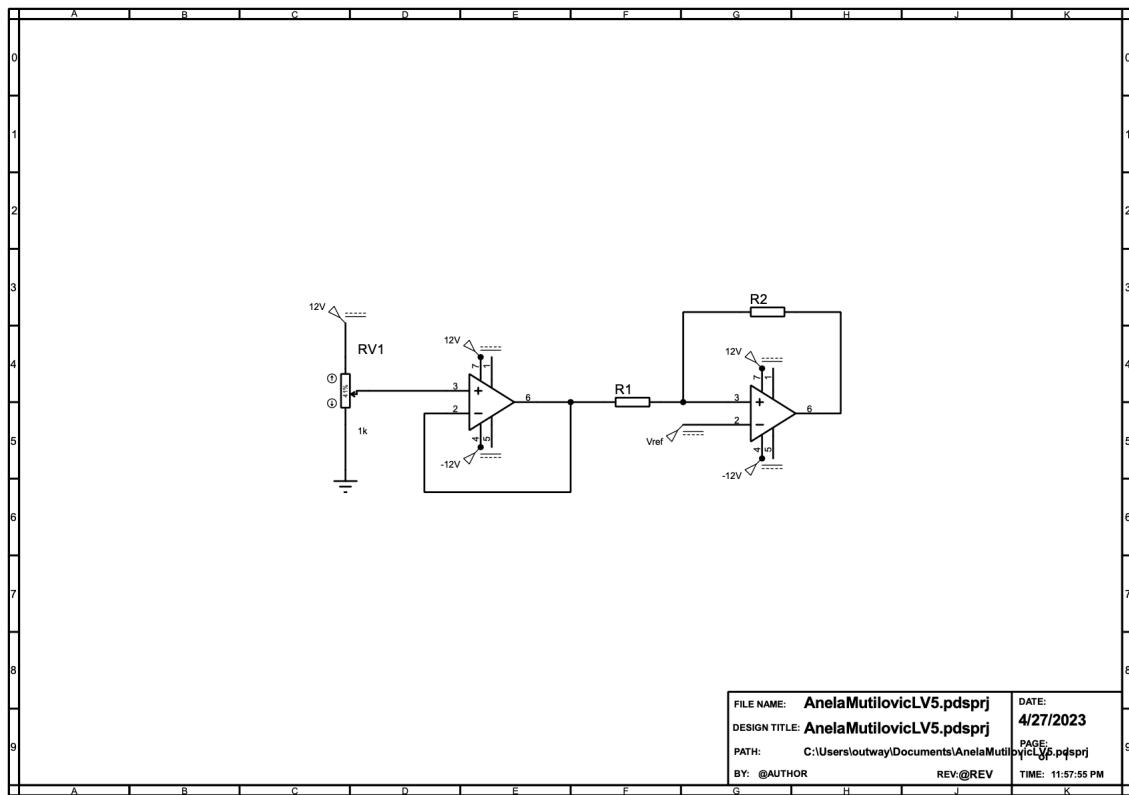
$$V_g = 0.51V \quad (34)$$

Uvrštavajući poznate vrijednosti u relaciju 32 dobije se odnos otpornika:

$$\frac{R_1}{R_2} = 0.0163 \quad (35)$$

Proizvoljno se uzima vrijednost $R_1 = 3.6k\Omega$, iz čega slijedi da je $R_2 \approx 220k\Omega$, uz referentni napon 0.47V. Izabrane su veće vrijednosti otpornika, radi stabilnijeg signala na izlazu.

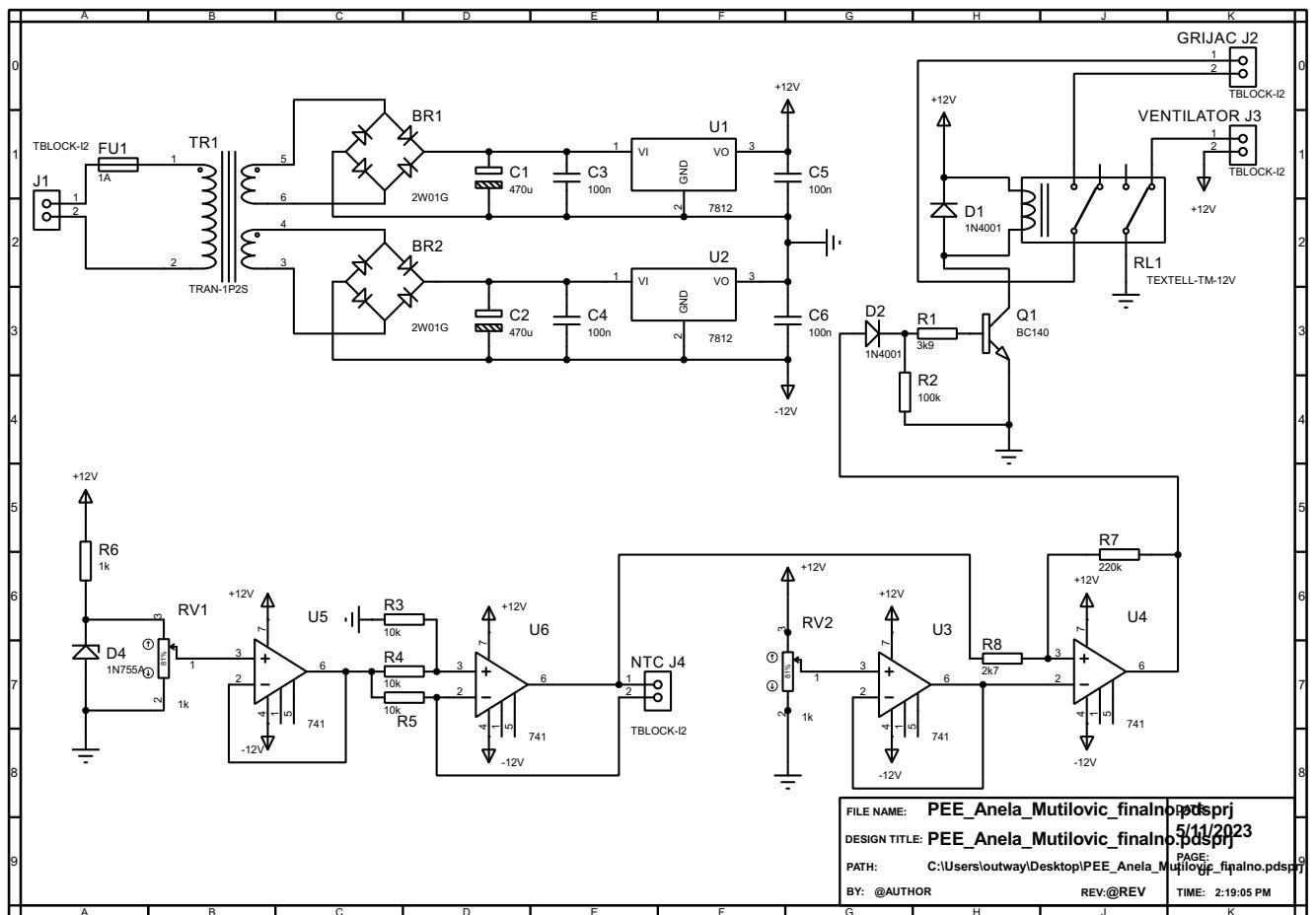
Referentni napon se dovodi na invertirajući ulaz operacionog pojačala. Neophodno je obezbijediti da ovaj napon bude stabilan i precizan, što se postiže potenciometrom i naponskim sjedilom kao na slici:



Slika 32: Shematski prikaz Šmitovog trigera i dovedenog referentnog napona

7 Konačna shema

Na slici 33 je prikazana konačna shema regulatora temperature.



Slika 33: Konačna shema

U nastavku je detaljnije opisan postupak izrade PCB pločice korištenjem sheme sa slike 33, te prikazan finalni izgled sklopa za regulaciju temperature.

7.1 Spisak materijala

Spisak svih korištenih komponenti za realizaciju regulatora temperature je prikazan na slici 34.

Bill Of Materials for PEE_Anela_Mutilovic

Design Title PEE_Anela_Mutilovic

Author

Document Number

Revision

Design Created Wednesday, May 10, 2023

Design Last Modified Wednesday, May 10, 2023

Total Parts In Design 35

0 Modules				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
Sub-totals:				\$0.00
6 Capacitors				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
2	C1,C2	470u	Digikey P5532-ND	
4	C3,C4,C5,C6	100n	Maplin WX60Q	
Sub-totals:				\$0.00
8 Resistors				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
1	R1	3k9	M10K	
1	R2	100k	M10K	
3	R3,R4,R5	10k	M10K	
1	R6	1k	M10K	
1	R7	220k	M10K	
1	R8	2k7	M10K	
Sub-totals:				\$0.00
6 Integrated Circuits				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
2	U1,U2	7812		
4	U3,U4,U5,U6	741		
Sub-totals:				\$0.00
1 Transistors				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
1	Q1	BC140		
Sub-totals:				\$0.00
3 Diodes				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
2	D1,D2	1N4001		
1	D4	1N755A		
Sub-totals:				\$0.00
11 Miscellaneous				
Quantity	References	Value	Stock Code	Unit Cost
2	BR1,BR2	2W01G		
1	FU1	1A		
4	GRIJAC J2,J1,NTC J4,VENTILATOR J3	TBLOCK-I2		
1	RL1	TEXTELL-TM-12V		
2	RV1,RV2	1k		
1	TR1	TRAN-1P2S		
Sub-totals:				\$0.00
Totals:				\$0.00

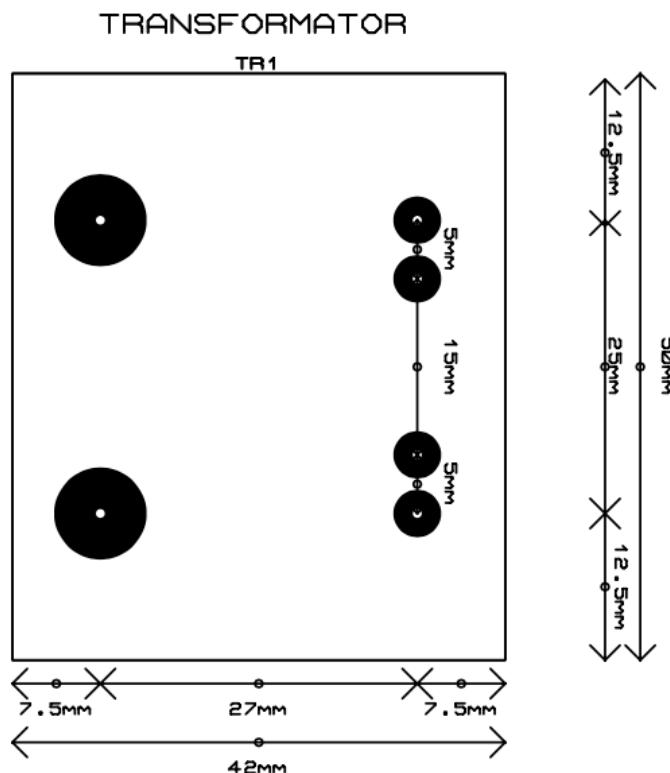
Thursday, May 11, 2023 12:42:59 AM

Slika 34: Spisak materijala

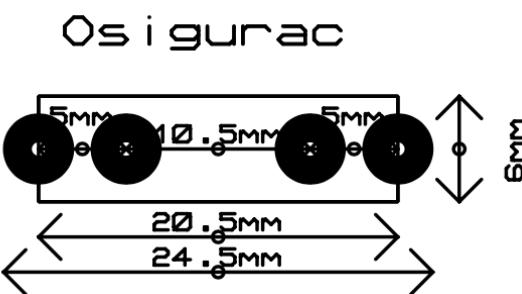
8 PCB (Printed Circuit Board)

PCB je ploča od izolacionog materijala presvučena tankim slojem bakra koji služi za formiranje električnih veza između komponenti. Omogućava jednostavnije učvršćenje komponenti na podlogu. Vodovi se također izrađuju u PCB okruženju, dok se komponente sa vodovima povezuju lemljenjem. Međutim sve potrebne komponente nemaju svoj PCB predložak, te se one moraju samostalno napraviti. Za potrebe regulatora temperature potrebno je kreirati PCB predloške za relej, transformator, potenciometar te osigurač, što je prikazano u nastavku dokumenta.

8.1 PCB predlošci

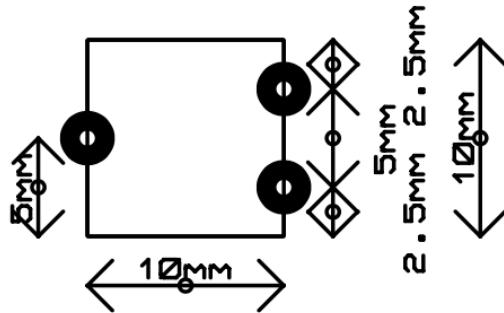


Slika 35: Izgled transformatora u PCB okruženju

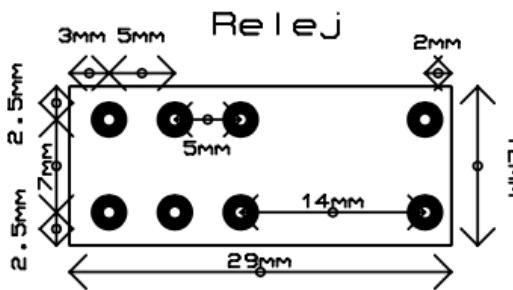


Slika 36: Izgled osigurača u PCB okruženju

Potencijometar



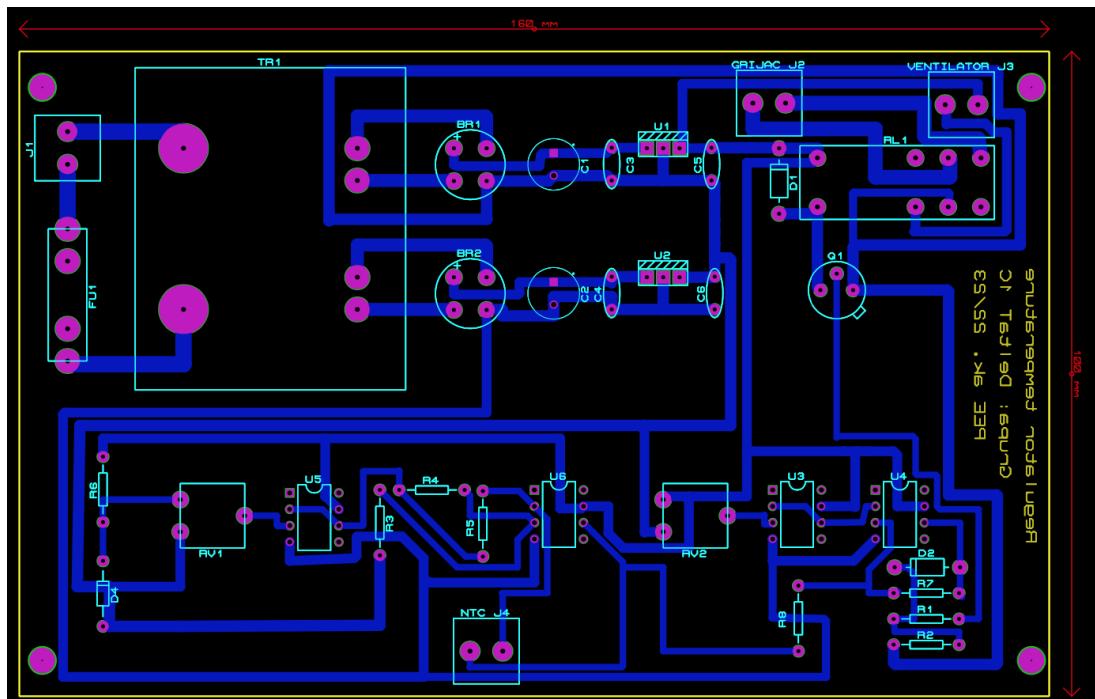
Slika 37: Izgled potenciometra u PCB okruženju



Slika 38: Izgled releja u PCB okruženju

8.2 PCB shema

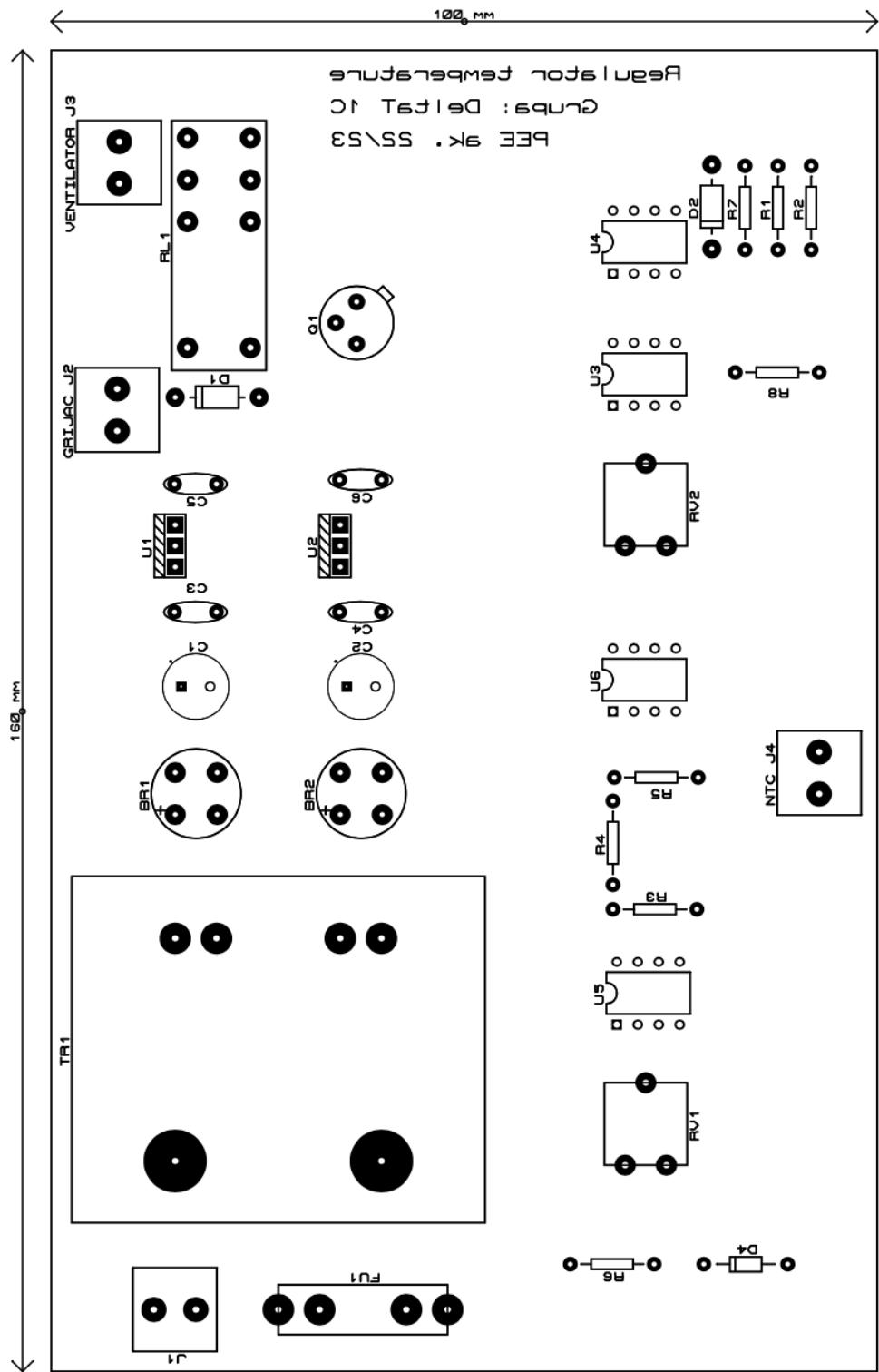
Sve komponente sa konačne sheme regulatora temperature (slika 33) su spojene vodovima u PCB okruženju, što je prikazano na slici ispod.



Slika 39: Konačni prikaz PCB sheme regulatora temperature

8.3 PCB komponente

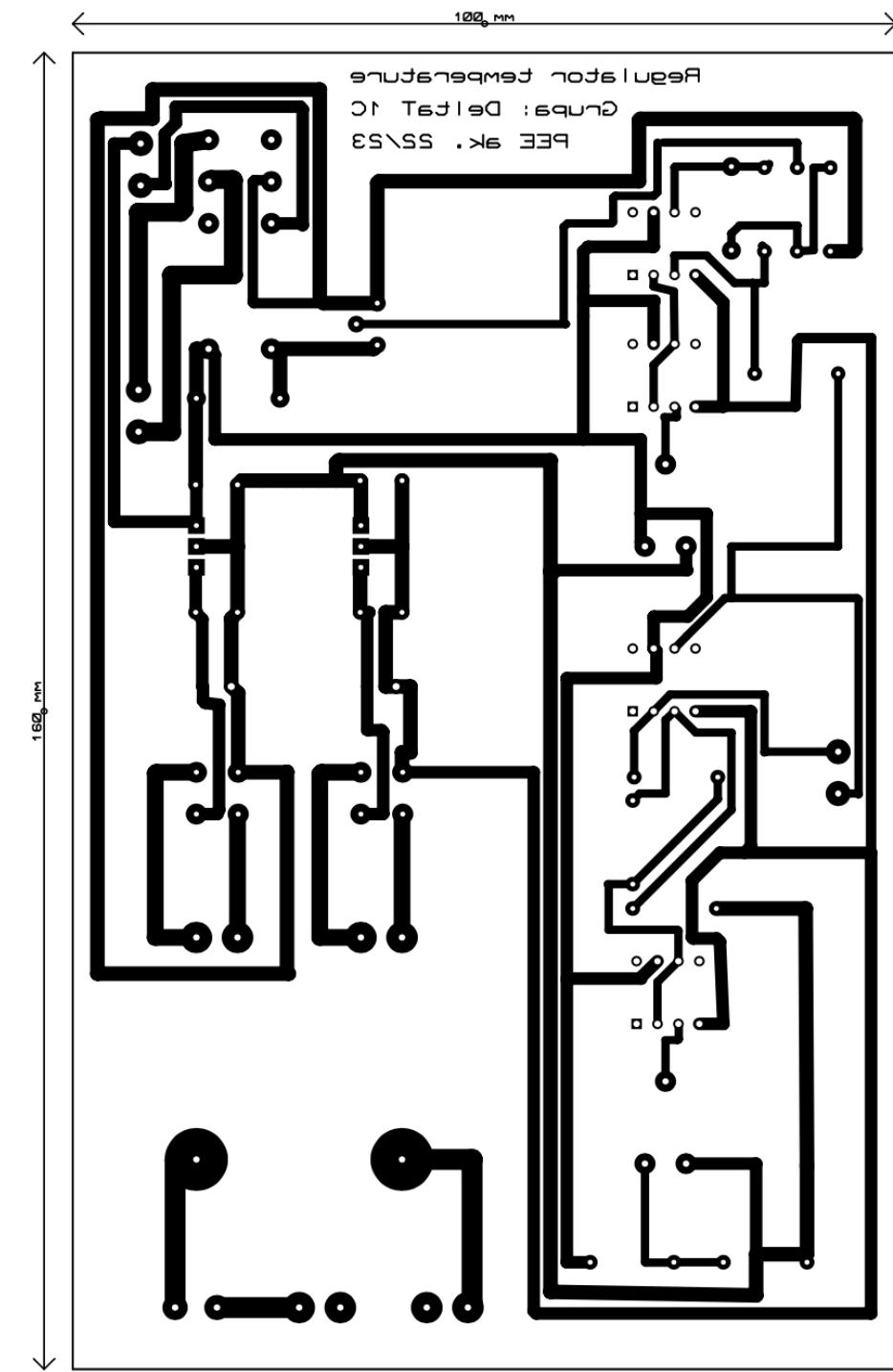
Komponente na PCB pločici su raspoređene kao na slici 40. Ovakav prikaz je potreban zbog realizacije regulatora temperature u laboratoriji.



Slika 40: Prikaz komponenti sklopa za regulaciju temperature

8.4 PCB vodovi

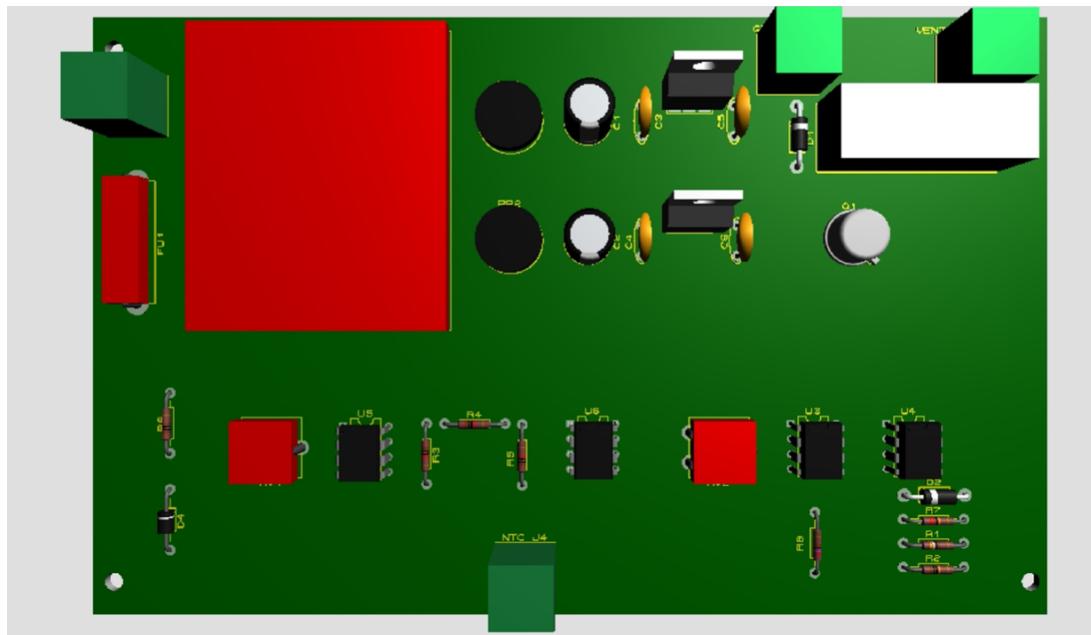
Vodovi ostvaruju kontakt između komponenti na PCB pločici. Na slici 41 moguće je uočiti različite debljine vodova. Vodovi koji imaju kontakt sa mrežnim naponom, masom, relejem i grijačem su najdeblji, veličine T100 i T80. Vodovi bipolarnog napajanja su T60, dok ostali signalni vodovi su veličine T40.



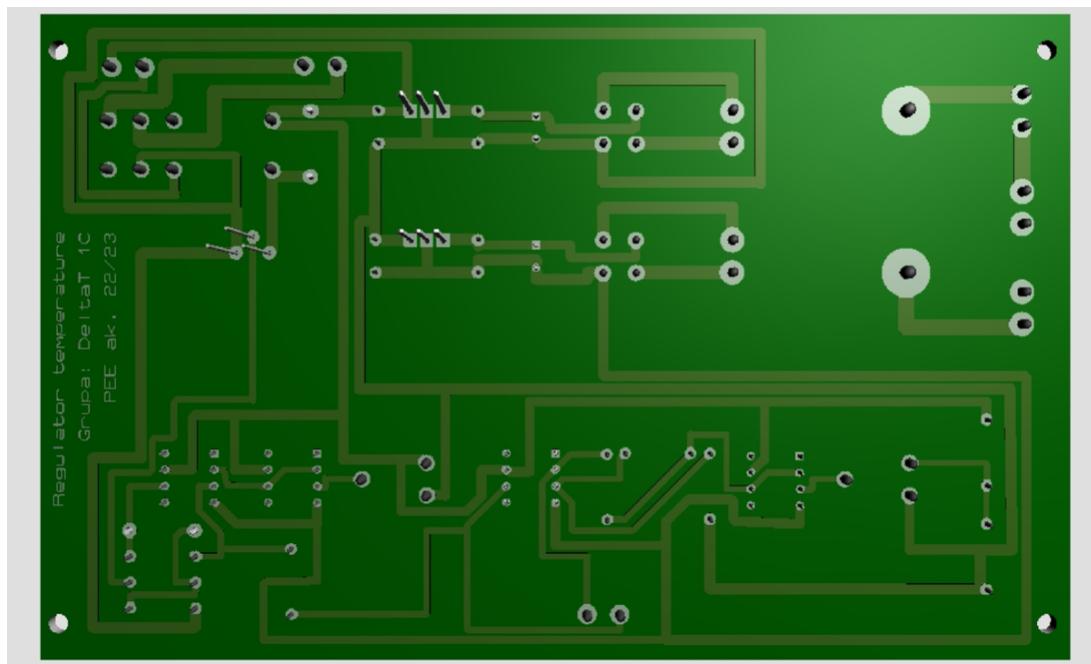
Slika 41: Prikaz vodova i rupica sklopa za regulaciju temperature

9 3D model sklopa za regulacije temperature

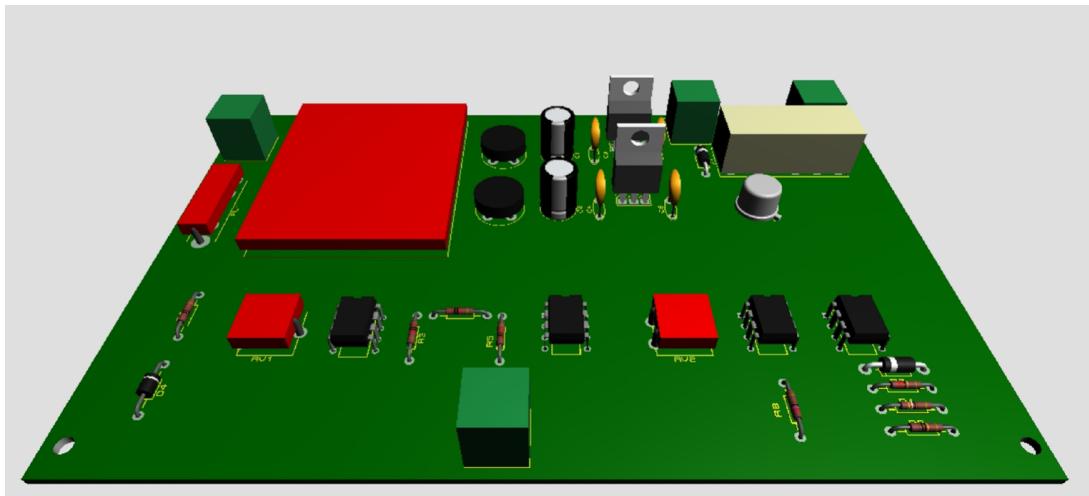
Na narednim slikama prikazan je 3D model sklopa za regulaciju temperature.



Slika 42: 3D prikaz pločice sa gornje strane



Slika 43: 3D prikaz pločice sa donje strane

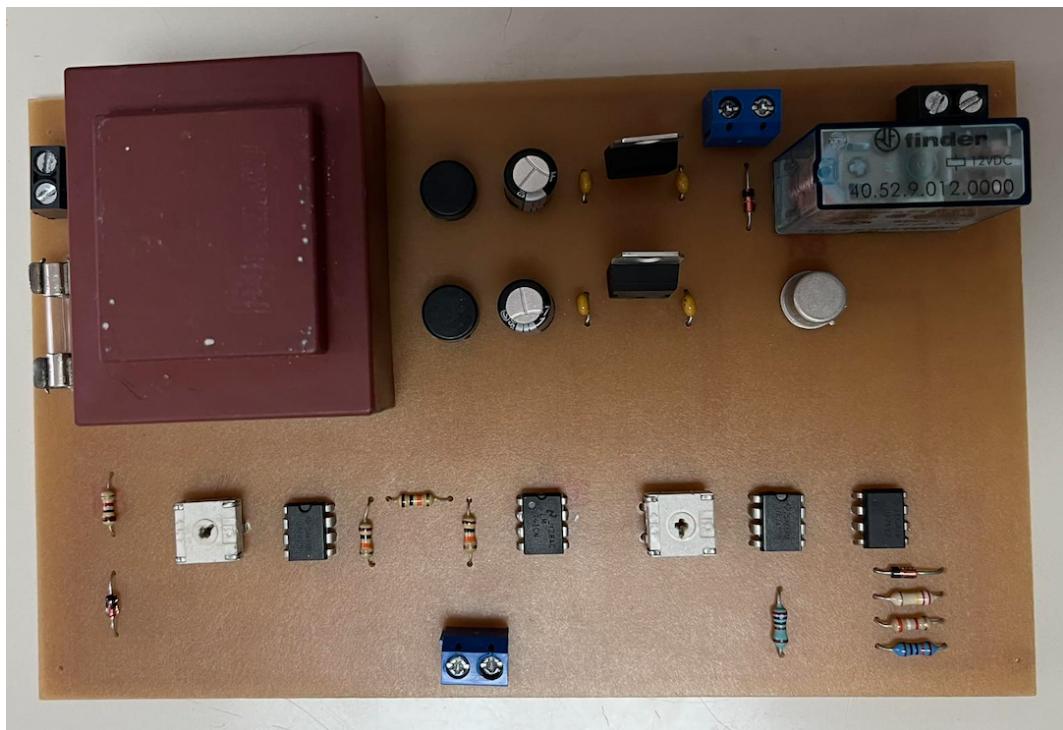


Slika 44: 3D prikaz pločice pod uglom

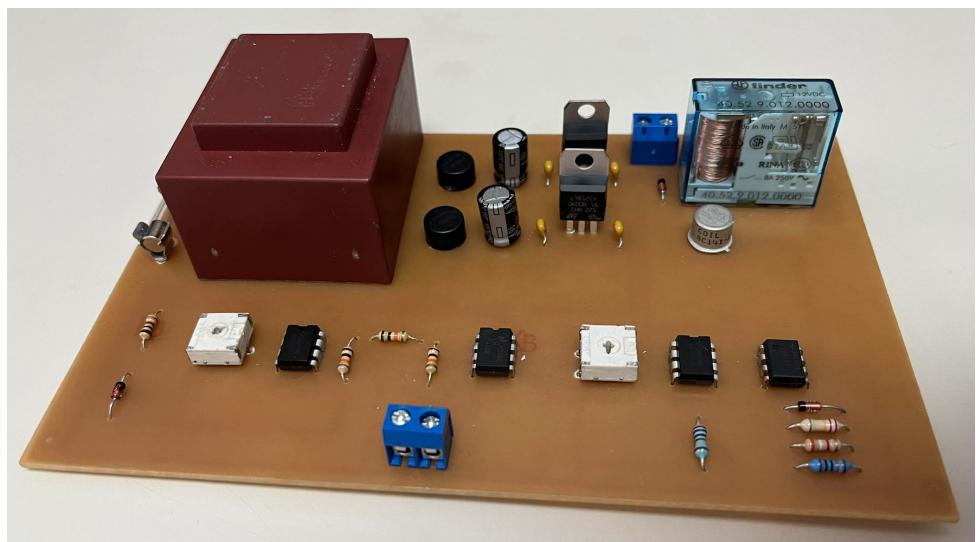
10 Sklop za regulaciju temperature

Izradom PCB pločice i pričvršćivanjem komponenti, na način kako je ranije objašnjeno, završava se realizacija sklopa za regulaciju temperature. Na narednim slikama je prikazan raspored komponenti i vodova na regulatoru temperature izvedenom u laboratoriji poštujući detaljno objašnjeni postupak u prethodnim poglavljima dokumenta.

10.1 Komponente



Slika 45: Prikaz komponenti



Slika 46: Prikaz komponenti pod uglom

10.2 Vodovi



Slika 47: Prikaz vodova