

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

PRIMJER PROJEKTIRANJA IZVORA NAPAJANJA

Rijeka, srpanj 2016.

Filip Žic

0112046022

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

PRIMJER PROJEKTIRANJA IZVORA NAPAJANJA

Mentor: doc. dr. sc. Saša Sladić dipl. ing.

Rijeka, srpanj 2016.

Filip Žic

0112046022

TEHNIČKI FAKULET

Povjerenstvo za završne ispite
prediplomskog stručnog studija elektrotehnike
Br.: 602-04/16-14/27
Rijeka, 14.03.2016.

Z A D A T A K za završni rad

Pristupnik: Filip Žic

Matični broj: : 0112046022
Lokalni matični broj: 12800026

Naziv zadatka:

PRIMJER PROJEKTIRANJA IZVORA NAPAJANJA

Title (*English*):

Case Study: Power Supply Design

Polje znanstvenog područja: 2.03. Elektrotehnika

Grana znanstvenog područja: 2.03.02 elektrostrojarsvo i elektroenergetika

Projektirajte AC/DC pretvarač (nazivne snage 20W) s višestrukim istosmjernim izlazima od kojih je barem jedan podesiv i reguliran. U radu opišite postupak projektiranja i mogućnosti primjene ovog mrežno (230V, 50Hz) napajanog pretvarača.

Mentor:



Doc. dr. sc. Saša Sladić, dipl.ing.

Predsjednica Povjerenstva:



Izv. prof. dr. sc. Vera Gradišnik, dipl.ing.

Student:



Filip Žic

Završni radovi moraju biti u skladu s „Uputama za pisanje završnog / diplomskog rada“.

IZJAVA

Sukladno članku 9. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnog studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, koji je objavljen u lipnju 2011., izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku za završni rad pod brojem 602-04/16-14/27 (Primjer projektiranja izvora napajanja) uz nadzor mentora doc. dr. sc. Saše Sladića dipl. ing.

Filip Žic

potpis

Matični broj

0112046022

Rijeka, srpanj 2016.

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Saši Sladiću dipl. ing. što mi je omogućio izradu ovog završnog rada pod svojim mentorstvom.

Zahvaljujem roditeljima na pruženoj financijskoj i moralnoj podršci prilikom izrade.

Posebno zahvaljujem gospodinu Daveu L. Jonesu i njegovu projektu „Electronics Engineering Video Blog” koji je potaknuo moj entuzijazam prema elektronici, ovaj završni rad i mnoge druge elektroničke projekte koje sam izradio.

Filip Žic

potpis

Matični broj

0112046022

Rijeka, srpanj 2016.

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	IDEJNO RJEŠENJE.....	2
2.1	Blok shema.....	2
3	PROJEKTIRANJE ISPRAVLJAČKOG MODULA	3
3.1	Blok shema.....	3
3.2	Izbor osnovnih komponenata.....	4
3.3	Simulacija djelovanja filtra.....	4
3.4	Projektiranje tiskane pločice.....	5
4	PROJEKTIRANJE UPRAVLJAČKOG MODULA	6
4.1	Blok shema.....	6
4.2	Odabir komponenata.....	7
4.3	Projektiranje korisničkog sučelja.....	8
4.4	Projektiranje tiskane pločice.....	9
5	PROJEKTIRANJE REGULACIJSKOG MODULA	10
5.1	Blok shema.....	10
5.2	Regulatori nepodesivih Izlaza	11
5.1	Predregulator	12
5.2	Regulirani i podesivi izlaz.....	13
5.3	Projektiranje A/D i D/A pretvornika	18
5.4	Projektiranje tiskane pločice.....	19
6	IZRADA TISKANIH PLOČICA.....	20
6.1	Osvjetljavanje.....	21
6.2	Razvijanje.....	22
6.3	Jetkanje.....	23
6.4	Bojanje	24
6.5	Lemljenje	26
6.6	Sklapanje	28

6.7	Korisničko sučelje	29
7	DODATNE IZMJENE	30
8	ZAKLJUČAK	32
9	LITERATURA	33
10	POPIS OZNAKA I KRATICA.....	34
11	SAŽETAK	35
12	ABSTRACT	36
13	DODATAK A - ELEKTRIČNA SHEMA REGULACIJSKOG MODULA	37
14	DODATAK B - PROGRAMSKI KOD.....	38

1 UVOD

Električni izvor napajanja jedan je od osnovnih alata u svakom elektroničkom laboratoriju, a koristi se za napajanje i ispitivanje različitih elektroničkih sklopova ili uređaja. Električni izvor napajanja je elektronički energetska uređaj koji pomoću različitih energetskih pretvarača upravlja električnom energijom pretvarajući je iz jednog oblika u drugi mijenjajući napon, frekvenciju ili valni oblik električne energije. Pomoću izvora napajanja može se regulirati, mjeriti i ograničiti izlazne napone i struje. Kod izvedbe izvora napajanja koriste se linearni i prekidački učinski pretvarači. Tipični linearni učinski pretvarač koristi tranzistor u linearnom području rada, te usporedbom referentnog napona i napona na izlazu regulatora upravlja tranzistorom i stabilizira izlazni napon. Prednosti ovakve regulacije su jednostavnost, niski električni šum, brz odziv i precizna regulacija, a nedostatak je niska djelotvornost odnosno veliki gubitci snage. Prekidački energetska pretvarači djeluju na višim frekvencijama, što smanjuje dimenzije i masu transformatora (u usporedbi s frekvencijom od 50 Hz), te imaju mnogo veću korisnost, ali spor odziv, te stvaraju do deset puta veći električni šum od linearnih. Prekidački učinski pretvarači koriste se u aplikacijama gdje su potrebne veće snage i manje dimenzije pretvarača, a linearni gdje je potrebna visoka preciznost i nizak električni šum [1].

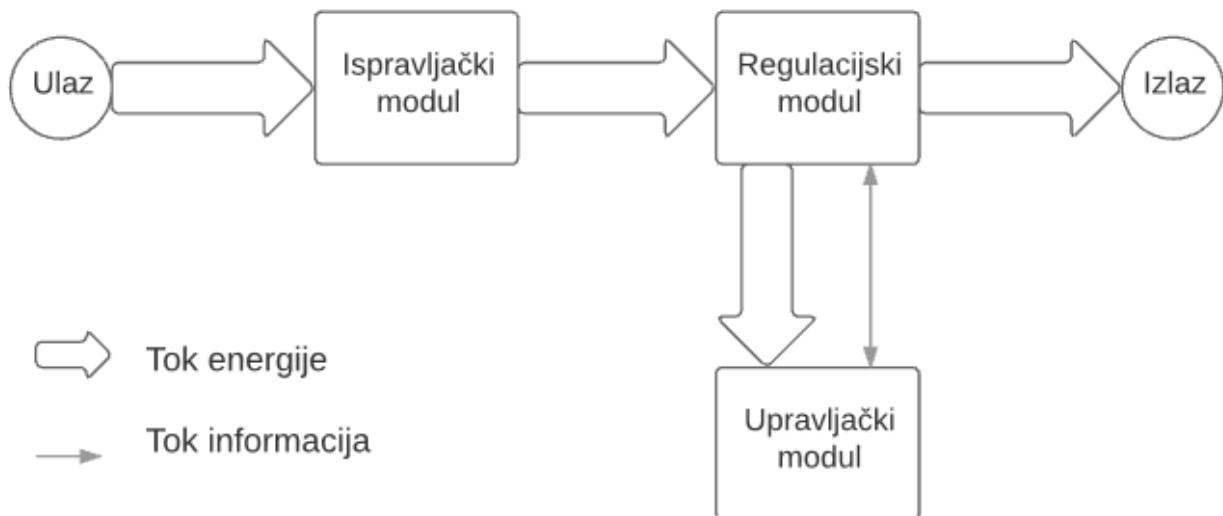
U ovom radu se opisuje projektiranje (eng. *design*) AC/DC pretvarača s višestrukim izlazima, ukupne snage 20 W. U projektiranju ovog izvora napajanja od energetskih pretvarača koristiti će se silazni transformator, mosni ispravljač i kondenzatorski filter kako bi se od mrežnog napona dobio sniženi ispravljeni napon konstantne vrijednosti. Nadalje se taj ispravljeni napon dovodi do različitih prekidačkih i linearnih naponskih regulatora koji će napajati upravljačke sklopove i višestruke izlaze izvora napajanja. Sva regulacija vršiti će se digitalno, a od učinskih pretvarača koriste se i linearni i prekidački.

2 IDEJNO RJEŠENJE

Za projektiranje električnog uređaja početni korak jest postaviti zahtjeve i ciljeve projekta, te osmisliti idejno rješenje u obliku blok sheme. Zahtjevi izvora napajanja su da ulazni napon bude 230 V izmjenično i frekvencije 50 Hz, izvor napajanja mora imati višestruke istosmjerne izlaze, od kojih je barem jedan podesiv i reguliran, te snaga mora biti okvirno 20 W. Dodatni su ciljevi to da podesivi izlaz bude digitalno upravljani i da dimenzije gotovog uređaja budu čim manje. Uz podesivi izlaz poželjni su izlazi od 5 V i 3,3 V jer su to najčešće korištene naponske razine napajanja digitalnih integriranih krugova.

2.1 Blok shema

Izvor napajanja se sastoji od tri funkcijske cjeline: ispravljački modul, regulacijski modul i upravljački modul. Električna energija iz mreže ulazi u ispravljački modul gdje se napon smanjuje s 230 V na 9 V te se ispravlja u istosmjerni i filtrira. Izlaz ispravljačkog modula spojen je na regulacijski modul koji koristeći više lokalnih regulatora napaja upravljački modul i pojedine izlaze izvora napajanja. Funkcija upravljačkog modula jest nadzor i upravljanje pojedinih pretvarača koristeći različite algoritme te komunikacija na relaciji čovjek – stroj.



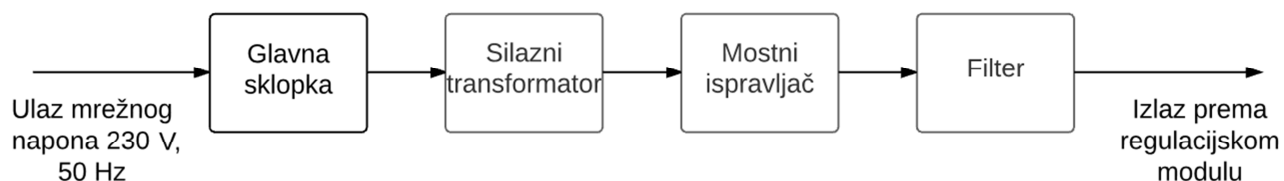
Slika 2.1. Blok shema idejnog rješenja

3 PROJEKTIRANJE ISPRAVLJAČKOG MODULA

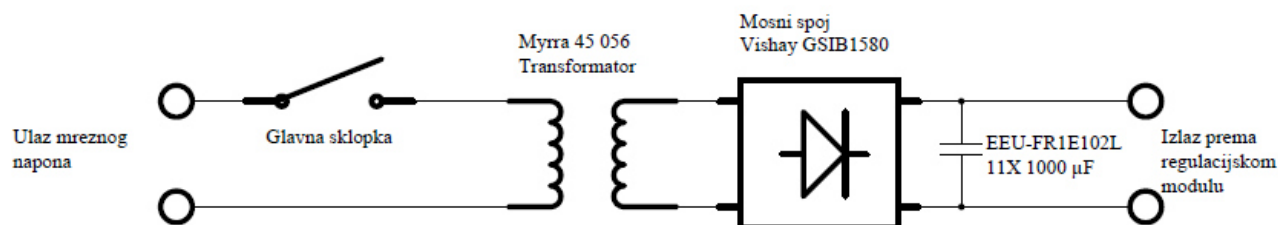
U ispravljačkom modulu ulazna električna energija transformira se iz mrežnog napona na niski istosmjerni napon. Transformirana energija dalje se koristi za napajanje upravljačkog kruga izvora napajanja, a nakon regulacije napaja i višestruke izlaze izvora napajanja.

3.1 Blok shema

Na ulaz ispravljačkog modula priključen je mrežni napon (230 V, 50 Hz) koji preko glavne sklopke, čija je funkcija uključivanje ili isključivanje cijelog sklopa, dolazi na primarni namotaj silaznog transformatora. Na transformatoru se mrežni napon (230 V, 50 Hz) silaznom transformacijom transformira u niži napon (9 V, 50 Hz). U bloku mosnog ispravljača sniženi izmjenični napon ispravlja se u punovalni istosmjerni te se preko kondenzatorskog filtra vrši filtriranje neželjenog šuma i stabilizacija napona. Na izlazu ispravljačkog modula pojavljuje se ispravljen i filtriran napon približne vrijednosti $9\sqrt{2} = 12,72$ V koji napaja regulacijski modul.



a)

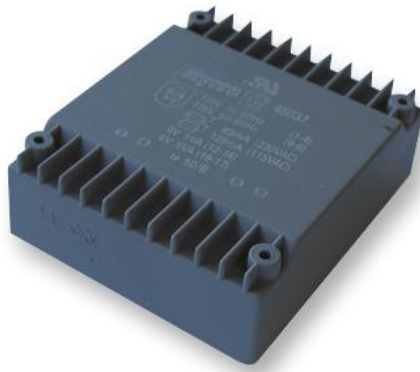


b)

Slika 3.1. a) Blok shema ispravljačkog modula [22] i b) električna shema ispravljačkog modula [20]

3.2 Izbor osnovnih komponenata

Nakon postavljanja idejnog rješenja slijedi izbor transformatora odgovarajuće snage te kućišta odgovarajućih dimenzija. Parametri za odabir transformatora su: ulazni napon 230 V, izlazni napon 9 V, snaga 15 – 25 VA. Parametarskom pretragom pronađen je transformator koji odgovara zahtjevima i kućište dimenzijama prilagođeno odgovarajućem transformatoru. Riječ je o transformatoru Myrra 45 056 [2] (230 V/2 x 9 V, 24 VA) dimenzija (V, Š, D) 31 mm, 57 mm, 68 mm, te kućištu Multicomp G3103 ABS BOX dimenzija (V, Š, D) 90 mm, 100 mm, 100 mm. Za mosni spoj odabrao sam integrirano rješenje Vishay GSIB1580 [3], a filter sam konstruirao koristeći jedanaest kondenzatora tipa Panasonic EEU-FR1E102L [4], nazivnog napona 25 V, kapaciteta 1000 μF , tolerancije $\pm 20\%$ i životnog vijeka od 10 000 radnih sati pri maksimalnoj temperaturi od 105 °C.



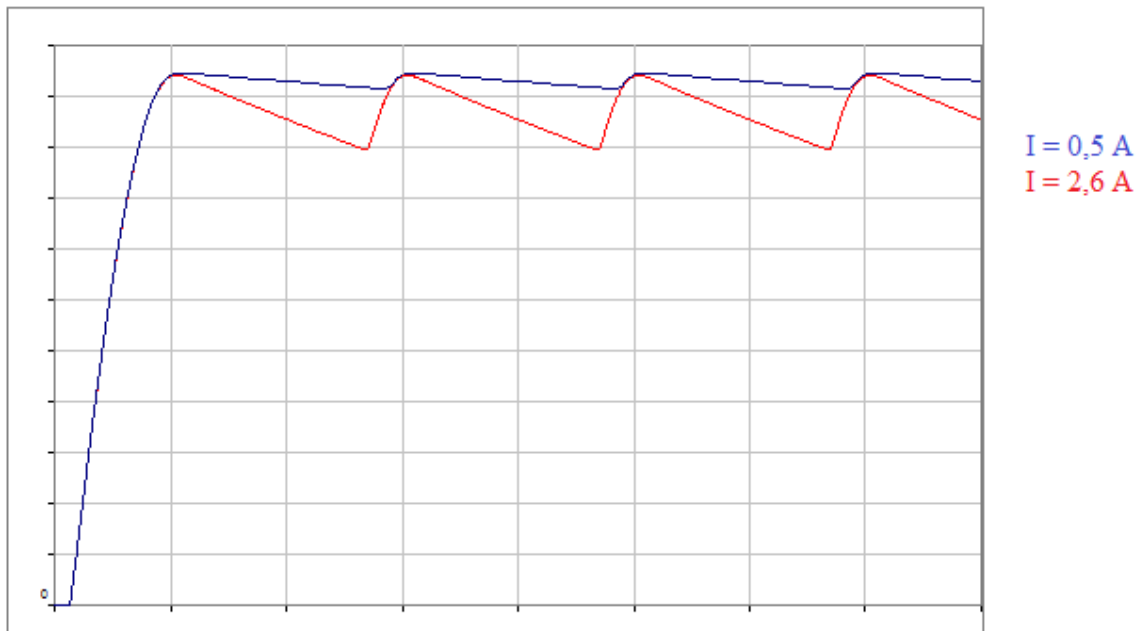
Slika 3.2. Transformator Myrra 45 056 [2]



Slika 3.3. Odabrano kućište G3103 ABS BOX

3.3 Simulacija djelovanja filtra

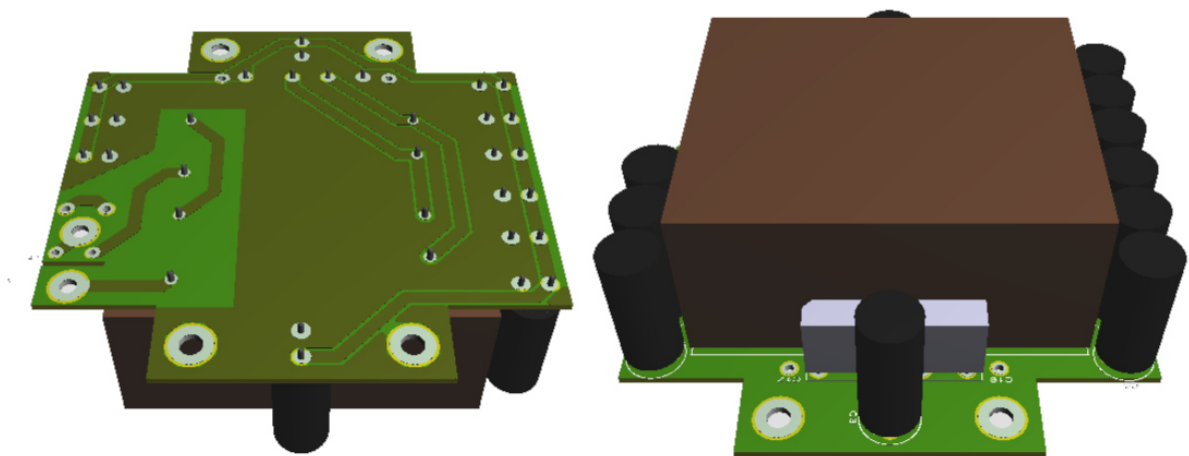
Ukupan kapacitet filtra iznosi 11 000 μF , odnosno 11 mF. Koristeći simulacijski alat (Simplorer, Student Licence), simuliran je rad filtra pri opterećenjima od 0,5 A i 2,6 A kako bi se potvrdila opravdanost odabira navedenog filtra.



Slika 3.4. Simulirani valni oblici izlaznog napona ispravljača za različite vrijednosti struje trošila (1 V/d.s., 5 ms/d.s.)

3.4 Projektiranje tiskane pločice

Kod projektiranja tiskane pločice ispravljačkog modula bilo je potrebno posebnu pažnju posvetiti udaljenosti između vodova mrežnog napona kako se izbjegao proboj izolacije te širini, odnosno poprečnom presjeku vodova manjeg napona radi sprječavanja pregrijavanja vodova. Tiskanu pločicu sam projektirao koristeći CAD alat (DesignSpark PCB 7.1) [20].



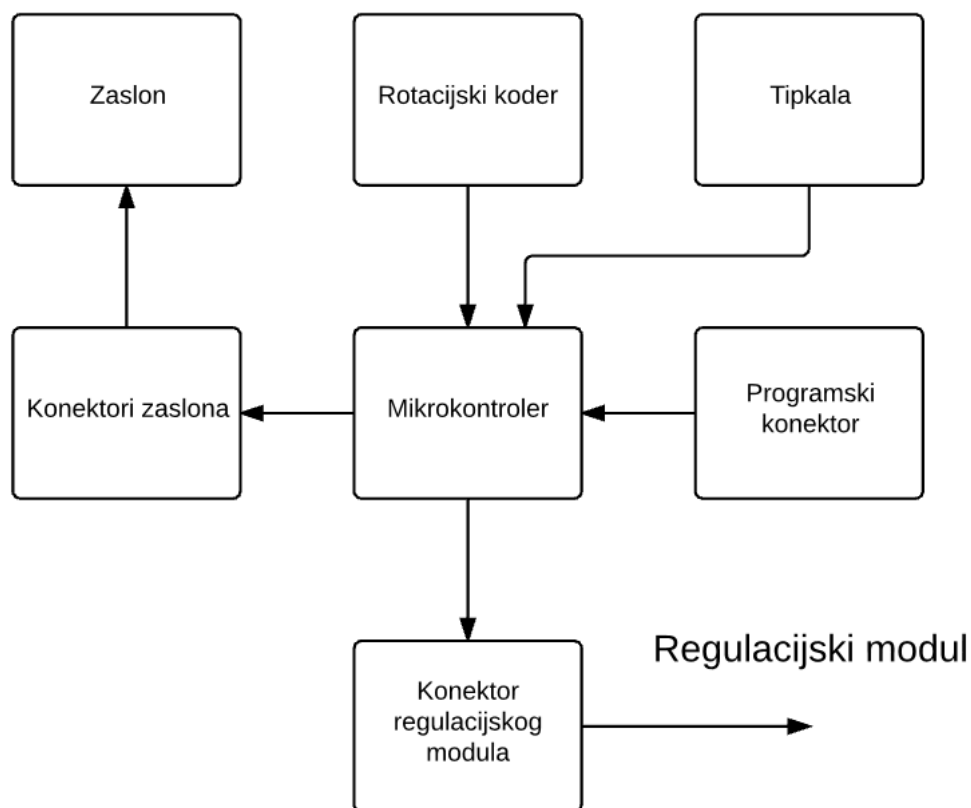
Slika 3.5. Trodimenzionalni model tiskane pločice ispravljačkog modula [20]

4 PROJEKTIRANJE UPRAVLJAČKOG MODULA

Upravljački modul služi nadzoru i upravljanju regulacijskim modulom te komunikaciji između izvora napajanja i čovjeka. Upravljanje regulacijskim modulom vrši se pomoću triju individualnih upravljačkih signala te komunikacijskom I²C (eng. *Inter-Integrated Circuit*) sabirnicom, dok se komunikacija između čovjeka i izvora napajanja vrši pomoću triju tipkala, rotacijskog kodaera te grafičkog zaslona.

4.1 Blok shema

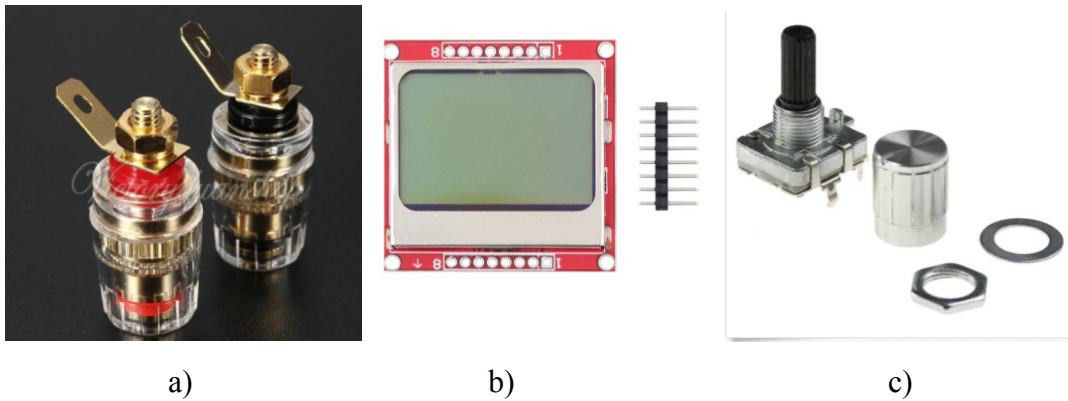
Osnovna je komponenta upravljačkog modula mikrokontroler koji upravlja sklopom. Kontroler se programira preko programskog konektora, a komponente su za komunikaciju čovjek – stroj ulazi tipkala i rotacijski koder te zaslonski izlaz koji je na modul priključen preko zaslonskih konektora. Upravljački modul upravlja regulacijskim modulom preko konektora regulacijskog modula, koji također služi napajanju upravljačkog modula. Upravljanje se vrši pomoću triju digitalnih signala (EN1, EN2, EN3) te I²C sabirnice projektirane od strane Philips Semiconductor (danas NXP Semiconductors).



Slika 4.1. Blok shema upravljačkog modula [22]

4.2 Odabir komponenata

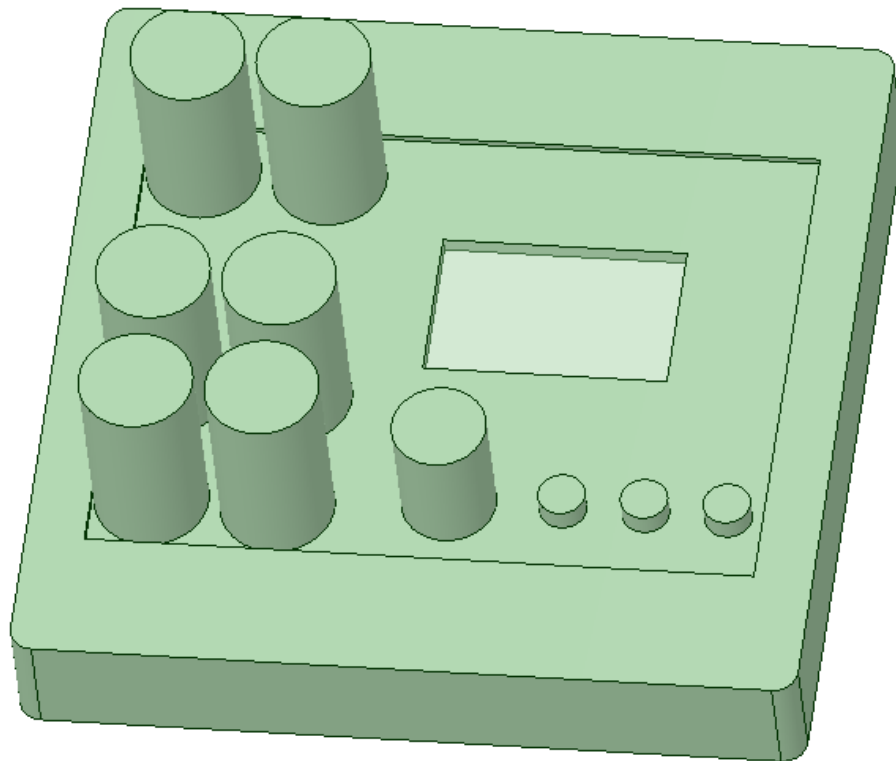
Odabir komponenata ispravljačkog kruga započeo je komponentama koje se nalaze na korisničkom sučelju, a to su grafički zaslon, rotacijski koder i tipkala, no trebalo je odabrati i izlazne konektore izvora napajanja kako bi se moglo doći do idejnog rješenja izgleda korisničkog sučelja. Kod odabira komponenata korisničkog sučelja trebalo je paziti na dimenzije svih komponenata kako bi se mogle sve rasporediti na odabranu površinu poklopca kućišta. Odabrane komponente su grafički zaslon Nokia 5110 LCD [5], 84 x 48 točaka, rotacijski koder, tipkala i priključni konektori, te mikrokontroler Picaxe20X [6].



Slika 4.2. Odabrane komponente: a) izlazni konektori, b) zaslon, c) rotacijski koder

4.3 Projektiranje korisničkog sučelja

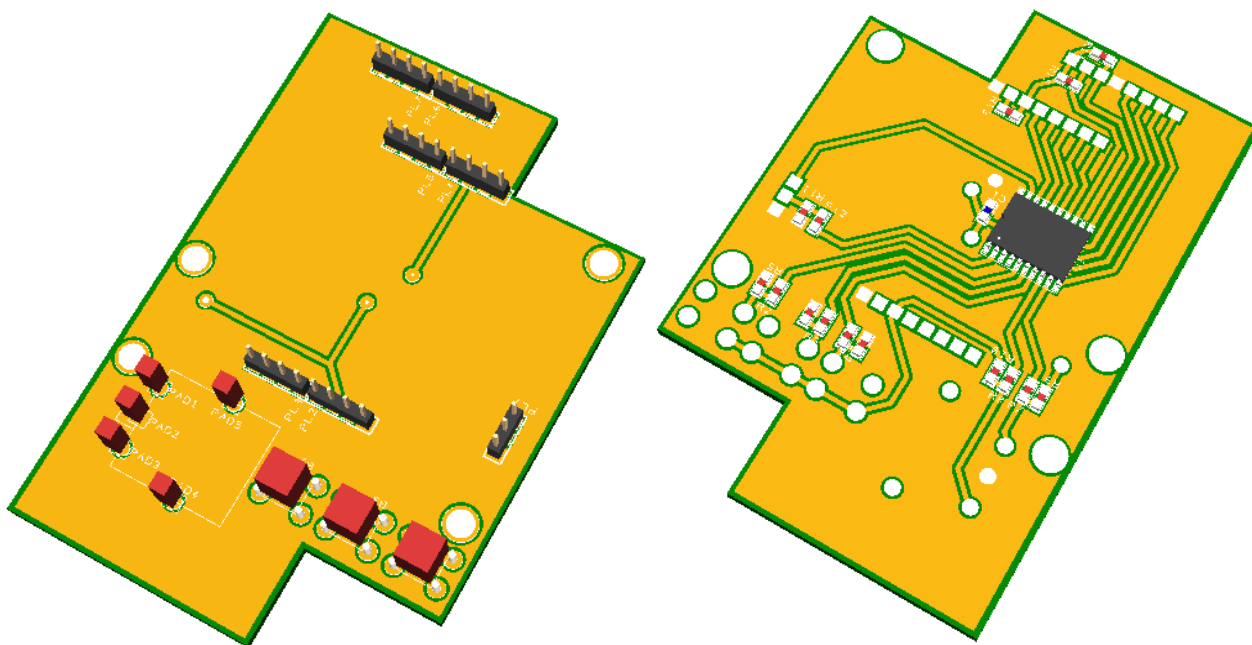
Koristeći se CAD alatom (DesignSpark Mechanical 2.0) [21] projektirao sam nekoliko različitih verzija korisničkog sučelja i odabrao najpogodniju. Svi izlazi biti će izravno spojeni na regulacijski modul, a sve ostale komponente korisničkog sučelja spojit ću na upravljački modul koji je montiran na poledini poklopca kućišta.



Slika 4.3. Trodimenzionalni model odabrane verzije korisničkog sučelja [21]

4.4 Projektiranje tiskane pločice

Nakon projektiranja korisničkog sučelja potrebno je projektirati tiskanu pločicu upravljačkog modula, pri čemu treba obratiti pozornost na smještaj komponenata korisničkog sučelja poput rotacijskog koda, zaslona i tipkala. Projektiranje je izvršeno pomoću CAD alata (DesignSpark PCB 7.1) [20] počevši od dimenzioniranja tiskane pločice. Maksimalne dimenzije pločice sužene su kako bih oslobodio dodatan prostor za postavljanje izlaznih konektora izvora napajanja. Nakon dimenzioniranja tiskane pločice određen je smještaj komponenata korisničkog sučelja (zaslon, rotacijski koder i tri tipkala) te dodane montažne rupe. Na ostatak slobodnog prostora smješten je mikrokontroler i potrebne pasivne komponente, te je pločicu upotpunjena poljem nultog potencijala (eng. *ground plane*).



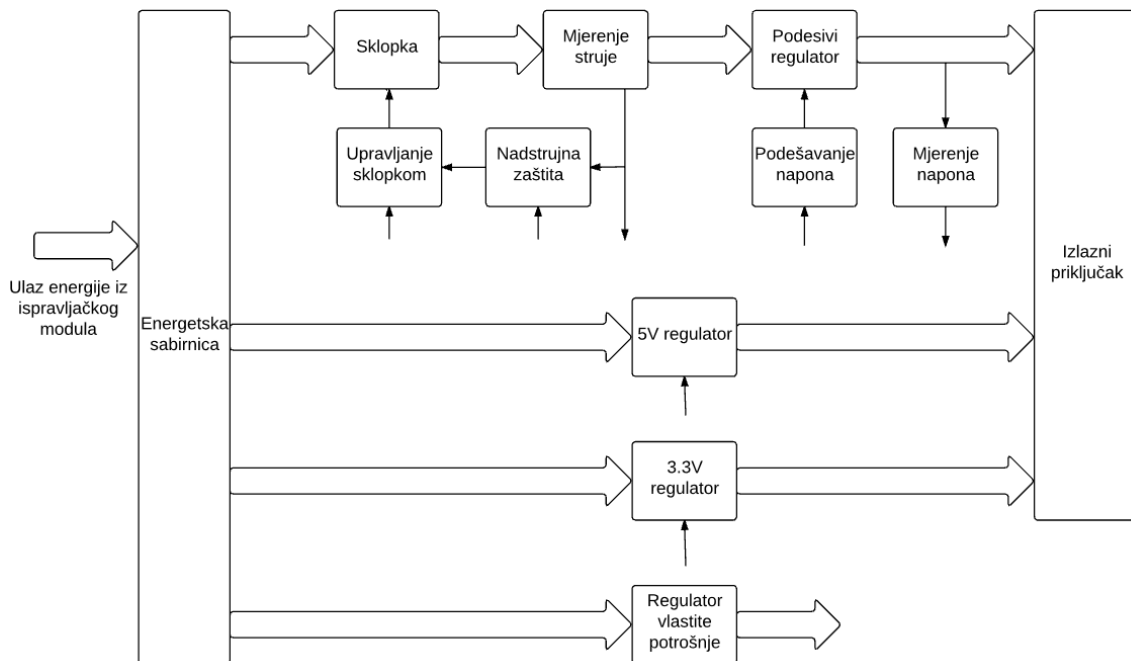
Slika 4.4. Trodimenzionalni model dvoslojne tiskane pločice upravljačkog modula [20]

5 PROJEKTIRANJE REGULACIJSKOG MODULA

Regulacijski modul na svom ulazu dobiva električnu energiju iz ispravljačkog modula i informacije iz upravljačkog modula pomoću kojih upravlja izlazima izvora napajanja. Na regulacijskom modulu također se nalazi regulator vlastite potrošnje za napajanje unutarnjih komponenata izvora napajanja, digitalno-analogni pretvornik za podešavanje izlaznih veličina napona i struje te analogno-digitalni pretvornik za mjerenje istih.

5.1 Blok shema

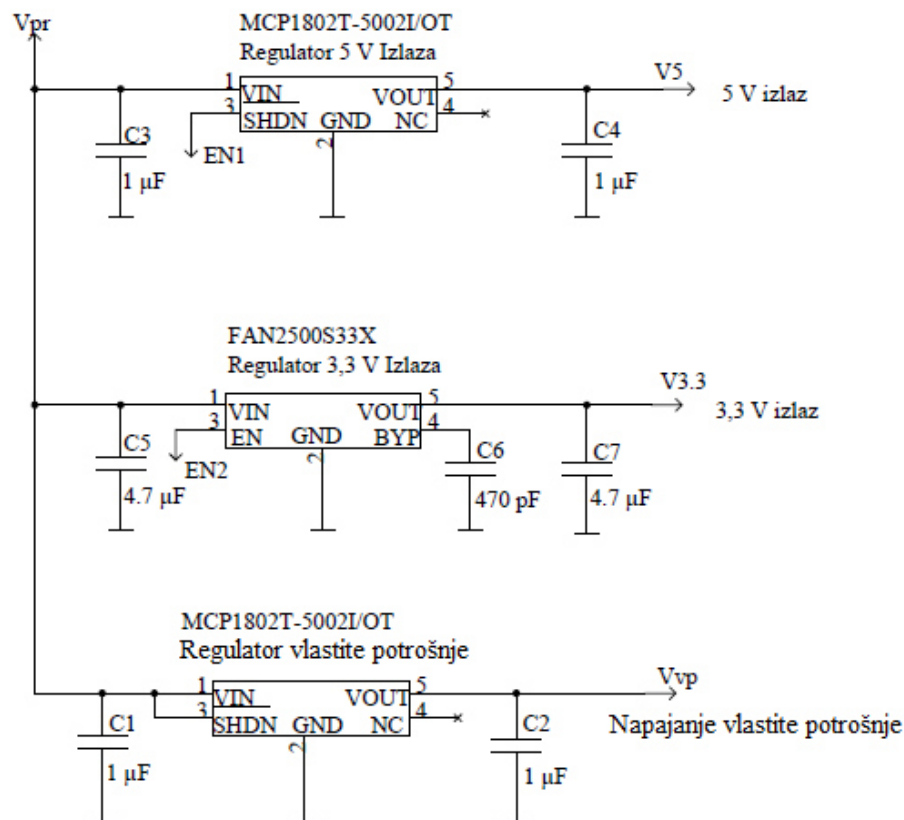
Regulacijski modul, osim regulatora vlastite potrošnje te digitalno-analognih i analogno-digitalnih pretvornika, sadrži upravljačke i regulacijske sklopove za sva tri izlaza. Izlazi nepodesivih vrijednosti 5 V i 3,3 V izvedeni su koristeći visoko integrirane regulatore te se sve potrebne funkcije pretvarača nalaze unutar jednog integriranog kruga. Podesivi i regulirani izlaz ne koristi regulator visoke integracije, pa je stoga potrebno projektirati sklopove za dodatne funkcije poput sklopke za uklop i isklop pretvarača, povratnu vezu mjerenja struje i napona za upravljački algoritam te sustav nadstrujne zaštite s izravnim pristupom upravljanja sklopkom.



Slika 5.1. Blok shema regulacijskog kruga [22]

5.2 Regulatori nepodesivih Izlaza

U izvor napajanja ugradit će se dva nepodesiva izlaza naponskih razina 3,3 i 5 V te jedan regulator vlastite potrošnje za upravljačko sklopovlje izvora napajanja. Oba izlaza trebaju imati upravljački sklop za digitalno uključivanje i isključivanje. Zbog prevelikih gubitaka snage na regulatorima 5 V i 3,3 V potrebno je projektirati predregulator. Za regulator 3,3 V pretvarača odabran je integrirani krug FAN2500S33X [7] koji na izlazu regulira napon od 3,3 V ako je na ulazu napon raspona od 4,3 V do 6,5 V. Predviđena struja kroz regulator iznosi 100 mA i regulator ima ugrađenu upravljačku elektrodu, stoga nije potrebno projektirati sklop za uključivanje i isključivanje izlaza. Za regulator 5 V izlaza i regulator vlastite potrošnje odabrano je integrirano rješenje MCP1802T500I/OT [8] nazivne struje 150 mA, koje također sadrži i sklopku, što uklanja potrebu za dodatnom upravljačkom sklopkom. Upravljačke elektrode pretvarača 3,3 V i 5 V priključene su na mikrokontroler, dok je upravljačka elektroda regulatora vlastite potrošnje priključena na logičku jedinicu kako bi regulator uvijek bio aktivan. U sklop su dodani kondenzatori na ulazima i izlazima kako bi izlazni naponi bili što stabilniji.



Slika 5.2. Shema regulatora 5 V, 3,3 V i regulatora vlastite potrošnje [20]

Proračun gubitaka na regulatorima:

$$P = (U_{ul} - U_{izl}) \cdot I_{maks} \quad (5.1)$$

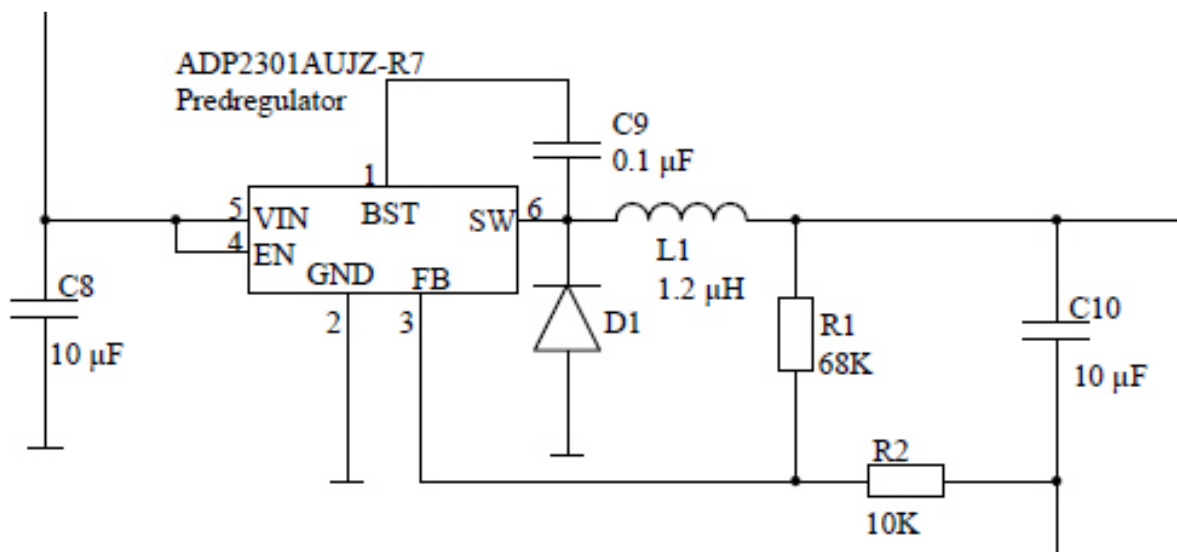
$$P_{3,3} = (9\sqrt{2} - 3,3) \cdot 0,1 = 0,94 \text{ W}$$

$$P_5 = (9\sqrt{2} - 5) \cdot 0,3 = 2,31 \text{ W}$$

Uvidom u tehničku dokumentaciju korištenih regulatora [7][8] vidi se da su maksimalni preporučeni gubitci snage na regulatorima 0,5 W, te je kod prevelikih gubitaka (0,94 W i 2,31 W) potrebno projektirati predregulator za sva tri navedena regulatora.

5.1 Predregulator

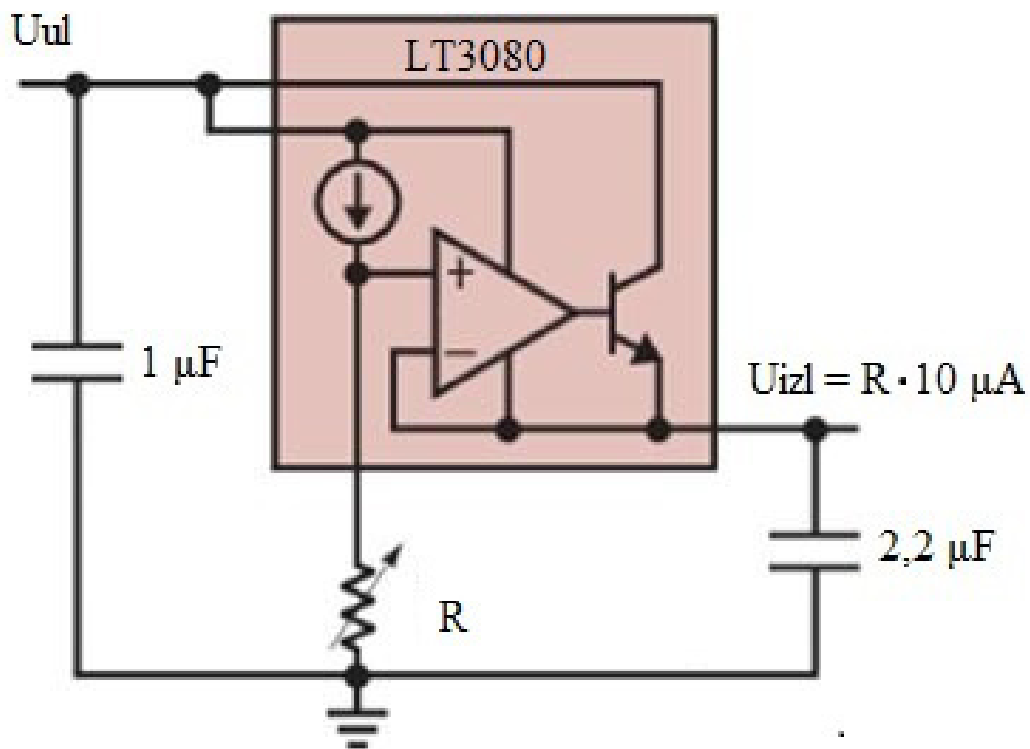
Ulazni napon na 5 V regulatoru mora biti veći od 6 V [8], a ulazni napon na 3,3 V regulatoru mora biti manji od 6,5 V [7]. Potrebno je projektirati prekidački predregulator s izlaznim naponom od 6,3 V koji na izlazu daje struju do 700 mA. Kao predregulator odabrao sam integrirano rješenje ADP2301AUJZ-R7 [9]. Projektiranje sklopa i proračun nazivnih vrijednosti komponenata predregulatora izvršio sam u skladu s uputama priloženim u tehničkoj dokumentaciji predregulatora [9].



Slika 5.3. Shema predregulatorskog sklopa [20]

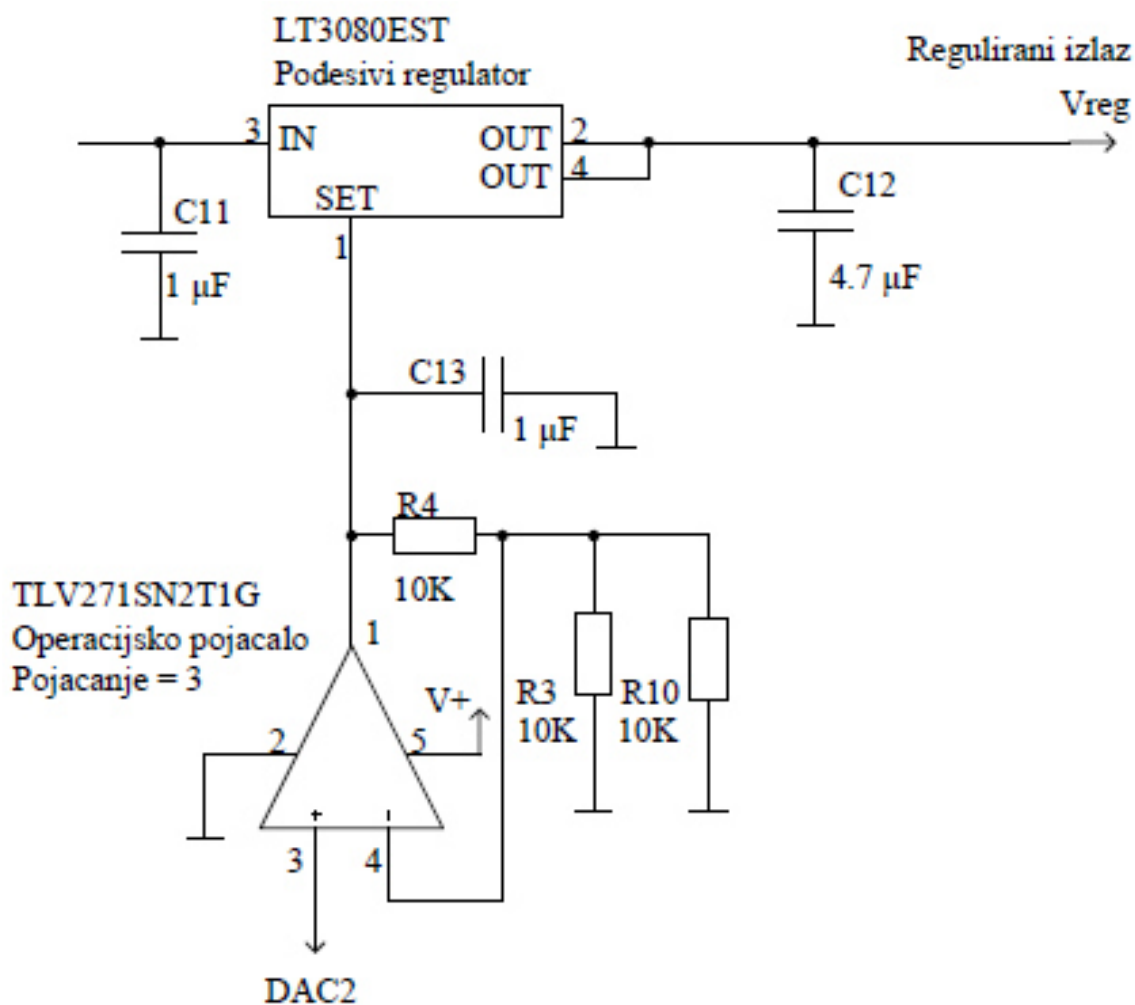
5.2 Regulirani i podesivi izlaz

Za regulaciju podesivog izlaza odabrao sam regulator LT3080EST#PBF [10] izlaznog napona 0 – 36 V i struje do 1,1 A. Iz tehničke dokumentacije integriranog kruga vidi se način djelovanja navedenog regulatora (*Slika 5.4*), koji je pojednostavljen operacijskim pojačalom u neinvertirajućem spoju (naponsko sljedilo), strujnim izvorom od 10 μA i NPN bipolarnim tranzistorom. Na neinvertirajućem ulazu operacijskog pojačala vlada napon koji odgovara umnošku struje strujnog izvora 10 μA i otpora namještanja R. Neinvertirajuće operacijsko pojačalo, regulirajući NPN tranzistor na izlazu iz sklopa, regulira napon jednak onom na neinvertirajućem ulazu operacijskog pojačala.



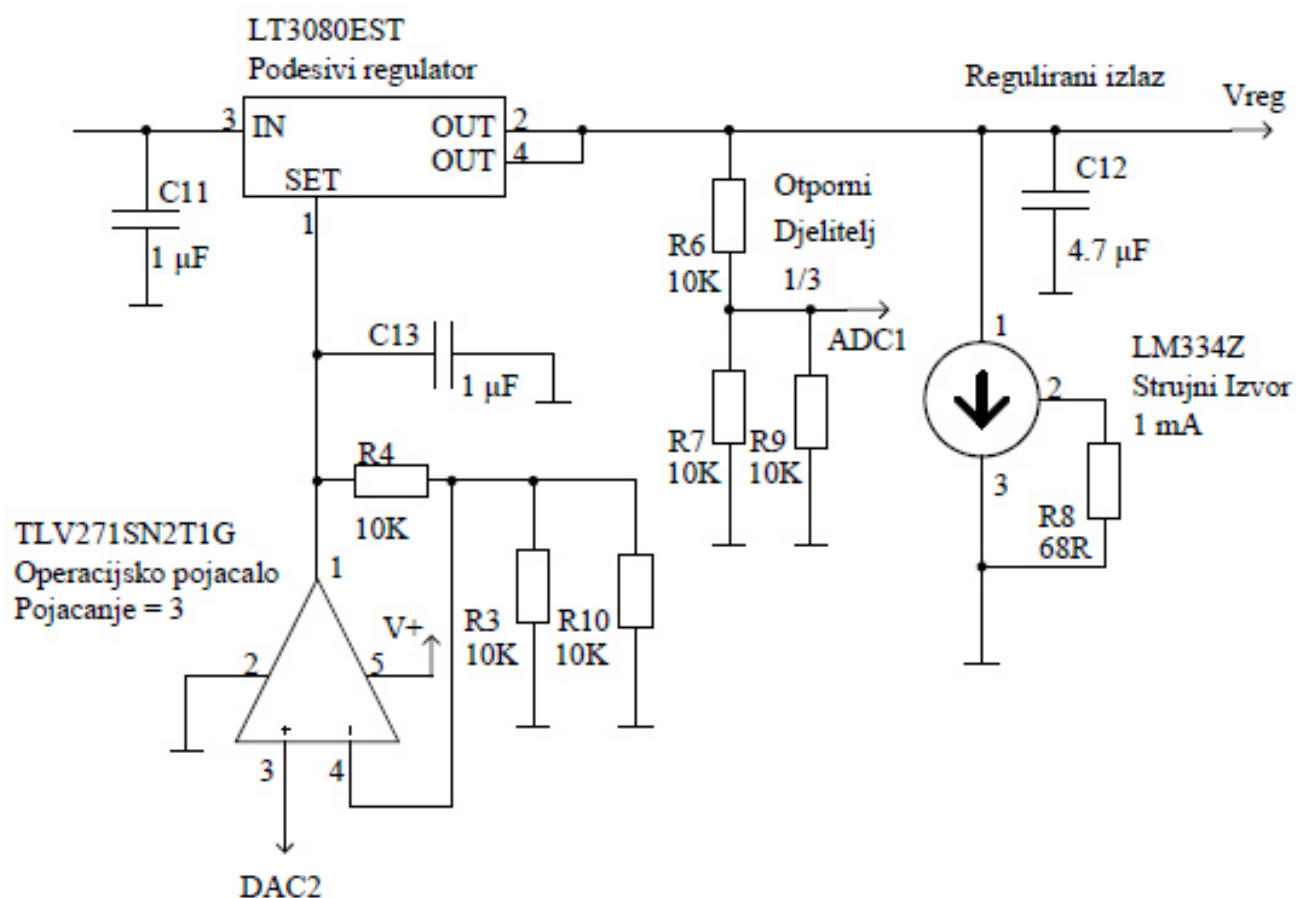
Slika 5.4. Tipična aplikacija regulatora LT3080 [10]

U slučaju odabira digitalne regulacije, potrebno je na priključak (eng. *pin*) SET spojiti idealni naponski izvor, odnosno naponski izvor čija je izlazna impedancija jednaka nuli kako bismo zanemarili utjecaj strujnog izvora unutar integriranog kruga. Kao idealni naponski izvor također se može koristiti operacijsko pojačalo u neinvertirajućem spoju koje preko negativne povratne veze uklanja utjecaj strujnog izvora. Neinvertirajući ulaz pojačala spojen je na digitalno-analogni pretvornik koji je digitalno upravljani i na svojem izlazu daje vrijednosti od 0 do 4,096 V. Negativna povratna veza operacijskog pojačala projektirana je tako da pojačanje bude 3, odnosno da vrijednost napona na izlazu bude između 0 V i 12,288 V. Na regulator je potrebno spojiti kondenzatore za stabilizaciju ulaznog i izlaznog napona, a također je preporučljivo dodati kondenzator kapaciteta 1 μF za stabilizaciju upravljačke grane. Za izvedbu ovog sklopa korišteno je operacijsko pojačalo TLV271SN2T1G [11].



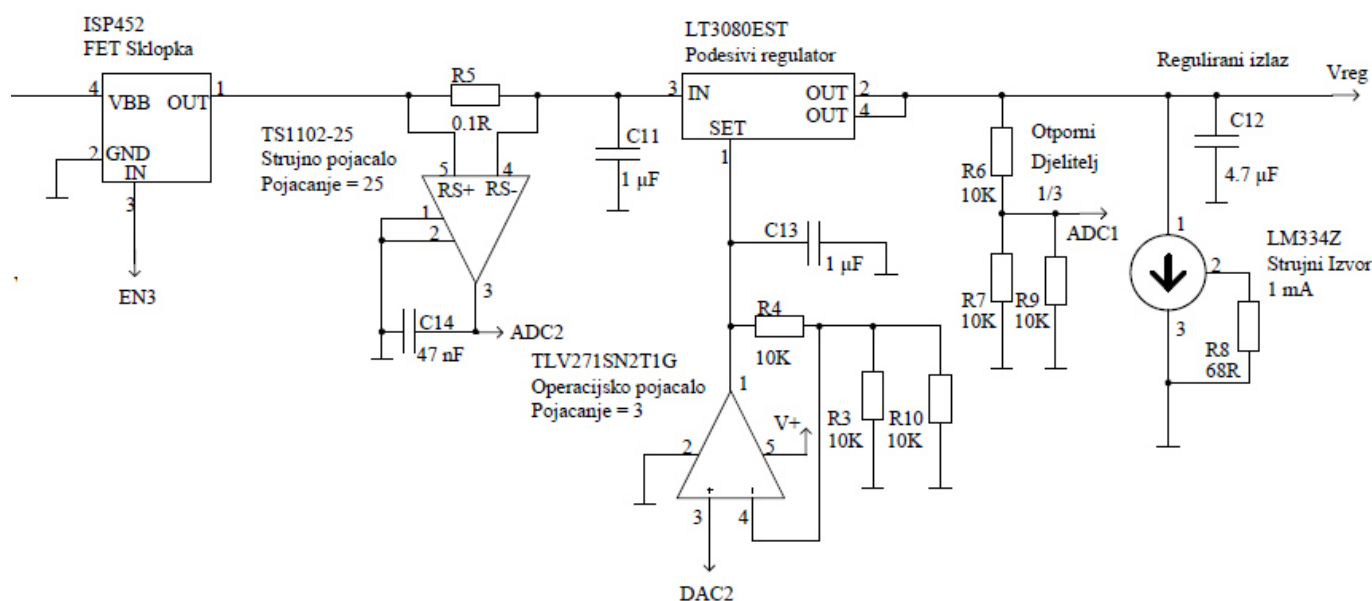
Slika 5.5. Shema regulatora upravljana operacijskim pojačalom [20]

U tehničkoj dokumentaciji regulatora [10] navedeno je kako za ispravnu regulaciju napona izlazna struja mora biti veća od 0,5 mA. Budući da napon ovog regulatora nije konstantan, već podesiv, minimalnu potrebnu struju nije moguće postići dodavanjem otpora u izlazni krug, nego je potrebno dodati strujni izvor. Za realizaciju izvora konstantne struje korišten je integrirani krug LM334Z/NOPB [12] koji uz dodavanje otpora od 68 Ω djeluje kao konstantni strujni izvor od 1 mA. Na izlazu iz regulatora također će biti otporni djelitelj napona koji će izlazni napon smanjivati na vrijednost $U_{izl}/3$ kako bi se uz pomoć analogno- digitalne pretvorbe vršilo mjerenje izlaznog napona.



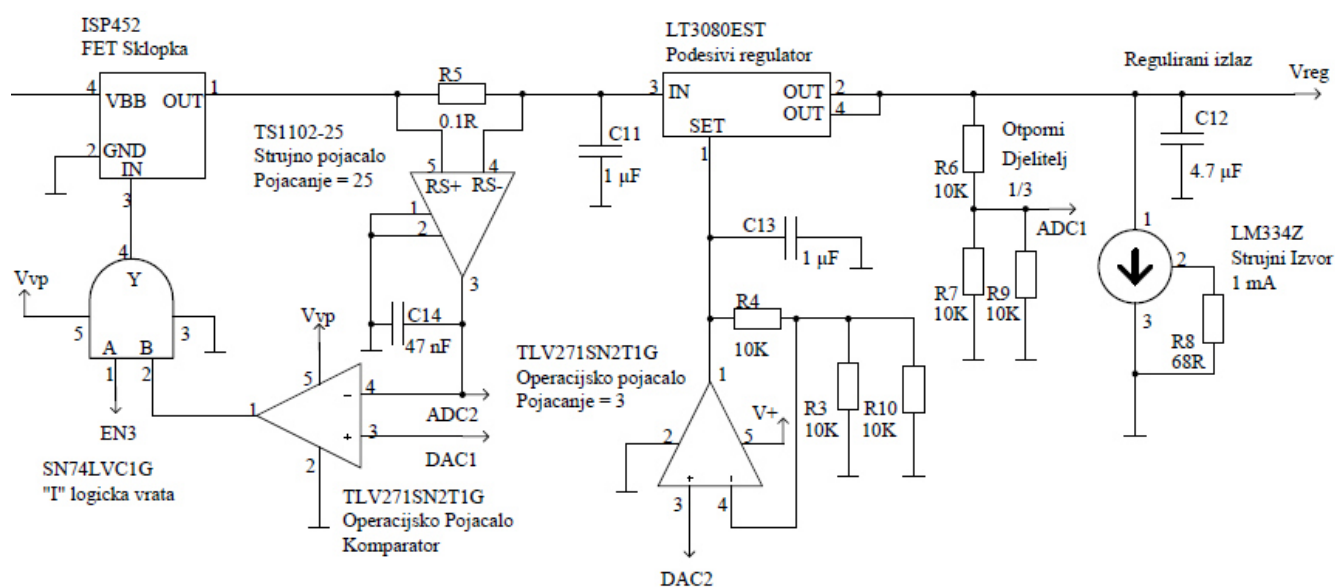
Slika 5.6. Shema reguliranog pretvarača s otpornim djeliteljem i strujnim izvorom [20]

Sljedeći je korak projektirati sklop za mjerenje struje te sklapanje pretvarača. Struja se mjeri pomoću mjernog otpornika $0,1 \Omega$ i diferencijalnog strujnog pojačala TS1102-25EG5T [13]. Prolaskom struje kroz mjerni otpornik na otporniku dolazi do pada napona koji se diferencijalnim pojačalom pojačava 25 puta te uz pomoć analogno-digitalnog pretvornika pretvara u 12-bitni digitalni podatak te šalje u mikrokontroler. Maksimalna struja kroz regulator iznosi 1,1 A, što prolaskom kroz mjerni otpornik stvara pad napona od 110 mV. Diferencijalno pojačalo odgovarajući pad napona pojačava 25 puta te na svom izlazu daje napon od 0 V do 2,75 V u ovisnosti o struji. Izlaz diferencijalnog pojačala preporučljivo je stabilizirati kondenzatorom kapaciteta 47 nF. Promjena stanja izlaza (uključivanje i isključivanje pretvarača) izvedena je digitalno upravljanom N-kanalnom FET sklopkom ISP452 [14] koja uključuje pretvarač dovođenjem logičke jedinice (5V) na upravljačku elektrodu.



Slika 5.7. Shema reguliranog pretvarača sa sklopkom i digitalnim mjerenjem struje [20]

U slučajevima kada je regulirani napon mali ($< 3\text{ V}$), a struja kroz regulator velika, na regulatoru se troši prevelika snaga, što može uzrokovati nestabilan rad i uništenje regulatora. Kako bi regulator bio zaštićen od uništenja, potrebno je projektirati strujnu zaštitu reguliranog pretvarača. Najučinkovitiji način ograničenja struje jest iskoristiti već projektiran sklop za mjerenje struje te mjerenu vrijednost uspoređivati sa zadanom vrijednošću pomoću operacijskog pojačala [11] u spoju komparatora koje će upravljati FET sklopom na ulazu pretvarača. Neinvertirajući ulaz komparatora biti će priključen na digitalno-analogni pretvornik, što će označavati maksimalnu dopuštenu vrijednost struje, a na invertirajući ulaz biti će doveden signal iz diferencijalnog strujnog pojačala. Izlaz komparatora i upravljački signal za uključivanje i isključivanje pretvarača bit će spojeni na dvoulazna I logička vrata (eng. *and* / $\&$) SN74LVC1G08QDBVRQ1 [15] koja upravljaju N-kanalnom FET sklopom.



Slika 5.8. Regulirani pretvarač s nadstrujnom zaštitom [20]

Primjer strujne regulacije:

U slučaju da je potrebno regulirati izlaznu struju na 500 mA , na neinvertirajući ulaz komparatora treba dovesti signal od $1,25\text{ V}$. Na invertirajućem ulazu pojaviti će se napon proporcionalan jačini struje kroz mjerni otpornik. Ako struja iznosi 400 mA , prolaskom kroz mjerni otpornik na ulazu diferencijalnog pojačala bit će pad napona od 40 mV , a na izlazu ta će se vrijednost povećati 25 puta,

odnosno iznositi će 1 V. U ovom slučaju na neinvertirajućem ulazu operacijskog pojačala bit će 1,25 V, a na invertirajućem 1 V. Pojačanje je komparatora beskonačno veliko, što znači da će na izlazu biti najveća moguća vrijednost napona (5 V), dok je vrijednost na neinvertirajućem izlazu veća od vrijednosti na invertirajućem, odnosno vrijednost referentne točke (0 V) u slučaju kada je vrijednost na invertirajućem ulazu veća od vrijednosti na neinvertirajućem. Kada vrijednost struje preraste dozvoljenu granicu, komparator isključuje sklopku i prekida protok struje kroz mjerni otpornik, a regulator se još kratko vrijeme nastavlja napajati iz ulaznog kondenzatora. Prekidom prolaska struje kroz mjerni otpornik vrijednost invertirajućeg ulaza komparatora se smanjuje ispod vrijednosti neinvertirajućeg te se ulazna sklopka ponovno uključuje i struja ponovno protječe kroz mjerni otpornik. Ako je izlaz regulatora u kratkom spoju, komparator naizmjenično uključuje i isključuje ulaznu sklopku, čime se osigurava upravljan protok struje čak i uslijed kratkog spoja. Ovakav način rada zove se klizni način rada (eng. *sliding mode / bang-bang*) [23].

U dokumentaciji regulatora [10] vidi se da je maksimalna temperatura silicijskog čvora 125 °C, što bi značilo da, uzevši u obzir temperaturu unutar kućišta od 35 °C, maksimalan porast temperature na čvoru iznosi $125\text{ °C} - 35\text{ °C} = 90\text{ °C}$. Toplinski otpor između čvora i okoline iznosi 55 K/W [10], odnosno maksimalna dozvoljena snaga na regulatoru $90\text{ °C} / 55\text{ (°C/W)}$ iznosi 1,63 W, koju ću iz sigurnosnih razloga zaokružiti na 1,5 W. Dodavanjem pasivnog hladnjaka toplinskog otpora 20 K/W ukupni toplinski otpor smanjuje se na 40 K/W, odnosno za snagu gubitaka od 1,5 W temperatura okoline poraste za 60 °C. Dodavanjem pasivnog hladnjaka se smanjuje temperatura čvora, što izravno utječe na stabilnost regulatora i ostalih integriranih krugova unutar izvora napajanja

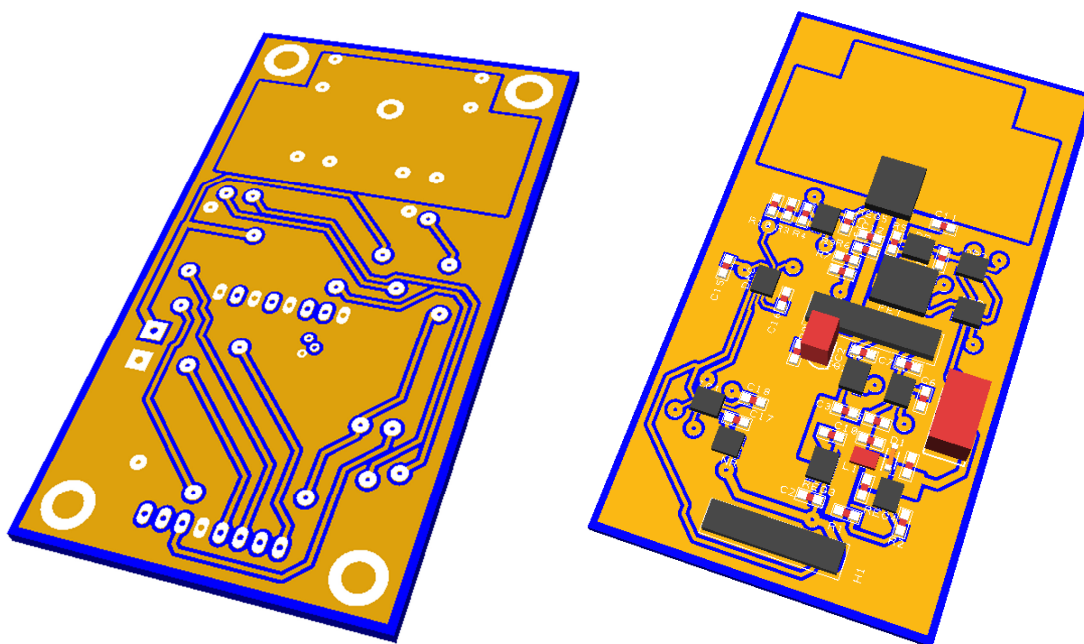
5.3 Projektiranje A/D i D/A pretvornika

Potrebna su dva digitalno-analogna pretvornika, jedan za podešavanje izlaznog napona i jedan za podešavanje izlazne struje. Za digitalno-analognu pretvorbu odabrano je integrirano rješenje LTC2633CTS8-HZ12#TRMPBF [16], 12-bitni pretvornik s dva izlaza i izlaznom skalom od 0 do 4,096 V. Za analogno-digitalnu pretvorbu potrebni su pretvornici za mjerenje struje i napona. Odabrao sam integrirano rješenje AD7991YRJZ-0500RL7 [17], 12-bitni SAR (eng. *successive approximation register*) pretvornik s 4 ulaza. Jedan od neiskorištenih ulaza analogno-digitalnog

pretvornika spojit ću na izvor referentnog napona MAX6102EUR+T [18] od 4,096 V, što će povećati preciznost pretvorbe.

5.4 Projektiranje tiskane pločice

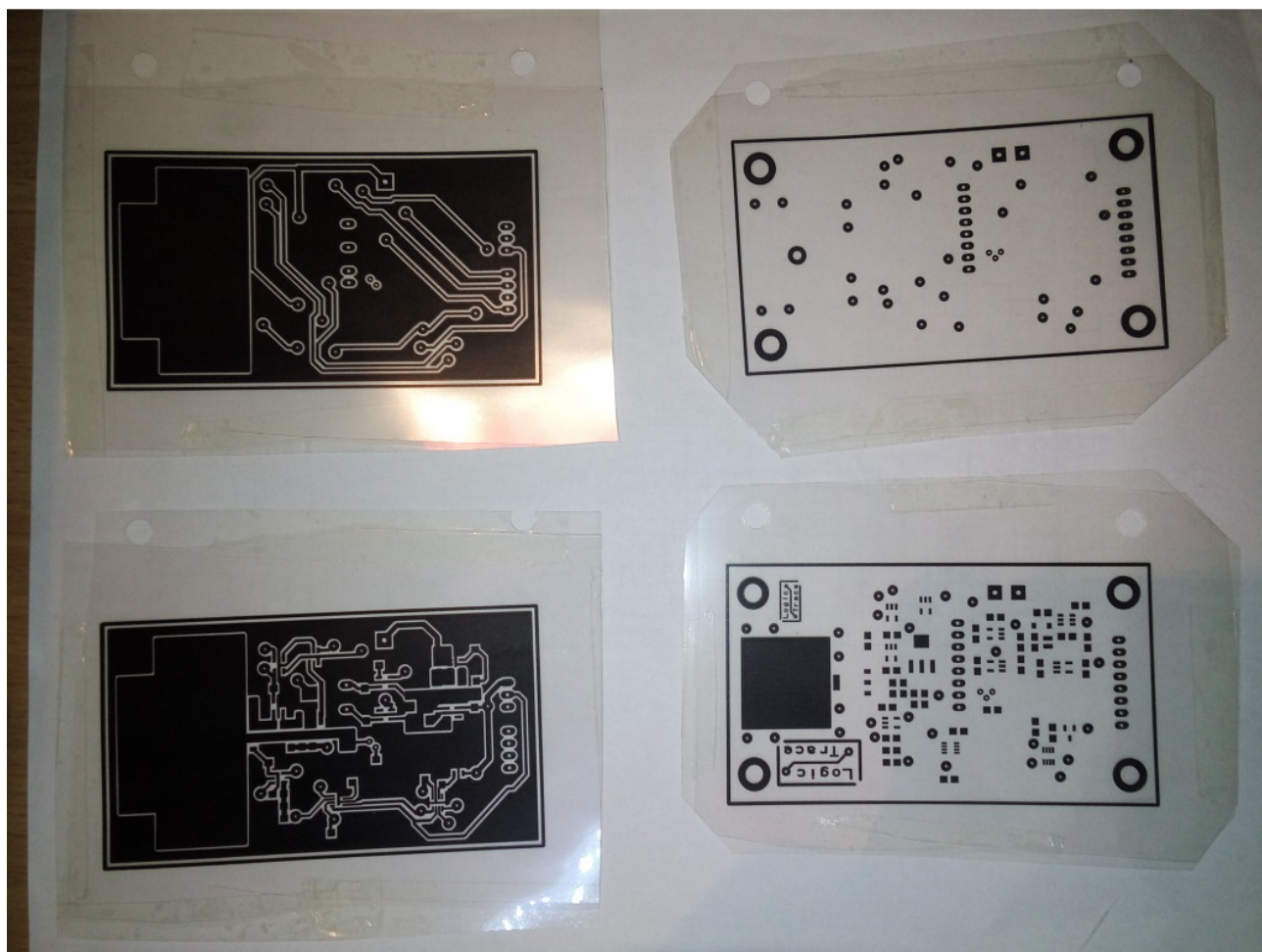
Nakon projektiranja električne sheme potrebno je projektirati tiskanu pločicu regulatorskog modula. Projektiranje je izvršeno pomoću CAD alata (DesignSpark PCB 7.1) počevši od dimenzioniranja tiskane pločice i postavljanja montažnih rupa. Smještaj komponenata proizvoljan je za sve komponente osim za podesivi regulator LT3080 [10], čija lokacija mora biti na mjestu najvećeg protoka zraka kako bi se toplina gubitaka odvodila iz izvora napajanja. Neiskorištena površina pločice upotpunjena je poljem referentnog potencijala (eng. *ground plane*) kako bi se smanjio utjecaj električnih šumova.



Slika 5.9. Trodimenzionalni model dvoslojne tiskane pločice regulacijskog modula [20]

6 IZRADA TISKANIH PLOČICA

Tiskane pločice izrađuju se fotopostupkom koristeći pločice s nanesenim fotolakom, ferikloridnu kiselinu (FeCl_3) i fotopozitivni razvijач natrijev hidroksid (NaOH). Fotopostupak je odabran zbog jednostavnosti i vrlo visoke preciznosti izrade tiskanih pločica. Za fotopostupak je pripremljen proziran fotofilm (*Slika 6.1*) za svaki sloj bakra i lemne maske koji treba izraditi.



Slika 6.1. Fotofilmovi regulacijskog modula (foto: Filip Žic)

6.1 Osvjetljavanje

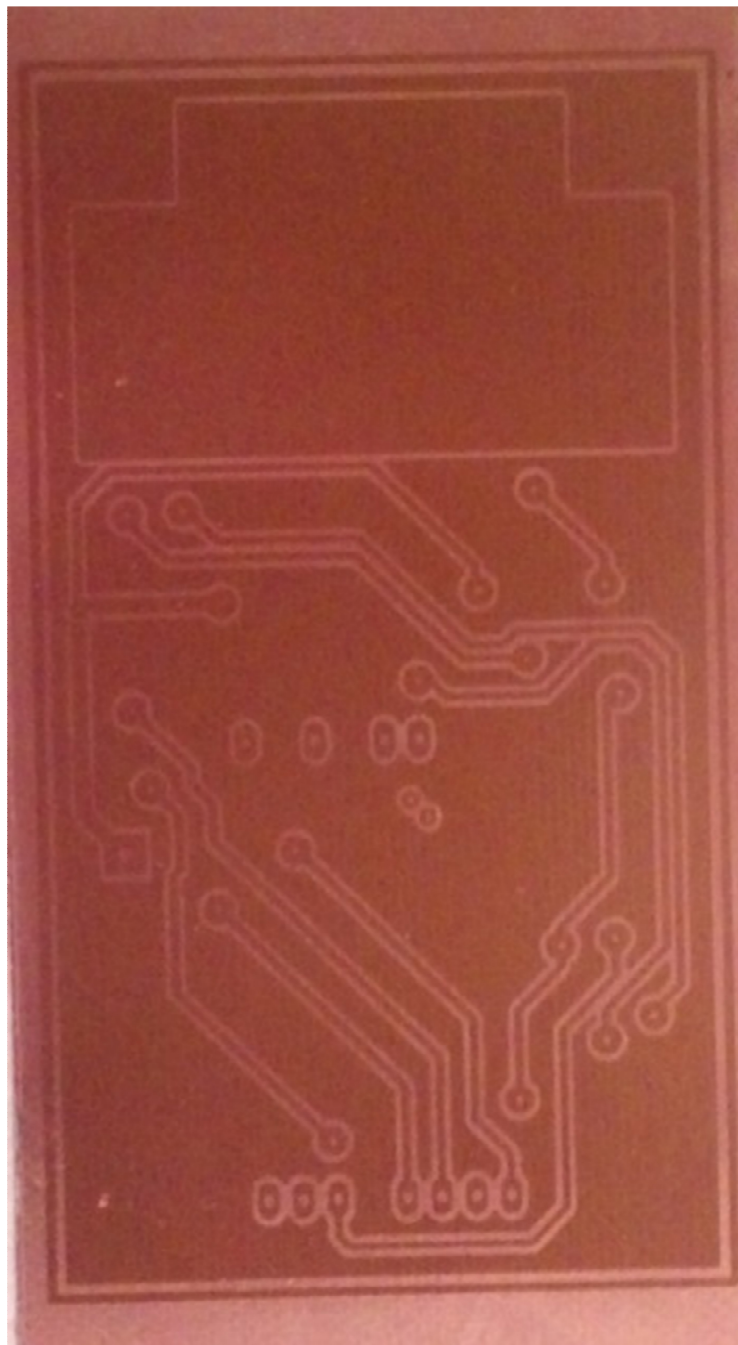
Fotolak je osvjetljavao 150 sekundi koristeći živinu lampu snage 250 W, a tiskana pločica i odgovarajući fotofilm gornjeg i donjeg sloja precizno su pozicionirani koristeći predložak iz kućne radinosti, izrađen od akrilnog stakla (*Slika 6.2*).



Slika 6.2. Tiskana pločica i fotofilm pričvršćeni u predložak (foto: Filip Žic)

6.2 Razvijanje

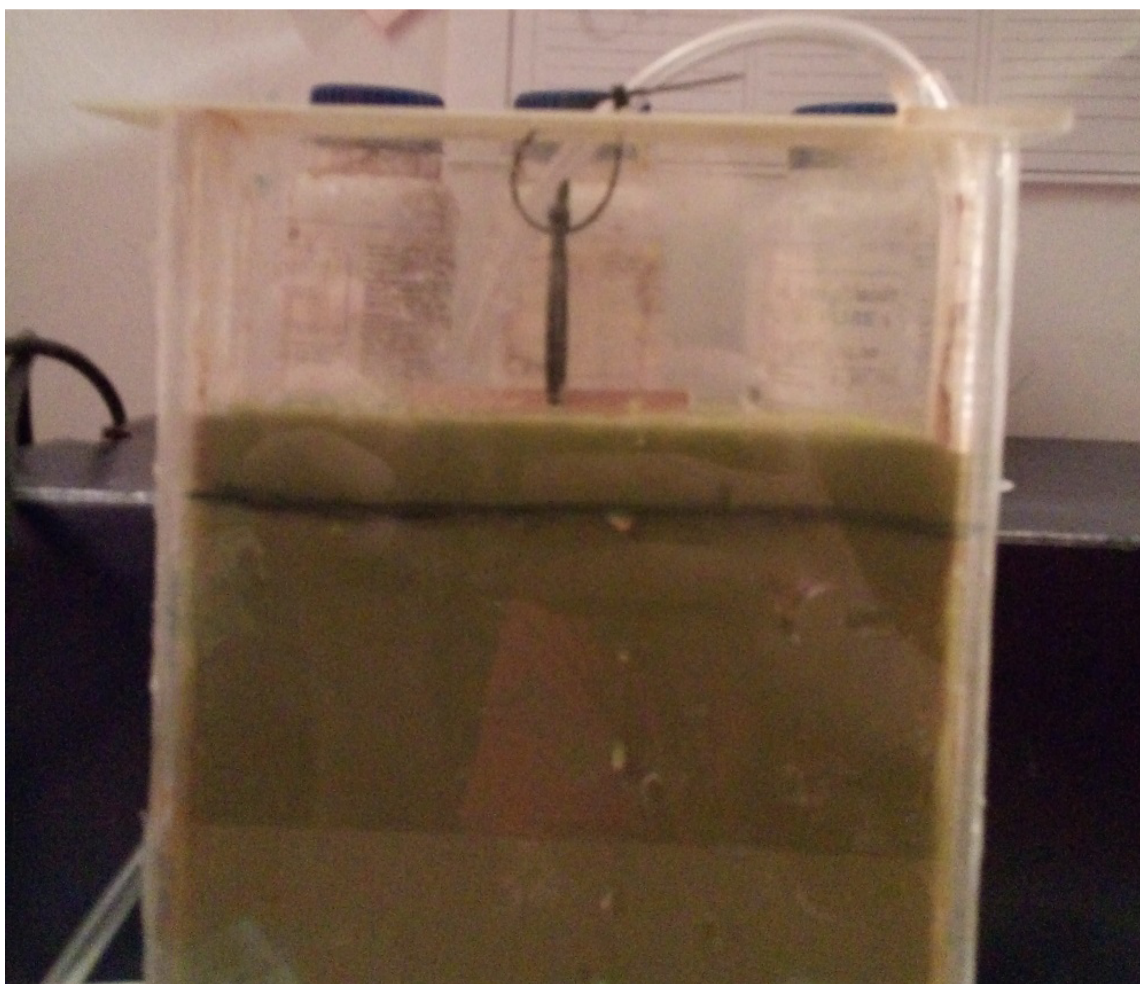
Nakon osvjtljavanja pločice je potrebno uroniti u razvijач natrijev hidroksid (NaOH) kako bi se dio fotolaka uklonio s tiskane pločice. Pri razvijanju se osvijetljeni dio laka na površini tiskane pločice otklanja, dok neosvijetljeni dio pločice ostaje zaštićen (*Slika 6.3*).



Slika 6.3. Tiskana pločica nakon razvijanja (foto: Filip Žic)

6.3 Jetkanje

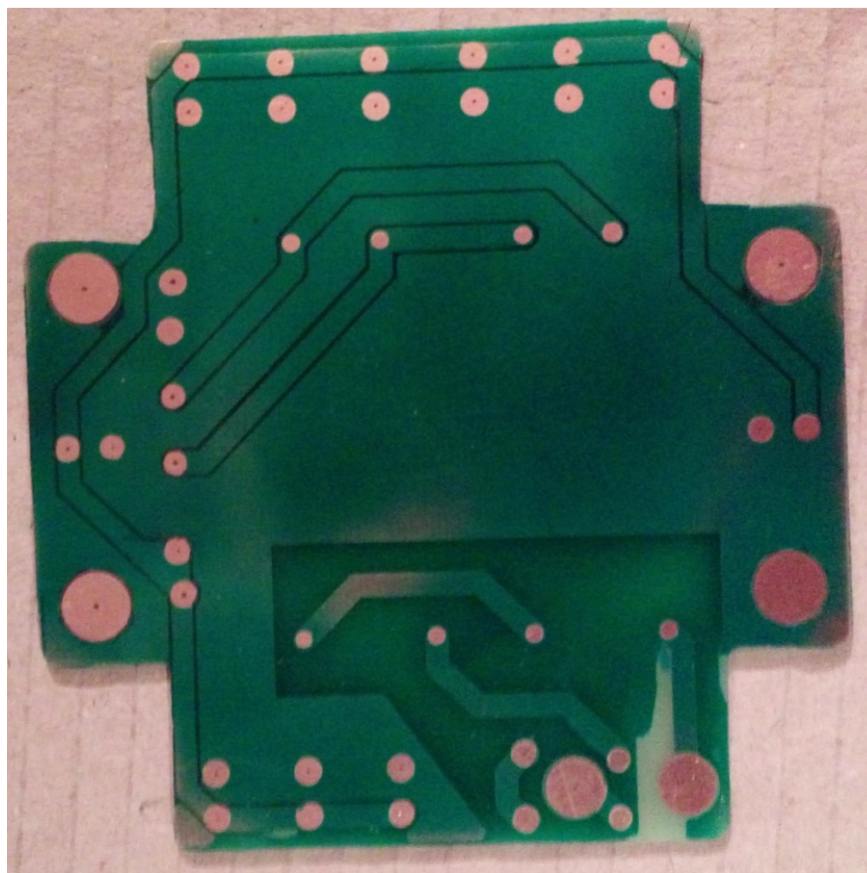
Nakon razvijanja pločicu je potrebno jetkati kiselinom (FeCl_3). Jetkanje je izvršeno u uspravnom spremniku kiseline kućne radinosti, izrađenom od akrilnog stakla (Slika 6.4). Uz dno spremnika postavljeno je crijevo koje je priključeno na pumpu zraka, čime se dodaje kisik u kiselinu i ubrzava cjelokupni postupak jetkanja.



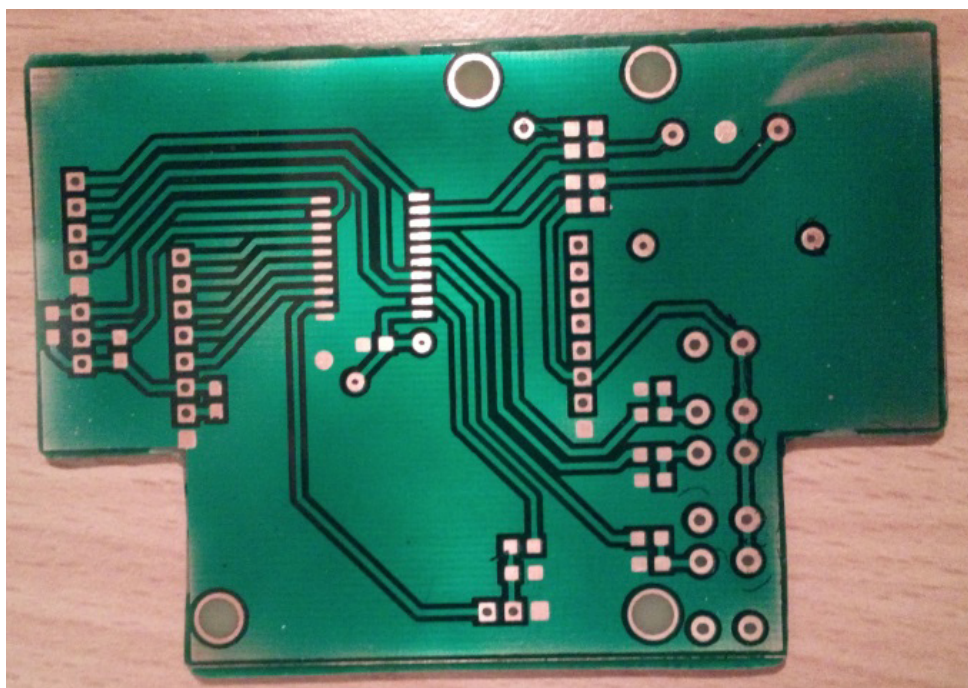
Slika 6.4. Jetkanje tiskane pločice u uspravnom spremniku kiseline (foto: Filip Žic)

6.4 Bojanje

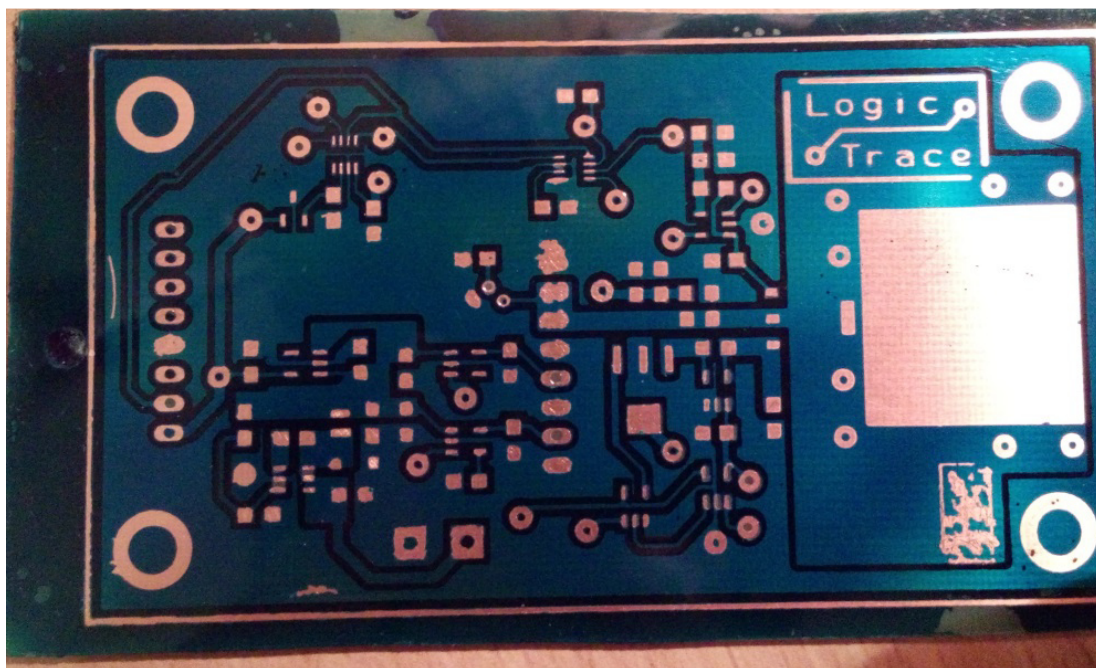
Nakon jetkanja na red dolazi bojanje, čija je svrha stvoriti lemnu masku na pločici koja štiti bakreni sloj od oksidacije i sprječava neželjeno prelijevanje lema na obližnje vodove, što može uzrokovati kratki spoj. Korištena boja ima svojstvo ultraljubičastog kaljenja, što znači da se kod izlaganja ultraljubičastoj svjetlosti sloj boje suši. Na bakreni sloj postavljena je boja i preko boje prozirna folija. Pritiscima na foliju ravnomjerno je raspoređena boja po tiskanoj pločici te je tiskana pločica prekrivena fotofilmom i osvijetljena. Osvijetljeni se dio boje brže osuši, dok neosvijetljeni dio ostaje u tekućem stanju. Neosvijetljeni dio boje uklanja se koristeći mješavinu izopropanola i acetona u omjeru 1:1, te se dobiva završni proizvod (*Slike: 6.5, 6.6, 6.7*) [24].



Slika 6.5. Tiskana pločica ispravljačkog modula (foto: Filip Žic)



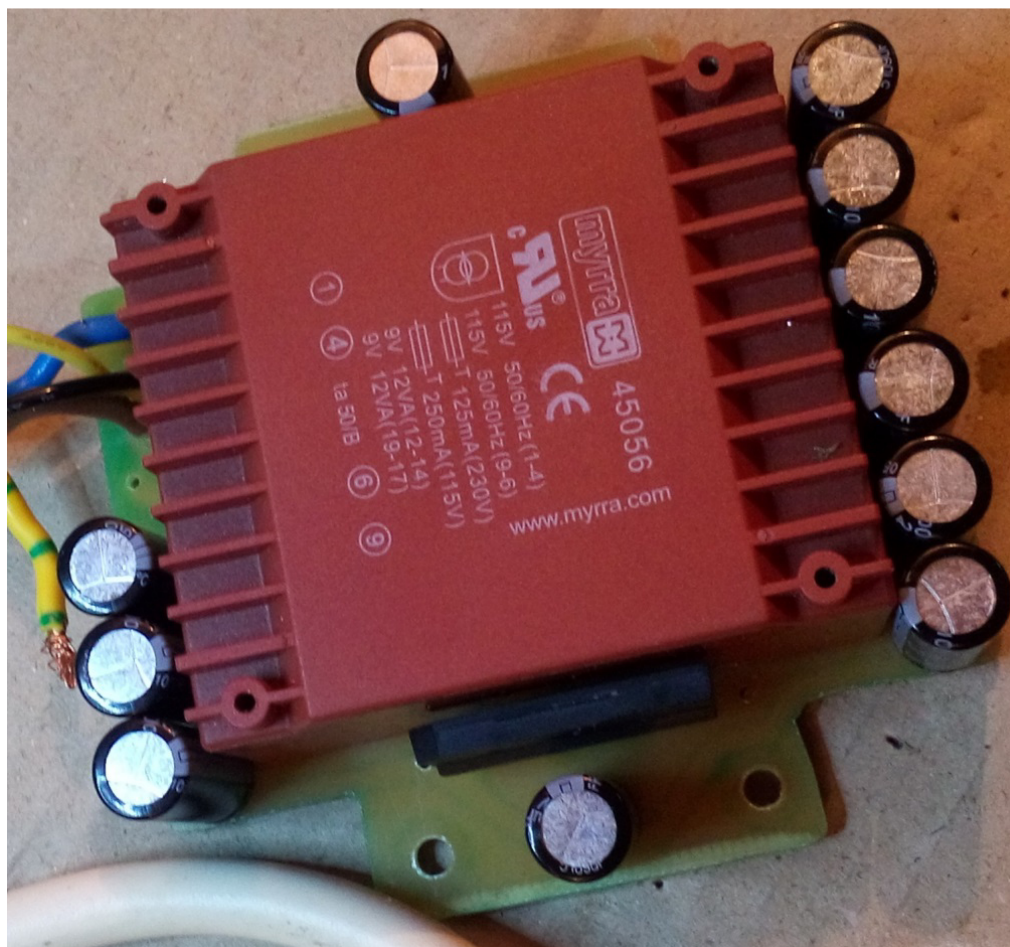
Slika 6.6. Tiskana pločica upravljačkog modula (foto: Filip Žic)



Slika 6.7. Tiskana pločica regulacijskog modula (foto: Filip Žic)

6.5 Lemljenje

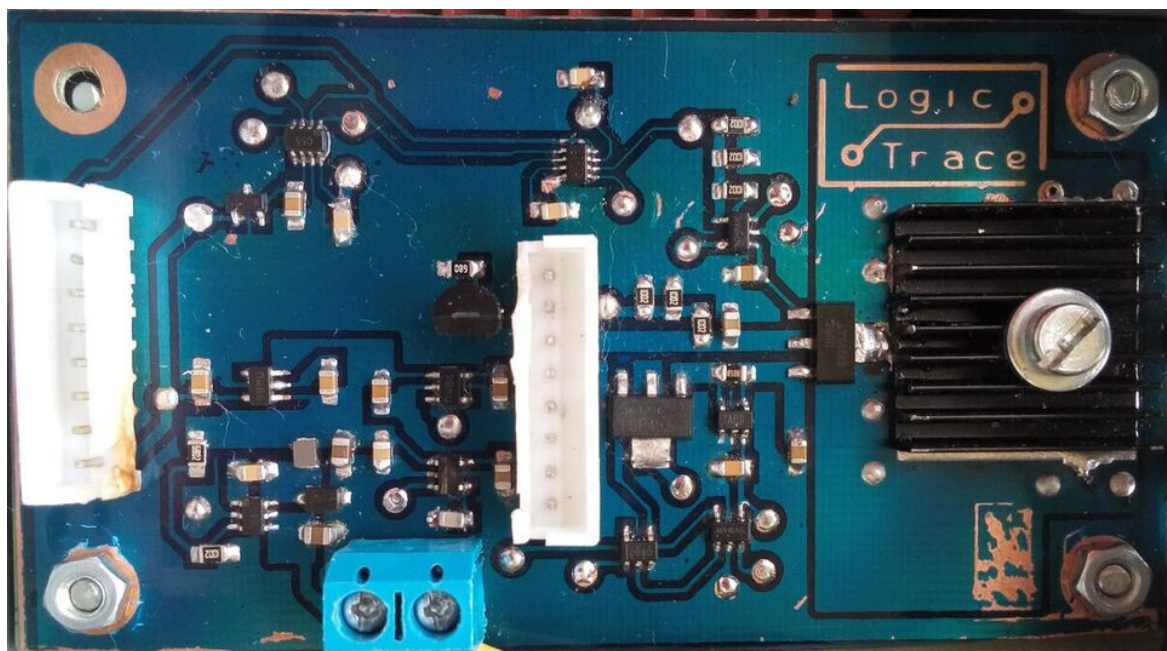
Lemljenje komponenata na tiskanu pločicu ispravljačkog modula (Slika 6.8) izvedeno je koristeći ručnu lemilicu podesive temperature (od 150°C do 480°C), snage do 50 W i tinol žicu za lemljenje (omjer kositra i olova 63:37, poprečnog presjeka 0,2 mm). Ostale komponente (Slike: 6.9 i 6.10) lemljene su metodom vrućeg zraka koristeći za to specijaliziran alat. Prvo je postavljena tinol masa na odgovarajuća mjesta, a zatim posložene komponente na pločicu pa sve zagrijavano dok se tinol masa nije istopila i poravnala komponente. Postupnim uklanjanjem izvora topline tinol masa prelazi u kruto stanje i komponente ostaju zalemljene [25].



Slika 6.8. Izrađen ispravljački modul (foto: Filip Žic)



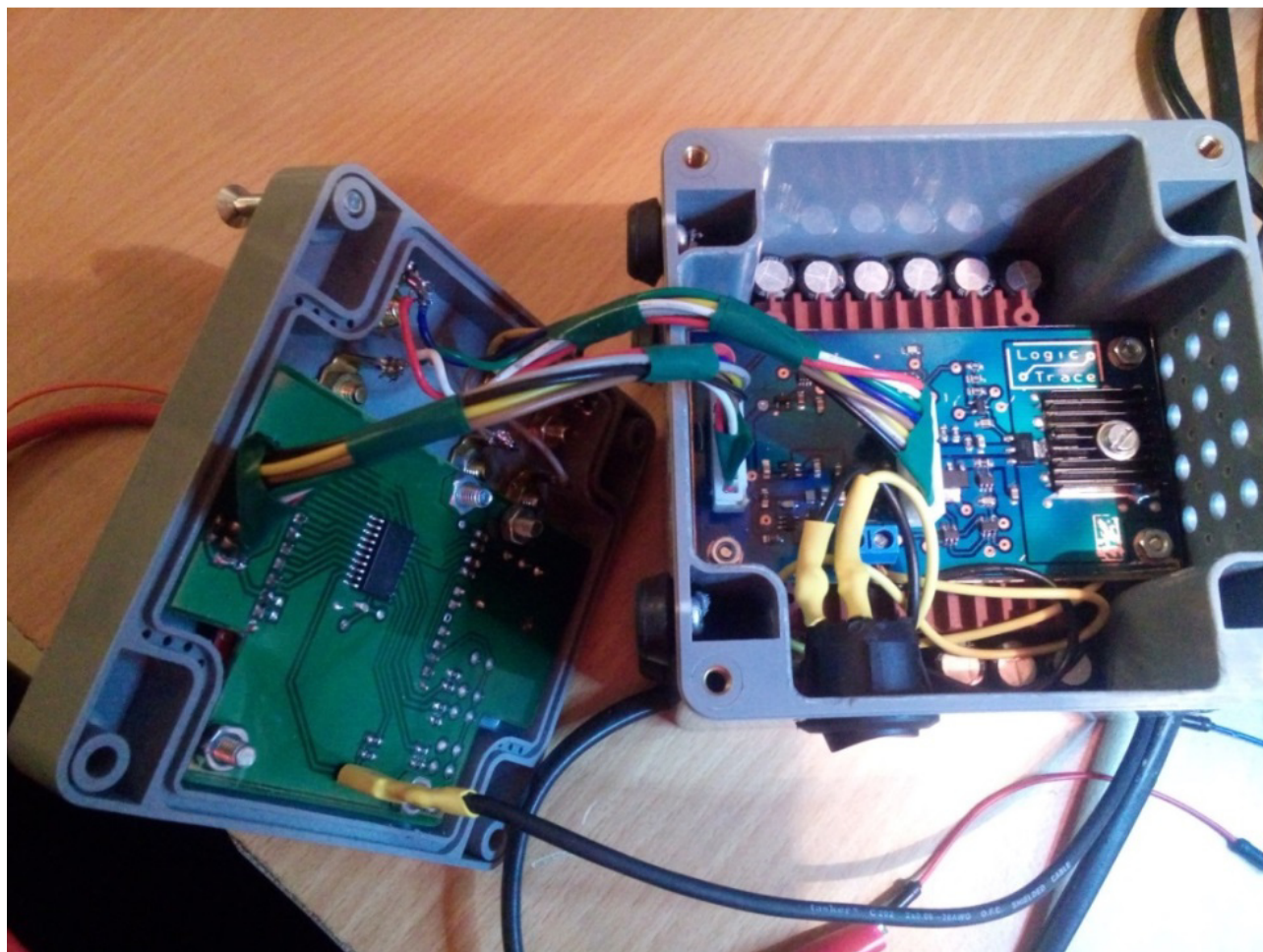
Slika 6.9. Izrađen upravljački modul (foto: Filip Žic)



Slika 6.10. Izrađen regulacijski modul (foto: Filip Žic)

6.6 Sklapanje

Montaža modula unutar kućišta zahtjeva međusobno povezivanje i postavljanje modula na predviđena mjesta unutar kućišta. Ispravljački modul spojen je preko glavne sklopke na mrežni napon i preko dva vodiča na regulacijski modul i nalazi se na poleđini kućišta. Regulacijski modul montiran je neposredno iznad ispravljačkog, te je pomoću osmožilnih plosnatih kabela priključen na upravljački modul i izlazne konektore koji se nalaze na poleđini pokrova kućišta (Slika 6.11). S vanjske strane poklopca (Slika 6.12) postavljena je folija korisničkog sučelja koja olakšava rukovanje izvorom napajanja i pruža jednostavno korisničko iskustvo (eng. *user friendly*).



Slika 6.11. Izgled unutrašnjosti izvora napajanja (foto: Filip Žic)

6.7 Korisničko sučelje

Na lijevoj strani korisničkog sučelja nalaze se izlazne stezaljke za izlaze 0 – 12,228 V, 5 V i 3,3 V, dok se na desnom djelu nalaze komponente za nadzor i upravljanje izlazima. Na grafičkom zaslonu ispisuju se podešene, mjerene i izračunate vrijednosti napona, struje i snage reguliranog i podesivog izlaza, te indikatori za upravljanje navedenih izlaza. Zakretanjem rotacijskog koda povećava se ili smanjuje vrijednost namještenog napona ili struje ovisno o namještenoj vrijednosti koraka, a tipkalima se vrši odabir i izvršavanje funkcije. Moguće je odabrati funkcije za uključivanje ili isključivanje svakog izlaza, odabir veličine namještanja između struje i napona, te korak namještanja napona ili struje između 1, 5, 100 i 500 mV/koraku odnosno mA/koraku.



Slika 6.12. Korisničko sučelje izvora napajanja (foto: Filip Žic)

7 DODATNE IZMJENE

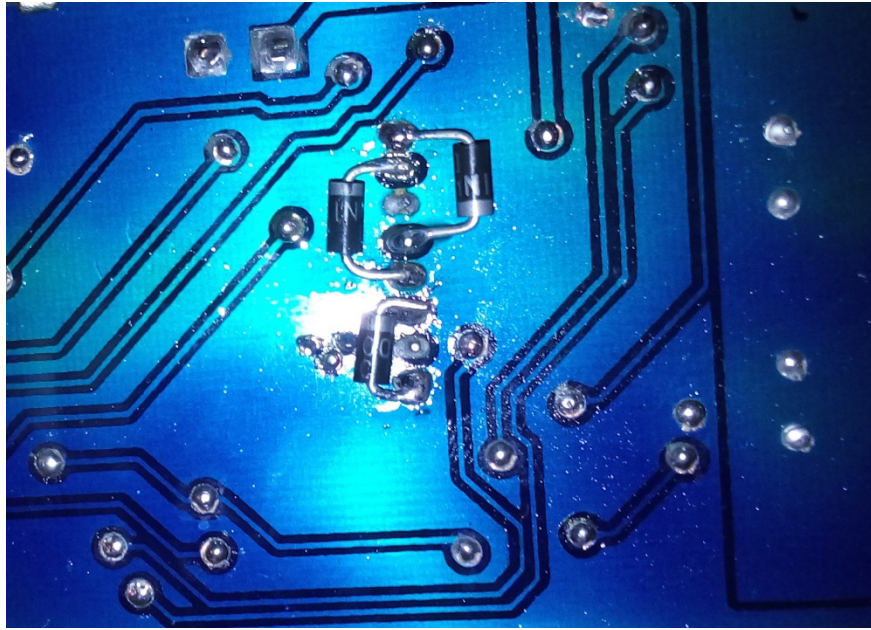
Prilikom ispitivanja ispravnosti izvora napajanja došlo je do preopterećenja i uništenja digitalno-analognog pretvornika, mikrokontrolera i 3,3 V regulatora. Digitalno-analogni pretvornik i mikrokontroler zamjenjeni su istim ispravnim integriranim krugom, a 3,3 V regulator FAN2500S33X zamjenjen je drugim, kompatibilnim integriranim krugom SPX5205M5-L-3-3/TR [19] većeg raspona ulaznog napona i veće nazivne struje.

U fazi ispitivanja također je primjećeno nepoželjno ponašanje vrijednosti izlaznih napona prilikom pokretanja uređaja do kojih je došlo zbog neodređenog stanja upravljačkih elektrodi regulatora na svim izlazima. Ovaj problem riješen je naknadnim dodavanjem otpornika (*Slika 7.1*) između upravljačkih elektrodi pojedinih regulatora i točke referentnog napona (0 V), čime se osigurava vrijednost logičke nule na svakoj upravljačkoj elektrodi prilikom pokretanja sklopa.



Slika 7.1. Optimiziranje djelovanja pretvarača (foto: Filip Žic)

Prilikom napajanja trošila induktivnog tipa potrebno je zaštititi sklop koristeći odgovarajuću protuparalelnu diodu kako nebi došlo do uništenja sklopa. Protuparalelne diode zalemljene su na donjoj strani regulacijskog modula neposredno ispod izlaznog konektora (*Slika 7.2*).



Slika 7.2. Naknadno dodane protuparalelne zaštitne diode (foto: Filip Žic)

8 ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je postupak projektiranja i izrade digitalno upravljano električnog izvora napajanja, realiziranog pomoću AC/DC pretvarača i nekoliko naponskih regulatora. U prvom djelu rada opisan je postupak projektiranja koji se sastoji od idejnog rješenja cjelokupnog izvora napajanja, te projektiranja ispravljačkog, upravljačkog i regulacijskog modula kroz faze planiranja blokovske sheme, odabira komponenata i projektiranja tiskane pločice. U drugom djelu rada opisan je postupak izrade tiskanih pločica metodom fotopostupka kroz faze osvjetljavanja, razvijanja, jetkanja, bojanja i lemljenja, te sklapanje izvora napajanja u jednu cjelinu.

U realizaciji ovog izvora napajanja korišteni su analogno – digitalni i digitalno – analogni pretvornici visoke razlučivosti (12-bitni podatak, do 4096 bitova), što je rezultiralo podešavanjem i čitanjem napona u koracima od 3 mV i struje u koracima od 1 mA.

Ovaj izvor napajanja pogodan je za korištenje u praksi kod napajanja trošila bilo kojeg tipa čiji energetske zahtjevi odgovaraju maksimalnim vrijednostima struje i napona koje izvor napajanja može dati na svojim izlazima (3,3 V – 150 mA; 5 V – 500 mA; do 12,228 V – do 1,1 A). Potrebno je napomenuti da su negativne elektrode svih izlaza spojene u zajedničku referentnu točku, odnosno da izlazi nisu međusobno izolirani, te se stoga mogu spajati samo paralelno, a ne i serijski.

Projektirani i izrađeni izvor napajanja odgovara zahtjevima postavljenim na početku rada, te se u fazi ispitivanja rad izvora napajanja pokazao pouzdanim, stabilnim i točnim. Rad izvora napajanja ispitan je voltmetrom klase točnosti 1%, a najveća izmjerena greška iznosi 5 mV.

9 LITERATURA

- [1] B&K Precision Corporation: „Power Supply Guide“, s Interneta, <http://www.bkprecision.com/support/downloads/power-supply-guide.html>, 15. lipnja 2016.
- [2] Myrra SAS: „Myrra transformer and inductor datasheet“, s Interneta <http://www.farnell.com/datasheets/1756250.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [3] Vishay General Semiconductor: „Single-Phase Single In-Line Bridge Rectifiers“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/2046322.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [4] Panasonic Electronic Components, „Aluminum Electrolytic Capacitors“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1897635.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [5] Philips Semiconductors: „PCD8511, 48x84 pixels matrix LCD controller/driver“, s Interneta, <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/Monochrome/Nokia5110.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [6] Picaxe Revolution Education: „Picaxe Manual 1 – Getting Started“, s Interneta, http://www.picaxe.com/docs/picaxe_manual1.pdf, 15. lipnja 2016.
- [7] Fairchild Semiconductor: „FAN2500 100 mA CMOS LDO Regulator“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1727616.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [8] Microchip: „MCP1802, 300 mA, High PSRR, Low Quiescent Current LDO“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/808935.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [9] Analog Devices: „ADP2300/ADP2301 Nonsynchronous Step-Down Regulator“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1780752.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [10] Linear Technology: „LT3080 Adjustable 1.1A Single Resistor Low Dropout Regulator“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1579629.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [11] On Semiconductor: „Single-Channel, Rail-to-Rail Output, 3 MHz BW Operational Amplifier“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1441883.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [12] Texas Instruments: „3-Terminal Adjustable Current Sources“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1883087.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [13] Silicon Labs: „TS1102 Precision Current-Sense Amplifier“, s interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1840016.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [14] Infineon: „Smart Power High-Side-Switch for Industrial Applications“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1651341.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [15] Texas Instruments: „Single 2-Input Positive-AND Gate“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1887688.pdf>, 15. lipnja 2016.

- [16] Linear Technology: „LTC2633 Dual 12-/10-/8-Bit I2C DAC“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/1714157.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [17] Analog Devices: „4-Channel, 12-/10-/8-Bit ADC with I2C-Compatible Interface“, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/751007.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [18] Maxim Integrated „Micropower, Low-Dropout, High Current, SOT-23 Voltage References, s Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/712696.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [19] Exar: „150 mA, Low-Noise LDO Voltage Regulator“, i Interneta, <http://www.farnell.com/datasheets/2019465.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [20]] Bespalatan programski paket, „DesignSpark PCB 7.1“, s Interneta, <http://www.rs-online.com/designspark/electronics/eng/page/designspark-pcb-home-page>, 15. lipnja 2016.
- [21] Besplatan programski paket, „DesignSpark Mechanical 2.0“, s Interneta, <http://www.rs-online.com/designspark/electronics/eng/page/mechanical>, 15. lipnja 2016.
- [22] Internetski programski paket, „Lucidchart“, s Interneta, <https://www.lucidchart.com>, 15. lipnja 2016.
- [23] Sami Fadali, M.: „Sliding mode control“, University of Nevada, Reno, s Interneta, <http://wolfweb.unr.edu/homepage/fadali/EE776/Sliding-Mode%20Control.pdf>, 15. lipnja 2016.
- [24] Izrada lemne maske, „UV curable solder mask“, s Interneta, <https://www.youtube.com/watch?v=y-bjbF8USHc>, 15. lipnja 2016.
- [25] Lemljenje vrućim zrakom, „Solder a SMD IC with hot air“, s Interneta, <https://www.youtube.com/watch?v=MqivHi7Qjvk>, 15. lipnja 2016.

10 POPIS OZNAKA I KRATICA

AC/DC	Alternating Current / Direct Current
CAD	Computer Aided Design
I2C	Inter-Integrated Circuit
FET	Field Effect Transistor
LDO	Low DropOut

11 SAŽETAK

Projektiranje izvora napajanja započeto je postavljanjem zahtjeva i pripremom idejnog rješenja, te modularizacijom odnosno odvajanjem cjelokupnog izvora napajanja na tri funkcijske cjeline: ispravljački modul, upravljački modul i regulacijski modul čime se znatno pojednostavljuje postupak projektiranja.

Projektiranje modula započeto je od ispravljačkog modula izborom komponenata i simulacijom rada i zaključeno projektiranjem tiskane pločice.

Nakon ispravljačkog modula projektiran je upravljački modul i osmišljen izgled korisničkog sučelja, te projektirana odgovarajuća tiskana pločica.

Kao posljednji korak tijekom projektiranja, projektiran je regulacijski modul počevši od blok sheme i sklopovlja nepodesivih regulatora. Regulirani i podesivi pretvarač projektiran je počevši od glavnog regulatora, uz postupno dodavanje potrebnih komponenti i proširivanjem sklopa dok nisu realizirane sve željene funkcije reguliranja, mjerenja i zaštite.

Nakon projektiranja izvora napajanja moduli izvora napajanja izrađeni su metodom foto postupka za izradu tiskane pločice, te je opisano osvjetljavanje, razvijanje, jetkanje, bojanje, lemljenje i sklapanje uređaja u jednu cjelinu.

12 ABSTRACT

The first step of power supply design was based on setting requirements, preparation of ideal solution, modularization and dividing the entire power supply into three main function blocks and these blocks are: rectifier module, control module and regulation module that resulted in considerable simplification of designing process.

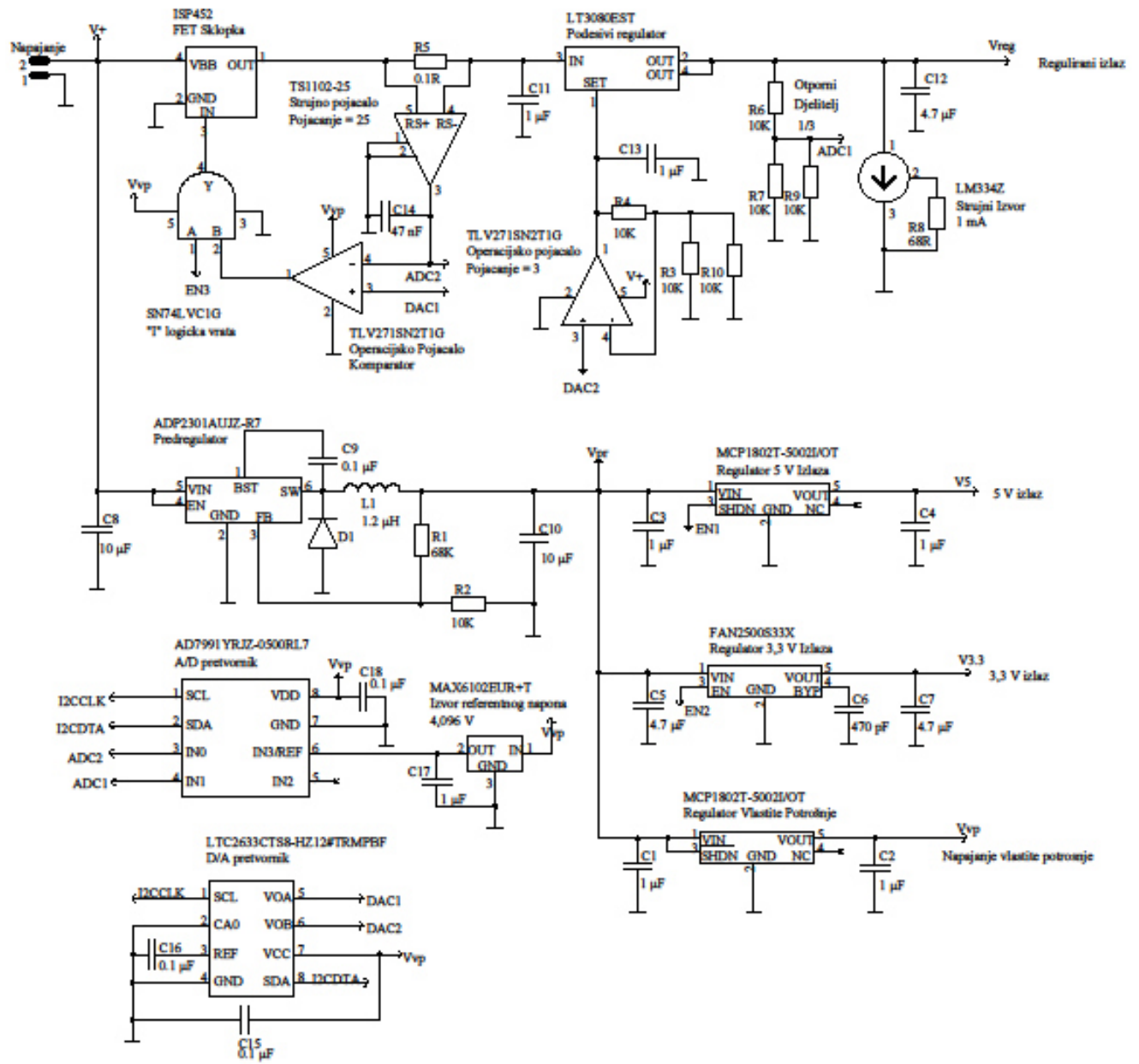
The designing process of first module called rectifier module consisted of block diagram preparation, choosing electronic components, electrical simulation and finally printed circuit board design.

Next step was designing control module and user interface, along with designing printed circuit board for the same module.

Final step in the power supply designing process was regulation module that was started from simplified block diagram and designing all fixed channels. Design of regulated and adjustable channel began with choosing of main regulator and gradually adding needed components in order to expand circuit unit and by doing so all of the desired functions of regulation, measurements and protection were met.

After designing process was finished the modules of the power supply were made using photo etch method that is used for creating printed circuit boards and the procedure of creating a power supply which consists of exposing, developing, etching, painting, soldering and assembling the product is thoroughly documented.

13 DODATAK A – ELEKTRIČNA SHEMA REGULACIJSKOG MODULA



14 DODATAK B – PROGRAMSKI KOD

Programski kod napisan je u programskom okruženju PicaxeEditor 6.0 koristeći programski jezik BASIC prilagođen mikrokontroleru Picaxe 20X2.

```
;-----  
;Definiranje pinova  
;-----  
symbol EN_1 = c.7           ;Kontrola kanala 1  
SYMBOL EN_2 = C.0          ;Kontrola kanala 2  
SYMBOL EN_3 = b.6          ;Kontrola kanala 3  
SYMBOL RE_1 = pinC.1       ;Rotacijski enkoder 1  
SYMBOL RE_2 = pinC.2       ;Rotacijski enkoder 2  
SYMBOL SW_1 = pinC.3       ;Tipkalo 1, lijevo, gore  
SYMBOL SW_2 = pinC.4       ;Tipkalo 2, sredina, dolje  
SYMBOL SW_3 = pinC.5       ;Tipkalo 3, desno, izvrsi  
Symbol CCon = Pinc.6       ;Pin nadstrujne zastite  
Symbol LCD_Clock = B.0     ;LCD clock pin  
Symbol LCD_Data = pinb.1   ;LCD data pin  
Symbol DataDir = dirB.1    ;Smjer data pina  
Symbol LCD_Mode = B.2      ;LCD Mode pin  
Symbol LCD_Enable = B.3    ;LCD CE pin  
Symbol LCD_Reset = B.4     ;LCD Reset pin  
;-----  
;Varijable  
;-----  
Symbol Sx5 = bit0          ;Registar koraka, 1mV /5mV  
Symbol SxX = bit1          ;Faktor koraka, x1 / x100  
Symbol Sel = bit2          ;registar namjestanja  
SYMBOL EN1 = bit3          ;registar kanala 1  
SYMBOL EN2 = bit4          ;registar kanala 2  
SYMBOL EN3 = bit5          ;registar kanala 3  
Symbol Pokazivac = b39     ;Koordinata pokazivaca  
symbol Pretvarac = w16     ;Brojka za pretvorbu  
symbol Pret5 =b34          ;Pretvorba desetisucica  
symbol pret4 = b35         ;Pretvorba tisucica  
symbol pret3 = b36         ;Pretvorba stotica  
symbol pret2 = b37         ;Pretvorba desetica  
symbol pret1 =b38          ;Pretvorba jedinica  
symbol U_Set = w20         ;Napon namjestanja  
symbol I_Set = w21         ;Struja namjestanja  
Symbol Korak = w22         ;Korak (1,5,100,500)  
symbol Napon = w15         ;Izmjereni napon  
Symbol Struja = w14        ;Izmjerena struja  
Symbol Snaga = w13         ;Izracunata snaga  
symbol U_out = w12         ;Izlazni napon  
Symbol I_out = w11         ;Izlazna struja  
symbol I_max = w10         ;Maksimalna struja  
symbol J = b46             ;Petlja ispisa poruka  
Symbol i = b47             ;Petlja ispisa retka  
Symbol Simbol = b48        ;Varijabla duljine poruke  
Symbol Podatak = b49       ;Podatak za slanje  
Symbol Bits = b50          ;Petlja komunikacije  
Symbol Message = b51       ;EEPROM lokacija poruke  
Symbol X = b52             ;Horizontalna koordinata  
Symbol Y = b53             ;Vertikalna koordinata  
Symbol PXL = w27           ;Petlja za ciscenje ekrana
```

```

;-----
;Konstante
;-----
Symbol LCD_DisplayNormal = 12      ;Normalno podrucje rada
Symbol LCD_DisplayBlank = 8        ;Iskljucenje svih tocaka
Symbol LCD_DisplayInverse = 13     ;Invertiranje svih tocaka
Symbol LCD_DisplayAllOn = 9        ;Ukljucenje svih tocaka

;-----
;Tablica simbola
;-----
;U tablicu simbola spremljeni su u binarnom obliku simboli i brojke
;koji se mogu ispisati na ekranu. Svaki simbol zauzima 5 bitova, a
;svaki bit oznacava jedan stupac u simbolu.
;Primjer: broj 0
;3E 51 49 45 3E          3E 51 49 45 3E
;
; 0  1  1  1  0          1  1  1
; 1  0  0  0  1          1          1
; 1  0  0  1  1          1          1  1
; 1  0  1  0  1  =      1          1  1
; 1  1  0  0  1          1  1          1
; 1  0  0  0  1          1          1
; 0  1  1  1  0          1  1  1
; 0  0  0  0  0

table 0,      ($3E, $51, $49, $45, $3E)      ;Bitmapa broja 0
table 5,      ($00, $42, $7F, $40, $00)      ;Bitmapa broja 1
table 10,     ($62, $51, $49, $49, $46)      ;Bitmapa broja 2
table 15,     ($22, $49, $49, $49, $36)      ;Bitmapa broja 3
table 20,     ($18, $14, $12, $7F, $10)      ;Bitmapa broja 4
table 25,     ($2F, $49, $49, $49, $31)      ;Bitmapa broja 5
table 30,     ($3C, $4A, $49, $49, $30)      ;Bitmapa broja 6
table 35,     ($01, $71, $09, $05, $03)      ;Bitmapa broja 7
table 40,     ($36, $49, $49, $49, $36)      ;Bitmapa broja 8
table 45,     ($06, $49, $49, $29, $1E)      ;Bitmapa broja 9
table 50,     ($00, $70, $70, $70, $00)      ;Bitmapa tocke
table 55,     ($00, $00, $00, $00, $00)      ;Bitmapa praznog mjesta
table 60,     ($14, $08, $3E, $08, $14)      ;Bitmapa pokazivaca
table 65,     ($7F, $41, $41, $41, $7F)      ;Bitmapa praznog okvira
table 70,     ($7F, $7F, $7F, $7F, $7F)      ;Bitmapa punog okvira
table 75,     ($7E, $09, $09, $09, $7E)      ;Bitmapa slova A
table 80,     ($1F, $20, $40, $20, $1F)      ;Bitmapa slova V
table 85,     ($3F, $40, $3C, $40, $3F)      ;Bitmapa slova W
table 90,     ($3F, $40, $40, $40, $3F)      ;Bitmapa slova U
table 95,     ($41, $41, $7F, $41, $41)      ;Bitmapa slova I
table 100,    ($10, $A8, $A8, $A8, $40)      ;Bitmapa slova s
table 105,    ($3E, $41, $41, $41, $22)      ;Bitmapa slova C
table 110,    ($00, $77, $77, $77, $00)      ;Bitmapa dvotocja

;-----
;Podatci poruka
;-----
;Fiksne poruke
eeprom 0,     (50,30,0)      ;Tocka napona
eeprom 3,     (50,30,1)      ;tocka struje
eeprom 6,     (50,30,2)      ;tocka snage
eeprom 9,     (50,30,4)      ;tocka namjestenog napona
eeprom 12,    (50,30,5)      ;tocka tamjestene struje

```

```

eeprom 15,      (90,0,4)                ;Napon namjestanja U
eeprom 18,      (100,6,4)           ;Index napona namjestanja s
eeprom 21,      (110,12,4)          ;Dvotocje napona
eeprom 24,      (95,0,5)            ;Struja namjestanja I
eeprom 27,      (100,6,5)           ;Index struje namjestanja s
eeprom 30,      (110,12,5)          ;Dvotocje struje
eeprom 33,      (80,60,0)           ;Volti
eeprom 36,      (75,60,1)           ;Ampera
eeprom 39,      (85,60,2)           ;Wati
eeprom 42,      (80,60,4)           ;V namj
eeprom 45,      (75,60,5)           ;A namj
                ;Indikatori praznog okvira
eeprom 48,      (65,78,0)           ;Indikator Step x5
eeprom 51,      (65,78,1)           ;Indikator Step x100
eeprom 54,      (65,78,2)           ;Indikator struje
eeprom 57,      (65,78,3)           ;Indikator CH1
eeprom 60,      (65,78,4)           ;Indikator CH2
eeprom 63,      (65,78,5)           ;Indikator CH3
                ;Indikatori punog okvira
eeprom 66,      (70,78,0)           ;Indikator Step x5
eeprom 69,      (70,78,1)           ;Indikator Step x100
eeprom 72,      (70,78,2)           ;Indikator struje
eeprom 75,      (70,78,3)           ;Indikator CH1
eeprom 78,      (70,78,4)           ;Indikator CH2
eeprom 81,      (70,78,5)           ;Indikator CH3
                ;Ispis brojki mjerelog napona(pocetno = 0)
eeprom 159,     (0,18,0)             ;Desettisucica
eeprom 162,     (0,24,0)             ;Tisucica
eeprom 165,     (0,36,0)             ;Stotica
eeprom 168,     (0,42,0)             ;Desetica
eeprom 171,     (0,48,0)             ;Jedinica
                ;Ispis brojki mjerene struje
eeprom 174,     (0,24,1)             ;Tisucica
eeprom 177,     (0,36,1)             ;Stotica
eeprom 180,     (0,42,1)             ;Desetica
eeprom 183,     (0,48,1)             ;Jedinica
                ;Ispis brojki izracunate snage
eeprom 186,     (0,18,2)             ;Desettisucica
eeprom 189,     (0,24,2)             ;Tisucica
eeprom 192,     (0,36,2)             ;Stotica
eeprom 195,     (0,42,2)             ;Desetica
eeprom 198,     (0,48,2)             ;Jedinica
                ;Ispis brojki namjestenog napona
eeprom 201,     (0,18,4)             ;Desettisucica
eeprom 204,     (0,24,4)             ;Tisucica
eeprom 207,     (0,36,4)             ;Stotica
eeprom 210,     (0,42,4)             ;Desetica
eeprom 213,     (0,48,4)             ;Jedinica
                ;Ispis brojki namjestene struje
eeprom 216,     (0,24,5)             ;Tisucica
eeprom 219,     (0,36,5)             ;Stotica
eeprom 222,     (0,42,5)             ;Desetica
eeprom 225,     (0,48,5)             ;Jedinica

;-----
;Pokretanje sustava
;-----
setfreq m64                ;Frekvencija 64 MHz
gosub LCD_Initialize        ;Pokretanje LCD-a

```

```

Let I_Max = 100 ;Pocetno stanje maksimalne struje
low en_1 ;Pocetno stanje kanala 1
low en_2 ;Pocetno stanje kanala 2
low en_3 ;Pocetno stanje kanala 3

hi2csetup i2cmaster, %01010000, i2cfast_64, i2cbyte
hi2cout (%00111000) ;Parametari ADC
hi2csetup i2cmaster, %11100110, i2cfast_64, i2cbyte
hi2cout (%01101111) ;Parametari DAC

For j = 0 to 45 step 3 ;Petlja za citanje poruka
    Message = j
    gosub LCD_WriteMessage ;Ispis poruka na zaslonu
next j

gosub OdrediKorak ;Odredivanje koraka
gosub IspisIndikatora ;Ispis indikatora
gosub ispisPokazivaca ;Ispis pokazivaca
For j = 159 to 225 step 3 ;Petlja za citanje nula
    Message = j
    gosub LCD_WriteMessage ;Ispis nula na zaslonu
next j

;-----
;Glavni program
;-----

Main: ;Glavna petlja programa
    gosub Namjestanje ;Slanje u D-A pretvornik
    gosub Mjerenje ;Mjerenje
    gosub Predracun ;Proracun
goto Main

;-----
;Podfunkcije programa
;-----

Namjestanje:

    let u_out = U_set / 3 * 16 ;Stvarna vrijednost napona
    let I_out = I_set * 25 / 10 * 16 ;Stvarna vrijednost struje
    hi2csetup i2cmaster, %11100110, i2cfast_64, i2cbyte
    gosub iskljuciinterrupt ;Nesmetana komunikacija
    hi2cout (%00110000, b23, b22) ;Zapis struje
    hi2cout (%00110001, b25, b24) ;Zapis napona
    gosub ukljuciinterrupt ;Ukljucenje interupta

return

;-----
;Aritmeticko logicke podfunkcije
;-----

Mjerenje:

    hi2csetup i2cmaster, %01010000, i2cfast_64, i2cbyte
    gosub iskljuciinterrupt ;Nesmetana komunikacija
    hi2cin (b29, b28, b31, b30) ;Mjerenje struje i napona
    gosub ukljuciinterrupt ;Ukljucivanje interupta

```

```

togglebit napon, 12 ;Komunikacijski bit
Let napon = Napon * 3 ;Prava vrijednost napona
let struja = struja * 10 / 25 ;Prava vrijednost struje
Snaga = Struja * 34 ** 63161 ;Aproksimacija Snage
snaga = Napon * 2 ** snaga ;Aproksimacija Snage

```

Return

Predracun:

```

        gosub ProvjeriInterrupt ;Provjera interupt vektora
Let pretvarac = I_set : let y = 5 ;Struja namjestanja 6. red
gosub pretvorba ;Pretvaranje ASCII u BCD
        gosub preracun4 ;Preracun 4-znamenke
        gosub ProvjeriInterrupt ;Provjera interupt vektora
Let pretvarac = u_set : let y = 4 ;Napon namjestanja; 5. red
gosub pretvorba ;Pretvaranje ASCII u BCD
gosub preracun5 ;Preracun 5-znamenke
        gosub ProvjeriInterrupt ;Provjera interupt vektora
Let pretvarac = Snaga : let y = 2 ;Snaga; 3. redak
gosub pretvorba ;Pretvaranje ASCII u BCD
gosub preracun5 ;Preracun 5-znamenke
        gosub ProvjeriInterrupt ;Provjera interupt vektora
Let pretvarac = struja : let y = 1 ;Struja, 2. redak
gosub pretvorba ;Pretvaranje ASCII u BCD
gosub preracun4 ;Preracun 4-znamenke
        gosub ProvjeriInterrupt ;Provjera interupt vektora
Let pretvarac = napon : let y = 0 ;Napon, 1. redak
gosub pretvorba ;Pretvaranje ASCII u BCD
gosub preracun5 ;Preracun 5-znamenke
gosub IspisPokazivaca ;Ispis pokazivaca
gosub IspisIndikatora ;Ispis indikatora
        gosub ProvjeriInterrupt ;Provjera interupta

```

return

Preracun5:

```

let simbol = pret5 ;Zapis desetisucice
let x = 18 ;18. stupac
gosub LCD_WriteNumber ;Ispis na zaslon

```

Preracun4:

```

let simbol = pret4 ;Zapis tisucice
let x = 24 ;24. stupac
gosub LCD_WriteNumber ;Ispis na zaslon
let simbol = pret3 ;Zapis stotice
let x = 36 ;36. stupac
gosub LCD_WriteNumber ;Ispis na zaslonu
let simbol = pret2 ;Zapis desetice
let x = 42 ;42. stupac
gosub LCD_WriteNumber ;Ispis na zaslonu
let simbol = pret1 ;Zapis jedinice
let x = 48 ;48. stupac
gosub LCD_WriteNumber ;Ispis na zaslonu

```

Return

Pretvorba:

```

gosub ukljuciinterrupt          ;Ukljucenje interupta
bintoascii pretvarac, pret5, Pret4, pret3, pret2, pret1
                                ;Binarni u ASCII
                                ;ASCII u BCD, BCD u adresu
                                ;ASCII u BCD, BCD u adresu
                                ;ASCII u BCD, BCD u adresu
                                ;ASCII u BCD, BCD u adresu
                                ;ASCII u BCD, BCD u adresu
                                ;Iskljucenje interupta

let pret5 = pret5 - 48 * 5
let pret4 = pret4 - 48 * 5
let pret3 = pret3 - 48 * 5
let pret2 = pret2 - 48 * 5
let pret1 = pret1 - 48 * 5
gosub iskljuciinterrupt

return

OdrediKorak:

Let Korak = 1                    ;Pocetni korak 1
  If sx5 = 1 then                ;Provjera parametra x5
    let Korak = korak * 5       ;Povecanje koraka 5 puta
  endif
  if sxx = 1 then                ;Provjera parametra x100
    let korak = korak * 100     ;Povecanje koraka 100 puta
  endif

return

MaksimalnaStruja:
Select U_set                    ;Maksimalna struja
  case >= 12000                  ;Za vise od 12 V
    let I_Max = 1100            ;Maksimalna struja 1100 mA
  case >= 11000                  ;Za vise od 11 V
    let I_Max = 750             ;Maksimalna struja 750 mA
  case >= 10000                  ;Za vise od 10 V
    let I_Max = 500             ;Maksimalna struja 500 mA
  case >= 9000                   ;Za vise od 9 V
    let I_Max = 375             ;Maksimalna struja 375 mA
  case >= 8000                   ;Za vise od 8 V
    let I_Max = 300             ;Maksimalna struja 300 mA
  case >= 7000                   ;Za vise od 7 V
    let I_Max = 250             ;Maksimalna struja 250 mA
  case >= 6000                   ;Za vise od 6 V
    let I_Max = 200             ;Maksimalna struja 200 mA
  case >= 5000                   ;Za vise od 5 V
    let I_Max = 180             ;Maksimalna struja 180 mA
  case >= 4000                   ;Za vise od 4 V
    let I_Max = 160             ;Maksimalna struja 160 mA
  case >= 3000                   ;Za vise od 3 V
    let I_Max = 150             ;Maksimalna struja 150 mA
  case >= 2000                   ;Za vise od 2 V
    let I_Max = 130             ;Maksimalna struja 130 mA
  case >= 1000                   ;Za vise od 1 V
    let I_Max = 125             ;Maksimalna struja 125 mA
  case >= 0                       ;Za vise od 0 V
    let I_max = 100             ;Maksimalna struja 100 mA
Endselect
  if I_set > I_Max then          ;Provjera maksimalne struje
    Let I_set = I_Max           ;Ispravljanje maksimuma
  Endif

Return

```

```

;-----
;Podfunkcije ulaza
;-----

UkljuciInterrupt:
    setint or %00111000,%00111010,c    ;Ukljucenje interupta

return

ProvjeriInterrupt:
    setint or %00111000,%00111010,c    ;Ukljucenje interupta
IskljuciInterrupt:
    setint off                          ;Iskljucenje interupta
return

interrupt:                               ;Interrupt subrutina

    if re_1 = 0 then                     ;Provjera izvora interupta
        do
            if re_1 = 1 then             ;Cekanje drugog bita kodera
                exit
            endif
        loop
            if re_2 = 0 then             ;Provjera smjera rotacije
                gosub povecanje          ;Smjer kazaljke na satu
            else
                gosub smanjenje         ;Suprotan smjer kazaljke
            endif
        do
            if re_2 = 1 then             ;Cekanje kraja rotacije
                exit
            endif
        loop
    else                                   ;Provjera izvora interupta
        if sw_1 = 1 then                 ;Tipkalo 1
            gosub Tipkalo1
        endif
        if sw_2 = 1 then                 ;Tipkalo 2
            gosub Tipkalo2
        endif
        if sw_3 = 1 then                 ;Tipkalo 3
            gosub Tipkalo3
        endif
    endif
    gosub UkljuciInterrupt              ;Ukljucenje interupta

return

Povecanje:

    if sel = 0 then                     ;Povecavanje napona
        let U_set = U_set + Korak
        if U_set => 12227 then          ;Provjera maks. napona
            let U_set = 12227          ;Limitiranje napona
        endif
    Else                                  ;Povecavanje struje
        Let I_set = I_set + korak

```

```

        if I_set > I_Max then                ;Provjera maks. struje
            Let I_set = I_Max                ;Limitiranje struje
        Endif
    Endif
gosub MaksimalnaStruja                       ;Proracun maks. struje

return

Smanjenje:
    if sel = 0 then                          ;Smanjenje napona
        Let U_set = U_set - korak
        If u_set > 12227 then                ;Provjera minimalnog napona
            let U_set = 0                    ;Limitiranje napona
        endif
        gosub MaksimalnaStruja              ;Proracun maksimalne struje
    else                                       ;Smanjenje struje
        gosub MaksimalnaStruja              ;Proracun maksimalne struje
        Let I_Set = I_set - korak
        If I_set > 1100 then                 ;Provjera minimalne struje
            let I_Set = 0                    ;Limitiranje struje
        endif
    endif

return

Tipkalo1:                                   ;Pomicanje pokazivaca gore

    do
        if sw_1 = 0 then
            exit                               ;Cekanje kraja signala
        endif
    loop
    If pokazivac = 0 then                     ;Prebacivanje iz prvog
        pokazivac = 5                         ;u zadnji redak
    else
        dec pokazivac                         ;Pomicanje prema gore
    endif

return

Tipkalo2:                                   ;Pomicanje pokazivaca dolje

    do
        if sw_2 = 0 then
            exit                               ;Cekanje kraja signala
        endif
    loop
    If pokazivac = 5 then                     ;Pomicanje iz zadnjeg
        pokazivac = 0                         ;u prvi redak
    else
        inc pokazivac                         ;Pomicanje prema gore
    endif
return

Tipkalo3:                                   ;Izvršavanje naredbe

    do
        if sw_3 = 0 then
            exit                               ;Cekanje kraja signala
        endif
    loop

```



```

Select case pokazivac
  case 0
    sx5 = inv sx5
  case 1
    Sxx = inv sxX
  case 2
    Sel = inv sel
  case 3
    En1 = inv en1
    toggle En_1
  case 4
    en2 = inv en2
    Toggle en_2
  case 5
    en3 = inv en3
    toggle en_3
endselect
gosub OdrediKorak
return

```

```

;Ovisno o pokazivacu
;U prvom retku
;Promjena registra sx5
;U drugom retku
;Promjena registra sxX
;U trecem retku
;Promjena registra sel
;U cetvrtom retku
;Promjena registra en1
;Promjena stanja izlaza 1
;U petom retku
;Promjena registra en2
;Promjena stanja izlaza 2
;U sestom retku
;Promjena registra en3
;Promjena stanja izlaza 3

;Proracun trenutnog koraka

```

```

;-----
;Podfunkcije ispisa
;-----

```

IspisPokazivaca:

```

let x = 72
For j = 0 to 5
  If j = pokazivac then
    simbol = 60
  else
    simbol = 55
  endif
  let y = j
  gosub LCD_WriteNumber
next j

return

```

```

;Ispis u 72 stupac
;Ispis u svih 6 redaka
;Odabir simbola za ispis
;Ispis pokazivaca

;Brisanje pokazivaca

;Odabir retka za ispis
;Ispis znaka

```

IspisIndikatora:

```

if sx5 = 0 then
  Message = 48
else
  Message = 66
endif
gosub LCD_WriteMessage

if sxx = 0 then
  Message = 51
else
  Message = 69
endif
gosub LCD_WriteMessage

if sel = 0 then
  Message = 54
else
  Message = 72

```

```

;Provjera registra sx5
;Odabir praznog indikatora

;Odabir punog indikatora

;Ispis odabranog indikatora

;Provjera registra sx5
;Odabir praznog indikatora

;Odabir punog indikatora

;Ispis odabranog indikatora

;Provjera registra sx5
;Odabir praznog indikatora

;Odabir punog indikatora

```

```

endif
gosub LCD_WriteMessage           ;Ispis odabranog indikatora

if en1 = 0 then                   ;Provjera registra sx5
    Message = 57                   ;Odabir praznog indikatora
else
    Message = 75                   ;Odabir punog indikatora
endif
gosub LCD_WriteMessage           ;Ispis odabranog indikatora

if en2 = 0 then                   ;Provjera registra sx5
    Message = 60                   ;Odabir praznog indikatora
else
    Message = 78                   ;Odabir punog indikatora
endif
gosub LCD_WriteMessage           ;Ispis odabranog indikatora

if en3 = 0 then                   ;Provjera registra sx5
    Message = 63                   ;Odabir praznog indikatora
else
    Message = 81                   ;Odabir punog indikatora
endif
gosub LCD_WriteMessage           ;Ispis odabranog indikatora

return

```

```

;-----
;Podfunkcije ekrana
;-----

```

```

LCD_Initialize:
    High LCD_Reset                 ;Postavljanje LCD_reset
    Pulsout LCD_Reset, 50          ;50 mikro sekundi puls
    High LCD_Clock                 ;Postavljanje LCD_Clock 5V
    DataDir = %1                   ;Smjer podataka: izlaz
    LCD_Data = %0                  ;Postavljanje LCD_Data 0 V
    High LCD_Mode                   ;Ppodatkovni rezim rada
    High LCD_Enable                ;Omogucavanje komunikacije

    Podatak = $21                  ;Aktivni, horiz. pristup
    gosub LCD_WriteCommand         ;prosirene instrukcije
    Podatak = $C0                  ;Parametar: Vop = 6.9V
    gosub LCD_WriteCommand
    Podatak = $05                  ;Parametar: temp. koef. = 3
    gosub LCD_WriteCommand
    Podatak = $13                  ;Parametar: Bias = 48:1 MUX
    gosub LCD_WriteCommand
    Podatak = $20                  ;Aktivni, horiz. pristup,
    gosub LCD_WriteCommand         ;standardne instrukcije
    Podatak = $0C                  ;Normalan nacin rada
    gosub LCD_WriteCommand
    X = 0 : Y = 0
    gosub LCD_SetCursor            ;Koordinata pokazivaca
    gosub LCD_Clear                ;Ciscenje svih tocaka

return

```

```

LCD_WriteMessage:

```

```

    read Message, Simbol           ;Citanje simbola za ispis
    inc Message                    ;Povecati adresu za 1
    read Message, X                ;X koordinata simbola
    inc Message                    ;Povecati adresu za 1
    read Message, Y                ;Y koordinate simbola

LCD_WriteNumber:

    gosub iskljuciinterrupt        ;Nesmetana komunikacija
    gosub LCD_SetCursor            ;Namjestanje koordinata
    for I= 1 to 5                  ;Ispis 5 stupaca bitmape
    inc Message                    ;Citanje poruke
        readtable Simbol, Podatak ;Priprema stupca za ispis
        gosub LCD_WriteData       ;Ispis stupca
        inc Simbol                ;Odabir sljedeceg stupca
    next I                         ;Ponovi za svih 5 stupaca
    gosub ukljuciinterrupt        ;Ukljucenje interupta
return

LCD_WriteCommand:

    low LCD_Mode                   ;Upravljacki rezim rada

LCD_WriteData:

    low LCD_Enable                 ;Omogucavanje komunikacije
    for Bits = 0 to 7              ;Zapis 1 bajta = 8 bitova
        Let LCD_Data = Podatak & 128 / 128 ;Vrijednost MSB bita
        Pulsout LCD_Clock, 1       ;Puls, 1 mikro sekunda
        Podatak = Podatak << 1   ;Pomicanje u lijevo
    next Bits                      ;Sljedeci bit
    high LCD_Enable                ;Iskljucenje komunikacije
    high LCD_Mode                  ;Podatkovni rezim rada

return

LCD_Clear:

    LCD_Data = %0                  ;Naredba = 0
    high LCD_Mode                  ;Podatkovni rezim rada
    low LCD_Enable                 ;Ukljucenje komunikacije
    for PXL=1 to 4032              ;Za svaku tocku na Zaslonu
        pulsout LCD_Clock, 1      ;Puls, 1 mikro sekunda
    next PXL                       ;Sljedeca tocka

return

LCD_SetCursor:

    Podatak = X + 128              ;Naredba za X koordinatu
    gosub LCD_WriteCommand         ;X koordinata, MSB = 1
    Podatak = Y + 64               ;Naredba za Y koordinatu
    gosub LCD_WriteCommand         ;Y koordinata, MSB-1 = 1
return

```