

Automatizirani mjerni sustav strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula

Dubravac, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:957433>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

**AUTOMATIZIRANI MJERNI SUSTAV STRUJNO-
NAPONSKE KARAKTERISTIKE FOTONAPONSKOG
MODULA**

Završni rad br. 09/MEH/2018

Matija Dubravac

Bjelovar, Ožujak 2018.



Veleučilište u Bjelovaru
Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Dubravac Matija**

Datum: 06.07.2018.

Matični broj: 001138

JMBAG: 0314011118

Kolegij: **LABVIEW GRAFIČKO PROGRAMIRANJE**

Naslov rada (tema): **Automatizirani mjerni sustav strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Temeljne tehničke znanosti**

Grana: **Automatika**

Mentor: **dr.sc. Alan Mutka**

zvanje: **predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. Zoran Vrhovski, mag.ing.el.techn.inf., predsjednik
2. dr.sc. Alan Mutka, mentor
3. Marko Miletić, struč.spec.ing.el., član

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 09/MEH/2018

U radu je potrebno:

1. Izraditi i opisati hardversku realizaciju sustava za mjerenje strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula
2. Isprogramirati i opisati LabVIEW softversku podršku za mjerenje strujno-naponske karakteristike
3. Isprogramirati i opisati algoritam za praćenja točke maksimalne snage.

Zadatak uručen: 06.07.2018.

Mentor: **dr.sc. Alan Mutka**



Zahvala

Zahvaljujem se svojim roditeljima koji su mi pomagali i bili podrška tijekom moga školovanja na Veleučilištu u Bjelovaru, te se također zahvaljujem svim profesorima, a posebno mentoru Alanu Mutki, na pruženom znanju i na savjetima koji će mi pomoći dalje u životu.

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Korištena oprema.....	4
2.1.1	NI cDAQ - 9174.....	4
2.1.2	NI 9215.....	6
2.1.3	NI 9263.....	7
2.1.4	IRF 540n.....	8
2.1.5	INA 125.....	9
2.1.6	Otpornik.....	10
2.1.7	Napajanje ± 12 V.....	12
2.1.8	Fotonaponski modul.....	14
2.1.9	LabVIEW.....	16
3.	Proračun otpornika za INA 125.....	24
4.	Izrada tiskane pločice.....	25
5.	Tragač točke maksimalne snage (MPPT).....	30
6.	Princip rada.....	33
7.	Rezultati.....	45
8.	ZAKLJUČAK.....	48
9.	LITERATURA.....	49
10.	OZNAKE I KRATICE.....	50
11.	SAŽETAK.....	51
12.	ABSTRACT.....	52
13.	DODATAK.....	53
13.1	<i>Električna shema.....</i>	<i>53</i>
13.2	<i>Blok shema.....</i>	<i>54</i>

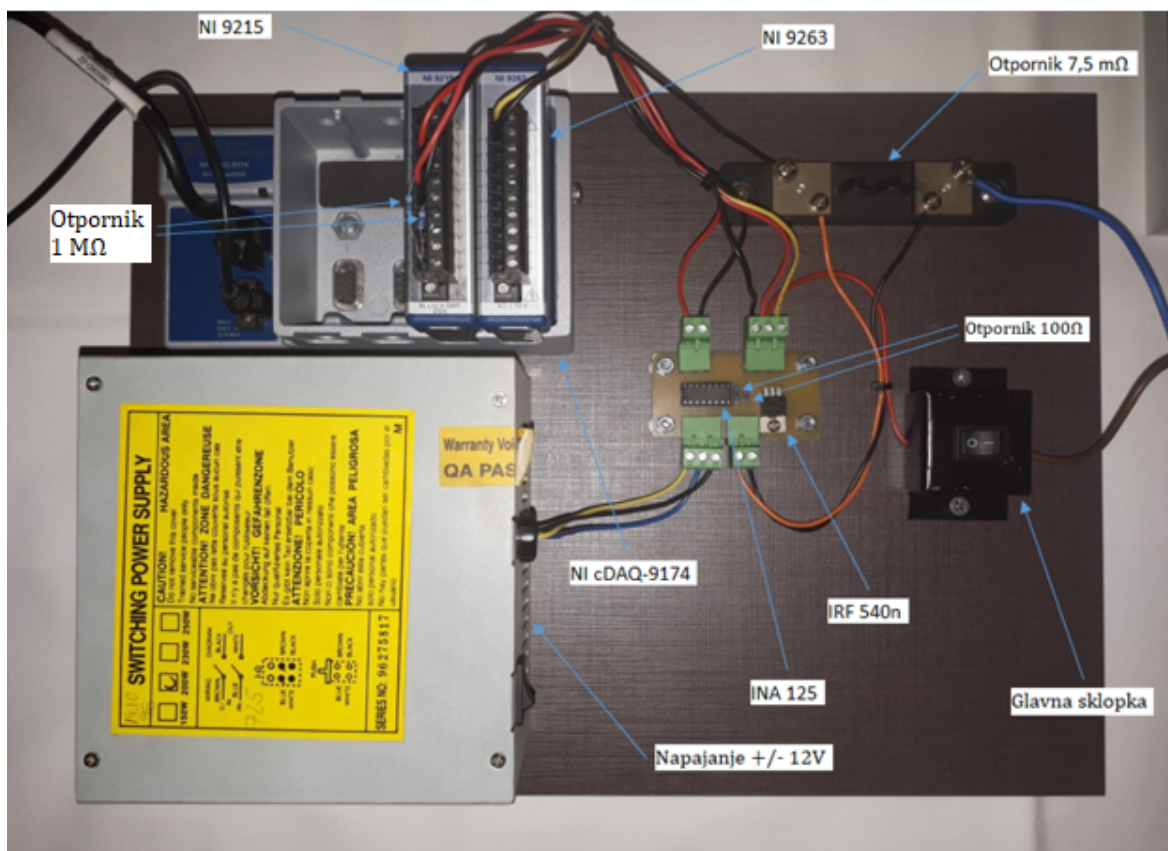
1. Uvod

U današnjem modernom dobu svi se okreću korištenju obnovljivih izvora energije kao što su: sunčeva energija, energija vjetra i energija vode. Obnovljivi izvori energije se počeli sve više koristiti zbog osviještenja ljudi o zagađenju okoliša korištenjem fosilnih goriva (ugljen, nafta i zemni plin), te time što su to neobnovljivi izvori energije i ima ih sve manje. Ovaj rad se temelji na sunčevoj energiji, točnije, dobivanju električne energije pomoću fotonaponskog modul [1]. Fotonaponski modul upija sunčevu energiju i pretvara ju u električnu energiju. U njemu se nalaze fotonaponske ćelije koje definiraju koliki će biti izlazni napon i struja modula. Ako se u fotonaponskom modulu nalazi više fotonaponskih ćelija dobiti će se veći izlazni napon. Sa prednje strane fotonaponskog modula se nalazi staklena ploča koju obasja sunce. Ona propušta sunčevu svjetlost i štiti unutrašnjost fotonaponskog modula od oštećenja. Fotonaponska ćelija je poluvodič koji generira električnu energiju zagrijavanjem. Cijena i učinkovitost fotonaponskog modula ovise o vrsti materijala fotonaponske ćelije. Učinkovitost još ovisi o jačini iradijacije (sunčevom zračenju) i kutu osvjetljenja fotonaponskog modula [1][2]. Problem fotonaponskih modula nastaje u zimskom periodu kada je njihova iskoristivost daleko manja nego u ljetnome, te se pomoću ovakvoga uređaja to može povećati za 20% - 30 %. To povećanje se ostvaruje na način da se pronađe točka maksimalne snage fotonaponskog modula korištenjem MPPT (*engl. Maximum Power Point Tracker*) algoritma. Rezultat mjerenja je graf koji se naziva karakteristika opterećenja, jer se povećanjem opterećenja u strujnome krugu ostvaruje povećanje napona i struje fotonaponskog modula. Postoji pet metoda praćenja točke maksimalne snage, a u ovom radu se koristi metoda „Praćenja promjene“ [3]. Ova metoda je jednostavna za izvedbu, ali izlazna snaga oscilira. Pomoću nje se može pokazati vršna snaga [2].

Za upravljanje sustava predstavljenog u ovom radu je korišten programski paket LabVIEW (*engl. Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) američke tvrtke National Instruments [4]. LabVIEW je platforma za dizajniranje sustava, za programiranje se koristi grafički kod („G“). Program LabVIEW se sastoji od dva dijela: prednjeg panela i blok dijagrama. Prednji panel služi za upravljanje sustavom na kojemu se nalaze razni elementi kojima se može nešto pokrenuti ili upisati, a oni se nazivaju kontrole. Postoje još i indikatori kojima se može očitati stanje sustava. Na blok dijagramu se nalaze isto te kontrole i indikatori samo na drugačiji način, kao simboli, kako bi se mogli povezati žicama i tako izvršiti nekakvu operaciju, te se rezultat toga pokazuje na prednjem panelu.

MPPT sustavi su integrirani unutar regulatora punjenja [5]. Regulator punjenja je jako bitan u solarnim sustavima jer se brine o stanju baterija. On u sebi ima razne značajke koje čuvaju baterije, a to su: zaštita podnapona, zaštita prenapona, zaštita od kratkoga spoja, zaštita od zamjene polariteta itd. Proizvode se za napon od 12 i 24 V, te struje 8, 20 i 30 A [5]. Postoje PWM (*engl. Pulse Width Modulation*) i MPPT regulatori punjenja baterija. PWM regulatori punjenja baterija rade tako da radni napon svode na napon baterije, za razliku od MPPT regulatora punjenja koji daju maksimalnu moguću snagu i time su učinkoviti za 30% od PWM regulatora punjenja.

Na slici 1.1. prikazan je konačni izgled izrađenog sustava za automatizirano mjerenje strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula. U drugom poglavlju detaljno su prikazane sve korištene hardverske komponente koje su korištene u izradi ovog rada. Većinu hardverske podrške čini specijaliziran LabVIEW hardver koji je upravo omogućio realizaciju kvalitetnih i automatiziranih mjerenja koje su temelj ovog rada. Dodatno je razvijana i vlastita elektronika koja je bila nužna za integraciju cijelog sustava. Na kraju drugog poglavlja opisan je i softverski alat LabVIEW koji čini programsko okruženje ovog rada.



Slika 1.1. Automatizirani mjerni sustav strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula

U trećem poglavlju prikazan je proračun otpornika za instrumentacijsko pojačalo INA 125 to je važno zato što se mora točno odrediti pojačanje i potrebni otpor kako bi se točnije očitala struja. U četvrtom poglavlju je opisana izrada tiskane pločice, detaljno je opisan svaki korak, korištena oprema i na kraju i izgled tiskane pločice. U petom poglavlju je opisan MPPT, što je i kako se određuje, te su opisane metode praćenja točke maksimalne snage.

U šestom poglavlju je opisan princip rada i prikazan je programski kod. Korištena su dva algoritma, prvi je MPPT algoritam kojim se icrtava strujno-naponska i napon-snaga karakteristika. Drugi algoritam je održavanje u MPP-u, njime se simulira punjenje baterije. U sedmom poglavlju prikazani su dobiveni rezultati i za svaki je izračunat faktor ispunje i učinkovitost.

2. Korištena oprema

U ovom poglavlju prikazan je popis korištene hardverske i softverske opreme u ovom radu. Za potrebe mjerenja strujno-naponski karakteristika koristi se LabVIEW oprema NI cDAQ – 9174 [7] koji služi za komunikaciju sa računalom. Na njega se spajaju dva modula NI 9215 [8] i NI 9263 [9]. NI 9215 se sastoji od četiri analogna ulaza pomoću kojih se mjeri napon i struja. NI 9263 se sastoji od četiri analogna izlaza pomoću kojeg se podešava opterećenje u strujnome krugu. Od ostale opreme se još koristi: MOSFET (*engl. Metal Oxide Semiconductor FieldEffectTransistor*) IRF 540n [10] koji služi kako bi se dobilo opterećenje u strujnome krugu; Instrumentacijsko pojačalo INA 125 [11] koja povećava strujni signal; Otpornik $7.5\text{ m}\Omega$ [12] na kojem se mjeri pad napona da bi se izračunala struja u strujnome krugu; Dva otpornika od $100\ \Omega$ koji su povezani u strujni krug INA 125; Dva otpornika $1\text{ M}\Omega$ koji se spaja između COM i AI- na NI 9215; Napajanje [13] +/- 12V na koje se spaja INA 125; Fotonaponski modul [1] koji sunčevu svjetlost pretvara u struju.

2.1.1 NI cDAQ-9174

NI cDAQ – 9174[7] je kućište na koje se mogu priključiti četiri USB (*engl. UniversalSerial Bus*)modula C serije, a njegov izgled je prikazan na slici 2.1. USB moduli se mogu sastojati od raznih stvari, a to su: analogni ulazi, analogni izlazi, digitalni ulazi, digitalni izlazi, brojači, tajmeri, generatori frekvencije itd.



Slika 2.1. Izgled NI cDAQ – 9174

NI cDAQ – 9174 je potrebno napajanje od 9 – 30 V i maksimalne snage 15 W, priključci za napajanje mogu biti Sauro CTF020V8, Phoenix Contact 1714977 ili slični. Radi na temperaturama od -20 °C do 55 °C, vlažnosti 10 – 90%. U tablici 2.1. se mogu vidjeti karakteristike vezane za analogne ulaze, a u tablici 2.2. karakteristike vezane za analogne izlaze.

Tablica 2.1. Karakteristike vezane za analogne ulaze

Veličina FIFO ulaza	127 uzoraka po ulazu
Maksimalna brzina uzorkovanja	Određena modulom C serije
Točnost vremena	50 ppm brzine uzorka
Razlučivost vremena	12,5 ns
Broj podržanih kanala	Određeno modulom C serije

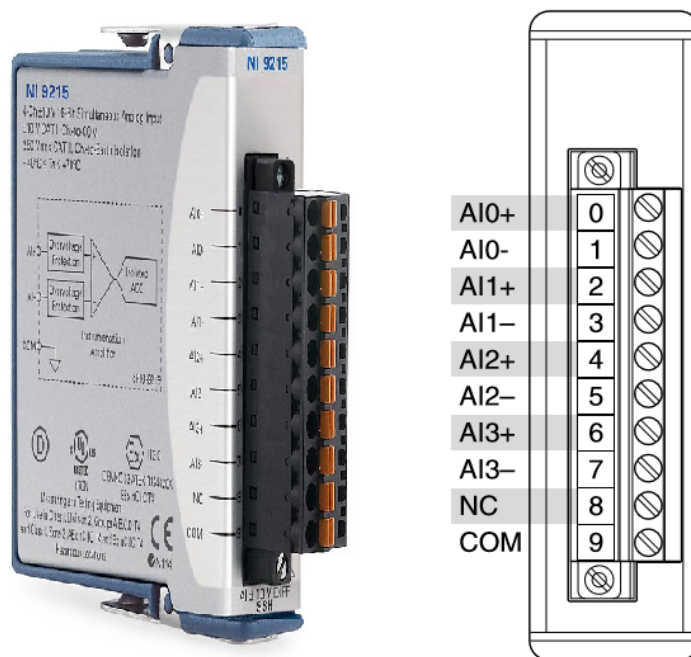
Tablica 2.2. Karakteristike vezane za analogne izlaze

Broj podržanih kanala:	
- Sa hardverom	
1. Onboard regeneracija	16
2. Bez regeneracije	Određeno modulom C serije
- Bez hardvera	Određeno modulom C serije
Maksimalna stopa ažuriranja:	
- Onboard regeneracija	1,6 MS/s (više kanala, združeno)
- Bez regeneracije	Određeno modulom C serije
Točnost vremena	50 ppm brzine uzorka
Razlučivost vremena	12,5 ns
Veličina FIFO izlaza:	
- Onboard regeneracija	8191 koji se dijele među korištenim kanalima
- Bez regeneracije	127 uzoraka po izlazu
Valni oblik analognog izlaza	Ne periodični valni oblik, periodični način regeneracije valnog oblika s onboard memorije, periodična regeneracija valnog oblika sa domaćina, uključujući dinamičko ažuriranje

2.1.2 NI 9215

NI 9215 [8] se sastoji od četiri istovremeno uzorkovana analogna ulaza koji rade na naponu od -10 do +10 V i 16 bita analogno-digitalnu pretvorbu tipa SAR (*engl. Successive Approximation Register*), koristi se sa NI cDAQ-om i cRIO-m. Sadrži NIST (*engl. National Instruments Traceable Calibration Certificate*) prateću kalibraciju, zaštitu od prenapona (+/- 30V), te izolaciju smetnji. Greška pri obradi rezultata je od 0,2 do 1,05%, a

može se smanjiti tako što se obavi kalibracija uređaja. Ulazni signali na svakom kanalu su ispeglani, složeni i nakon toga uzorkovani ADC (engl. *Analog Digital Converter*) pretvorbom. Svaki analogni ulaz osigurava neovisno pojačalo za praćenje i držanje koje vam omogućuje uzorkovanje svih kanala istodobno. NI 9215 radi na temperaturi od -40 do 70°C, vlažnosti od 10 do 90% i na maksimalnoj visini od 2000 metara. Prikaz ulazno-izlaznih pinova te sam izgled modul prikazan je na slici 2.2.



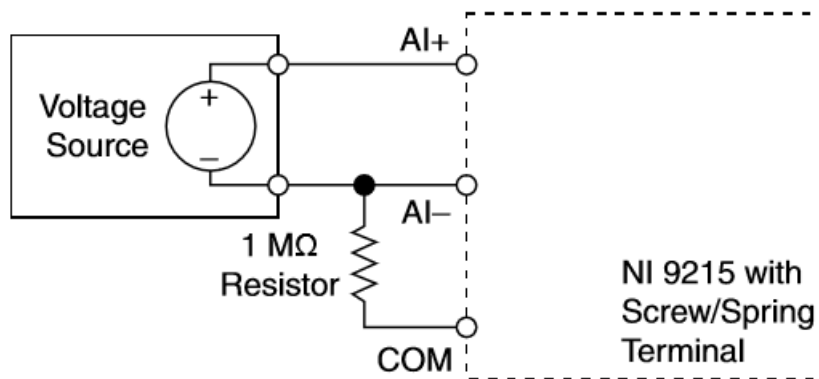
Slika 2.2. Izgled NI 9215

U tablici 2.3 se nalazi opis oznaka pinova.

Tablica 2.3 Opis oznaka pinova

Signal	Opis
AI+	Spajanje pozitivnog signala na analogni ulaz
AI-	Spajanje negativnog signala na analogni ulaz
COM	Zajednička referentna nula
NC	Nema veze

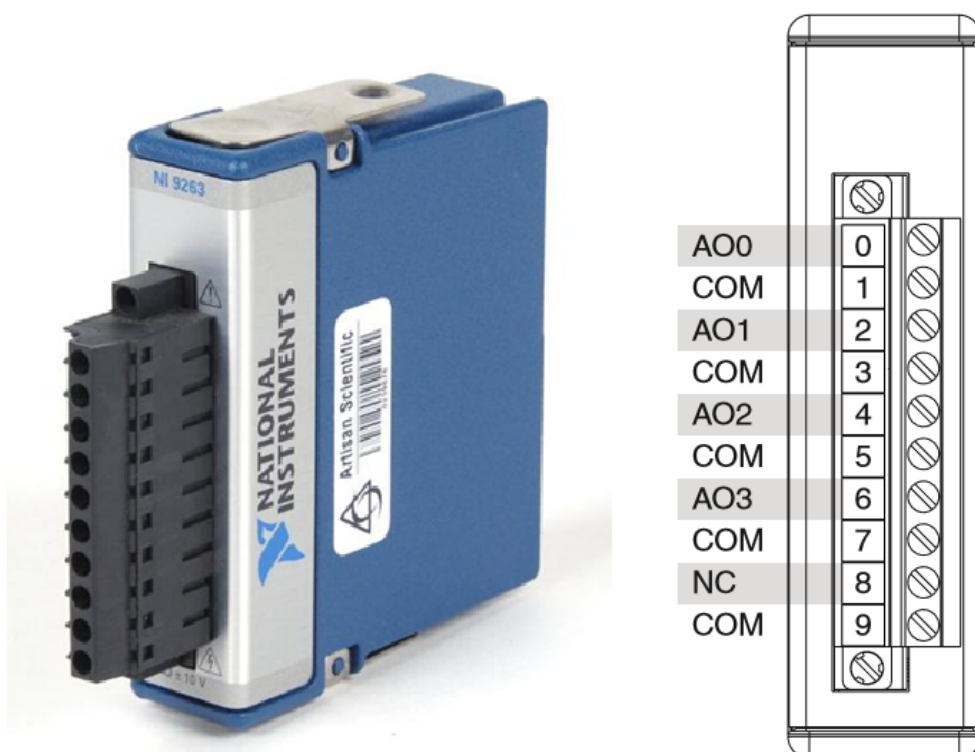
Negativni signal se spaja na COM preko otpornika od 1 MΩ kako bi izvor signala ostao unutar raspona napona uobičajenog načina rada. Shema spajanja na analogni ulaz je prikazana na slici 2.3.



Slika 2.3. Shema spajanja na analogni ulaz NI 9215

2.1.3 NI 9263

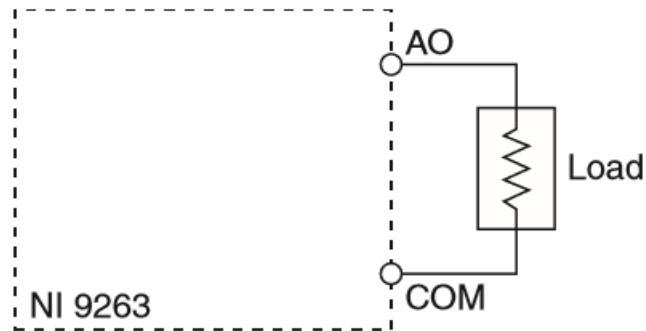
NI 9263 [9] se sastoji od četiri analogna izlaza koji rade sa CompactDAQ – om i Compact RIO – m. Može dati napon od -10V do $+10\text{V}$, ima zaštitu od prenapona od -30V do $+30\text{V}$, zaštitu od kratkog spoja, nisko miješanje signala, visoku točnost i kalibraciju NIST – a. Ima dvostruku izolaciju, uzemljenje i zaštitu od smetnji. Njegov izgled i rapored pinovaje prikazan na slici 2.4.



Slika 2.4. Izgled NI 9263

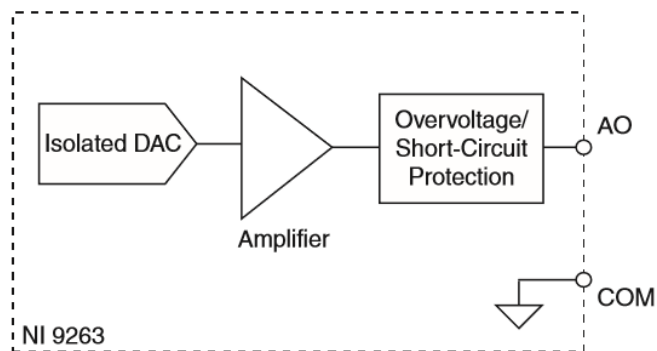
Svaki kanal ima AO terminal na koji se može spojiti pozitivan potencijal opterećenja i zajednički COM terminal, a na dnu postoji još jedan dodatni COM terminal. Svi COM

terminali su interno povezani sa izoliranim referentnim poljem modula. Na slici 2.5. je prikazana shema spajanja.



Slika 2.5. Shema spajanja opterećenja

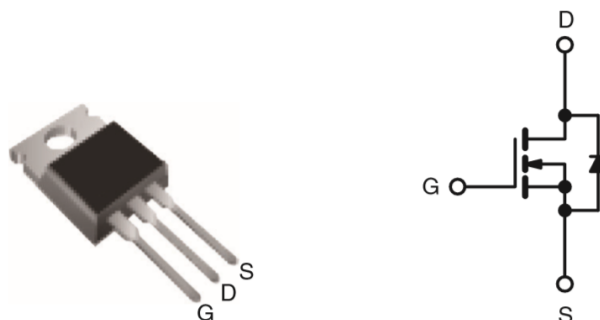
Svaki kanal ima digitalno – analognu pretvorbu, 16 bita, koja proizvodi naponski signal. Blok shema analognog ulaza je prikazana na slici 2.6.



Slika 2.6. Blok shema analognog ulaza NI 9263

2.1.4 **IRF540n**

IRF540n[10] je Power MOSFET tvrtke Burr-Brown Corporation koji pruža najbolju kombinaciju brzog preklopa, složenog dizajna uređaja, niske otpornosti i ekonomičnosti. Njegov izgled i shema su prikazan na slici 2.7.

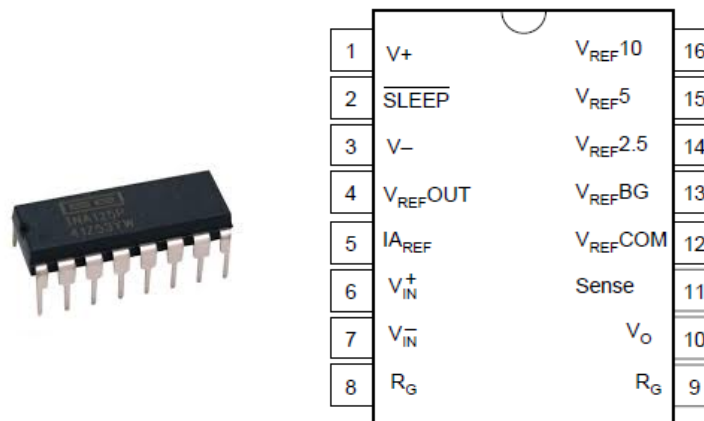


Slika 2.7. Izgled i shema IRF540n

Struja kroz Drain je $I_D = 33 \text{ A}$, napon između Drain-a i Source-a je $V_{DS} = 100 \text{ V}$, a otpor, pri naponu između Gate-a i Source-a $V_{GS} = 10 \text{ V}$, $R_{DS} = 0,044 \text{ } \Omega$. Neke od njegovih značajka su: dinamička dV/dt procjena, radna temperatura od $175 \text{ } ^\circ\text{C}$, jednostavnost paraleliranja i jednostavan način upravljanja.

2.1.5 *INA 125*

INA 125 [11] je instrumentacijsko pojačalo male snage, velike preciznosti i precizne reference napona. Omogućuje potpunu pobudu mostova i preciznu diferencijalno-ulazno pojačanje na jednom integriranom krugu. Pomoću vanjskog otpornika se dobiva pojačanje od 4 do 10000. Radi na naponu od $+2,7$ do $+36 \text{ V}$ i od $\pm 1,35$ do $\pm 18 \text{ V}$. Referentni napon se može podesiti izvana tako da se izabere pin sa naponima: $2,5 \text{ V}$; 5 V i 10 V . INA 125 je dostupna u 16-pin plastičnom DIP i SO-16 kućištima, te radi na temperaturi od -40 do $+85 \text{ } ^\circ\text{C}$. Njezin izgled i raspored pinova je prikazan na slici 2.8.



Slika 2.8. Izgled INA 125

Pojačanje INA 125 se računa prema jednadžbi 2.1.

$$G = \frac{60 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (2.1)$$

Izlazni napon se računa prema jednadžbi 2.2.

$$V_O = G \cdot \dot{I} \quad (2.2)$$

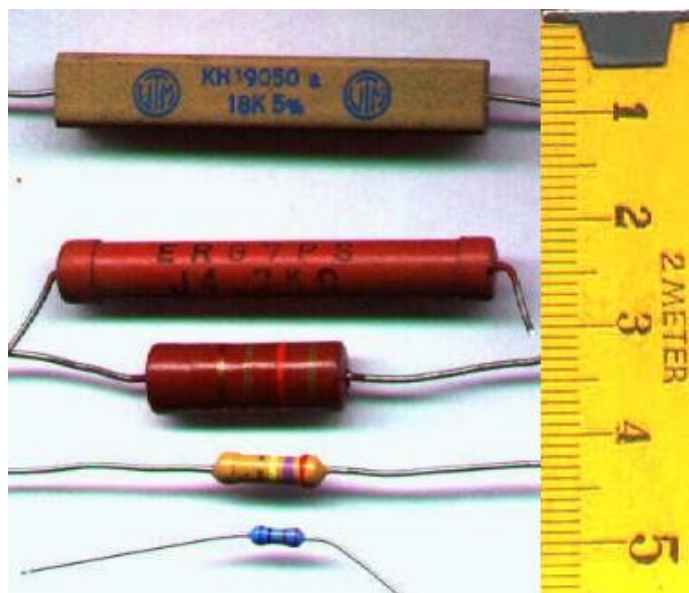
2.1.6 *Otpornik*

Otpornik [12] je važna električna komponenta koja regulira protok električne struje ili napona u električnome krugu, tako da energiju koja prolazi kroz njih pretvara u toplinu.

Mjerna jedinica za otpor je Om[Ω]. Struja kroz otpornik je obrnuto proporcionalna otporu i proporcionalna naponu kroz njega. Prikazano u jednadžbi 2.3.

$$I[A] = \frac{U[V]}{R[\Omega]} \quad (2.3)$$

Otpornik se izrađuje različitih veličina, različitih veličina otpora i različitih tolerancija (slika 2.9.).



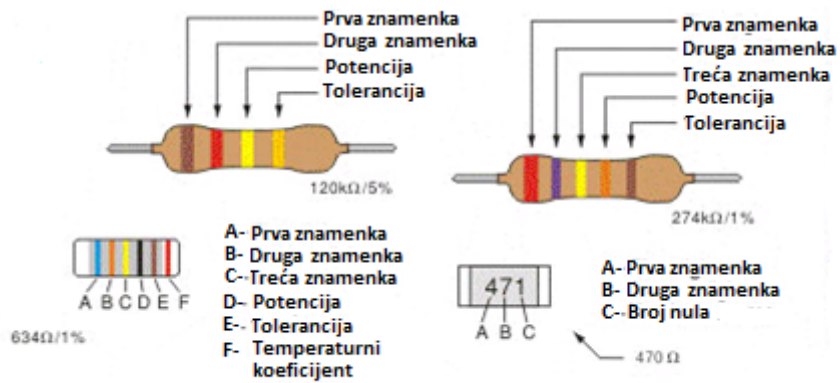
Slika 2.9. Otpornici

Neki otpornici na sebi imaju obojane prstene, te se pomoću njih može očitati koju vrijednost otpora ima otpornik. Značenje pojedinog prstena se može vidjeti u tablici 2.4.

Tablica 2.4. Značenje i vrijednosti prstena na otporniku

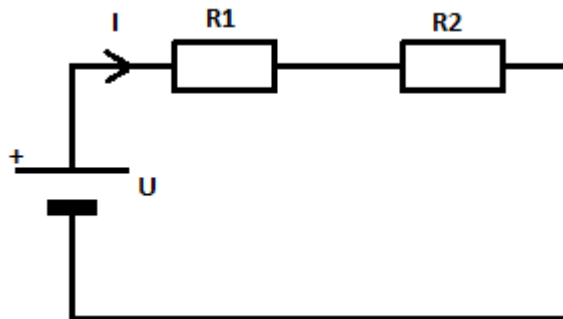
Boja	1. prsten	2. prsten	3. prsten (Množitelj)	4. prsten (Tolerancija)
Crna	0	0	$\times 10^0$	
Smeđa	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
Crvena	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Narančasta	3	3	$\times 10^3$	
Žuta	4	4	$\times 10^4$	
Zelena	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0,5\%$
Plava	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0,25\%$
Ljubičasta	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0,1\%$
Siva	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0,05\%$
Bijela	9	9	$\times 10^9$	
Zlatna			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Srebrna			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
Ništa				$\pm 20\%$

Na slici 2.10. su prikazano nekoliko primjera kako odrediti otpor na otporniku.



Slika 2.10. Primjer određivanja otpora

Otpornici se mogu spajati u serijski spoj (naponsko dijelilo), paralelni spoj (strujno dijelilo) i mješoviti spoj. Izgled serijskog spoja je prikazan na slici 2.11.



Slika 2.11. Serijski spoj otpornika

U serijskom spoju postoji jedna struja koja prolazi kroz oba otpornika i tako na njima stvara pad napona. Ukupan otpor serijskog spoja je jednak zbroju pojedinih otpora:

$$R[\Omega] = R_1[\Omega] + R_2[\Omega] \quad (2.4)$$

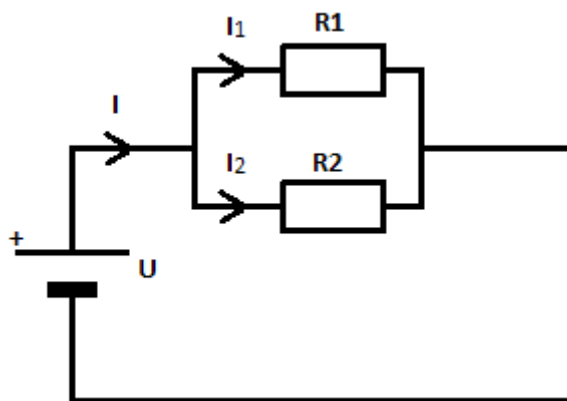
Napon izvora U se dijeli na oba otpornika u omjeru istom kao i njihovih otpora:

$$\frac{R_2[\Omega]}{R_1[\Omega]} = \frac{U_2[V]}{U_1[V]} \quad (2.5)$$

U_1 i U_2 su padovi napona na otpornicima, a zbroj padova napona je jednak naponu napajanja:

$$U[V] = U_1[V] + U_2[V] \quad (2.6)$$

Izgled paralelnog spoja je prikazan na slici 2.12.



Slika 2.12. Paralelni spoj otpornika

U paralelnom spoju postoji jedan napon koji prolazi kroz oba otpornika i tako kroz svaki otpornik prolazi odgovarajuća struja. Ukupan otpor paralelnog spoja je prikazan u jednadžbi 2.7.

$$\frac{1}{R[\Omega]} = \frac{1}{R_1[\Omega]} + \frac{1}{R_2[\Omega]} \quad (2.7)$$

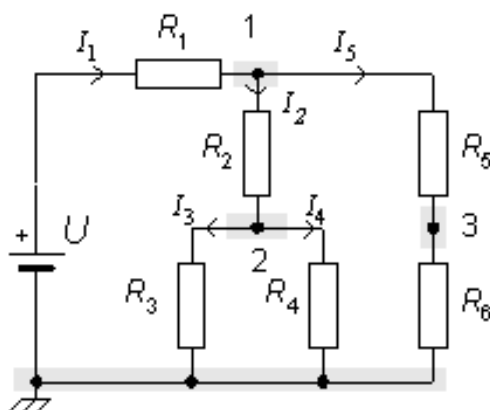
Omjer jakosti struja je obrnuto proporcionalan omjeru otpora kroz koji teku:

$$\frac{I_1[A]}{I_2[A]} = \frac{R_2[\Omega]}{R_1[\Omega]} \quad (2.8)$$

Zbroj struja kroz svaki otpornik jednak je ukupnoj struji:

$$I[A] = I_1[A] + I_2[A] \quad (2.9)$$

Mješoviti spoj otpornika je prikazan na slici 2.13.



Slika 2.13. Mješoviti spoj otpornika

U mješovitom spoju se za izračun koriste jednadžbe serijskog i paralelnog spoja.

2.1.7 Napajanje $\pm 12 V$

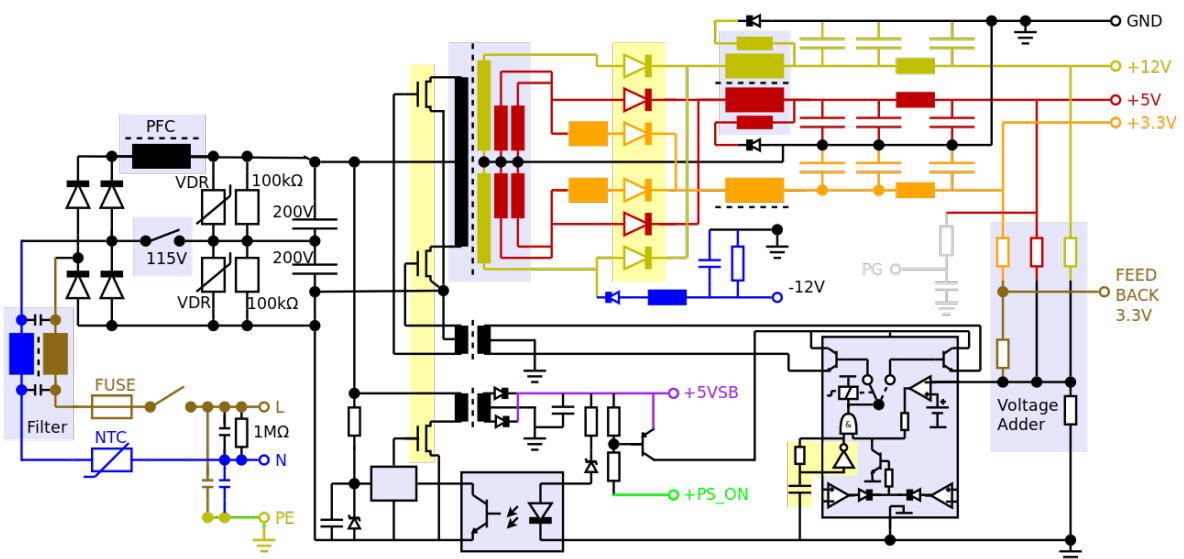
Napajanje [13] je elektronički uređaj koji opskrbljuje drugi uređaj električnom snagom. Primarna zadaća napajanja je pretvoriti električnu struju izvora za ispravljanje

napona, struje i frekvencije drugog uređaja. Neka napajanja su zasebni dio opreme, a drugi su ugrađeni u uređaje. Mogu se pronaći u stolnim računalima i ostalim električnim uređajima. Izgled napajanja za stolna računala je prikazan na slici 2.14.



Slika 2.14. Napajanje za stolna računala

Napajanje pretvara mrežni napon (AC) u nisko-naponsko reguliranu snagu (DC). Neka napajanja imaju sklopku za odabir mrežnog napajanja, a oni bez se automatski prilagođavaju mrežnom naponu. Na slici 2.15. je prikazan strujni krug napajanja.



Slika 2.15. Strujni krug napajanja

Sadrži visokofrekvencijske transformatore sa feritom i energetske transformatore koji se uključuju/isključuju nekoliko tisuća puta u sekundi. Podešavanje vremena uključivanja tranzistora (PWM), izlazni napon se može jako dobro kontrolirati bez da se energija pretvara u toplinu.

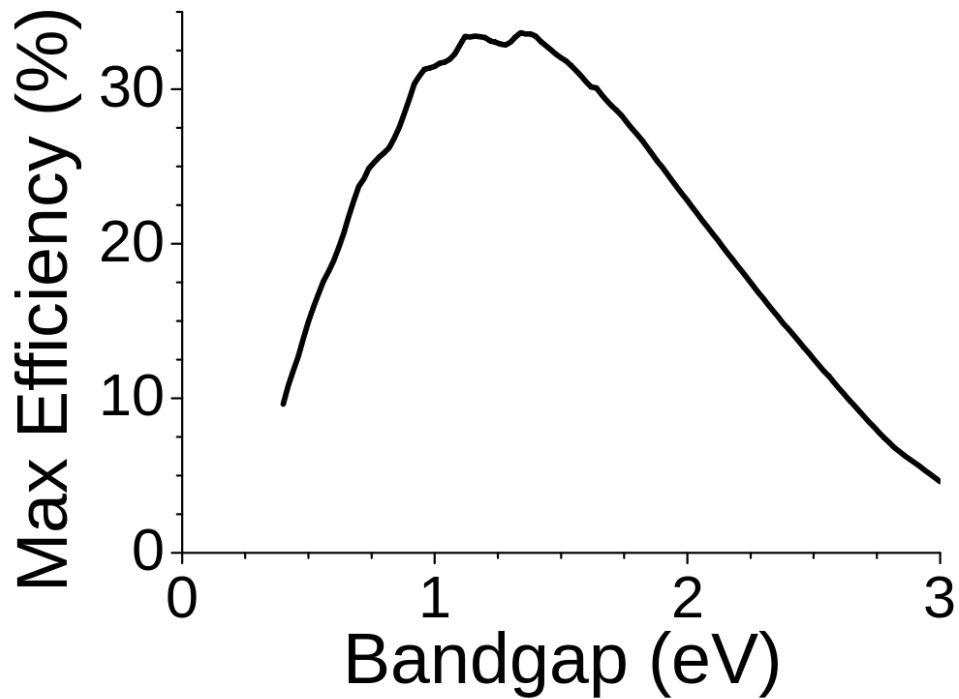
2.1.8 *Fotonaponski modul*

Fotonaponski [1] modul u sebi sadrži fotonaponske ćelije, a njihov broj ovisi o veličini modula. Fotonaponske ćelije se spajaju i zatvaraju unutar modula. Sa prednje strane se nalazi staklena ploča koja bude okrenuta prema suncu, propuštajući sunčevu svjetlost i štiteći poluvodič od ogrebotina i ostalih mogućih oštećenja. Izgled fotonaponskog modula je prikazan na slici 2.16.



Slika 2.16. Izgled fotonaponskog modula

Fotonaponske ćelije se izrađuju od nekolicine materijala, a oni su: monokristalni silicij, polikristalni silicij, amorfni silicij, kadmij telurid i bakar-indij-selen. Ovisno o odabiru materijala ovisi cijena i učinkovitost fotonaponskog modula. Poluvodiči sa energetske procjepom između 1 i 1.5 eV imaju najveći potencijal za izradu učinkovite ćelije, kao što se vidi u Shockley-Queisserovoj granici maksimalne teorijske učinkovitosti fotonaponske ćelijeprikazanoj na slici 2.17.



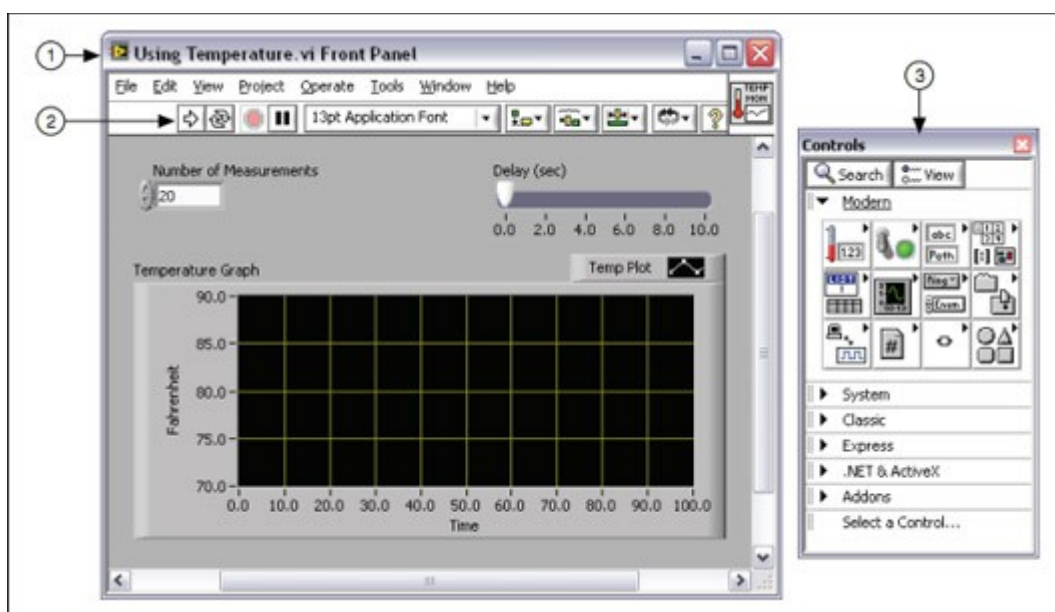
Slika 2.17. Shockley-Queisserova granica maksimalne teorijske učinkovitosti fotonaponske ćelije
 Specifikacije korištenog fotonaponskog modula se nalaze na slici 2.18.

Sole [®] solar		
Model		DSP-10M
Maximum Power	(Pmax)	10W±3%
Maximum Power Voltage	(Vmp)	9.00V
Maximum Power Current	(Imp)	1.11A
Open Circuit Current	(Voc)	10.80V
Short Circuit Current	(Isc)	1.28A
Nominal Operating Cell Temp. (NOCT)		-45to80°C
Maximum System Voltage		DC600V
Maximum Series Fuse		9A
For field connections, use minimum No. 12 AWG copper wires insulated for a minimum 90°C		
Weight		1.15Kgs
Dimension		284*350*17mm
Standard Test Conditions		
AM=1.5	IRRADIANCE=1000W/m ²	Temp.=25°C
Sole [®] What the World Needs. NOW		
CE ISO9001:2008		

Slika 2.18. Specifikacije korištenog fotonaponskog modula

2.1.9 LabVIEW

Laboratorij za virtualno inženjerstvo instrumenata ili skraćeno LabVIEW[4] je platforma za dizajniranje sustava i dizajniranje okruženja za grafički programski jezik („G“) tvrtke National Instruments. LabVIEW je razvijen 1986. godine, prvotno je podržavao Macintosh, a danas podržava različite operativne sustave kao što su: Microsoft Windows, razne verzije Unix-a, Linux-a i MacOS-a. Koristi se za prikupljanje podataka, kontrolu instrumenata i industrijsku automatizaciju. Kada se otvori novi ili postojeći VI (*engl. Virtual instrument*), otvara se prozor koji se naziva prednja ploča (*engl. Front panel*), a ona je ujedno i korisničko sučelje za VI [4]. Na slici 2.19. je prikazan izgled prednje ploče.






Slika 2.19. Izgled prednje ploče













Pod brojem jedan je prozor prednje ploče, pod brojem dva je alatna traka i pod brojem tri, paleta sa kontrolama. Na alatnoj traci se nalaze gumbi pomoću kojih se može pokrenuti i urediti VI. Izgled trake alata je prikazan na slici 2.8., a u tablici 2.5. se nalazi opis pojedinih gumba.



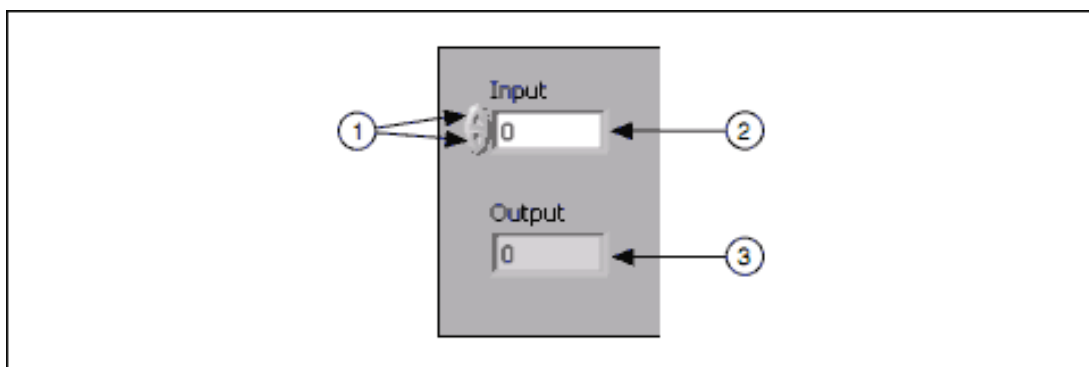
Slika 2.8. Izgled trake alata

Tablica 2.5. Opis gumba na alatnoj traci na prednjoj ploči

	Gumb za pokretanje VI-a
	Nakon pokretanja, ako je VI glavni, onda se pojavljuje ovaj gumb
	Ukoliko se pokrećepodprogram onda se pojavljuje ovaj gumb

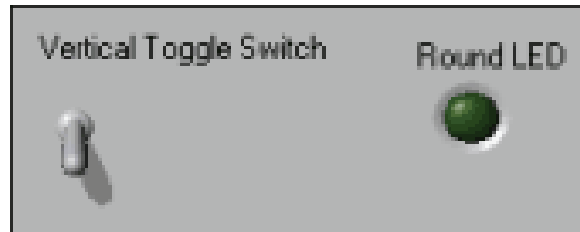
	Ako postoji nekakva greška onda se pojavljuje ovaj gumb i VI se ne pokrene
	Pomoću ovoga gumba se zadaje da se VI izvršava dok ga se ne zaustavite
	Odmah zaustaviti izvršavanje VI-a
	Pauzirati izvršavanje VI-a
	Promijeniti veličinu fonta
	Poravnati objekte uzduž osi
	Distribuiranje objekte
	Promjena veličine objekta
	Promjena redoslijeda objekata koji se preklapaju
	Pretraživanje pojmova u Pomoći
	Prikaži prozor pomoći konteksta
	Unesi tekst

Paleta sa kontrolama sadrži kontrole i pokazivače koji se koriste za izradu prednje ploče. Prozor prednje ploče se otvara na dva načina: prvi je tako da se odabere pogled (*engl. View*) i zatim paleta sa kontrolama (*engl. Controls Palette*), drugi način je tako da se klikne desnim klikom miša na prazno mjesto na prednjoj ploči. Paleta sa kontrolama je podijeljena u nekoliko kategorija, koje su podijeljene u nekoliko potkategorija. Izrada korisničkog sučelja se radi pomoću postavljanja kontrola i pokazivača na prednju ploču. Pomoću kontrola se zadaju ulazni podatci kako bi se izvršio određeni dio programa, a na pokazivaču se prikazuje rezultat. Kontrole se sastoje od prekidača, gumba, klizača, izbornika za odabir i nizova. Pokazivači se sastoje od grafova, grafikona, LED-ica i statusnih nizova. Svaka kontrola i pokazivač ima pridružen tip podataka. Najčešće korišteni tipovi podataka su numerički, logički(*engl. bool*) i niz. Numerički tip podataka prikazuje različite tipove brojeva kao što su cijeli ili realni brojevi. Na slici 2.20. je prikazan izgled numeričke kontrole i indikatora.



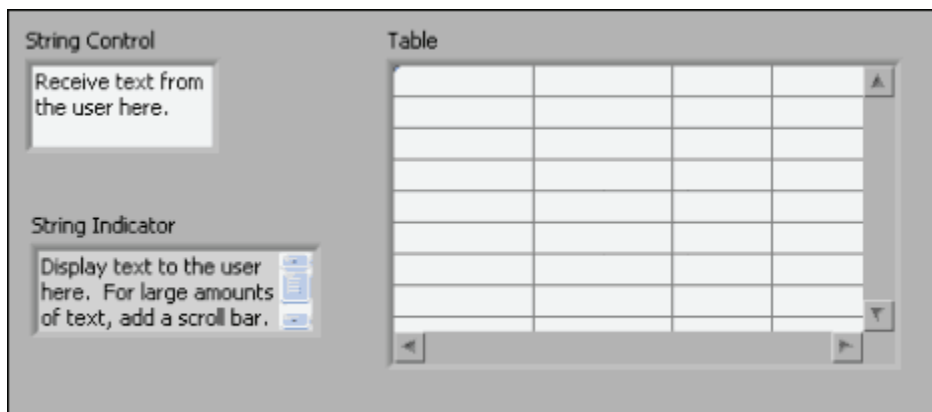
Slika 2.20. Izgled numeričke kontrole i indikatora

Pod brojem jedan se nalaze gumbi za povećanje i smanjenje, pod brojem dva je numerička kontrola i pod brojem tri numerički pokazivač. Bool tip podataka predstavlja tip podataka koji ima samo dva moguća stanja, a to su Istina i Laž, ili Uključeno i Isključeno. Bool tip podataka je prikazan na slici 2.21.



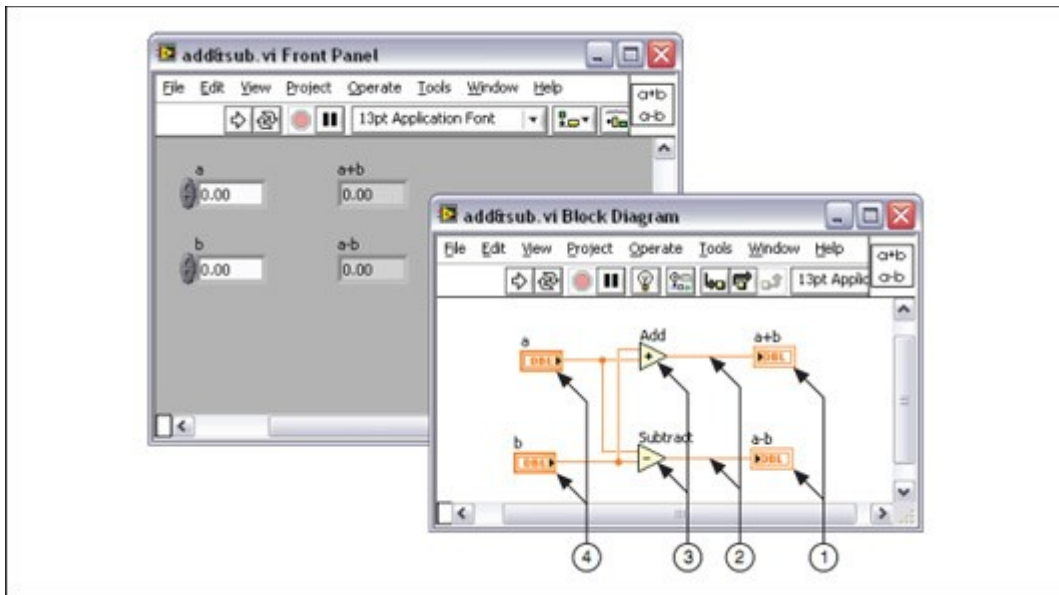
Slika 2.21. Izgled bool kontrole i indikatora

Tip podataka niz je slijed ASCII znakova. On se koristi kako bi se kao kontrola zaprimio nekakav tekst kao što je lozinka i korisničko ime, a kao pokazivač služi za ispis teksta. Njihov izgled je prikazan na slici 2.22.



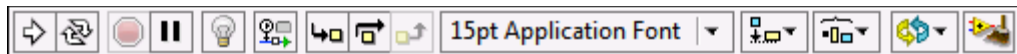
Slika 2.22. Izgled niz kontrole i indikatora

Sljedeći prozor koji se koristi prilikom izrade VI-a je blok dijagram. Predmeti blok dijagrama uključuju terminale, podprozor (*engl. subVI*), funkcije, konstante, strukture, i žice kojima se prenose podaci između ostalih objekata u blok dijagramu. Na slici 2.23. je prikazan izgled blok dijagrama.










Slika 2.23. Izgled blok dijagrama

Pod brojem jedan su pokazni terminali, pod brojem dva su žice, broj tri označava čvorove i broj četiri su kontrolni terminali. Na blok dijagramu također postoji alatna traka koja je prikazana na slici 2.24. Opis značenja pojedinog gumba alatne trake opisan je u tablici 2.6.

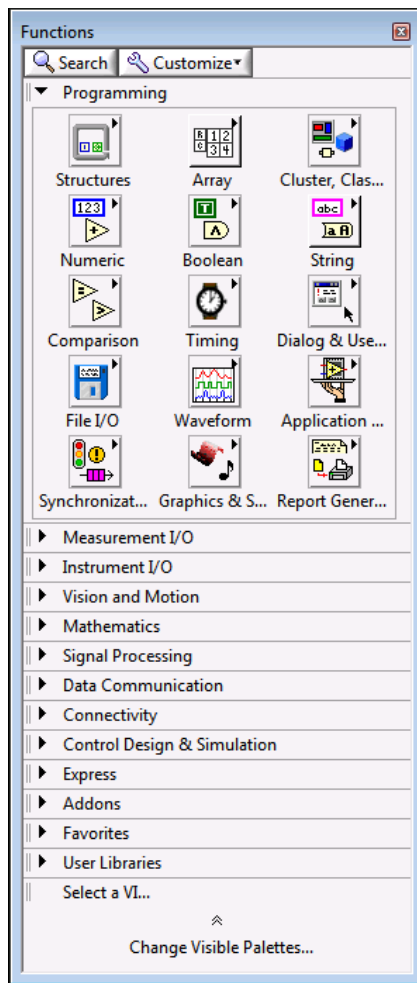


Slika 2.24. Izgled alatne trake na blok dijagramu

Tablica 2.6. Opis gumba na blok dijagramu

	Gumb pomoću kojeg se uređuje blok dijagram
	Pomoću njega se može prikazati animacija izvršenja blok dijagrama
	Zadrži vrijednosti žica
	Otvora sljedeći čvor i pauzira izvršenje VI-a
	Izvršava čvor i pauzira VI na sljedećem čvoru
	Izvršava trenutni čvor i pauzira VI
	Ne zaustavlja VI, nego samo pokazuje upozorenje

Objekti na prednjoj ploči se pojavljuju kao terminali na blok dijagramu. Za razliku od prednje ploče, za postavljanje elemenata na blok dijagram se koristi paleta funkcija. Paleta funkcija sadrži VI-e, funkcije i konstante koji se koriste za izradu bloka dijagrama. Pristup paleti funkcija se ostvaruje isto kao i pristupu paleti kontrola na prednjoj ploči, a podijeljena je u nekoliko kategorija i potkategorija. Izgled palete funkcija je prikazan na slici 2.25.



Slika 2.25. Izgled palete funkcija

Terminali su ulazni i izlazni priključci koji razmjenjuju informacije između prednje ploče i blok dijagrama. Vrste terminala uključuju kontrolne ili pokazne terminale i terminale čvorova. Kontrolni i pokazni terminali pripadaju kontrolama i pokazivačima na prednjoj ploči. Podaci koji se unesu na prednjoj ploči ulaze u blok dijagram uz pomoć kontrolnih terminala, a pomoću pokaznih terminala podaci se prikazuju na prednjoj ploči. Kontrole, pokazivači i konstante se ponašaju kao ulazi i izlazi u algoritmu blok dijagrama dok se konstante ne prikazuju na prednjoj ploči tako da ih korisnik nije u mogućnosti promijeniti. Na kontrolama se nalazi strjelica koja pokazuje da podaci izlaze iz nje, a na pokazivaču da ulaze u nju što je vidljivo na slici 2.26.



Slika 2.26. Izgled kontrole i pokazivača u blok dijagramu

Čvorovi su objekti na blok dijagramu koji imaju ulaze i/ili izlaze, te obavljaju operaciju kada se pokrene VI. Čvorovi mogu biti funkcije, sub VI, Izraziti VI (Express VI) ili strukture. Strukture su elementi kontrole procesa kao što suswitch-case strukture, for-petlje te while-petlje. Funkcije su osnovni operativni elementi LabVIEW-a. One nemaju prozore na prednjoj ploči ili blok dijagramu, ali imaju ploče konektora. Nakon što se napravi VI, on se može koristiti u drugom VI-u. VI pozvan iz blok dijagrama drugog VI-a naziva se potprogram. Da bi se stvorio potprogram, potrebno je izraditi okvir konektora i stvoriti ikonu. Kontrole i indikatori potprograma primaju podatke i vraćaju ih u blok dijagram iz kojeg je VI pozvan. Svaki VI ima ikonu u gornjem desnom kutu prednje ploče i blok dijagrama, ta ikona je grafička reprezentacija VI-a. Ikona grafičkog prikaza VI-a prikazana je na slici 2.27.



Slika 2.27. Ikona grafičkog prikaza VI-a

Ikona može sadržavati i tekst i slike. Ako se VI koristi kao potprogram, ikona identificira potprogram na blok dijagramu u VI-u. Zadana ikona sadrži broj koji pokazuje koliko ste novih VI-a otvorili nakon pokretanja LabVIEW-a. Da bi se VI koristio kao potprogram potrebno je ispuniti okvir konektora. Izgled okvira konektora prikazan je na slici 2.28.















Slika 2.28. Izgled okvira konektora

Okvir konektora je skup terminala na ikoni koji odgovaraju kontrolama i pokazateljima tog VI-a. Pristup okviru konektora se ostvaruje desnim klikom na ikonu okvira konektora na prednjem panelu. Nije moguće pristupiti okviru konektora sa blok dijagrama.

Izraziti VI-i su čvorovi koji zahtijevaju minimalno ožičenje jer se konfiguriraju pomoću dijaloških okvira, koriste se za uobičajena mjerenja. LabVIEW koristi model toka podataka da bi se izvršio VI. Čvorovi blok dijagrama se izvršavaju kada dobiju sve potrebne ulaze. Kada se čvor izvrši, tada se generiraju izlazi podaci i oni odlaze u sljedeći čvor. Kretanje podataka kroz čvorove određuje redoslijed izvršavanja VI-a i funkcija na blok dijagramu. Moguće je još koristiti strukture slijeda ili klastere grešaka kako bi se odredio redoslijed izvršavanja. Prijenos podataka se obavlja u blok dijagramu preko žica. Svaka žica ima jedan izvor podataka, ali može se povezati na više VI-a i funkcija koji čitaju podatke. One su različitih boja, stilova i debljine, a ovise o tipu podatka. Nije moguće direktno povezati dva različita tipa podatka jer će doći do greške. U tablici 2.7. su prikazani najčešći tipovi podataka i pripadajuće vrste žica.

Tablica 2.7. Prikaz najčešćih tipova podataka i njihovih izgleda

Tip žice	Skalar	1D red	2D red	Boja
Numerički				Narančasta(Realni broj)
				Plava(Cijeli broj)
Bool				Zelena
Niz				Ljubičasta








U grafičkom programiranju kao što je LabVIEW, miš je glavni način interakcije s programskim okruženjem. Miš mora biti u stanju postići mnoge različite zadatke kao što su odabir, ožičenje, isticanje teksta itd. Na slici 2.29. je prikazan izgled alata pomoću kojega se to ostvaruje, a naziva se paleta alata.





Slika 2.29. Izgled palete alata

Pomoću nje se može izraditi, modificirati i otkloniti neispravnosti VI-a. Ručno se odabire alat koji se želi koristiti, na paleti alata. Njezin prikaz se ostvaruje tako da se ode na Prikaz i zatim odabere Paleta alata. U tablici 2.8. je navedeno kako se naziva pojedini alat u paleti alata.

Tablica 2.8. Imena pojedinih alata u paleti alata

	Automatski odabir alata
	Operativni alat
	Alat za pomicanje
	Alat za unos teksta
	Alat za ožičenje
	Izbornik prečaca objekta
	Alat za pomicanje
	Alat za postavljanje prijelomne točke
	Alat za ispitivanje

	Alat za preuzimanje boje
	Alat za bojanje

3. Proračun otpornika za INA 125

U ovom poglavlju je prikazan postupak kako izračunati pojačanje i otpor za instrumentacijsko pojačalo. U ovom primjeru treba napon od 0-8,325 mV prikazati kao napon od 0-10V.

Očitani su sljedeći parametri:

$$\text{Maksimalni napon na izlazu } V_{Omax} = 10 \text{ V}$$

$$\text{Maksimalni ulazni napon } V_{INmax}^{+\dot{i}} = ?$$

$$\text{Minimalni ulazni napon } V_{INmin}^{-\dot{i}} = 0 \text{ V}$$

$$\text{Maksimalna struja kroz otpornik } I_{Rmax} = 1,11 \text{ A}$$

$$\text{Otpornik } R = 7,5 \text{ m}\Omega$$

$$\text{Pojačanje } G = ?$$

$$\text{Otpornik za INA 125 } R_G = ?$$

Prvi korak je računanje maksimalnog ulaznog napona $V_{INmax}^{+\dot{i}}$ koji se dobije pomoću množenja maksimalne struje kroz otpornik i otpora, jednadžba 3.1.

$$V_{INmax}^{+\dot{i}} = I_{Rmax} * R = 1,11 * 7,5 * 10^{-3} = 0,008325 \text{ V} \quad (3.1)$$

Nakon što se izračuna maksimalni ulazni napon moguće je izračunati pojačanje pomoću jednadžbe 3.2.

$$G = \frac{V_{Omax}^{+\dot{i}} - V_{INmin}^{-\dot{i}}}{V_{INmax}^{+\dot{i}}} = \frac{10}{(0,008325 - 0)} = 1201,201 \quad (3.2)$$
$$G = \frac{V_{Omax}^{+\dot{i}}}{V_{INmax}^{+\dot{i}}}$$

Nakon što se izračuna pojačanje može se izračunati koji je potrebnii otpor za INA 125, jednadžba 3.3.

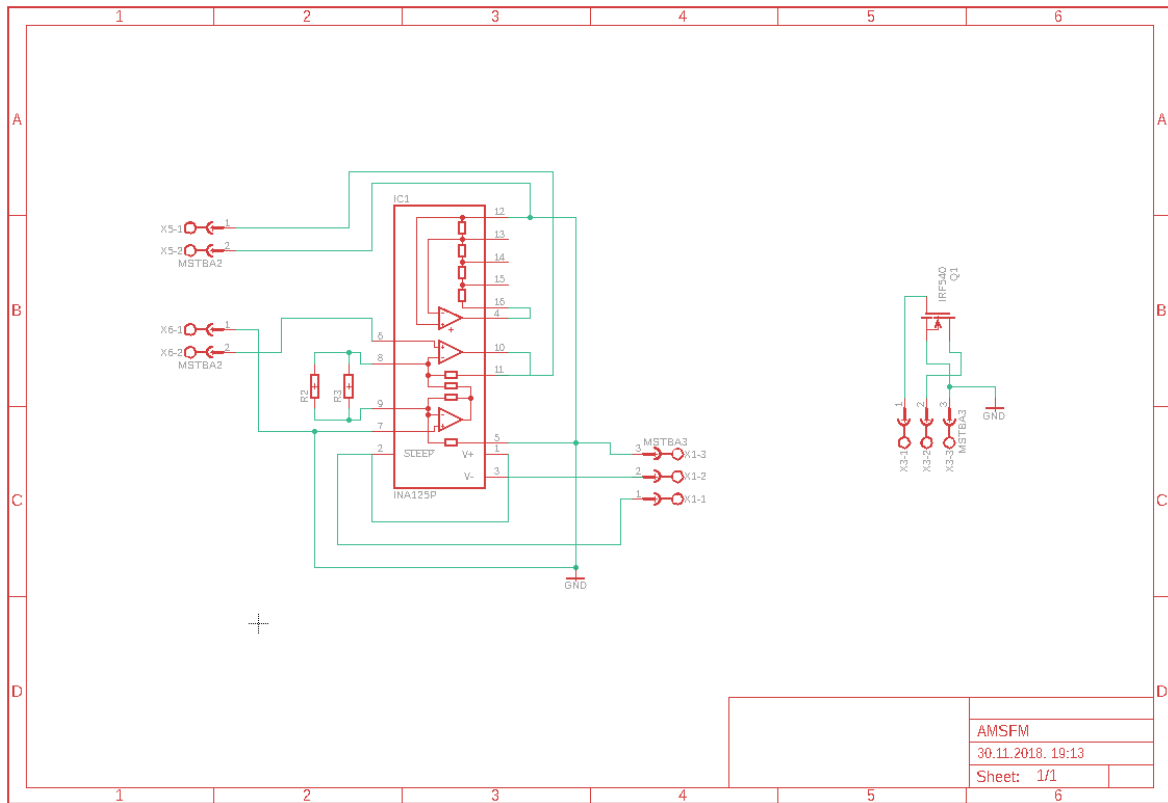
$$R_G = \frac{60}{G} = \frac{60}{1201,201} = 0,04995 \text{ k}\Omega * 1000 = 49,95 \Omega \quad (3.3)$$

Potreban je otpor od 49,95 Ω , za to su korištena dva otpornika od 100 Ω spojena paralelno, jednadžba 3.4.

$$\frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 * 100}{100 + 100} = 50 \Omega \quad (3.4)$$

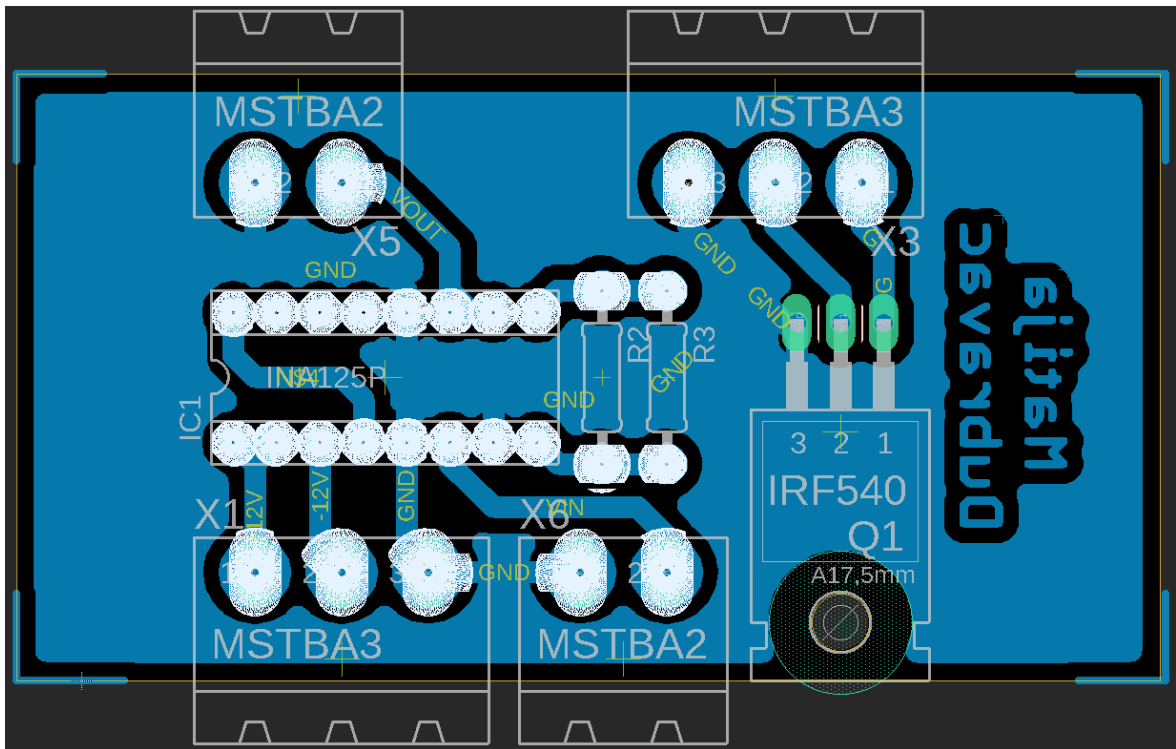
4. Izrada tiskane pločice

Tiskana pločica je izrađena metodom fotopostupka, prvotno je u programskom paketu „Eagle“ napravljena shema tiskane pločice, prikazana na slici 4.1.



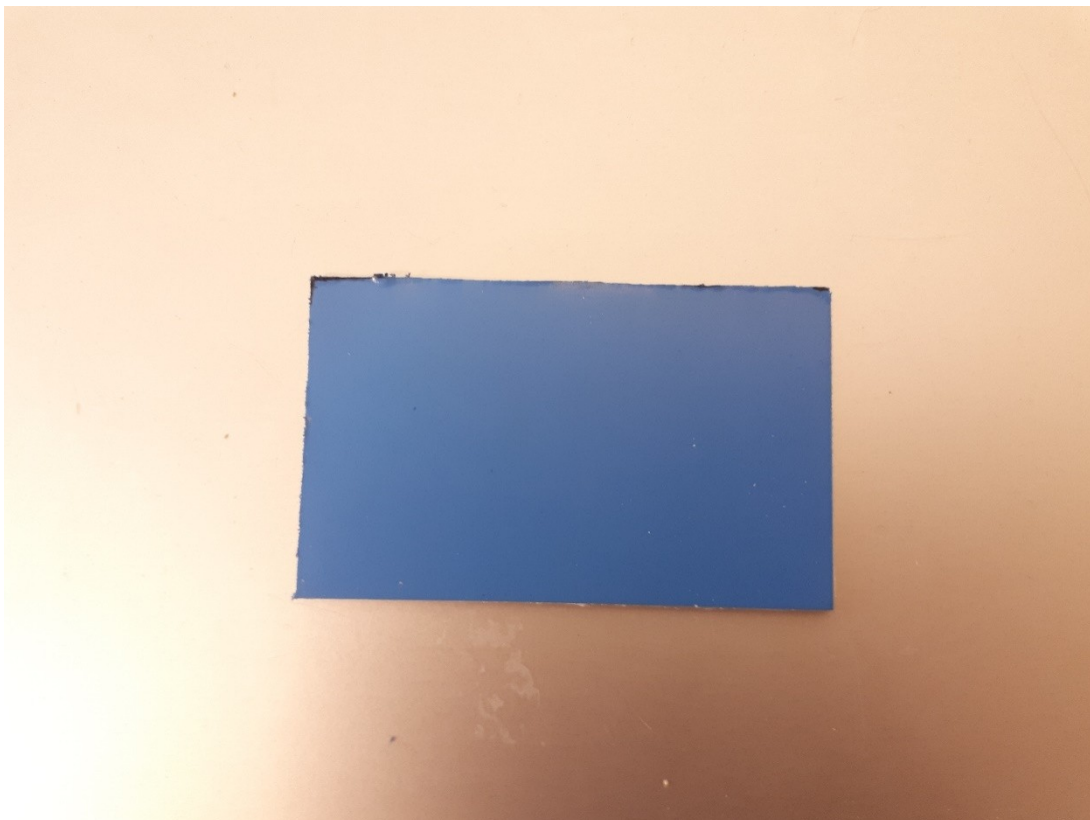
Slika 4.1. Shema tiskane pločice

Nakon što je napravljena shema, napravljen je dizajn pločice koji se može vidjeti na slici 4.2.



Slika 4.2. Dizajn tiskane pločice

Kada se u „Eagle-u“ napravi izgled pločice, potrebno ga je isprintati na foliju koja se koristiti prilikom osvjtljavanja. Tiskanu pločica se odreže na potrebnu duljinu, malo veće nego zadano u „Eagle-u“, slika 4.3.



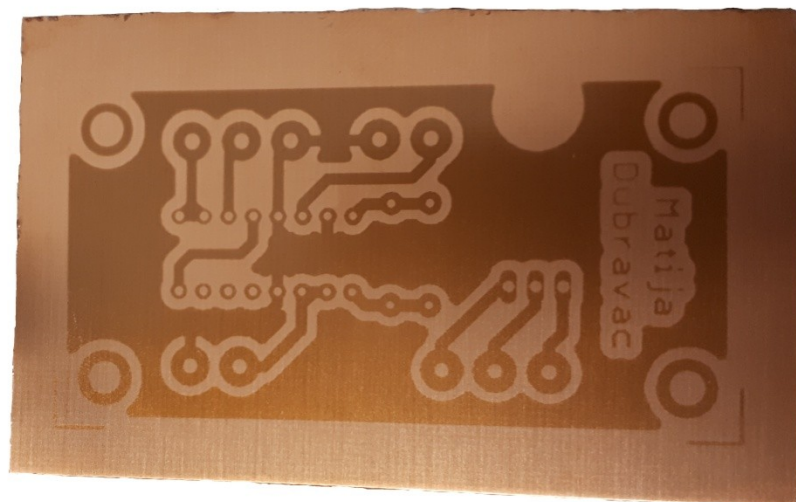
Slika 4.3. Tiskana pločica

Na pločici se nalazi zaštitna folija koju je potrebno skinuti prije osvjetljenja. Pločica se osvjetli na UV-rasvjetnom uređaju kao na slici 4.4.



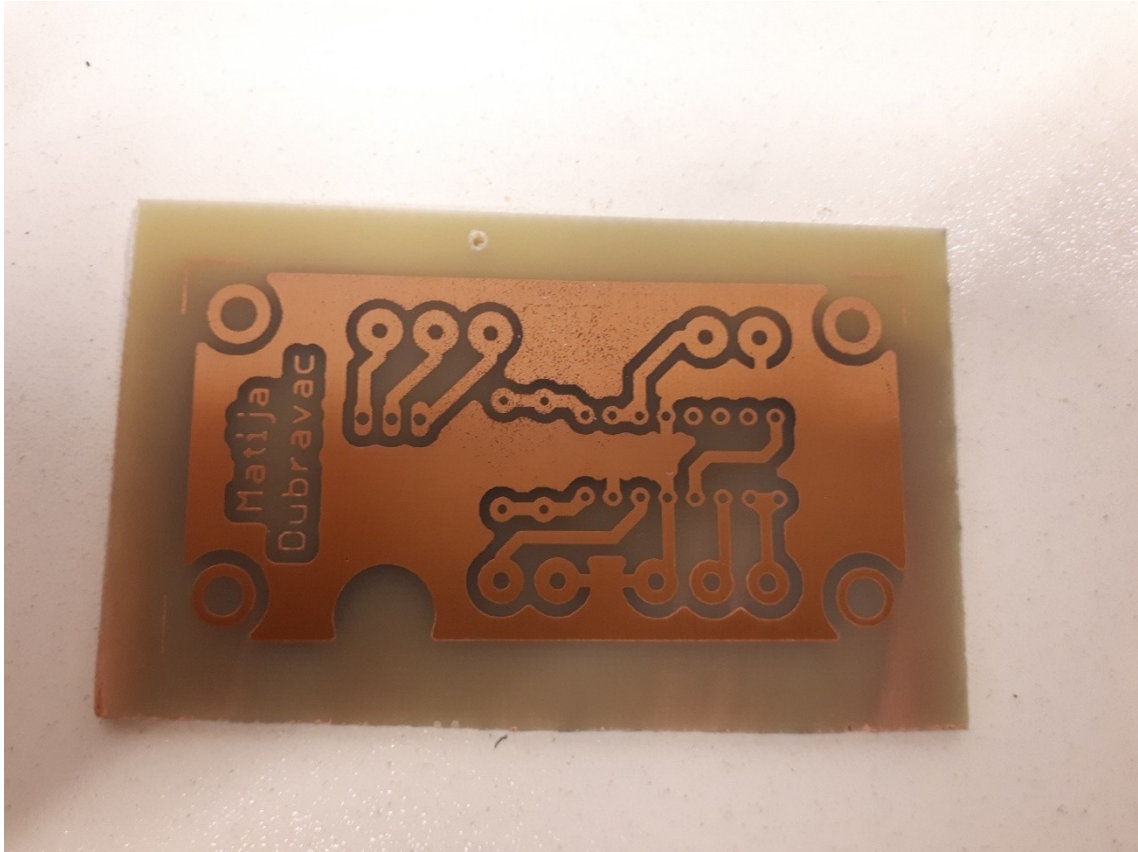
Slika 4.4. UV-rasvjetni uređaj

Osvjetljenje traje 2 minute i 30 sekundi, te se nakon toga pločica stavlja u tamno područje na 5 minuta. Kada prođe 5 minuta pločica se stavlja u razvijlač (natrijev hidroksid), on se miješa zajedno sa vodom, na litru vode ide 20 grama razvijlača. Kada se na pločici prikažu vodovi znači da je proces osvjetljenja gotov, slika 4.5.



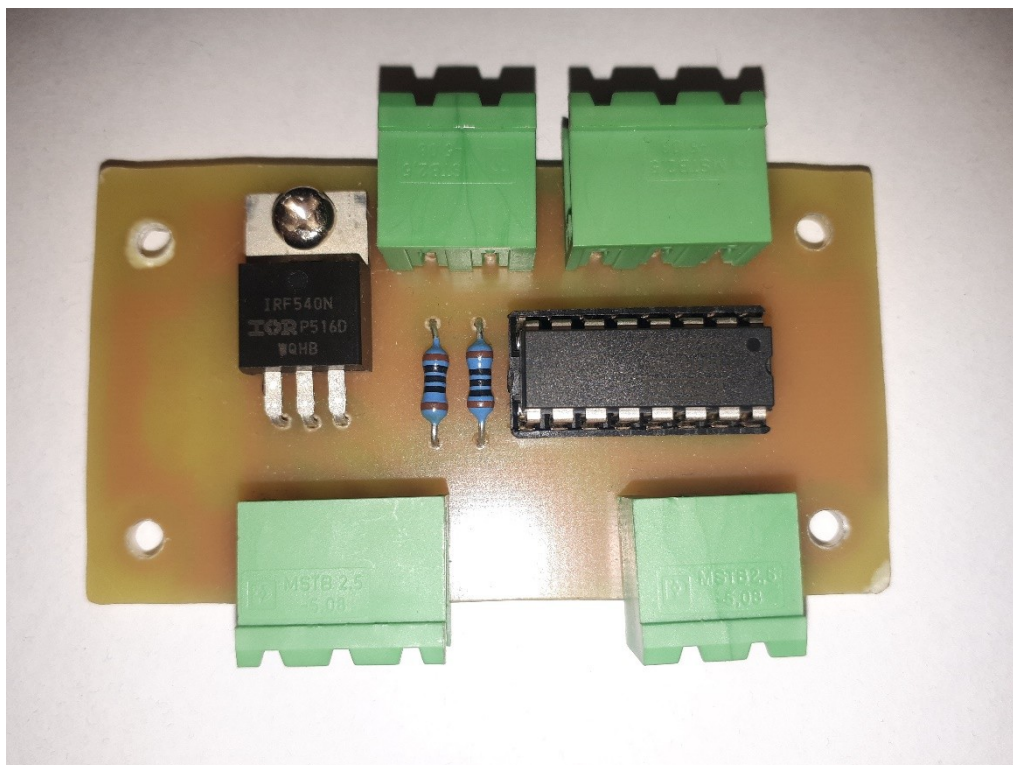
Slika 4.5. Izgled pločice nakon osvjetljenja

Nakon osvjetljenja pločicu je potrebno izjetkati, tako da se izgrize površina pločice na kojoj se ne nalazi nekakvi vod. Jetkanje se obavlja pomoću mješavine natrijevog persulfata i vode, u litru vode se stavlja 200-250 natrijevog persulfata. Kada nestanu dijelovi koji nisu vodovi, znači da je proces jetkanja gotov i isperite pločicu vodom, slika 4.6.



Slika 4.6. Izgled pločice nakon jetkanja

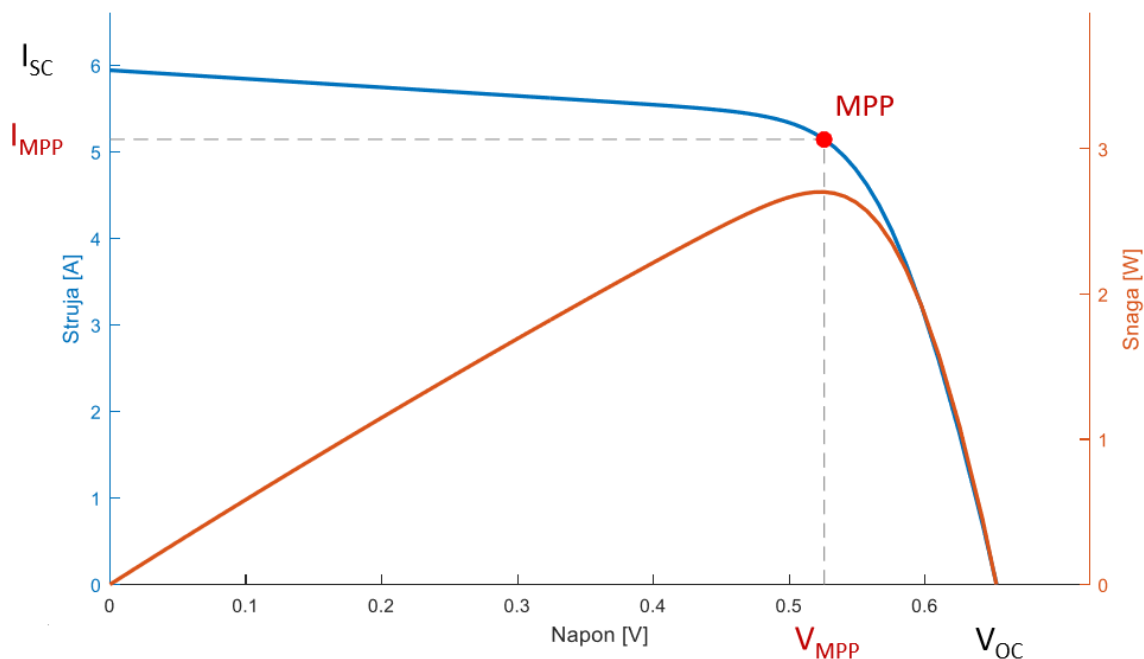
Prije lemljenja elemenata na pločicu, prvo je potrebno očistiti pločicu pomoću medicinskog alkohola. Na slici 4.7. je prikazana tiskana pločica sa elementima. Nakon lemljenja elemenata potrebno je zaštititi pločicu od oksidiranja sa lakom ili kositrom.



Slika 4.7. Izgled tiskane pločice sa elementima

5. Tragač točke maksimalne snage (MPPT)

Traženje točkemaksimalne snage je tehnika koja se koristi kod vjetrenjača i fotonaponskih modula kako bi se dobila što veća snaga na izlazu. Na slici 5.1. je prikazana strujno-naponska i napon-snaga karakteristika. Točka maksimalne snage se nalazi u području koljena strujno-naponske karakteristike[2].

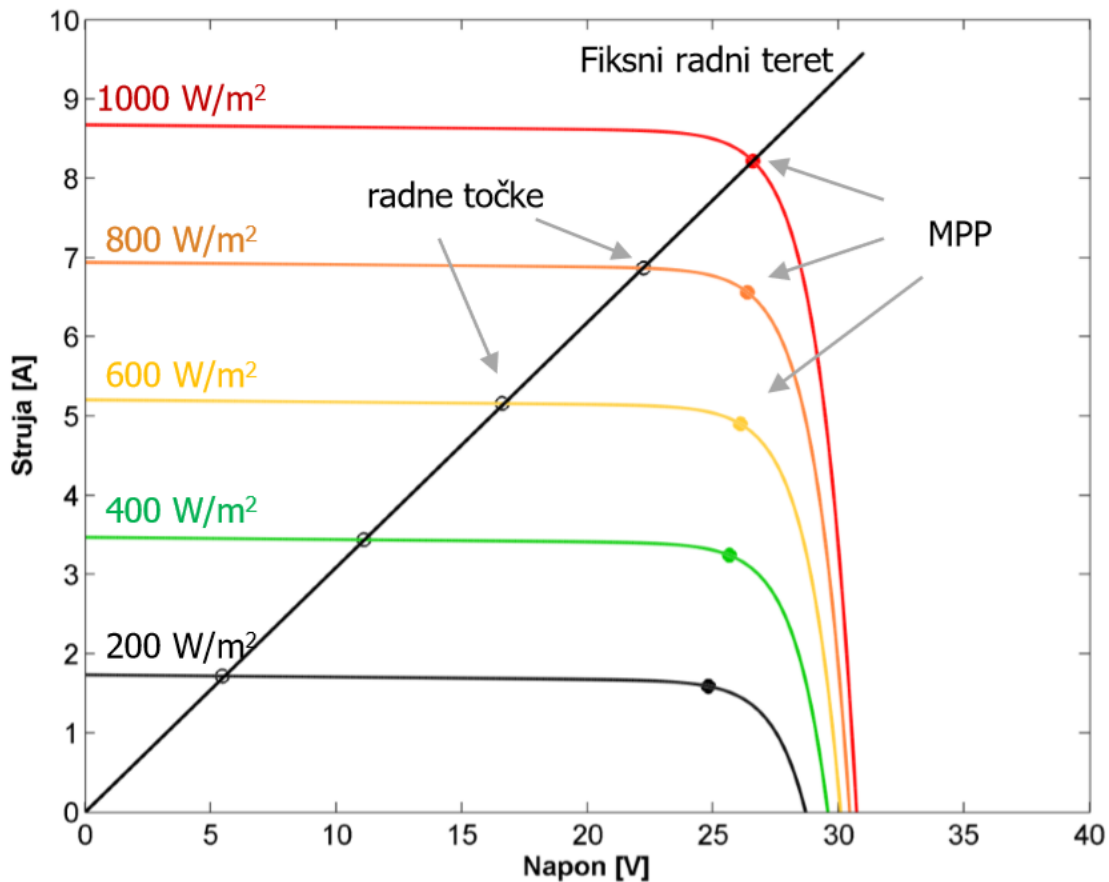


Slika 5.1. Strujno-naponska i napon-snaga karakteristika

Na slici je označeno:

- *MPP* (engl. *Maximum Power Point*) – Točka maksimalne snage
- I_{MPP} – Struja u maksimalnoj točki
- V_{MPP} – Napon u maksimalnoj točki
- I_{SC} – Lijeva granična točka (Kratak spoj)
- V_{OC} – Desna granična točka (Prazni hod)

Bez obzira na krajnje odredište sunčeve energije, glavni problem fotonaponskog sustava je MPP, jer učinkovitost fotonaponskog modula ovisi o količini sunčeve svjetlosti koja pada na fotonaponsku ploču. Na slici 5.2. se može vidjeti gdje se nalazi točka maksimalne snage pri raznim sunčevim svjetlostima, ali konstantnim opterećenjem.



Slika 5.2. Prikaz točke maksimalne snage pri raznim iradijacijama

MPPTsustavi omogućavaju dizajn električnih krugova s ciljem proizvodnje fotonaponskih modula sa traženom karakteristikom opterećenja. MPPT uređaji su primarno integrirani u sustav pretvarača električne energije koji omogućuje pretvorbu napona ili struje, filtriranje i regulaciju raznih opterećenja, uključujući mrežu, baterije ili motore. Učinkovitost fotonaponske ćelije je definiran kao omjer snage u MPP točki i ukupnoj dozračenoj iradijaciji, jednadžba 5.1.

$$\eta = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{G * A} \quad (5.1)$$

gdje je G definiran s 1000 W/m^2 , a A je površina fotonaponske ćelije.

Sljedeći bitan podatak je faktor ispunje fotonaponskog modula i definiran je omjerom pravokutnika MPP i pravokutnika u graničnim točkama, jednadžba 5.2.

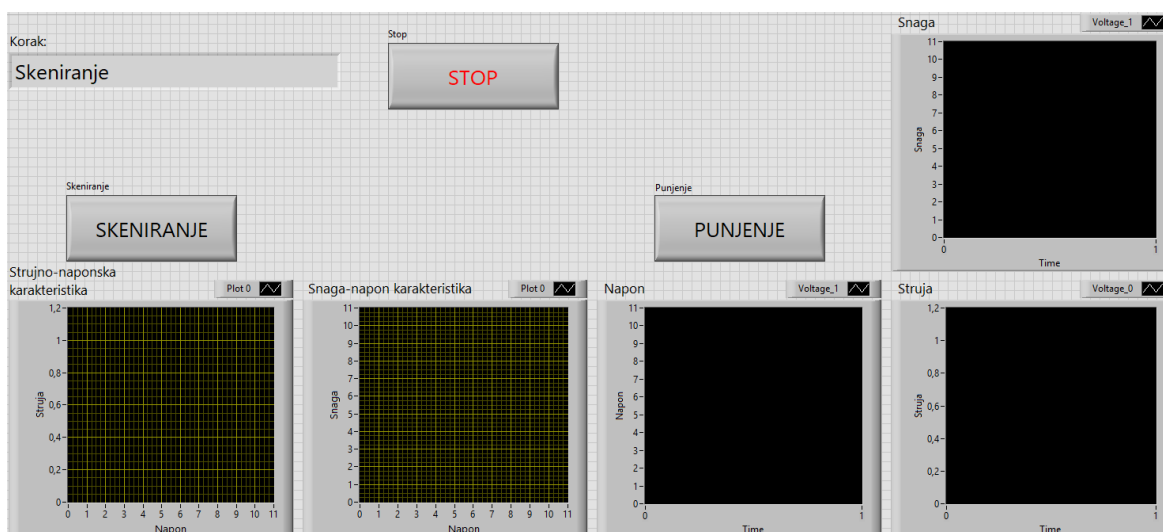
$$FF = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{I_{SC} * V_{OC}} \quad (5.2)$$

Postoji pet metoda praćenja točke maksimalne snage, a to su: Praćenje promjene, Inkrementalna provodljivost, Filtriranje struje, Konstantni napon i Temperaturna metoda.

U metodi praćenja promjene kontroler podešava napon praćenjem snage. Ovo je najčešće korištena metoda, jer je jednostavna za izvedbu, ali izlazna snaga jako oscilira. Pomoću ove metode je moguće dobiti vršnu snagu, ako je dobar algoritam. U metodi inkrementalne provodljivosti kontroler mjeri inkrementalne promjene u fotonaponskom modulu, struju i napon da predvidi promjenu napona. Ova metoda zahtjeva puno programiranja, ali može pratiti promjene brže za razliku od prethodne metode. Metoda filtriranja struje koristi filtrirani valni oblik struje fotonaponskog modula tako da se strujno-naponska karakteristika prikuplja i nadograđuje u određenim vremenskim intervalima. Točka maksimalne snage se može izračunati iz karakteristike krivulje u istim intervalima. Metoda konstantnog napona u praćenju točke maksimalne snage se koristi za opisivanje različitih tehnika, gdje je izlazni napon postavljen na konstantnu vrijednost pod svim uvjetima i reguliran s obzirom na konstantan omjer napona otvorenog kruga (V_{OC}). Kako je izlazni napon konstantan ova tehnika nije u mogućnosti pratiti točku maksimalne snage, ali ima svoje prednosti kada praćenje maksimalne točke ne radi dobro. Temperaturna metoda praćenja točke maksimalne snage procjenjuje napon maksimalne točke (V_{MPP}) mjerenjem temperature fotonaponskog modula. Budući da promjene iradijacije imaju neznačajan utjecaj na napon maksimalne točke, može se pretpostaviti da napon varira linearno sa temperaturom.

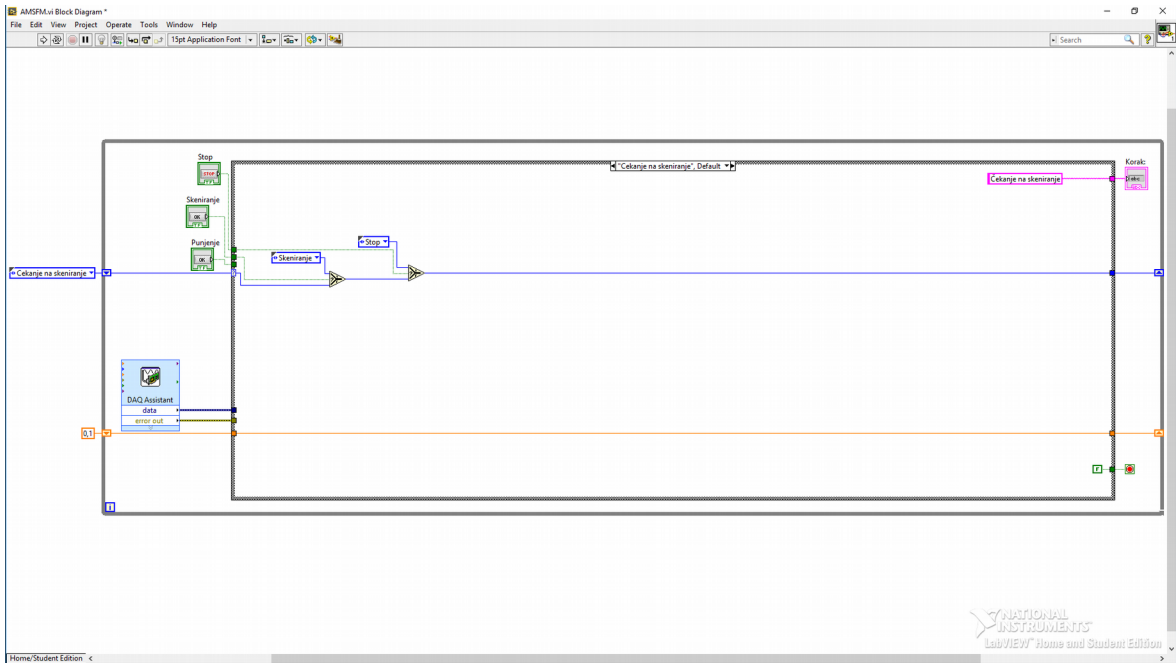
6. Princip rada

Uključenjem sklopke SW1 se zatvara strujni krug između fotonaponskog modula i MOSFET-a IRF 540. Uključenjem sklopke SW2 se pokreće napajanje za INA 125 tako da na pinove 1 i 2 dovodi +12 V, na pin 3 dovodi -12 V i na pinove 5, 7 i 12 je spojen GND. Kada sunce obasja fotonaponski modul generira se napon i struja u strujnom krugu i moguće je napraviti očitavanja. NI 9215 je analogni ulaz koji može samo očitati napon, između AI2+ i AI2- se mjeri napon strujnoga kruga priključenog između plusa i minusa na fotonaponskom modulu, koji je od 0 do 10 V. Između AI1+ i AI1- se mjeri struja, ali NI 9215 može mjeriti samo napon. Zbog toga se u strujnome krugu nalazi otpornik R1 veličine 7,5 m Ω i na njemu se mjeri pad napona kako bi se dobila struja. Taj napon maksimalno iznosi 8,325 mV i mora se povećati do 10 V. Otpornik je paralelno povezan sa ulazima na INA 125 (pinovi 6 i 7), dva paralelno spojena otpornika (pinovi 8 i 9) od 100 Ω (R2 i R3), daju ukupan otpor od 50 Ω , što odgovara približno dobivenom pojačanju INA 125 u vrijednosti od 1201. Izlazi INA 125 (pinovi 12 i 10,11) su povezani na analogni ulaz. AI1- i AI2- su povezani na COM analognog ulaza, spojeni serijski otpornicima R4 i R5 veličine 1 M Ω , kako piše u dokumentaciji vezanoj za NI 9215. Analogni izlaz NI 9263 između AO0 i COM je spojen na IRF 540 između „Gate“ i „Source“, te generira napon kako bi pružao otpor da se dobije točka maksimalne snage. NI 9215 i NI 9263 su povezani sa NI cDAQ – 9174 te mu šalju podatke. NI cDAQ – 9174 pakira podatke i šalje na računalo kojim je povezan putem USB-a, nakon toga računalo uz pomoć programskog paketa LabVIEW raspakirava podatke i prikazuje ih na korisničkom sučelju. Na slici 6.1. je prikazan izgled korisničkog sučelja.



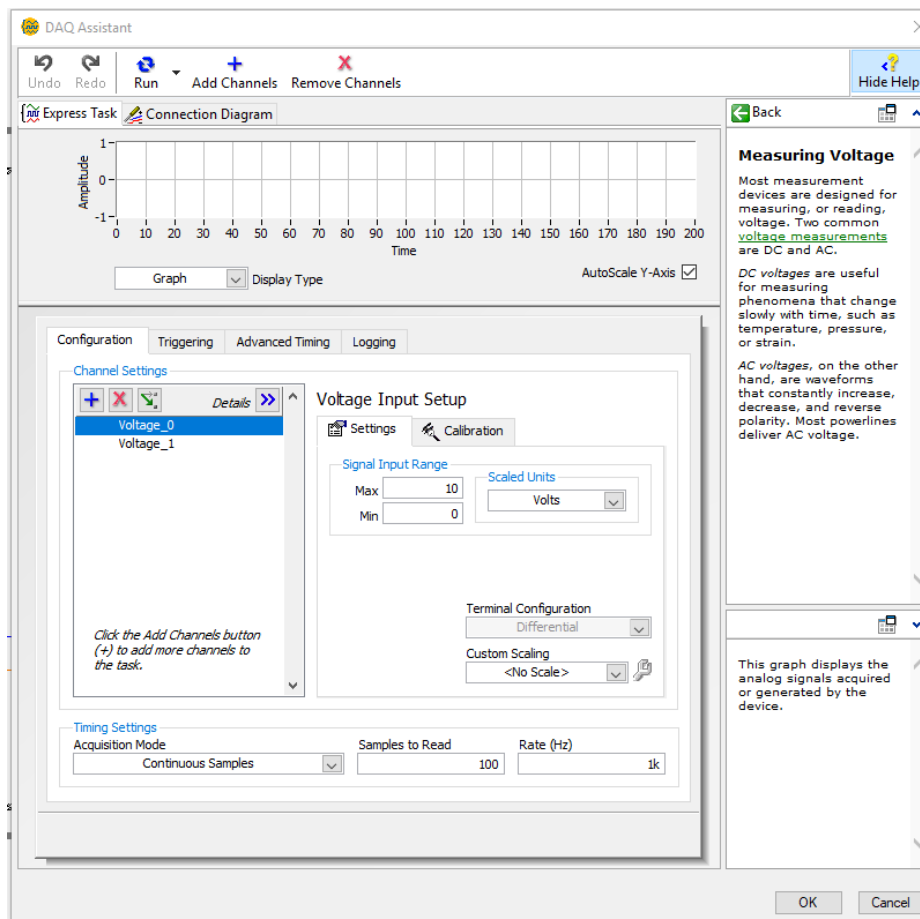
Slika 6.1. Izgled korisničkog sučelja

Pritiskom na „Run“ u LabVIEW-u se pokreće program koji se izvršava u „While“ petlji. U „While“ petlji se nalazi „Case“ struktura koja je važna, jer je program napravljen kao automat stanja i to se ostvaruje pomoću nje. Prije „While“ petlje su postavljene inicijalne vrijednosti, a to su da je početni napon na analognom izlazu 0,1 V i da se u „Case“ strukturi prvo izvršava slučaj „Čekanje na skeniranje“, prikazano na slici 6.2.



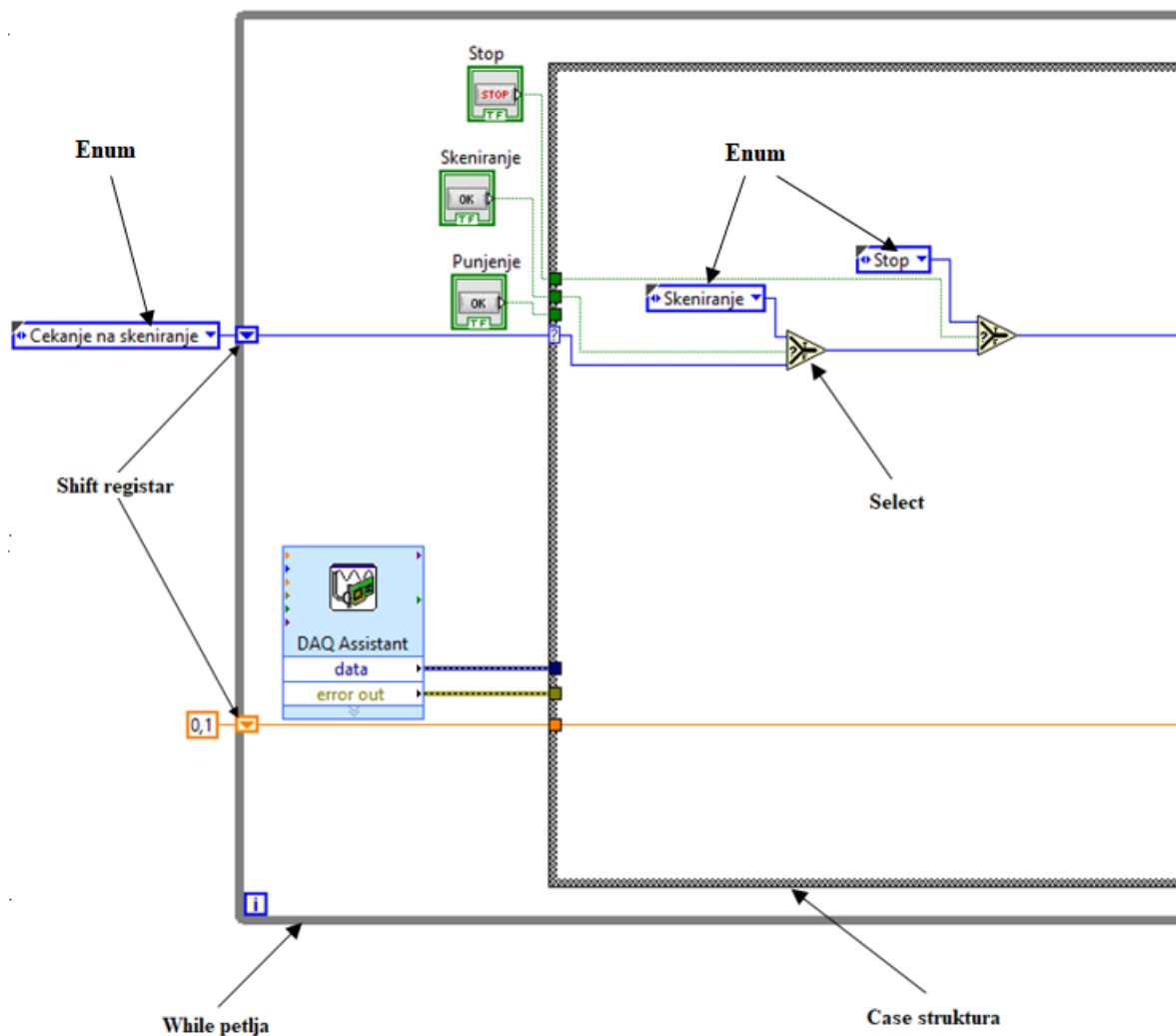
Slika 6.2. Slučaj 0 – Čekanje na skeniranje

U „While“ petlji se nalazi „DAQ assistant“ koji prikuplja podatke sa analognih ulaza, na slici 6.3. je prikazana njegova konfiguracija.



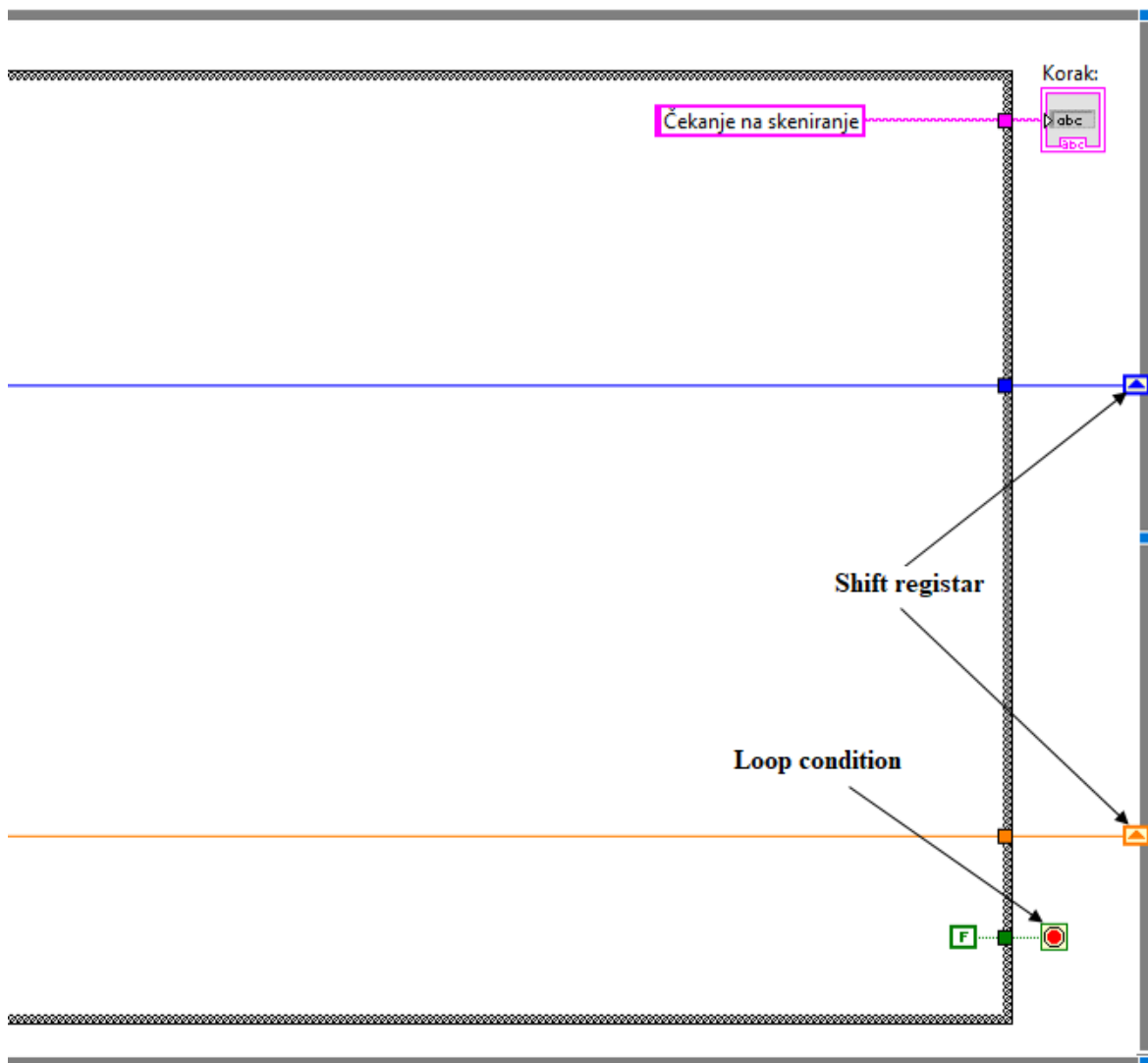
Slika 6.3. Konfiguracija „DAQ assistant-a“

Ulazni naponi oba kanala su postavljeni od 0 do 10 V i konstantno se obrađuju podaci. Još se nalazi i tri gumba, a to su „Skeniranje“, „Punjenje“ i „Stop“. „While“ petlja se izvršava dok „LoopCondition“ ne dobije pozitivan signal, slika 6.4.



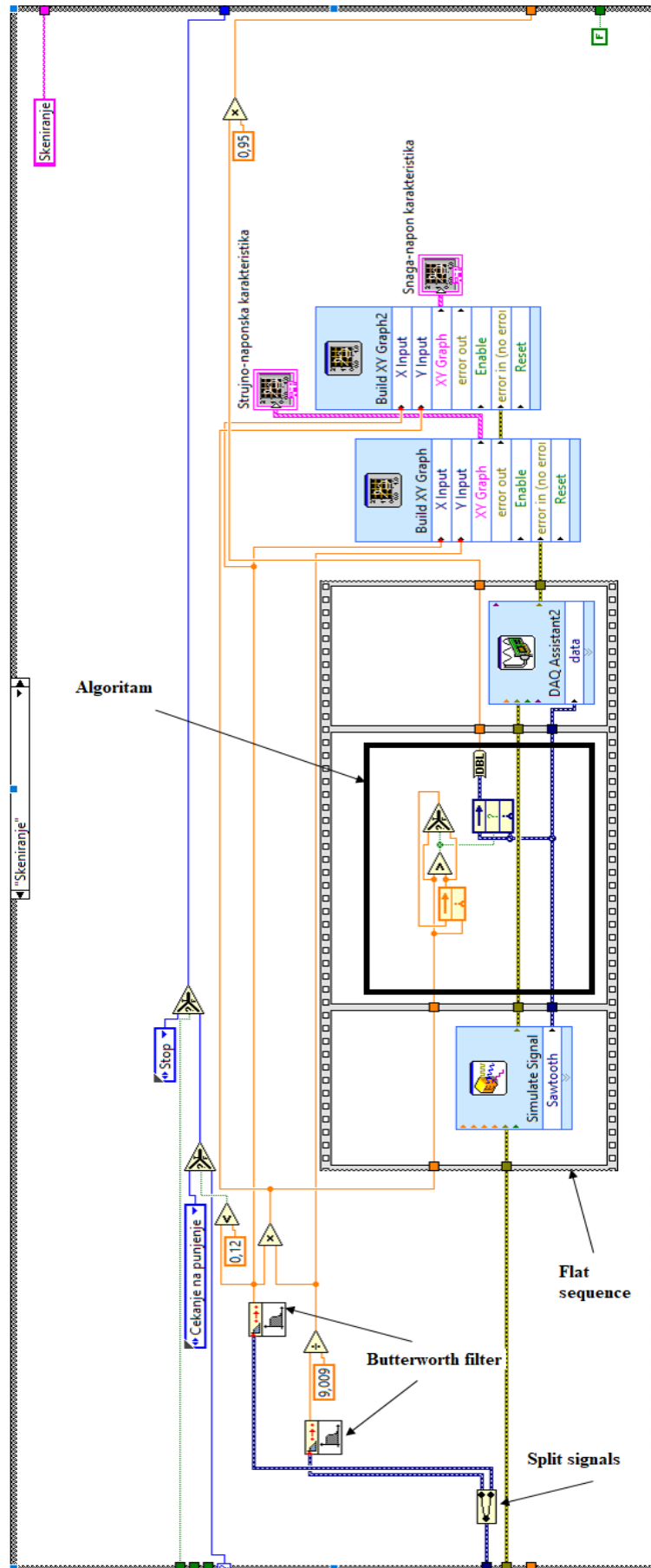
Slika 6.4. Uvećani prikaz slučaja – Čekanje na skeniranje

Na ulazu u „Case“ strukturu se nalazi „Case“ selektor na kojeg se dovodi u koji slučaj se ulazi, a prvo se ide u slučaj „Čekanje na skeniranje“. U njemu se nalaze dvije funkcije „Select“, ako su gumbi „Skeniranje“ i „Stop“ u „nuli“ onda do „Case“ selektora ponovno dolazi „Čekanje na skeniranje“ pomoću „Shift“ registra. Ako je pritisnut gumb „Skeniranje“ on je u „jedinici“ i „Select“ dalje šalje enum „Skeniranje“, ako je pritisnut „Stop“ ili „Skeniranje“ i „Stop“ dalje nastavlja ići enum „Stop“. „False“ konstanta je spojena na „Loopcondition“ kako se program ne bi zaustavio, a „String“ konstanta ispisuje na korisničko sučelje pod „Korak:“ – Čekanje na skeniranje, slika 6.5.



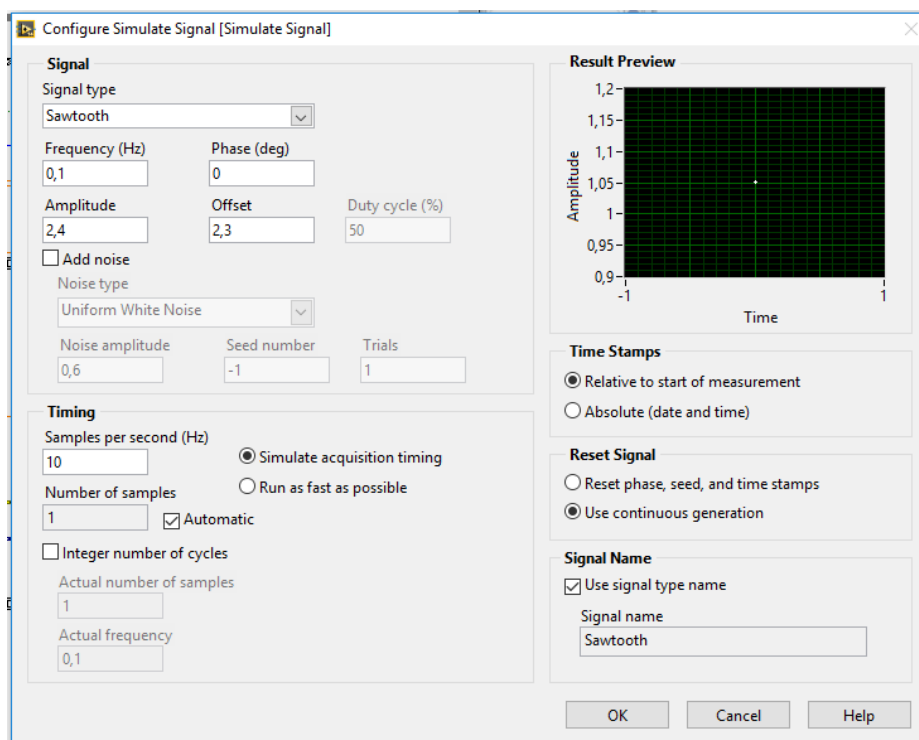
Slika 6.5. Uvećani prikaz slučaja – Čekanje na skeniranje

U slučaju „Skeniranje“ izlaz iz „DAQ assistant-a“ je spojen na funkciju „Split signals“. Nakon što su signali rastavljeni jedan sadrži napon, a drugi struju strujnoga kruga. Oba signala su spojena na „Butterworth Filter“ [15] jer bez toga bude puno oscilacija u signalu. Nakon toga signal u kojemu je struja se dijeli sa 9,009 da se dobije prava struja koja se je prenosila padom napona sa otpornika R1. Nakon toga se oba signala množe da bi se dobila snaga, koja nakon toga putuje kroz „Flat Sequence“ strukturu koja ima tri dijela, slika 6.6.



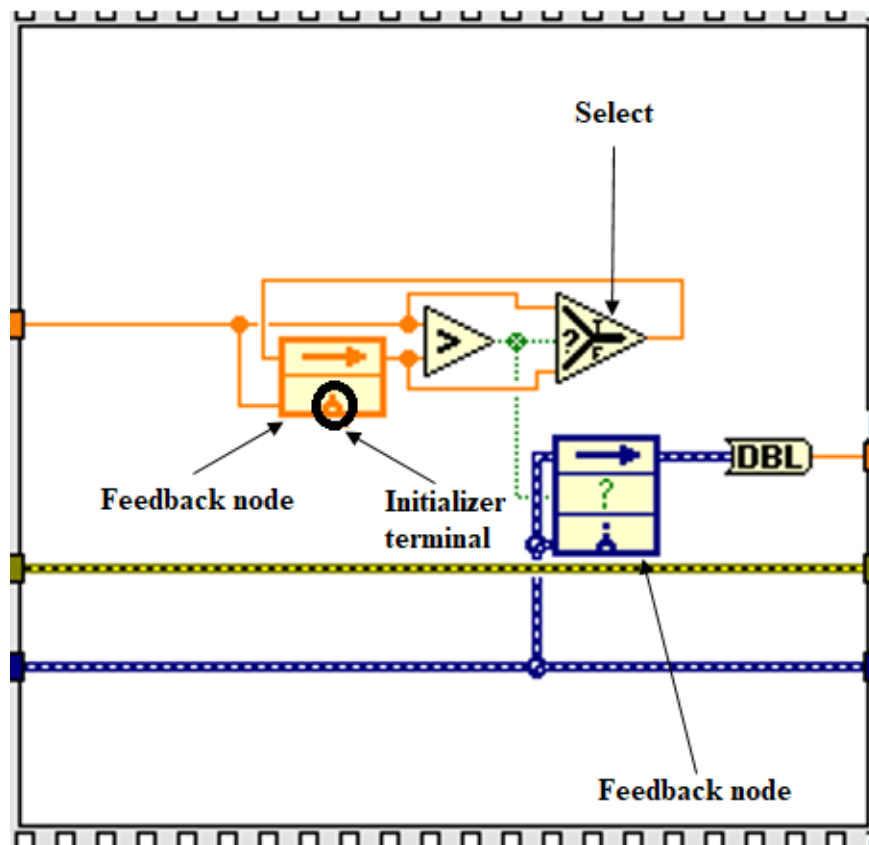
Slika 6.6. Slučaj - Skeniranje

U prvome se pomoću „Simulate signal“ generira napon, na njega je dovedena „errorout“ iz „DAQ assistant-a“. Konfiguracija „Simulate signal“ se može vidjeti na slici 6.7.



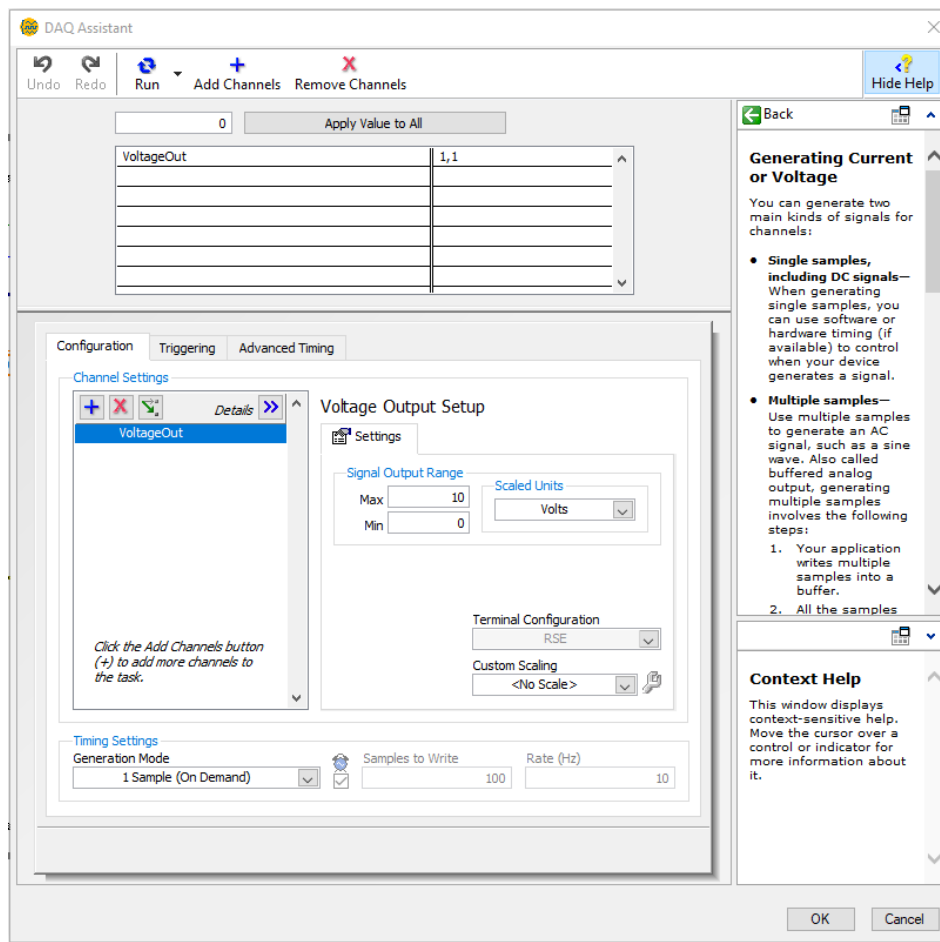
Slika 6.7. Konfiguracija „Simulate signal-a“

U drugome dijelu je napravljen algoritam u kojem se traži koliki je bio napon na analognom ulazu u trenutku MPP-a. Algoritam je napravljen tako da se dovede snaga do „Feedbacknode-a“ na „Initializer terminal“ i u njemu se nalazi prethodna vrijednost. Na znak „Veće“ se spaja trenutna snaga i prethodna snaga. Izlaz iz znaka „Veće“ se spaja na „Select“ i „Feedbacknode“. „Select“ služi kako bi vratio vrijednost u „Feedbacknode“, tako da ako je trenutna vrijednost veća od prethodne, u „Feedbacknode“ ide trenutna vrijednost, a ako je manja onda ostaje onda vrijednost koja je i bila. „Feedbacknode“ sprema vrijednost napona tako da kada je veća trenutna snaga od prethodne on spremi vrijednost napona koja se nalazi na njegovom ulazu u tom trenutku, slika 6.8.



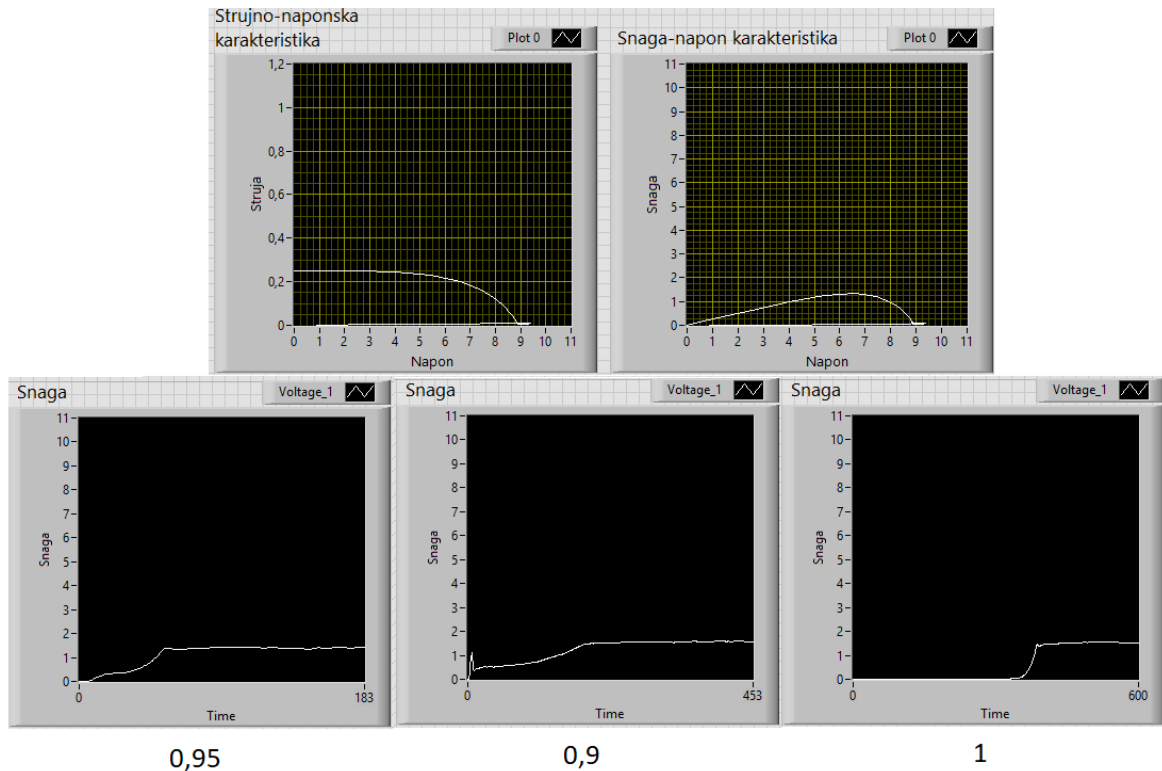
Slika 6.8. MPPT algoritam

Kroz ovaj dio još prolazi „errorout“ do „errorin“ „DAQ assistant2“ u trećem dijelu i napon analognog izlaza od „Sawtooth“ „Simulate signal-a“ do „data“ „DAQ assistant2“. Konfiguracija „DAQ assistant2“ je prikazana na slici 6.9.



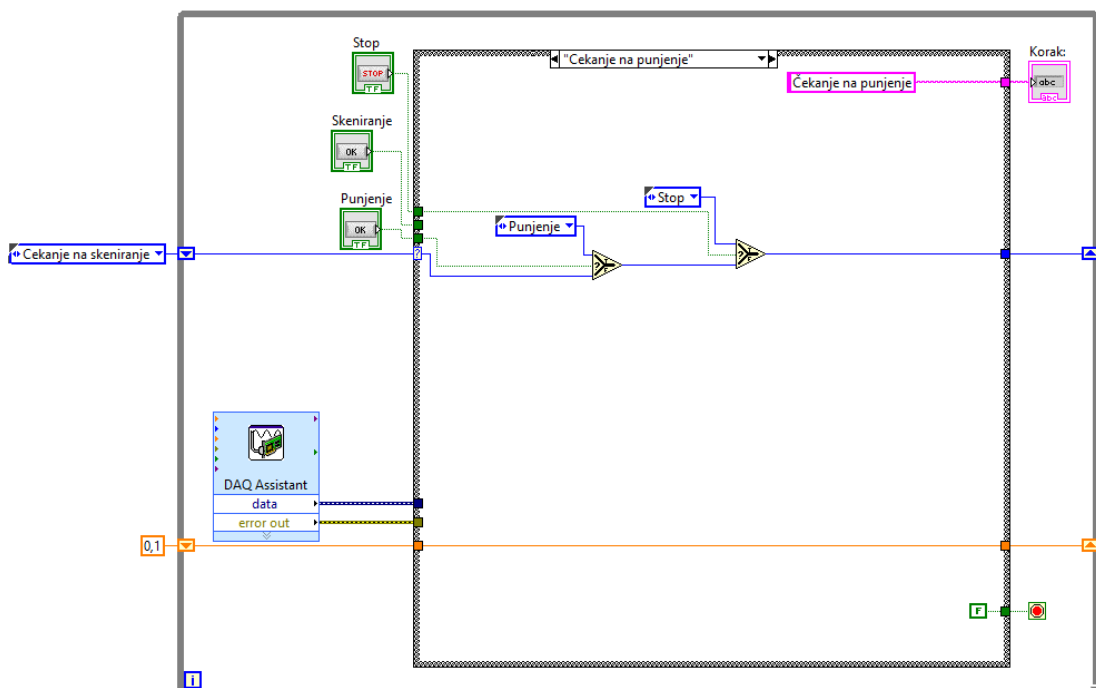
Slika 6.9. Konfiguracija „DAQ assistant2“

Na „Build XY Graph“ je na X doveden napon, a na Y struja, te na „errorin“ je doveden „errorout“ iz „DAQ assistant2“. „XY Graph“ je spojen na graf „Strujno-naponska karakteristika“. Na „Build XY Graph2“ je na X doveden napon, a na Y snaga, te na „errorin“ doveden „errorout“ od „Build XY Graph“. „XY Graph“ je spojen na graf „Snaga-napon karakteristika. Kada na znak „Manje“ se pojavi struja manja od 0,12 A prelazi se u slučaj „Čekanje na punjenje“, ako je veće od 0,12 A ostaje se u ovome slučaju. Ako se pritisne gumb „Stop“ prelazi se u slučaj „Stop“ bez obzira na drugo. Vrijednost napona pri MPP-u se ne može odrediti točno te se ta vrijednost množi sa 0,95 kako bi u slučaju punjenje bilo što manje potrebno vrijeme do MPP-a. Vrijednost od 0,95 je dobivena eksperimentalnim putem što se može vidjeti na slici 6.10.I u ovom slučaju je konstanta „False“ spojena na „Loopcondition“, a na sučelju se ispisuje korak „Skeniranje“.



Slika 6.10. Utvrđivanje koeficijenta množenja za napon na analognom izlazu pri MPP-u

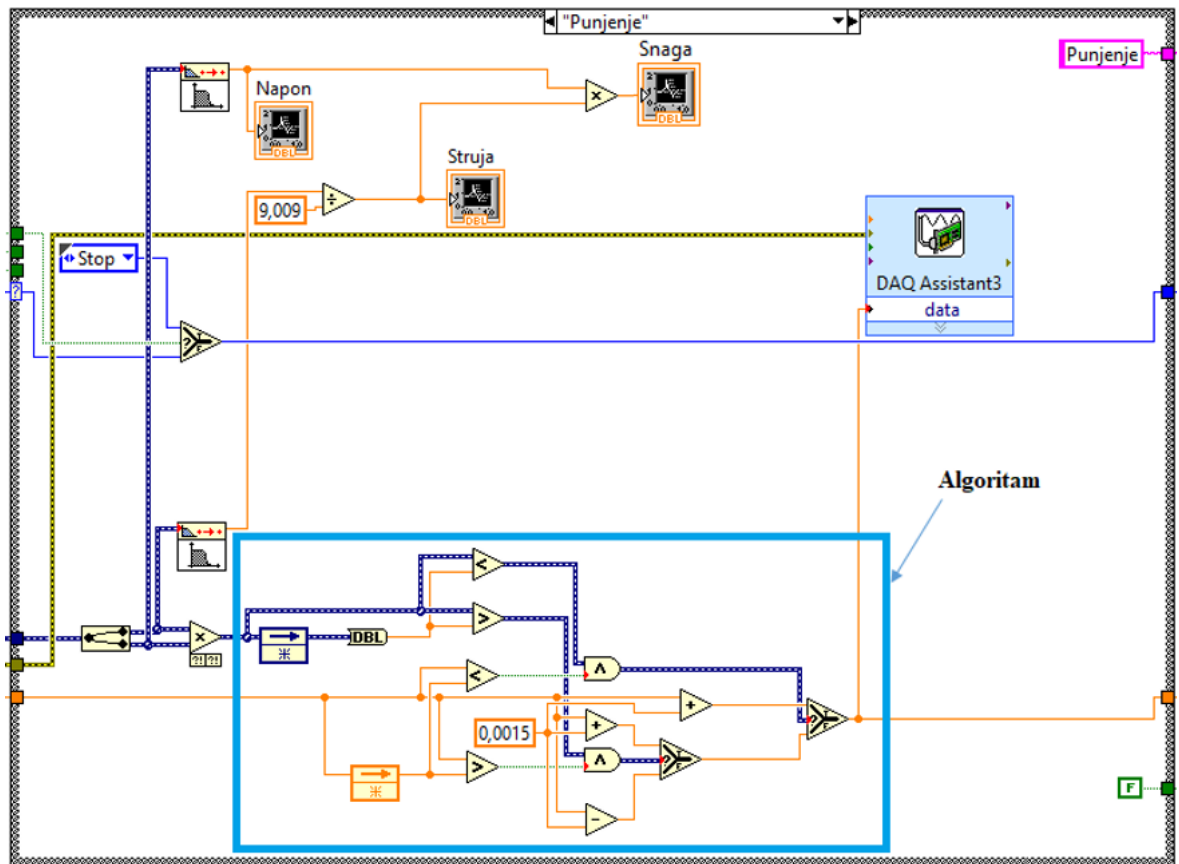
U slučaju „Čekanje na punjenje“ se pritiskom na gumb „Punjenje“ prelazi u slučaj „Punjenje“, a pritiskom na „Stop“ prelazi u slučaj „Stop“. Vrijednost „Loopcondition“ je „False“, a na korisničkom sučelju se ispisuje „Čekanje na punjenje“, slika 6.11.



Slika 6.11. Slučaj – Čekanje na punjenje

U slučaju „Punjenje“ se signal iz „DAQ assistant-a“ razdvaja na dva signala, oba signala prolaze kroz filtar „Butterworth filter“. Signal u kojemu se nalazi struja se dijeli sa

9,009 da se dobije iznos struje. Napon se prikazuje u grafu „Napon“, struja u grafu „Struja“, a snaga se dobije kada se pomnože napon i struja i zatim se prikazuje u grafu „Snaga“, slika 6.12.



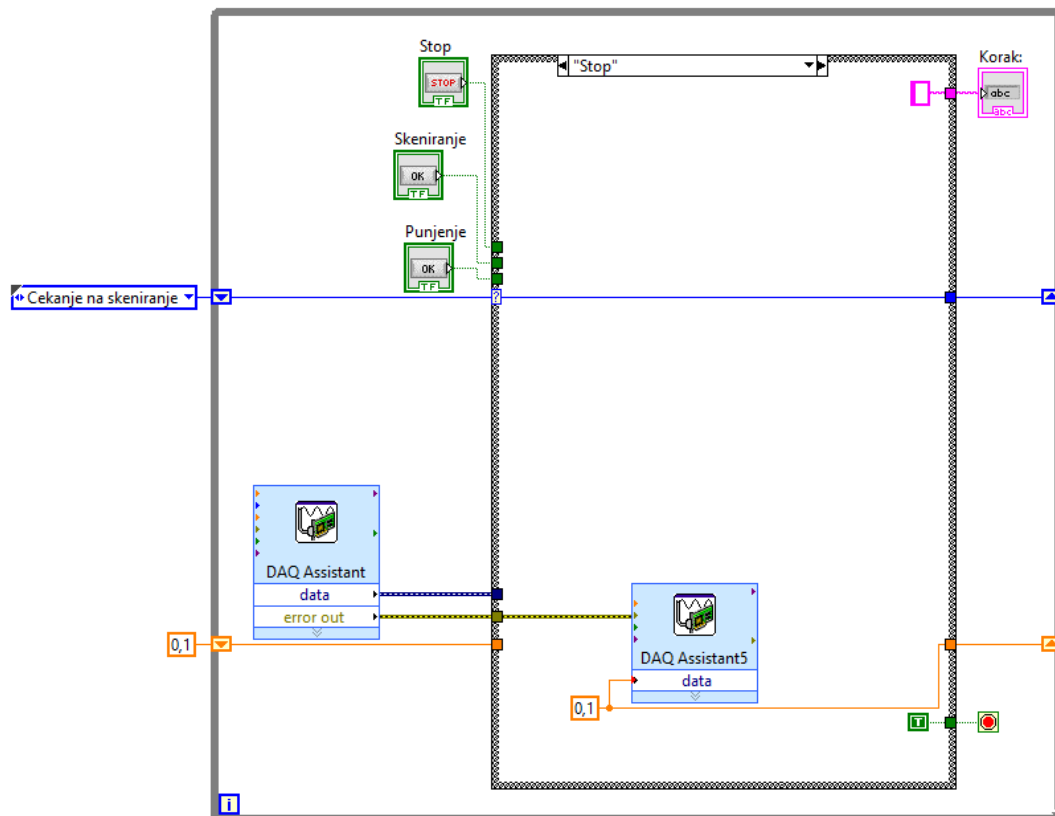
Slika 6.12. Slučaj - Punjenje

Algoritam za održavanje u MPP-u je napravljen tako da su pomnožena dva rastavljena signala iz „DAQ assistant-a“ i nakon toga se vrši usporedba u kojoj se mogu dogoditi sljedeća četiri slučaja:

- ako je veća snaga u strujnome krugu i veći napon analognog izlaza nego prije tada se povećava napon na analognom izlazu za 0,0015 V koji je dobiven eksperimentalnim putem i zatim taj povećani signal odlazi u „Data“ od „DAQ assistant3“
- ako je veća snaga i manji napon nego prije tada je potrebno smanjiti napon na analognom izlazu za 0,0015 V;
- ako je manja snaga i veći napon tada je potrebno smanjiti napon za 0,0015 V;
- ako je manja snaga i manji napon tada povećati napon za 0,0015 V.

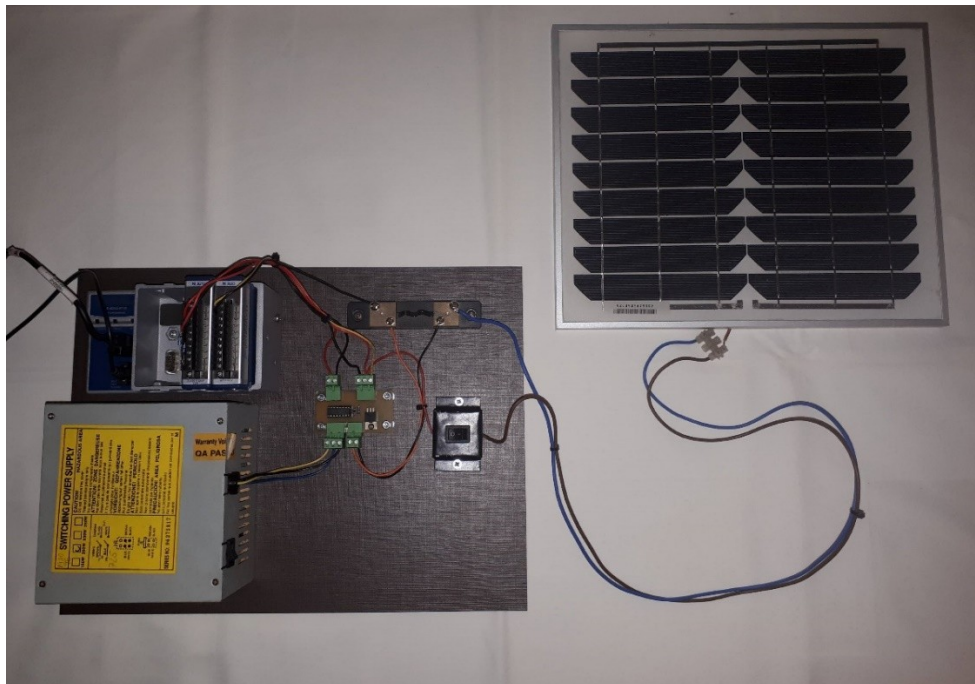
U slučaj „Stop“ se prelazi ako je pritisnut gumb „Stop“. Na „errorin“ od „DAQ assistant3“ je povezan „errorout“ od „DAQ assistant-a“. „False“ konstanta je povezana na „Loopcondition“, a na sučelje se ispisuje korak „Punjenje“. U slučaju „Stop“ se nalazi „DAQ assistant5“ koji postavlja analogni izlaz na 0,1 V. Na sučelju pod korak nije ništa

ispisano, a na „Loopcondition“ je povezana konstanta „True“ i nakon toga se zaustavlja program, slika 6.13.



Slika 6.13. Slučaj – Stop

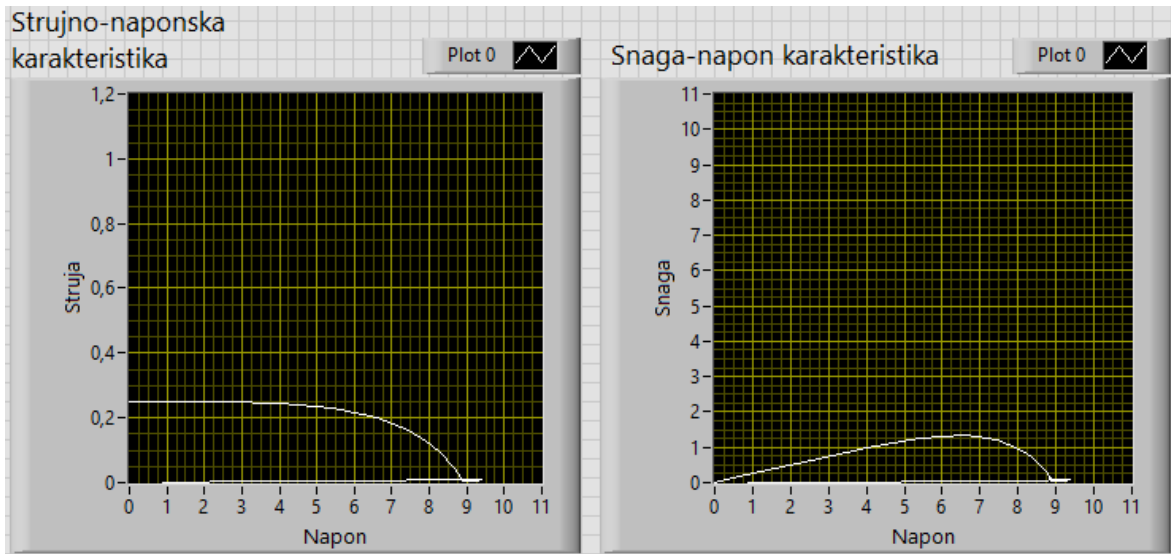
Na slici 6.14. je prikazan izgled rada.



Slika 6.14. Izgled rada

7. Rezultati

Na slici 7.1. je prikazano prvo mjerenje, a iznos faktora ispune se nalazi u jednadžbi 7.1.



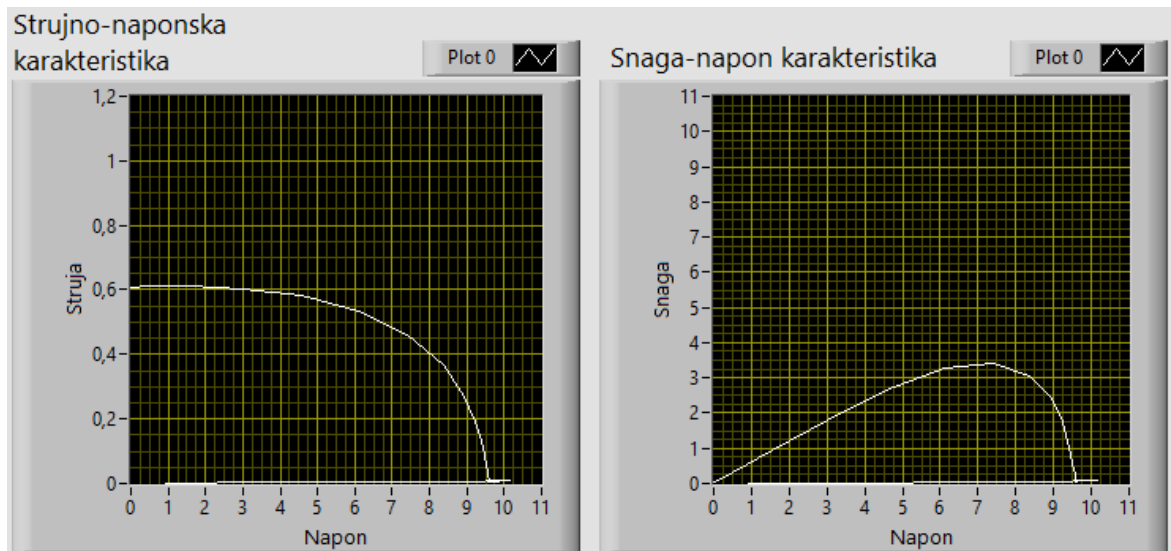
Slika 7.1. Prvo mjerenje

Faktor ispune:

$$FF = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{I_{SC} * V_{OC}} = \frac{0,2 * 6,5}{0,25 * 9} = 0,578 = 57,8 \quad (7.1)$$

U prvome mjerenju faktor ispune je 57,8% što nije dobro jer da bi fotonaponski modul bio učinkovit preporučuje se da faktor ispune bude iznad 70%.

Na slici 7.2. je prikazano drugo mjerenje, a iznos faktora ispune se nalazi u jednadžbi 7.2.



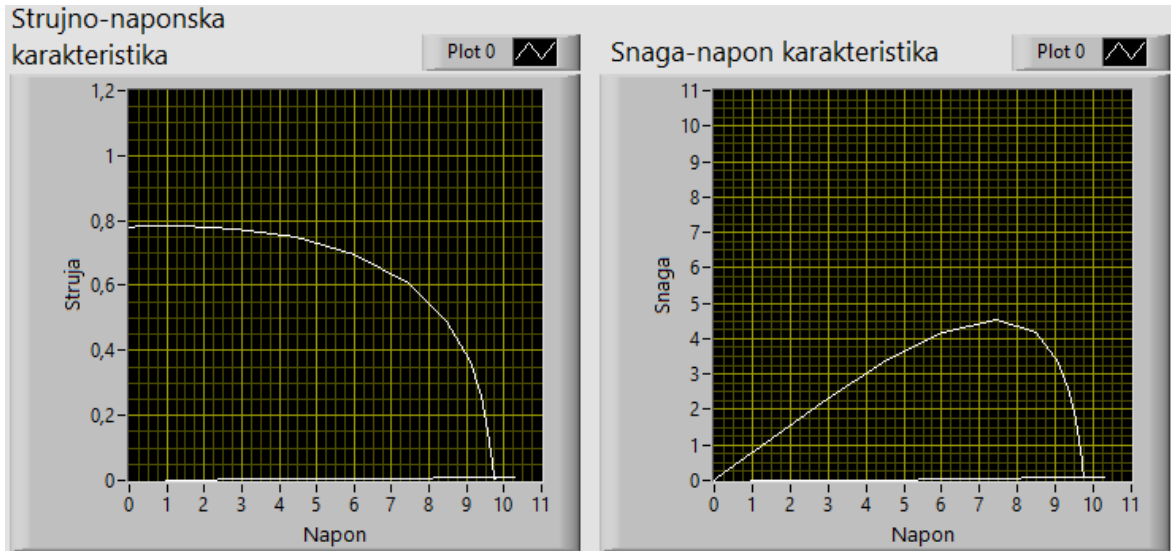
Slika 7.2. Drugo mjerenje

Faktor ispune:

$$FF = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{I_{SC} * V_{OC}} = \frac{0,475 * 7,25}{0,6 * 9,5} = 0,604 = 60,4 \quad (7.2)$$

U drugome mjerenju je faktor ispune 60,4% što je malo veće nego u prethodnome mjerenju, ali još nije dovoljno učinkovito. Povećao se je iznos maksimalne snage za otprilike 2 i pol puta, ali i iznos struje kratkog spoja i napona praznog hoda, tako da se na kraju nije dobio nešto veći faktor ispune.

Na slici 7.3. je prikazano treće mjerenje, a iznos faktora ispune se nalazi u jednadžbi 7.3.



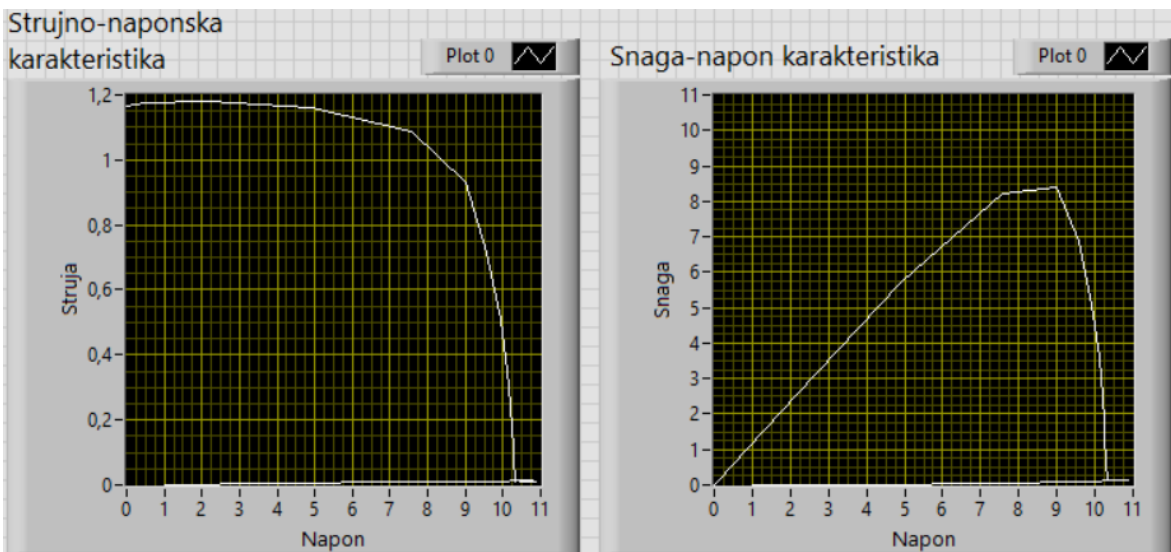
Slika 7.3. Treće mjerenje

Faktor ispune:

$$FF = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{I_{SC} * V_{OC}} = \frac{0,6 * 7,5}{0,775 * 9,75} = 0,596 = 59,6 \quad (7.3)$$

U trećem mjerenju je iznos faktora ispune 59,6%. Došlo je do povećanja maksimalne snage, ali i do većeg povećanja struje kratkog spoja, tako da je faktor ispune manji nego u prethodnom mjerenju.

Na slici 7.4. je prikazano četvrto mjerenje, a iznos faktora ispune se nalazi u jednadžbi 7.4.



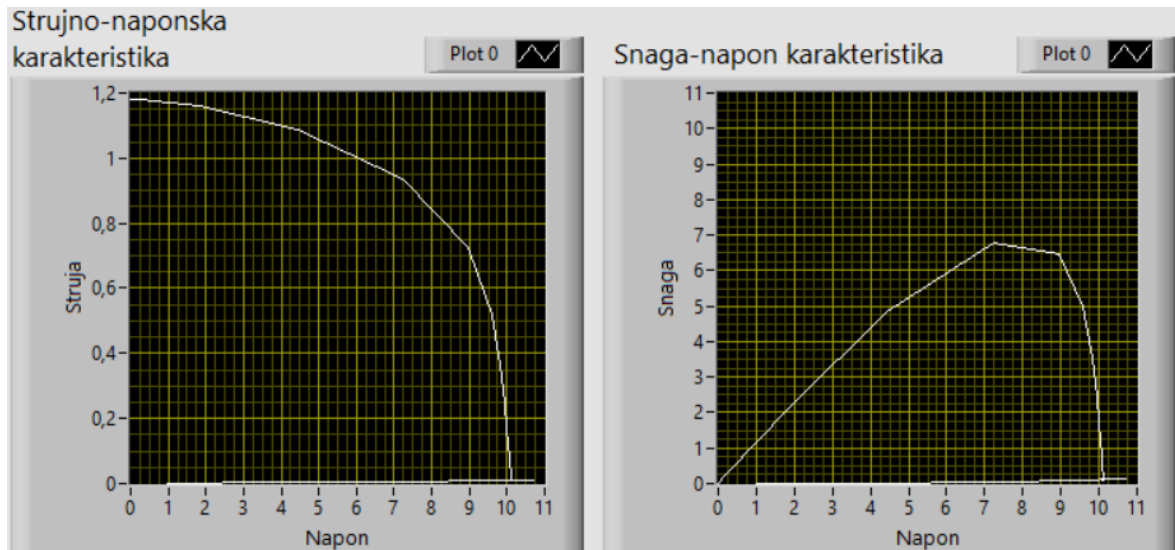
Slika 7.4. Četvrto mjerenje

Faktor ispunje:

$$FF = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{I_{SC} * V_{OC}} = \frac{0,925 * 9}{1,15 * 10,3} = 0,703 = 70,3 \quad (7.4)$$

U četvrtom mjerjenju je iznos faktora ispunje 70,3% što govori da je fotonaponski modul učinkovit. Povećala se je maksimalna snaga više nego struja kratkog spoja i napon praznoga hoda, pa je iznos faktora ispunje veći nego u prethodnom mjerjenju.

Na slici 7.5. je prikazano peto mjerjenje, a iznos faktora ispunje se nalazi u jednadžbi 7.5.



Slika 7.5. Peto mjerjenje

Faktor ispunje:

$$FF = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{I_{SC} * V_{OC}} = \frac{0,95 * 7,25}{1,175 * 10,125} = 0,579 = 57,9 \quad (7.5)$$

U petome mjerjenju je iznos faktora ispunje 57,9%. Faktor ispunje je manji nego u prethodnom mjerjenju jer je značajno pao iznos maksimalnog napona.

8. ZAKLJUČAK

Cilj je bio uspješno obaviti mjerenja fotonaponskog sustava, a to je ostvareno korištenjem jednog dijela opreme američke tvrtke „National instruments“. Od opreme je korišteno NI cDAQ – 9174 koji služi kako bi povezoao računalo i njegove module; analogni ulazi NI 9215 pomoću kojih se prikuplja napon i struja strujnoga kruga; analogni izlazi NI 9263 koji služi za povećanje opterećenja strujnoga kruga; programsko razvojno okruženje LabVIEW u kojemu je izrađeno korisničko sučelje za iscrtavanje strujno-naponske karakteristike i napon-snaga karakteristike i algoritam za simuliranje punjenje baterije. Izrađena je tiskana pločica na kojoj se nalazi INA 125 koja služi kako bi se povećao napon koji se mjeri na otporniku od 7,5 m Ω , izračunato je potrebno povećanje u vrijednosti od 1201 koje je ostvareno pomoću dva paralelno spojena otpornika od 100 Ω , a oni daju ukupan otpor od 50 Ω . INA 125 na sebi ima priključeno napajanje od računala od kojeg je iskorišten napon +/- 12 V. Na pločici se još nalazi i MOSFET IRF 540 koji služi kako bi stvarao opterećenje u strujnome krugu, a opterećenje kontrolira analogni izlaz. U strujnome krugu se još nalazi i fotonaponski modul koji može maksimalno dati napon od 10,8 V i struje 1,11 A, i to je maksimalna snaga od 11,988 W. Program u LabVIEW-u je izrađen kao automat stanja, a podijeljen je u dva glavna dijela. Prvi dio je iscrtavanje karakteristika struja-apon i snaga-apon, te približno odrediti koliki je bio napon analognog izlaza pri MPP-u. Drugi dio programa simulira punjenje baterije, tako da se drži u MPP-u. Ovaj rad je moguće primijeniti u istraživanjima fotonaponskih sustava, jer može vjerodostojno prikazati karakteristike struja-apon i snaga-apon, a iz njih se mogu nadalje razaznati nekakve ostale korisne informacije kao što su učinkovitost i faktor ispune fotonaponskog modula.

9. LITERATURA

- [1] Wikipedia: Solar panel; Dostupno na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel (22.11.2018.)
- [2] What is MPPT (Maximum Power Point Tracker); Dostupno na:
<https://www.wholesalesolar.com/solar-information/mppt-article> (20.08.2018.)
- [3] Wikipedia: Maximum Power Point Tracking; Dostupno na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_power_point_tracking (28.01.2019)
- [4] National Instruments: LabVIEW Core 1 Course Manual; Austin, Texas, USA; 2013.
- [5] Regulator punjenja akumulatora; Dostupno na:
<http://www.adriaticbb.hr/Solar/regulatori.htm> (28.01.2019.)
- [6] Solarni regulatori punjenja – MPPT; Dostupno na:
<http://www.infoton-elektronika.hr/proizvodi/regulatori-mppt/> (28.01.2019.)
- [7] National Instruments: Specifications NI cDAQ - 9174; Austin, Texas, USA; 2013.
- [8] National Instruments: NI 9215 Datasheet; Austin, Texas, USA; 2016.
- [9] National Instruments: NI 9263 Datasheet; Austin, Texas, USA; 2016.
- [10] International Rectifier: IRF540N HEXFET Power MOSFET; Kansas, California, USA; 2001.
- [11] Burr-Brown Corporation: Instrumentation amplifier with precision voltage reference; USA; 1998.
- [12] Wikipedia: Otpornik; Dostupno na:
<https://hr.wikipedia.org/wiki/Otpornik> (25.07.2018.)
- [13] Wikipedia: Power Supply unit (Computer); Dostupno na:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Power_supply_unit_\(computer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_supply_unit_(computer)) (22.11.2018.)
- [14] Petrović I., Šegrt I., Vrhovski Z.: Validation of Methods for PV Module Characterization; Bjelovar: Veleučilište u Bjelovaru; 2015.
- [15] Wikipedia: Butterworth filter; Dostupno na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter (03.04.2019.)

10.OZNAKE I KRATICE

- AC – Alternatingcurrent (Izmjenična struja)
- ADC – Analog-Digital Converter (Analogno-digitalna pretvorba)
- AI – Analog input (Analogni ulaz)
- AO – Analog output (Analogni izlaz)
- ASCII – American Standard Code for InformationInterchange (Američki standardni kod za unutarnju izmjenu informacija)
- COM – Common terminal (Zajednički terminal)
- DAQ – Data Acquisition (Prikupljanje podataka)
- DC – Directcurrent (Istosmjerna struja)
- FIFO – First in, First out (Prvi unutra, prvi van)
- GND – Ground (Uzemljenje)
- LabVIEW - LaboratoryVirtual Instrument EngineeringWorkbench (Laboratorij za virtualno inženjerstvo instrumenata)
- LED – Light-Emitting Diode (Dioda koja stvara svjetlost)
- Linux – operativni sustav
- MacOS – operativni sustav
- MOSFET – Metal Oxide Semiconductor FieldEffectTransistor (Metalno oksidni poluvodički tranzistor s efektom polja)
- MPP – Maximum Power Point (Točka maksimalne snage)
- MPPT – Maximum Power PointTracker (Tragač točke maksimalne snage)
- NC – Notconnected (Nije spojeno)
- NIST – National instrumentsTraceableCalibrationCertificate (Certifikat o pratećoj kalibraciji)
- PWM – Pulse WidthModulation (Modulacija širine impulsa)
- SAR – SuccessiveApproximationRegister (Uzastopni približni registar)
- Unix – operativni sustav
- USB – UniversalSerial Bus (Univerzalna serijska sabirnica)
- UV – UltraViolet (Ultra ljubičasto)
- VI – Virtual instrument (Virtualni instrument)

11.SAŽETAK

Naslov: Automatizirani mjerni sustav strujno-naponske karakteristike fotonaponskog modula

U sklopu ovog rada razvijen je sustav za određivanje točke maksimalne snage fotonaponskog modula korištenjem MPPT (*engl. Maximum Power PointTracker*) algoritma. Ideja je temeljena na potrebi postizanja maksimalne iskoristivosti fotonaponskog modula prilikom punjenja koja je ovisna o brojnim faktorima kao što je trenutna osunčanost, parametri fotonaponskog modula te trošila. Na tržištu postoje brojna komercijalna rješenja ali ona su prvenstveno zatvorenog tipa i nisu praktična za istraživačko - edukacijske svrhe. U ovom radu razvijeno je vlastito softversko-hardversko rješenje temeljeno na LabVIEW platformi. Većinu hardverske podrške čini specijaliziran LabVIEW hardver koji je upravo omogućio realizaciju automatiziranih mjerenja koje čine temelj ovog rada. Dodatno je razvijena i vlastita elektronika koja je nužna za integraciju cijelog sustava. Softversko rješenje ovog rada čini korisničko sučelje i algoritmi za upravljanje MPPT-a razvijeni u grafičkom „G“ kodu LabVIEW okruženja.

Ključne riječi: Fotonaponski sustav, obnovljivi izvori energije, MPPT, LabVIEW.

12.ABSTRACT

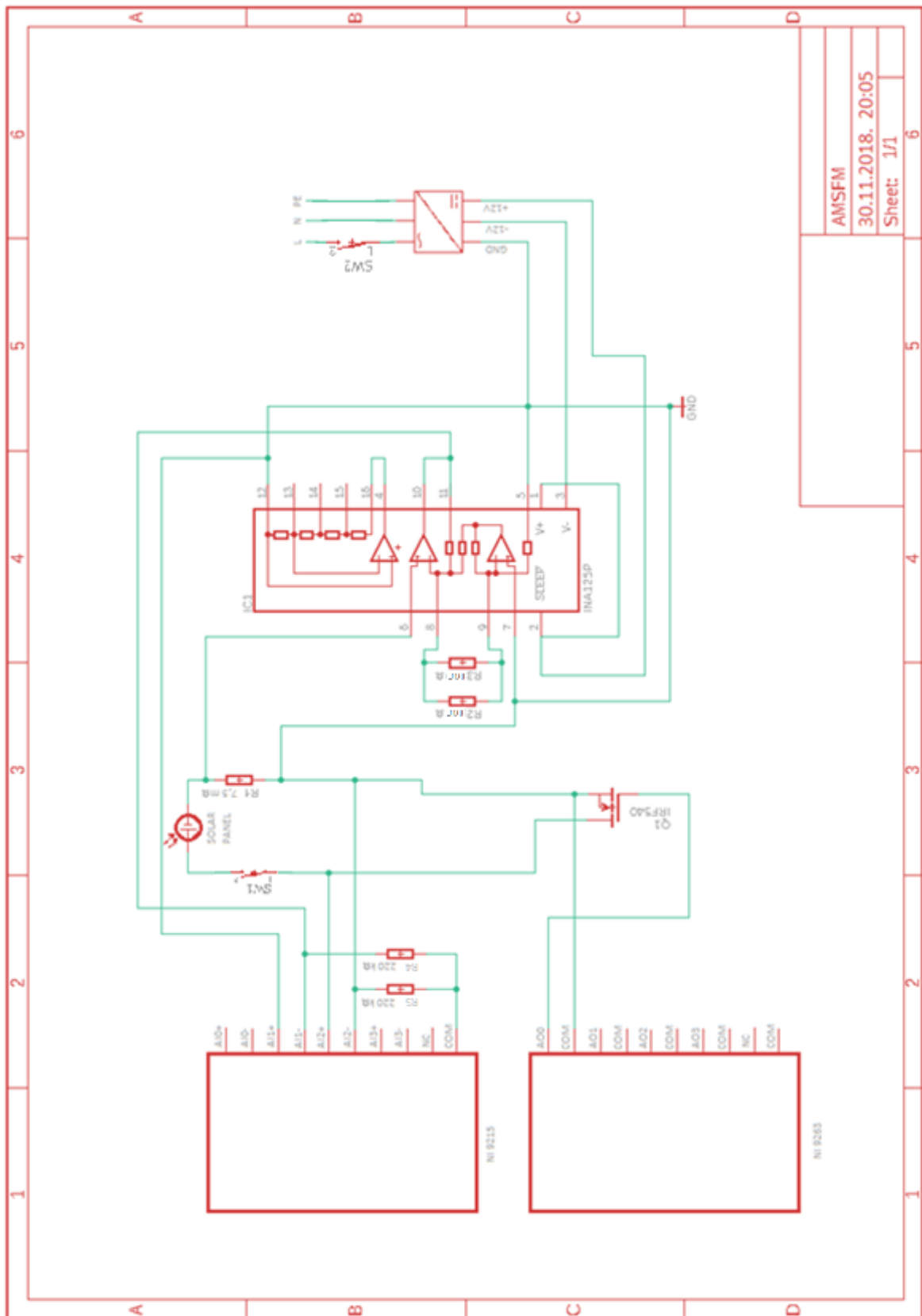
Title:Automated measurement system of voltage and current characteristics of photovoltaic module

This paper presents a system for determining the maximum power point of a photovoltaic module using the MPPT (Maximum Power Point Tracker) algorithm. The concept is based on the need to achieve the maximum utilization of the photoconductor module during charging, which depends on numerous factors such as insolation, photoconductor module parameters and the electrical consumers. There are many commercial solutions available on the market, but these are primarily closed-type solutions that are not practical for research and educational purposes. This project involves the development of a proprietary software-hardware solution based on the LabVIEW platform. A major part of the hardware support consists of a specialized LabVIEW hardware that allows for automated measurements which represent the foundation of this project. Furthermore, custom-made electronics that is essential for system integration has been developed. The presented software solution consists of a graphical user interface and MPPT control algorithms developed in the graphical "G" code of the LabVIEW environment.

Keywords: Photovoltaic system, renewable sources of energy, MPPT, LabVIEW.

13.DODATAK

13.1 Električna shema



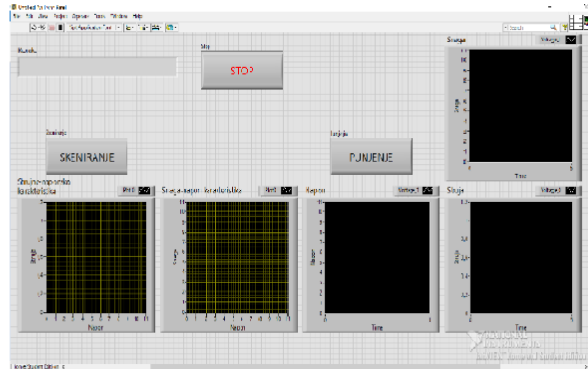
AMSFM
30.11.2018. 20:05
Sheet: 1/1

13.2 Blok shema

Fotonaponski modul



LabVIEW



NI cDAQ - 9174

Računalo

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>15.04.2019.</u>	MATIJA DUBRAVAC	Matija Dubravac

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

MATIJA DUBRAVAC

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 15. 04. 2019.

Matija Dubravac
potpis studenta/ice