

Fotonaponski sustav s praćenjem kretanja Sunca - programiranje PLC-a

Klinc, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:897192>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**FOTONAPONSKI SUSTAV S PRAĆENJEM
KRETANJA SUNCA – PROGRAMIRANJE PLC-A**

Diplomski rad

Josip Klinc

Osijek, 2017

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. Opis zadatka	1
2. FIZIKALNE OSNOVE I FOTONAPONSKI SUSTAVI.....	2
2.1. Kristali i podjela	2
2.2. Fotonaponske ćelije.....	3
3. FOTONAPONSKI SUSTAVI	13
3.1. Fiksno postavljeni FN moduli	13
3.2. Fotonaponski sustavi s praćenjem Sunca	14
3.2.1. Pogoni za praćenje Sunca.....	15
3.2.2. Sustav praćenja Sunca po jednoj osi	17
3.3.3. Sustav praćenja Sunca po dvije osi	19
4. SOLARNA GEOMETRIJA.....	26
4.1. Rotacija Zemlje	26
4.2. Osnovni kutovi solarne geometrije	29
5. PROGRAMABILNI LOGIČKI KONTROLER.....	33
5.1. Programiranje PLC-a.....	36
6. FIZIČKO SPAJANJE I IZRADA PLC PROGRAMA	38
7. ZAKLJUČAK	52
7.1. LITERATURA.....	53
7.2. SAŽETAK.....	55
7.3. ABSTRACT	55
7.4. ŽIVOTOPIS	56
7.5. POPIS SLIKA I TABLICA.....	57
7.6. PRILOZI.....	59

1. UVOD

Prema [1] u 2016. godini, fotonaponska industrija je porasla nego u prethodnim godinama za oko 20 % dosežući globalnu proizvodnju od oko 60 GW putem FN modula. Godišnji rast u zadnjih 15 godina je preko 40 %, što čini FN industriju jednu od najbrže rastućih industrija sadašnjice. Prema predviđanjima tržišta, instalirana snaga FN sustava od 235 GW na kraju 2015. bi se mogla udvostručiti do 2018. godine. Na kraju 2016. instalirana snaga bi trebala prijeći 310 GW i time zadovoljiti oko 1,5 % svjetske potrebe za električnom energijom. Razvojem tehnologije i smanjenjem cijena na tržištu, fotonaponski sustavi s praćenjem kretanja Sunca dodatno poboljšavaju učinkovitost postojećih sustava i igraju važnu ulogu u tim statistikama. U ovom diplomskom radu opisan je cjelokupni postupak programiranja PLC uređaja (engl. *programmable logic controller*) u svrhu postizanja upravljivosti fotonaponskog sustava s praćenjem kretanja sunca. Budući da korištenje PLC-a u razne svrhe dobiva na popularnosti zbog svoje jednostavnosti i mogućnosti rada, ovim će se također čitatelja, koji nije upoznat s navedenom tematikom, uvesti u ovo područje znanosti. U skladu s prethodno spomenutim, bit će izložena i osnovna teorijska saznanja o fotonaponskim sustavima te solarnoj geometriji, usko povezanom s fotonaponskim sustavima s praćenjem sunca. Budući da je naglasak na PLC programiranju, bit će izložen i kratak teorijski uvod o principu rada PLC-a zajedno s detaljnom analizom tijeka stvaranja programa za sam PLC uređaj. Na samom kraju se opisuju rezultati koji su dobiveni programiranjem i koje se prednosti mogu dobiti ovakvim upravljanjem.

1.1. Opis zadatka

Potrebno je opisati fotonaponske sustave s praćenjem kretanja sunca. Nadalje, potrebno je usporediti fotonaponske sustave s fiksno postavljenim modulima i fotonaponske sustave s praćenjem sunca. Također, zahtijeva se opis sustava za praćenje kretanja sunca sa zakretom po jednoj osi i po dvije osi te opis postupak programiranja PLC uređaja, što se odnosi na kreiranje PLC programa u odgovarajućem sučelju uz detaljno objašnjenje svrhe i korištenja pojedinih funkcija.

2. FIZIKALNE OSNOVE I FOTONAPONSKI SUSTAVI

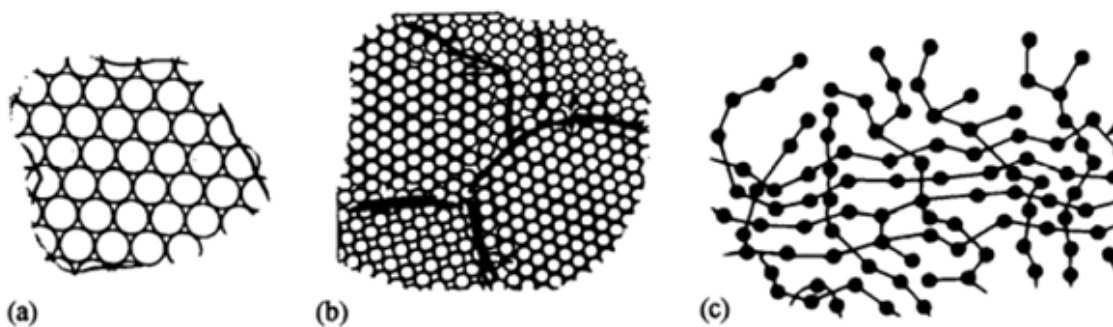
Kako bi se postupno došlo do razumijevanja PLC programa u kooperaciji sa FN sustavom s praćenjem Sunca, važno je objasniti fizikalne osnove na kojima se bazira funkcionalnost FN sustava te njihove razlike i principi rada.

2.1. Kristali i podjela

Prema [2] kristali se definiraju kao čvrsta tijela koja su sastavljena od atoma, iona ili molekula s ponavljajućim trodimenzionalnim rasporedom i pravilnom međusobnom udaljenošću, tvoreći tako kristalnu rešetku. Pravilna kristalna rešetka po svojoj definiciji je idealni slučaj, gdje se realan slučaj razlikuje po tome što takvu kristalnu rešetku narušavaju razni utjecaji (toplinski, mehanički itd.). Takve promjene strukture kristala utječu na mehanička, toplinska, električna i magnetska svojstva kristala.

Materijali koji su bitni u izradi fotonaponskih solarnih ćelija dolaze u obliku monokristala, polikristala (multikristala) ili kao amorfne tvari. Ako se čitav aktivni obujam ćelija sastoji samo od jednog kristala, onda je takva ćelija monokristalna. Ako se u procesu rasta kristala većih dimenzija formira više kristala (obično zajednički orijentiranih), i iz takva kristalnog bloka izreže pločica za izradu solarne ćelije, onda takve ćelije nazivamo polikristalnim ili multikristalnim [2].

Amorfni materijali za razliku od kristala nemaju pravilnu kristalnu rešetku gledajuću jednu cjelinu. Takve tvari nastaju najčešće ako se rastaljeni materijal vrlo brzo hladi, tako da se molekule ne stignu organizirati u termodinamički stabilnija kristalna stanja, ili pak da se kristalna rešetka odabranog materijala mehanički ošteti vanjskih utjecajem. Spomenuto se može postići implementacijom ubrzanih iona, koji zbog sudara izbacuju atome mete iz čvorova rešetke. Ako je pritom temperatura mete dovoljno niska da prethodno izbačeni atomi kasnije difundiraju natrag na svoje početne položaje, površinski slojevi mete postaju amorfni. Kristalne rešetke koje su navedene su vidljive u sljedećem prikazu. (Slika 2.1.)



Slika 2.1. Struktura čvrstih materijala: (a) monokristal; (b) polikristal; (c) amorfni [3]

Ako je veličina malih kristala vrlo mala (<2 nm), teško je razlikovati kristalnu od amorfne faze jer i amorfne tvari imaju donekle pravilni raspored atoma na malom razmaku (<5 nm). Kod tankih slojeva silicija, između dvije navedene faze se nalazi tzv. nanokristalna faza (nc-Si) ili drugačije zvani mikromorfni materijal. Takav materijal iako ima amorfnu fazu, unutar nje također sadrži i kristalna zrna.

2.2. Fotonaponske ćelije

U ovom poglavlju se može raspravljati o temeljnim principima i operacijama glavnog izuma koji je obilježio rad samog fotonaponskog sustava – modernoj fotonaponskoj ćeliji. Kako bi se pomoglo objašnjenju, objasnit će se PV (engl. *Photovoltaic*) moduli, ostavljajući detalje za jedno od sljedećih poglavlja. Korisno je početi ovo poglavlje sa kratkim navodima o glavnim tipovima fotonaponskih ćelija i modula, koji su u širokoj upotrebi današnjice. Silicijska fotonaponska ćelija je bila glavni čimbenik PV industrije mnogo godina a trenutno je zaslužna za preko 80 % svjetske proizvodnje solarne energije. Moduli bazirani na tim ćelijama imaju dugu povijest robusne pouzdanosti sa garancijom trajanja 20 ili 25 godina, što je izvanredna činjenica među proizvodima. Iako se ćelije, napravljene od drugim materijala, konstantno razvijaju i neke su u komercijalnoj proizvodnji, bit će teško narušiti reputaciju silicija kao proizvodnog materijala. Temeljna tehnologija je ona poluvodičkih elektroničkih komponenti: silicijska fotonaponska ćelija je posebni oblik poluvodičke diode. Srećom, silicij je oblik silicijskog dioksida (kvarcni pijesak) i tako je ekstremno uobičajen u Zemljinoj kori i još važnije, nije toksičan. Dodatni dobar razlog za fokusiranje na silicijske ćelije je njegova kristalna strukutra, koja ima jednostavnu kristalnu rešetku, čineći je lakom za opisati [4].

Postoje dva glavna tipa kristalnih silicijskih fotonaponskih ćelija koje se proizvode u velikim količinama:



Slika 2.2. Prikaz monokristalnog FN modula

- Monokristalne – najučinkovitiji tip, napravljen od jako tanke “ploške”, velikog kristala dobiven od čistog taljenog silicija. Kružne ploške, često oko 15 cm u promjeru, imaju glatku, srebrnastu površinu i često su dodatno oblikovane u pseudo-kvadrat ili heksagonalni oblik kako bi ih se moglo više smjestiti u modul, kao što je prikazano na slici 2.2.. Fini kontakti i sabirnice se koriste kako bi provodile struju od strane ćelije, koja ima visoko uređenu kristalnu strukturu sa uniformnim, predvidljivim svojstvima. Međutim, zahtijevaju oprezne i skupe proizvodne procese, uključujući prijespomenuto dopiranje malim količinama drugih elemenata za stvaranje potrebnih električnih karakteristika. Prema [5] učinkovitost ovakvog tipa ćelija doseže oko 27,4 %. Učinkovitost tipičnih komercijalnih modula iznosi 16 – 22 % [1]. Potrebna površina modula je oko 7 m²/kWp [4].
- Multikristalne – također zvane polikristalne. Ovaj tip ćelije se također proizvodi od čistog taljenog silicija, ali koristeći proces lijevanja. Kako se silicij hladi, stvara se veliki nepravilni multikristal, koji se potom reže u tanke kvadraste ili pravokutne ploške za formiranje ćelija. Njihova struktura, bivajući tako nasumična, je manje idealna od one koju posjeduje monokristalni materijal i daje manju učinkovitost, ali je

nasuprot tomu jeftinija. Čelije i moduli ovog tipa često imaju izrazito plavu boju, ljuskavog i svjetlucavog karaktera kao što je prikazano na sljedećoj slici (Slika 2.3.). Prema [5], ovakav tip ćelija doseže do oko 22 % učinkovitosti. Multikristalni moduli pokazuju tipičnu učinkovitost koja iznosi 12 - 18 % te su prestigli monokristalne po količini proizvodnje tokom zadnjih godina [1]. Snaga po površini iznosi oko $8 \text{ m}^2/\text{kWp}$.



Slika 2.3. Prikaz multikristalnog FN modula

Uz ovakve činjenice, dolazi do razumijevanja da učinkovitost bilo koje fotonaponske ćelije ili modula, postotak solarne radijacije koju pretvara u električnu energiju, se smatra jednom od najvažnijih značajki. Što je veća učinkovitost, manja je potrebna površina za zadanu snagu. Ovo je važno zbog toga što je prostor ograničen i zbog dodatnih troškova FN sustava (postavljanje i fiksiranje), što je povezano s područjem u koje se postavlja. Silicijske kristalne ćelije, pri radu na jakom sunčevom svjetlu, imaju najveću učinkovitost od svih ćelija korištenih u zemljanim FN sustavima, uz obećanje umjerenog povećanja tokom godina razvojem tehnologije. Također, bitno je napomenuti da neke vrste djeluju bolje pri slabom ili difuziranom svjetlu [4].

Učinkovitost modula je uvijek malo manja od učinkovitosti fotonaponske ćelije jer površina ne može biti kompletno pokrivena ćelijama i okvir također zauzima prostor. Uvijek je važno razlikovati učinkovitost modula i fotonaponske ćelije.

Nadalje, postoji još jedna vrsta fotonaponskih ćelija u upotrebi:

- Amorfne – Većina ljudi je upoznata za malim amorfnim silicijskim (a-Si) ćelijama u solarno pogonjenim potrošačkim proizvodima kao što su satovi i kalkulatori, koji su prvo uvedeni 1980-ih. Amorfne ćelije su jeftinije od monokristalnih i multikristalnih, ali imaju mnogo manju učinkovitost oko 14 % [5]. Danas, veliki moduli su pogodni za aplikaciju gdje prostor nije prioritet, na primjer fasade različitih objekata. Potrebna površina po snazi je oko $16 \text{ m}^2/\text{kWp}$, što je znatno veće za istu količinu proizvodnje ostalih tipova.

Obično se fokusira na kristalne silicijske fotonaponske ćelije iz dva glavna razloga: njihove usporedivo jednostavne kristalne strukture i teoretske pozadine; kao i njezinom dominantnom pozicijom na tržištu zemljanih PV sustava. Njihova tehnologija u obliku “ploški” postoji dugo vremena i često se smatra “prvom generacijom”. Takve fotonaponske ćelije se često mogu vidjeti na kućama, tvornicama i javnim zgradama [4].

Međutim, važno je isto tako znati da mnogi ostali poluvodički materijali mogu biti korišteni za izradu fotonaponskih ćelija. Većina dolazi pod nazivom tanki-film, što je zbunjujuće zbog toga što a-Si je često nazivan ovako i uključuje premaz jako tankog sloja poluvodiča na različite varijacije supstrata. Tanki film je općenito smatran kao ultimativni cilj za zemljane FN sustave, budući da koriste malene količine poluvodičkog materijala i masovnih kontinuiranih proizvodnih procesa, bez potrebe za rezanjem i postavljanjem individualnih kristalnih ploški. Moduli tankog filma bazirani na složenim poluvodičima od bakar-indij-diselenida (CIS) (Slika 2.4.) i kadmijeva telurida (CdTe) su dostupni u komercijalnoj proizvodnji.



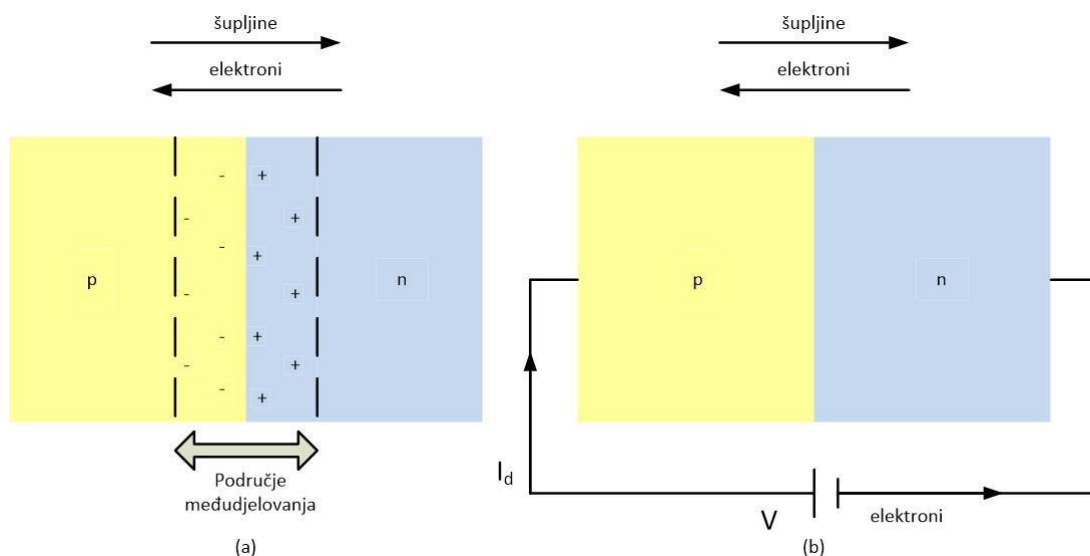
Slika 2.4. Prikaz modula bakar-indij-diselenida (CIS)

Često nazivani “drugom generacijom“, trenutačno imaju učinkovitost nižu od kristalnog silicija, ali predstavljaju značajni napredak u proizvodima tankog filma [4].

Kako bi pobliže objasnili djelovanje samih fotonaponskih ćelija, bitno je poznavanje funkcije poluvodičke diode, odnosno PN-spoja. PN-spoj se može smatrati osnovnim građevnim blokom poluvodičke revolucije, koja je počela 1950-ih [4]. Fotonaponska ćelija je zapravo PN-spoj koji nastaje kada se jednom dijelu kristala čistog poluvodiča dodaju trovalentne (akceptorske) primjese, tako da nastane p-tip poluvodiča, a drugom dijelu peterovalentne (donorske) primjese, te nastaje n-tip poluvodiča [2].

Općenito, može se reći da n-tip materijali imaju višak elektrona, a p-tip materijali imaju višak praznina. Sljedeći korak je analiziranje onoga što se dogodi kada se ta dva materijala spoje i zajedno tvore PN-spoj kao što je prikazano na slici 2.9.. Blizu područja međudjelovanja, može se primijetiti da slobodni elektroni u n-tipu materijala počinju difundirati u p-stranu, ostavljajući iza sloj koji je pozitivno nabijen zbog prisutnosti fiksiranih atoma fosfora. Praznine u p-tipu materijala difundiraju u n-stranu, ostavljajući iza sloj koji je negativno nabijen zbog fiksiranih borovih atoma. Difuzija ta dva tipa većinskih nosioca, u

suprotnim smjerovima preko područja međudjelovanja, ima važan učinak u postavljanju jakog električnog polja, stvarajući potencijalnu barijeru daljnjem protoku.

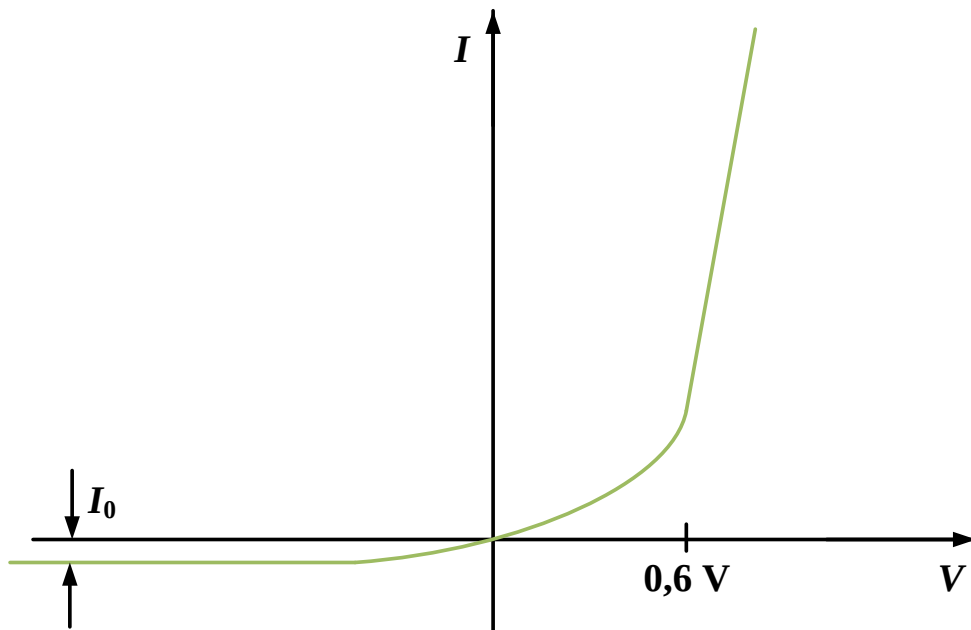


Slika 2.5. (a) PN-spoj sa prikazanom osiromašenom regijom; (b) Upravni prednapon

Ravnoteža je uspostavljena kada je tendencija elektrona i praznina da nastave difuziju u skladu s njihovim gradijentima koncentracije neutralizirana teškoćama u prelaženju potencijalne barijere. U ovakvom okruženju, ne preostaje nikakvih mobilnih nosioca naboja blizu spoja i nastaje takozvana osiromašena regija [4].

Osiromašena regija čini PN-spoj diodom, uređajem koji provodi struju samo u jednom smjeru. Slika 2.5. (b) prikazuje spojeni vanjski izvor napona na diodu, čineći p-tip materijala pozitivnim u odnosu na n-tip, što se naziva “upravnim prednaponom“. U svojem djelovanju vanjski napon protudjeluje na “ugrađenu“ potencijalnu barijeru, smanjujući njezinu razinu i omogućavajući velikom broju većinskih nosioca naboja da prijeđu spoj – elektroni s n-strane i praznine s p-strane. Ovo rezultira u znatnom toku struje (imati na umu činjenicu da konvencionalni tok struje je sastavljen od negativno nabijenih elektrona koji teku u suprotnom smjeru; može ih se smatrati da putuju strujnim krugom kroz bateriju i nazad do n-sloja). U suprotnom slučaju, ako je vanjski napon invertiran da proizvodi “obratni prednapon“, potencijalna barijera se povećava i struja je jako mala struja zasićenja (I_0). Ovo se događa zbog prenapona koji povećava potencijalnu barijeru za većinske nosioce naboja, smanjuje ju istodobno za manjinske nosioce – i na normalnoj temperaturi neki su prisutni na obje strane PN-spoja uslijed termičkoj generaciji elektron-praznina para.

Praktični rezultat navedenih kretanja elektrona i praznina se može vidjeti na sljedećem prikazu karakteristike diode. (slika 2.6. U-I karakteristika silicijske diode).



Slika 2.6. U-I karakteristika silicijske diode

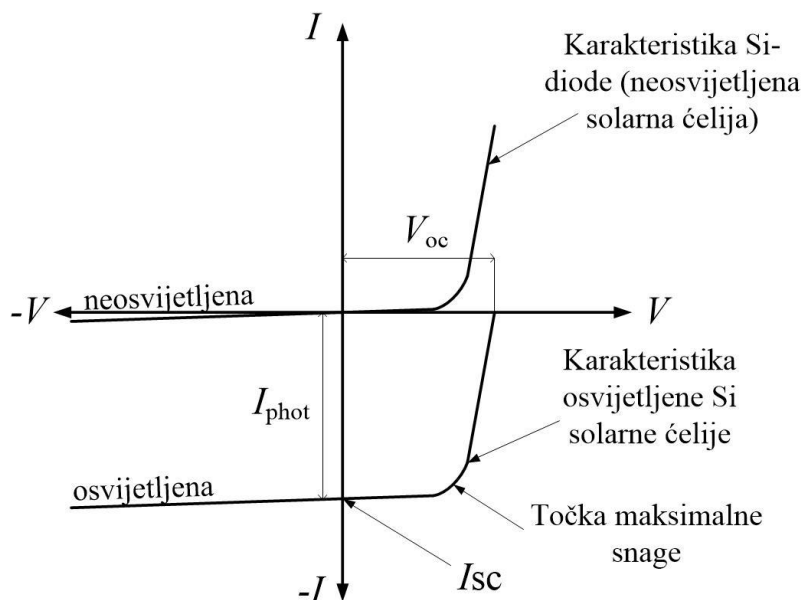
Struja diode I se povećava s pozitivnim prednaponom, rastući naglo iznad 0,6 V, ali s negativnim prednaponom, suprotna struja dolazi do zasićenja sa jako malom vrijednošću I_0 . Očito ovaj uređaj dopušta samo tok struje u jednom smjeru. Matematički se krivulja može iskazati jednačbom [6]:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2-1)$$

gdje je q naboj elektrona, k je Boltzmannova i T je apsolutna temperatura.

Ključ za razumijevanje procesa PN-spoja je u tome, da atomi donori koji su donirali jedan elektron predstavljaju trajno integrirane pozitivne naboje (ione) u kristalnoj rešetki; s druge strane, atomi akceptori koji sadrže apsorbirani elektron predstavljaju trajno integrirane negativne naboje (ione) u kristalnoj rešetki [6].

Prema [7], usporedbom karakteristike neosvijetljene fotonaponske ćelije (tamna karakteristika) može se uočiti da odgovara karakteristici diode (kako bi se izmjerila tamna karakteristika, potreban je varijabilni vanjski izvor), kao što je prikazano na slici 2.7.. Kada je fotonaponska ćelija osvijetljena, karakteristika se pomiče za iznos fotostruje I_{phot} u smjeru blokiranja (svjetlija karakteristika).



Slika 2.7. Strujno naponska karakteristika diode (neosvijetljene fotonaponske ćelije) i osvijetljene fotonaponske ćelije sa strujom kratkog spoja I_{SC} i naponom praznog hoda V_{OC}

Ova karakteristika je određena spajanjem promjenjivog otpornika na nju i crtanjem rezultirajućih struja i napona pri različitim opterećenjima.

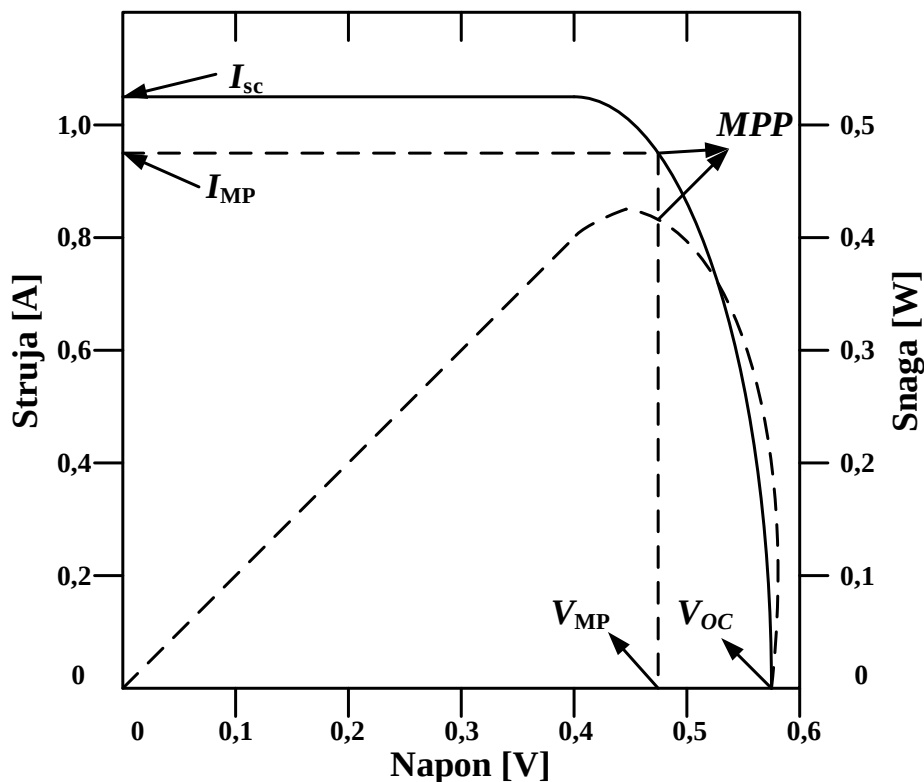
Struja kratkog spoja I_{SC} je jedna od najvažnijih stavki solarnih ćelija. Ona se pojavljuje u osvijetljenoj, kratko spojenoj fotonaponskoj ćeliji. Napon praznog hoda V_{OC} opisuje napon između kontakata ako je strujni krug otvoren i struja stoga ne teče. Teoretski ostvariva snaga koja može biti proizvedene od strane modula, P_{teor} , je produkt struje kratkog spoja I_{SC} i napona praznog hoda V_{OC} [7]:

$$P_{\text{teor}} = I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{OC}} \quad (2-2)$$

Ostvariva snaga P_{max} je definirana maksimalnim mogućim produktom napona i struje u radnoj točki [7]:

$$P_{\text{max}} = P_{\text{mp}} = I_{\text{mp}} \cdot V_{\text{mp}} \quad (2-3)$$

Točka maksimalne snage (engl. *Maximum Power Point*) je postignuta pomoću I_{mp} i V_{mp} . Omjer između P_{max} i P_{teor} se naziva faktorom ispunje FF . On opisuje “kvadratičnost” toka karakteristike. Sljedeća slika (Slika 2.8.) pokazuje snagu P kao funkciju napona V i odgovarajuću I - V karakteristiku.



Slika 2.8. Strujno-naponska karakteristika i karakteristika snage u ovisnosti o naponu silicijske fotonaponske ćelije

Učinkovitost fotonaponske pretvorbe η_{pv} je definirana omjerom izlazne električne snage i ulazne snage zračenja. Ona ovisi o zračenju i samom spektru. Učinkovitost pretvorbe je određena pri standardnim testnim uvjetima (engl. *STC*): zračenje od 1000 W/m^2 okomito na prednju površinu, pri temperaturi ćelije od 25°C uz spektralnu distribuciju u skladu sa solarnim zračenjem sunca koje je na nadmorskoj visini pri kutu od $41,8^\circ$ kroz atmosferu. Zbog fizičkih razloga, učinkovitost fotonaponske pretvorbe ima teoretsku gornju granicu. Suma od oko 28 % za kristalni silicij ima tri glavna razloga [8]:

- Silicij je takozvani neizravni poluvodič: Ovo čini apsorpciju fotona ovisnom o pojavi fonona (vibracija kristalne rešetke) – dok se ovo događa relativno rijetko, koeficijent apsorpcije je malen.
- Prazni pojas (vrpca) silicija iznosi 1,1 eV: Fotoni sa nižom razinom energije se uopće ne apsorbiraju, dok fotoni sa višom razinom energije prenose višak energije do fotona kao vibracije kristalne rešetke, tj., kao toplinu. Ova pojava, kao i daljnji gubici definiraju “spektralnu osjetljivost” ili “spektralni odgovor” fotonaponske ćelije.
- Maksimalni napon (napon praznog hoda) V_{oc} ovisi o razlici potencijala dobivenoj od p-n tranzicije i iznosi oko 0,7 V za silicij.

Teoretska učinkovitost konverzije je smanjena u stvarnosti zbog različitih fizičkih gubitaka:

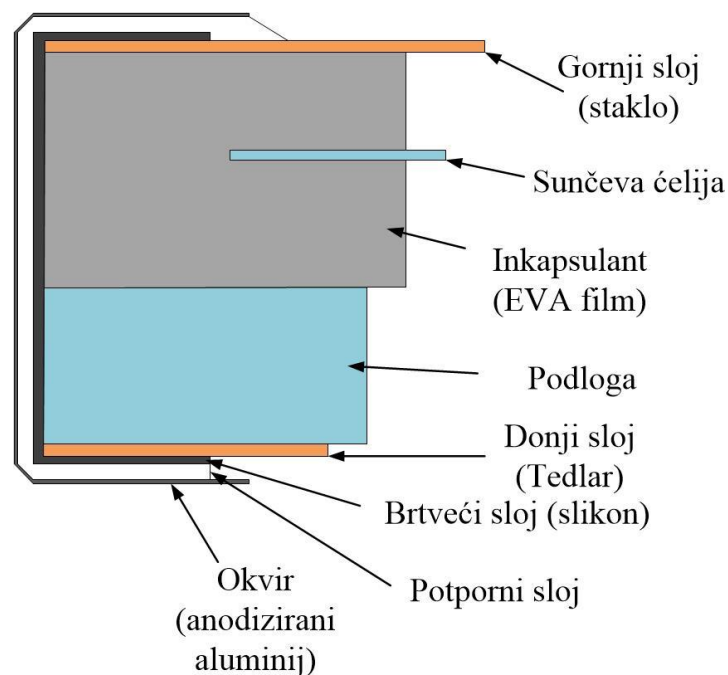
- Optički gubici, gubici refleksije i zasjenjenja i gubici zbog zračenja koje je nemoguće apsorbirati,
- omski gubici zbog serijskih otpornika (kontakti i otpornost lima) i parazitnih paralelnih otpornika,
- rekombinacijski gubici (padanje elektrona u valentni pojas)

3. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Nakon uvođenja u teorijske principe pretvorbe električne energije iz sunčeve, važno je razlikovati izvedbe fotonaponskih modula. U ovom radu će se usporediti i objasniti principi djelovanja fiksno postavljenih modula, onih sa praćenjem sunca po jednoj osi i onih sa praćenjem sunca po dvije osi. Važno je napomenuti da je riječ samo o teorijskom uvodu, a ne o složenom razmatranju, jer je glavni cilj objašnjenje principa upravljanja pomoću PLC sustava i pripadajuće programske podrške takvog jednog sustava.

3.1. Fiksno postavljeni FN moduli

Kao što se može pretpostaviti, fiksno postavljeni moduli su skupina fotonaponskih ćelija, koje su međusobno spojene određenoj paralelno-serijskoj kombinaciji te postavljene u adekvatan položaj s obzirom na sunčevo zračenje.



Slika 3.1. Poprečni presjek PV modula od kristalnog silicija

Prema [9], može se reći da gornji sloj PV modula mora imati visoki stupanj transparentnosti, biti otporan na vodu, tuču te biti stabilan kada je duže vremena izložen ultraljubičastom zračenju. Materijal najčešće korišten za izradu gornjeg sloja PV modula je kaljeno staklo. Za zaštitu od vanjskih utjecaja se koristi inkapsulant, koji je ujedno i poveznica gornjeg sloja, fotonaponske ćelije i donjeg sloja. Također, on mora biti visoko transparentan te stabilan pri visokim temperaturama i razinama UV zračenja. Materijal

korišten za izradu inkapsulanta je najčešće EVA film (etilen/vinil-acetat). Donji sloj je građen od tankog polimernog filma s dobrom otpornošću na vodu i koroziju (tedlar). Tako izrađeni PV modul se uokviruje pomoću aluminijskog okvira, postižući robusnost i jednostavno postavljanje.

Za potrebe ostvarenja dovoljne snage, moduli također moraju biti povezani serijski i/ili paralelno, što zapravo ovisi o potrebama korisnika, tehničkom rješenju, opskrbi električne energije i kvaliteti električne energije. Ovo vrijedi i za samostalne sustave (nisu spojeni na javnu elektroenergetsku mrežu) i one koji su spojeni na mrežu.

Konfiguracija fotonaposkih modula, odnosno njihovo povezivanje, kod samostalnih sustava, tj. sustava koji nisu priključeni na mrežu, takva je da je izlazni napon niza modula 12, 24 ili 48 V [2]. Da bi se dobila istosmjerna struja s naponom 12 ili 24 V, a kod većih sustava napon 48 V, moduli se obično spajaju serijski, dok je napon pojedinih modula obično 12 ili 24 V [1].

Budući da fiksno postavljeni moduli ne prate kretanje Sunca, njihova učinkovitost ovisi u većoj mjeri o pozicioniranju i korištenoj tehnologiji. Ugrubo za usporedbu, učinkovitost tipičnih monokristalnih komercijalnih modula iznosi 16 - 22 %, multikristalni moduli pokazuju tipičnu učinkovitost koja iznosi 12 - 18 %, tehnologija tankog filma dostiže maksimum od 22,6 % [5], dok su amorfne ćelije jeftinije od ostalih izvedbi, ali imaju mnogo manju učinkovitost oko 14 %. Na sličan način kao i kod solarnih kolektora, u ovisnosti o tome kako i gdje su postavljeni moduli (usmjeravanje, nagib, zasjenjenje i vrsta montaže) mijenja se i solarni doprinos takvog sustava.

3.2. Fotonaponski sustavi s praćenjem Sunca

Sustavi za praćenje kretanja Sunca su uređaji za usmjeravanje ravnih kolektorskih sustava, koncentrirajućih fotonaponskih reflektora ili leća prema Suncu [9]. Koncentratori zahtijevaju visoku točnost zbog pravilnog usmjeravanja sunčevog zračenja, točno na fotonaposnku ćeliju, koja je na (ili blizu) žarišne točke reflektora ili leće. Sustav za praćenje značajno doprinosi količini proizvedene energije, poboljšavajući apsorpcijska svojstva tokom dana, bolje ispunjavajući potrebe potražnje. Postoji podjela na pogone za praćenje koji mogu biti [9]:

- aktivni sustavi za praćenje,
- pasivni sustavi za praćenje,
- kronološki sustav za praćenje.

I dodatna podjela gdje ih dijelimo na [9]:

- polarne sustave za praćenje,
- sustave za praćenje sa horizontalnom osi rotacije,
- sustave za praćenje sa vertikalnom osi rotacije,
- dvoosne sustave za praćenje.

Važno je napomenuti da jednoosni sustav za praćenje povećava godišnju proizvodnju za otprilike 30 %, a dvoosni sustav za praćenje dodatnih 6 % [9].

3.2.1. Pogoni za praćenje Sunca

U slučaju aktivnih sustava za praćenje, upravljački sklop, obzirom na smjer Sunca, usmjerava sustav za praćenje koristeći njihove motore i zupčaste vodilice. Primjerice, aktivni dvoosni sustavi se koriste za orijentiranje heliostata, za reflektiranje sunčeve svjetlosti prema absorberu solarnog tornja.

Pasivni sustavi za praćenje pak koriste nisku točku vrelišta komprimiranog plina koji se premješta s jedne strane na drugu (sunčeva toplina stvara tlak) i tako se sustav za praćenje pomiče kao odgovor na neravnotežu [9]. Takav sustav zbog nepreciznog usmjeravanja, je pogodan samo za uobičajene tipove fotonaponskih sustava, dok ne zadovoljava kriterije postavljene od strane određenih tipova koncentrirajućih fotonaponskih sustava. Opremljeni su amortizerima za prilagodbu na jake udare vjetra, sjenilom/reflektorima za refleksiju ranojutarnjih sunčevih zraka i “pokretanje” panela i usmjerenja prema suncu. Budući da je takav proces dugotrajan, potrebno vrijeme se može znatno smanjiti samootpuštanjem iz pozicije u koju je pričvršćen navečer, što pozicionira panel neznatno iznad zenita (tako da tekućina ne mora nadvladati gravitaciju) – lagano otpuštajuća opruga sprječava otpuštanje u vjetrovitim noćnim uvjetima.



Slika 3.2. Glava Zomeworkovog pasivnog sustava za praćenje [9]

Kronološki sustav funkcionira na temelju zakretanja u istom odnosu kao i Zemlja ali u suprotnom smjeru od rotacije Zemlje. Kronološki sustav za praćenje može potencijalno biti jako precizan i jednostavan, koristeći podatke o zakretu od 15 stupnjeva na sat (jedan okret Zemlje oko Sunca dnevno). U teoriji, takvi sustavi imaju sposobnost potpune rotacije, pod uvjetom da križanje ožičenja ne predstavlja problem kao kod solarnih koncentratora, ili se sistem može vraćati u početno stanje svaki dan kako bi se izbjegao problem. Alternativa je korištenje elektroničkih upravljačkih sklopova sa stvarnim vremenskim satom koji se uključuje na satni kut. Prilagodbe u praćenju mogu biti povremene ili kontinuirane [9].

Polarni sustavi za praćenje posjeduju os rotacije u liniji koja je gotovo paralelna s osi rotacije Zemlje, a okomita na ravninu ekliptike. Kod jednostavnih polarnih sustava za praćenje s jednom osi, praćenje se može inicijalno postaviti na predviđenu ravninu ekliptike lokalne zemljopisne širine [9]. Kao što je spomenuto, eventualna prilagodba druge osi (kuta uzdizanja) je moguća ručno ili automatski, po potrebi, kako bi se nadoknadila odstupanja od ravnine ekliptike. Takve prilagodbe se obično obavljaju najmanje dva puta godišnje uz najbolju efikasnost podešenja godišnjeg praćenja za vrijeme ekvinocija (ravnodnevnice). Jedna prilagodba se radi za vrijeme jesenskog ekvinocija kako bi se postavila pozicija za jesen i zimu, a druga za vrijeme proljetnog ekvinocija kako bi se postavila pozicija za proljeće i ljeto. Takvi sustavi se ubrajaju u jednoosne zbog potrebe za jednim pogonskim mehanizmom

za dnevni rad, smanjujući time troškove sustava i primjenu jednostavnijih metoda praćenja, uključujući pasivno i kronološko praćenje.

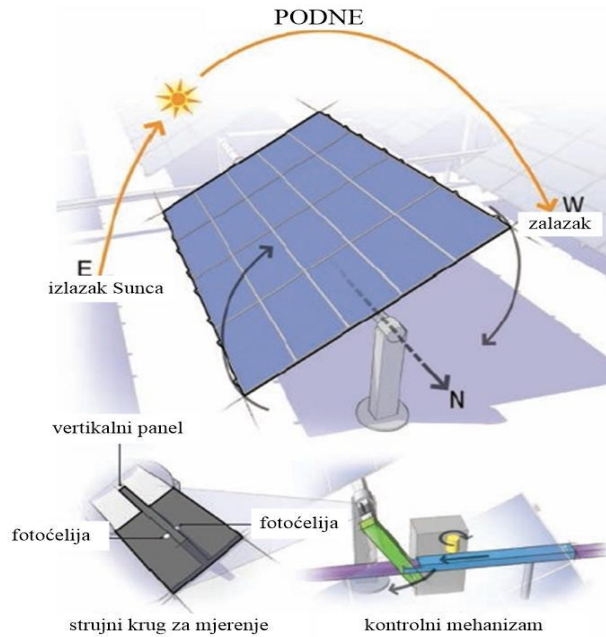


Slika 3.3. Primjer solarne farme s polarnim sustavom praćenja u Greater Sandhill, Mosca, SAD [10]

3.2.2. Sustav praćenja Sunca po jednoj osi

Jednoosni sustavi za praćenje u pravilu koriste polarno praćenje za maksimalnu fotonaponsku učinkovitost. Obično imaju ručno prilagođavanje nagiba na drugoj osi i on se prilagođava nekoliko puta tokom godine.

Jednoosni horizontalni sustavi mogu biti orijentirani pomoću pasivnog ili aktivnog mehanizma, ovisno o proizvođaču. Sastavljen je od duge horizontalne cijevi orijentirane u liniji sjever-jug, koju podupiru stupovi ili okviri na postoljima. Paneli se montiraju na cijev i uz rotaciju cijevi oko svoje osi se postiže efekt praćenja prividnog kretanja Sunca preko dana. Značajnu produktivnost postižu za vrijeme proljeća i ljeta kada je put Sunca visoko na nebu, dok je ta produktivnost smanjena zimi i pri pozicioniranju na visokim zemljopisnim širinama. Osnovna prednost ovih sustava za praćenje je čvrstoća potporne strukture i jednostavni mehanizam. Kako su paneli postavljeni horizontalno, mogu se postavljati na osnu cijev bez opasnosti od samozasjenjivanja i dostupni su za čišćenje. Za aktivne mehanizme, jedan kontroler i motor dovoljni su za upravljanje s više redova panela [9].



Slika 3.4. Izgled jednoosnog horizontalnog sustava za praćenje [11]

Jednoosni vertikalni sustavi za praćenje pak rotiraju po vertikalnoj osi, sa panelima koji mogu biti postavljeni pod kutom ili vertikalno. Za razliku od horizontalnih jednoosnih sustava, pogodni su na visokim zemljopisnim širinama, gdje kut prividnog kretanja Sunca nije posebno visok, ali prednjače za dugih ljetnih dana, kada Sunce putuje po dugom luku [9].



Slika 3.5. Izgled jednoosnog vertikalnog sustava za praćenje [12]

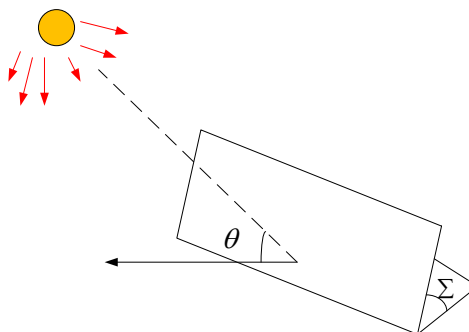
3.3.3. Sustav praćenja Sunca po dvije osi

Ovakav sustav, ograničen samo na aktivne sustave za praćenje, također postaje popularan kod postavljanja velikih teleskopa, zahvaljujući jednostavnosti strukture i kompaktnim dimenzijama [9]. Jedna os je u obliku vertikalnog rotirajućeg stupa, ili horizontalnog prstenastog postolja. Horizontalna os je nagibna osovina postavljena iznad azimut platforme. Kombiniranjem dvije koordinate, svaka lokacija iznad hemisfere može biti istaknuta. Kontrola sustava se postiže ili putem računalnog sustava ovisno o očekivanoj solarnoj orijentaciji, ili putem senzora za traganje koji kontroliraju motorni pogon za orijentaciju modula prema Suncu. Ovakav način koristi se također za orijentiranje paraboličkih reflektora sa Sterling-ovim motorom [9].

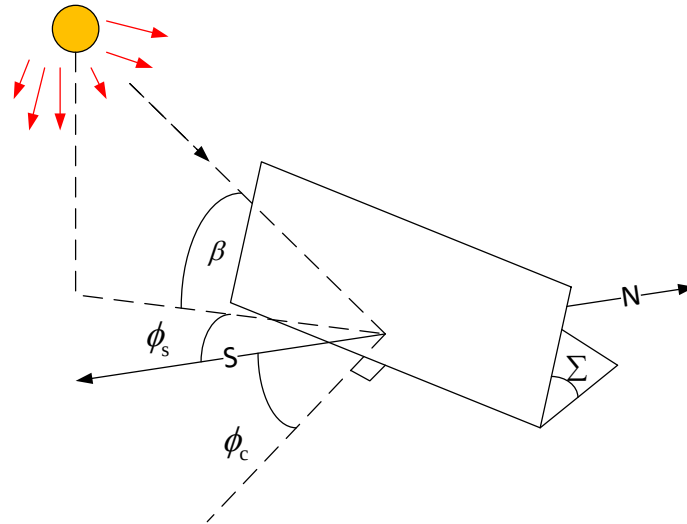


Slika 3.6. Izgled dvoosnog FN sustava s praćenjem Sunca [9]

Kako bi se objasnio matematički pristup sustavima praćenja Sunca pri insolaciji (zračenje Sunca) vedrog neba, može se početi proučavanjem sljedeća dva prikaza:



Slika 3.7. Kut između normale na lice kolektora i dolazne solarne radijacije



Slika 3.8. Kutevi solarne geometrije

Gdje su:

- θ - kut između normale/okomice na lice kolektora i dolazne solarne radijacije,
- Σ - kut između površine tla i modula,
- β - visinski kut Sunca,
- ϕ_s - solarni azimutni kut,
- ϕ_c - modulski azimutni kut.

Počevši s izrazom [13]:

$$I_{BC} = I_B \cos \theta \quad (2-7)$$

za specijalne slučajeve insolacije na horizontalnu površinu I_{BH} [13],

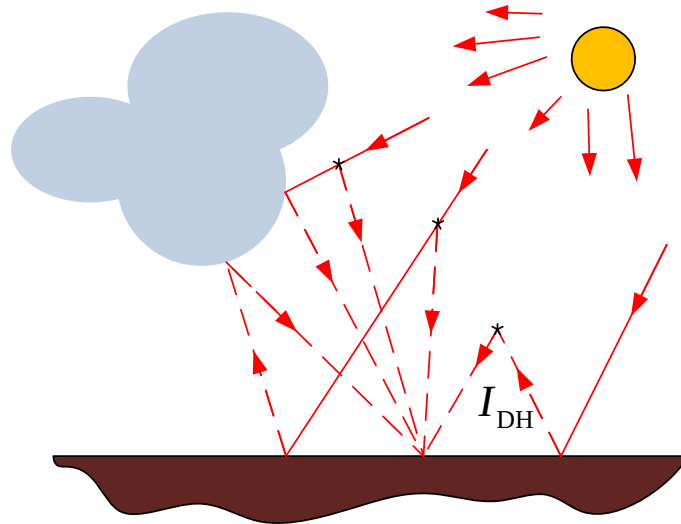
$$I_{BH} = I_B \cos(90^\circ - \beta) = I_B \sin \beta \quad (2-8)$$

gdje su:

- I_{BC} - insolacija zraka, usmjerena na lice modula,
- I_B - direktna radijacija zraka Sunca,
- I_{BH} - insolacija zraka na horizontalnu površinu.

Dolazi se do difuzne radijacije I_{DH} (raspršena atmosferskim česticama i vlagom, ili reflektirana od oblaka), koja je proporcionalna direktnoj radijaciji zraka Sunca, neovisno o poziciji Sunca na nebu:

$$I_{DH} = CI_B \quad (2-9)$$



Slika 3.9. Difuzna radijacija [13]

U ovom slučaju C je difuzni faktor, a konvencionalna aproksimacija se može iskazati pomoću jednadžbe [13]:

$$C = 0,095 + 0,04 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (2-10)$$

gdje je n broj odabranog dana u godini.

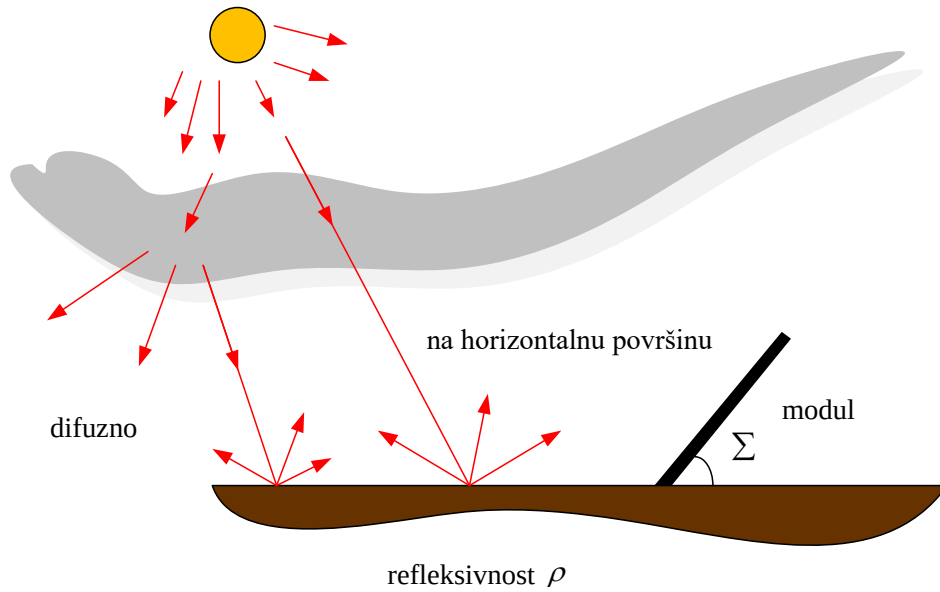
Kada je nagib modula Σ jednak nuli, to jest kada je panel položen na zemlju, može se reći da vidi cijelo nebo i prima punu horizontalnu difuznu radijaciju I_{DH} . Kada je površina vertikalna, on vidi pola neba i izložen je samo polovici horizontalne difuzne radijacije i tako dalje. Sljedeći izraz za difuznu radijaciju na modul, I_{DC} , se koristi kada je difuzna radijacija idealizirana na taj način [13]:

$$I_{DC} = I_{DH} \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) = CI_B \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) \quad (2-11)$$

Zadnja komponenta insolacije koju prima modul je rezultat radijacije koja se reflektira od površinu prednje strane modula. Ovakva refleksija može stvoriti značajan porast učinkovitosti, primjerice pri vedrom danu sa snijegom ili vodom ispred samog modula, ili može biti toliko skromna da se može i zanemariti. Pretpostavlja se gruba procjena vrijednosti refleksivnosti od 0,8 za svježi snijeg do otprilike 0,1 za bitumenski i šljunčani krov, sa tipičnom vrijednošću obične zemlje ili trave oko 0,2. Količina refleksije može biti modelirana

kao umnožak ukupne horizontalne radijacije (I_{BH} zajedno sa difuznom radijacijom I_{DH}) pomnožena za zemljanom reflektivnošću ρ . Dio te, od zemlje reflektirane energije, koja će pronaći put do modula, ovisi o nagibu modula Σ , rezultirajući sljedećim izrazom za reflektiranu radijaciju koja pogađa modul I_{RC} [13]:

$$I_{RC} = \rho(I_{BH} + I_{DH}) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \quad (2-12)$$



Slika 3.10. Pretpostavka jednakog inteziteta reflektirane radijacije od zemlje u svim smjerovima [13]

Za horizontalni modul ($\Sigma = 0$) jednađžba (2-12) točno predviđa da nema refleksirane radijacije na modul. Za vertikalni panel ona predviđa da modul “vidi” polovicu refleksirane radijacije, što je također pogodno za model. Supstituirajući pomoću izraza (2-7) i (2-8) u izrazu (2-12), dobiva se sljedeći izraz za reflektiranu radijaciju na modul [13]:

$$I_{RC} = \rho I_B (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \quad (2-13)$$

Kombinirajući jednađžbe za sve tri komponente, direktnu na lice kolektora, difuznu i reflektiranu, dobiva se ukupna radijacija koja pogađa modul pri vedrom danu [13]:

$$I_C = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC} \quad (2-14)$$

$$I_C = Ae^{-km} \left[\begin{array}{l} \cos \beta \cos(\phi_s - \phi_c) \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma + C \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) \\ + \rho (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \end{array} \right] \quad (2-15)$$

gdje su:

- A - vidljivo ekstraterestrijalno zračenje [W/m^2],
- k - dimenzionalni faktor (optička dubina),
- m - omjer masa zraka.

Ove veličine se mogu dobiti pomoću izraza [13]:

$$m = \frac{1}{\sin \beta} \quad (2-16)$$

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (2-17)$$

$$k = 0,174 + 0,035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (2-18)$$

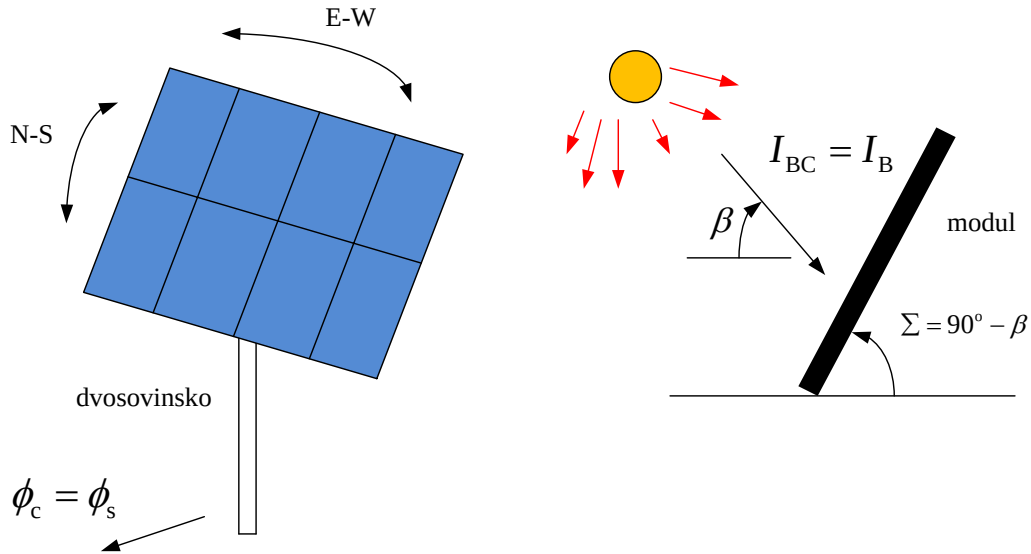
Iako finalni izraz (2-15) izgleda poprilično kaotično, to je konvencionalni sažetak, koji može biti koristan prilikom sastavljanja tablice, ili nekom računalnog izračuna pri insolaciji vedrog neba.

Do sada, pretpostavka je bila da je moduč trajno pričvršćen za površinu i da se ne kreće. U velikom broju okolnosti, mehanizmi koji dopuštaju modulu da prati kretanje Sunca su dosta isplativi s ekonomskog stajališta. U slučaju dvoosnog praćenja Sunca, koriste se sljedeći izrazi [13]:

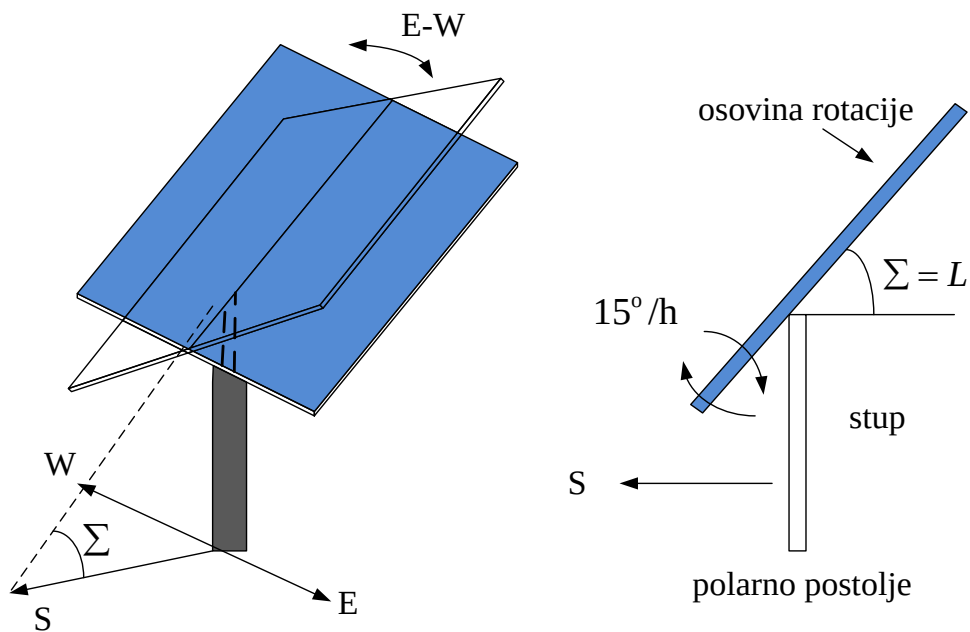
$$I_{BC} = I_B \quad (2-19)$$

$$I_{DC} = CI_B \left[\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (2-20)$$

$$I_{RC} = \rho (I_{BH} + I_{DH}) \left[\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (2-21)$$

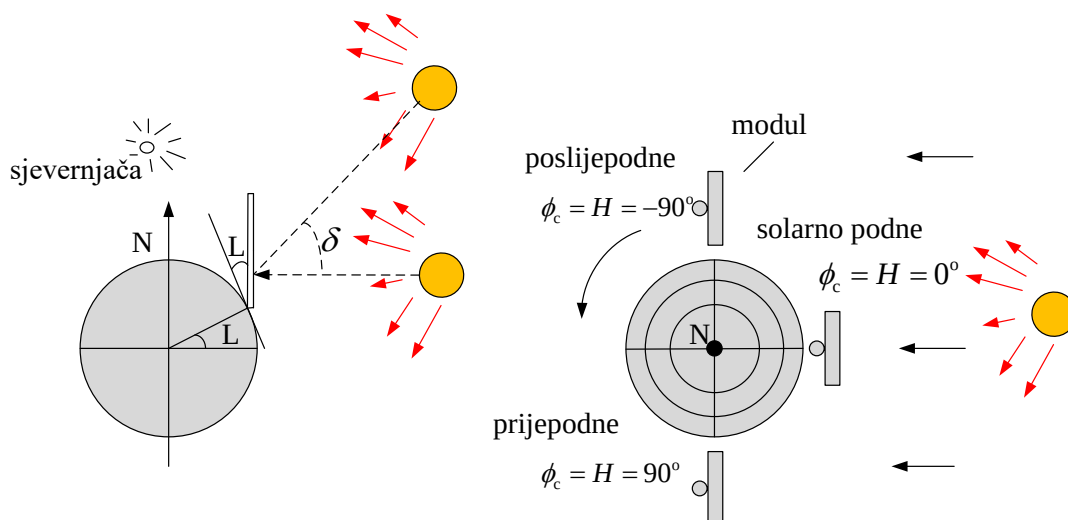


Slika 3.11. Odnos kuteva dvoosnog upravljanja



Slika 3.12. Odnos kuteva polarnog jednoosnog istok-zapad sistema za praćenje

Jednosnovinski sistemi pak su gotovo uvijek izvedeni pomoću postolja s mogućnošću ručno podešavanja nagibnog kuta duž sjever-jug osi, i mehanizma za praćenje koji rotira modul u smjeru istok-zapad, kao što je prikazano na slici 3.12..



Slika 3.13. (a) polarno praćenje jednoosnog sistema (utjecaj $15^\circ/\text{h}$) kutne rotacije (b) pogled prema Sjevernom polu

Kao što je prikazano na slici 3.13., ako postolje rotira oko svoje osi istom brzinom rotacije Zemlje, $15^\circ/\text{h}$, onda će centralna linija modula uvijek biti okrenuta direktno u Sunce. Pod tim uvjetima, kut između normalne na lice kolektora i dolazne solarne radijacije θ će biti jednak solarnoj deklinaciji δ . To čini insolaciju direktnih zraka na modul jednostavno $I_B \cos \delta$. Kako bi procijenili difuznu i reflektiranu radijaciju, potrebno je samo znati nagibni kut modula. Kao što se može vidjeti na slici 3.12., dok osovina rotacije ima fiksirani nagib od $\Sigma = L$, osim ako nije solarno podne, modul je podignut pod čudnim kutem u odnosu na horizontalnu os. Efektivni nagib, koji je zapravo kut između normalne na modul i horizontalne ravnine se može iskazati pomoću [13]:

$$\Sigma_{\text{ef}} = 90 - \beta + \delta \quad (2-22)$$

Cjelokupna insolacija za ovakav sistem se može računati pomoću [13]:

$$I_{\text{BC}} = I_B \cos \delta \quad (2-23)$$

$$I_{\text{DC}} = C I_B \left[\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (2-24)$$

$$I_{\text{RC}} = \rho (I_{\text{BH}} + I_{\text{DH}}) \left[\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (2-25)$$

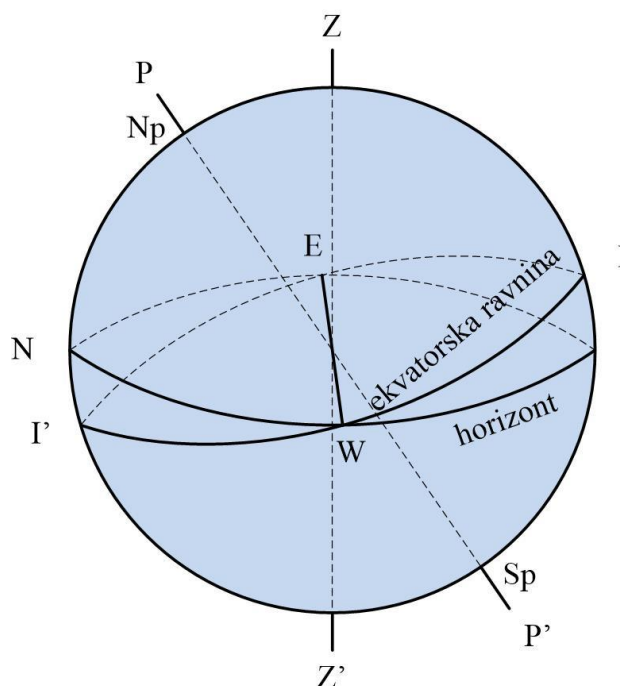
Ovime završava matematička interpretacija dolazne insolacije na dvije vrste sustava za praćenje Sunca.

4. SOLARNA GEOMETRIJA

Za detaljniju analizu i definiranje jednog fotonaponskog sustava, uz prethodno definirane osnove i principe djelovanja, važno je i poznavati solarnu geometriju i kretanje Zemlje. Budući da učinkovitost pretvorbe izravno ovisi o položaju fotonaponskih modula u odnosu na Sunce kao izvora energije, prvi korak je upoznavanje s rotacijom Zemlje oko Sunca, a potom sa kutevima solarne geometrije.

4.1. Rotacija Zemlje

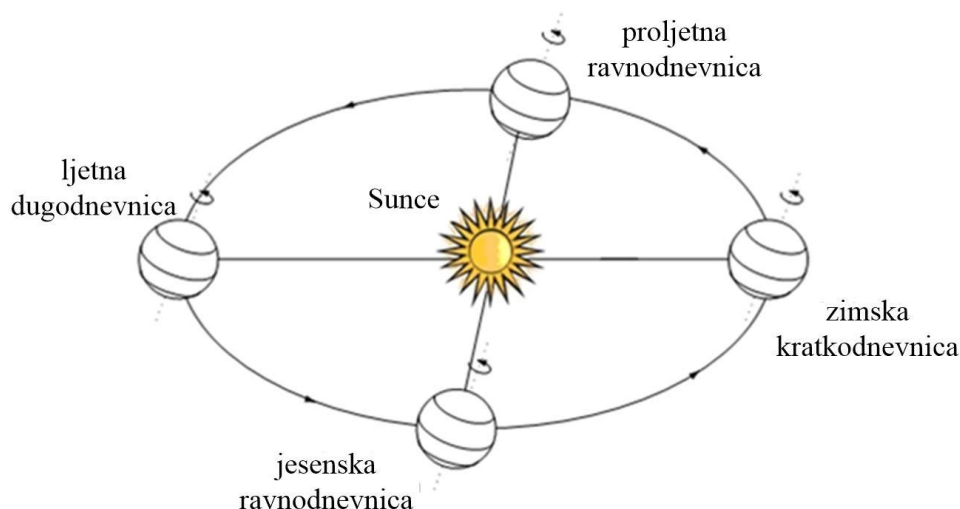
Zemlja rotira oko vlastite osi, koja se naziva Polarna os definirana na slici 4.1. [14] točkama PP' (sjecišta Polarne osi i sjevernog N_p i južnog S_p pola.)



Slika 4.1. Horizont i ekvatorska ravnina

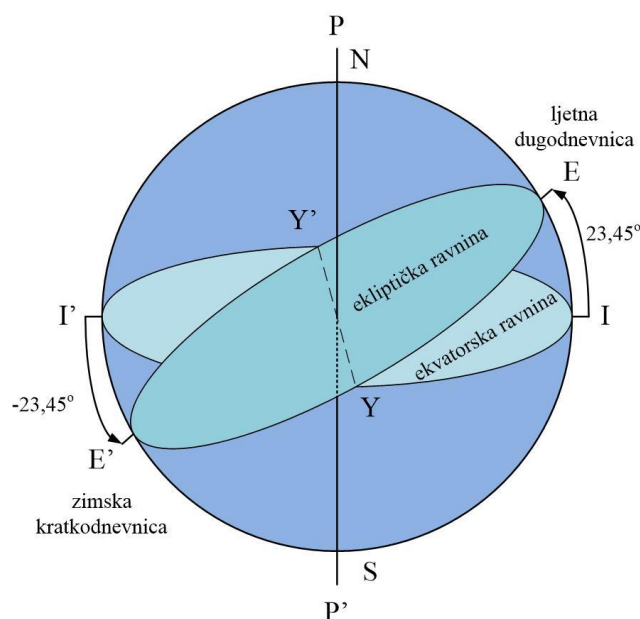
Gledajući na prikaz, velika kružnica koja je definirana točkama EIWT' okomita na polarnu os se naziva ekvatorom, dok ravnina koje je oblikovana tom kružnicom se naziva ekvatorskom ravninom i dijeli Zemlju na sjevernu i južnu polutku. Na sličan princip ravnina definirana točkama ESWN, okomita na os ZZ' se naziva horizontom.

Prema [14] pozicija Sunca na nebu varira u toku dana i u toku godine zbog rotacije Zemlje oko svoje osi (jednom na dan) i zbog eliptične putanje oko Sunca (jednom u godini).

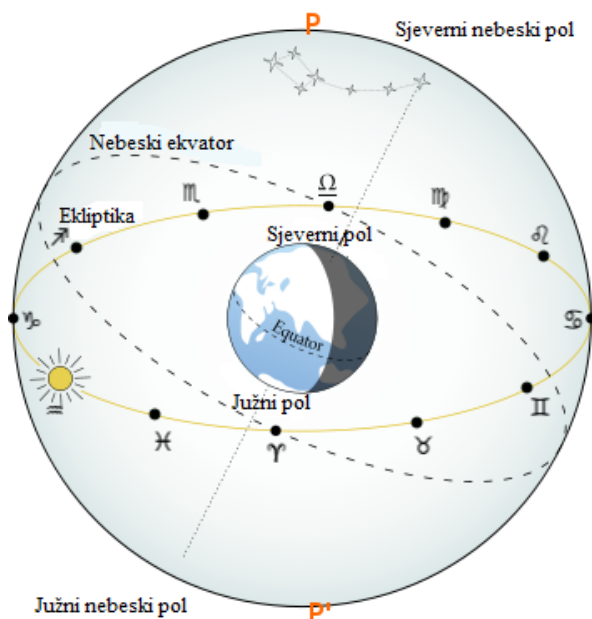


Slika 4.2. Prikaz rotacije Zemlje oko vlastite osi i njena eliptična putanja oko Sunca [14]

Ravnina sačinjena od Zemljine eliptične putanje se naziva ekliptika Sunca ili ekliptička ravnina. Godišnja doba se javljaju uvijek zbog činjenice da je Zemljina os, iako okomita na ekvatorsku ravninu, nagnuta u odnosu na ekliptičku ravninu. Navedeno se može prikazati sljedećim prikazima (Slika 4.3., Slika 4.4.). U skladu s tim, ekliptika se može smatrati prividnom putanjom sunčeva kretanja na nebeskoj sferi s gledišta Zemlje. Točke $\gamma\gamma'$ predstavljaju sjecišta ekliptičke ravnine i ekvatorske ravnine te se nazivaju ekvinociji (ravnodnevnice), pojave kada dan i noć traju po 12 sati. Najsjevernija putanja Sunca se naziva dugodnevica, kada je najduža moguća izloženost dnevnoj svjetlosti. U suprotnom, kratkodnevica predstavlja najkraću moguću izloženost dnevnoj, sunčevoj svjetlosti.



Slika 4.3. Ekvatorska ravnina i ekliptička ravnina



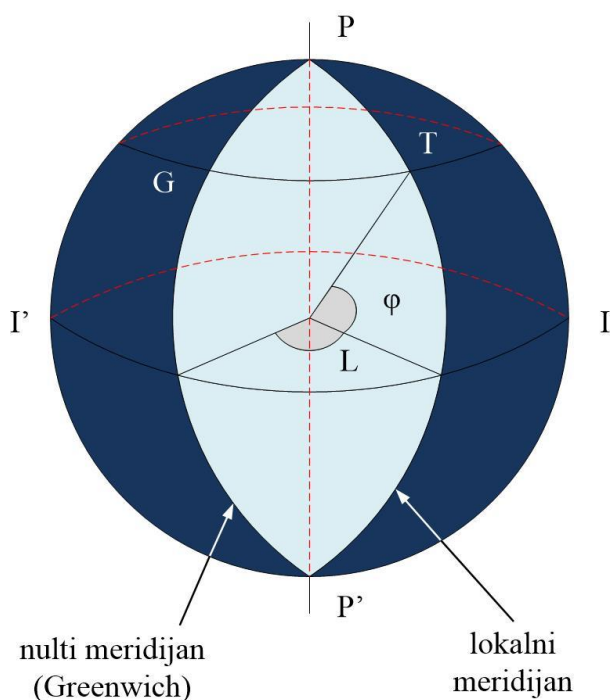
Slika 4.4. Nebeska sfera i ekliptika [15]

Upravo zbog razlike kuta osi rotacije Zemlje, koja nije okomita na ekliptiku, nego pod kutem od $23,45^\circ$ (Slika 4.3.), solarno zračenje koje može dospjeti do modula na različitim geografskim širinama i u različitim godišnjim dobima varira. Prema tome, solarno zračenje pogađa više (direktnije) sjevernu polutku Zemlje, blizu dugodnevnicе, zbog čega na toj polutci u to doba godine vlada ljeto. U isto vrijeme, solarno zračenje pogađa južnu polutku Zemlje znatno manje (pod kutom), zbog čega na toj polutci vlada zima [14].

Nadalje, svako mjesto na Zemlji može biti definirano preko dvije koordinate:

- geografske dužine L ,
- geografske širine φ .

Ako je referentna ravnina, ekvatorska ravnina, koja je okomita u odnosu na os rotacije, može se reći da krugovi koji presjecaju površinu Zemlje, a paralelni su ekvatorskoj ravnini, određuju geografsku širinu. Geografska širina se može predstaviti i kutem kojeg omeđuju ekvatorska ravnina, odnosno linija koja leži u njoj i povučena je iz centra Zemlje, i linija koja spaja centar Zemlje s točkom T na površini (sjecište bilo koje paralele ekvatora i lokalnog meridijana). Također, vrijedi po definiciji da je geografska širina pozitivna za lokacije na sjevernoj polutci, a negativna za one na južnoj [14].



Slika 4.5. Geografska širina φ i geografska džina za odabrano mjesto T [14]

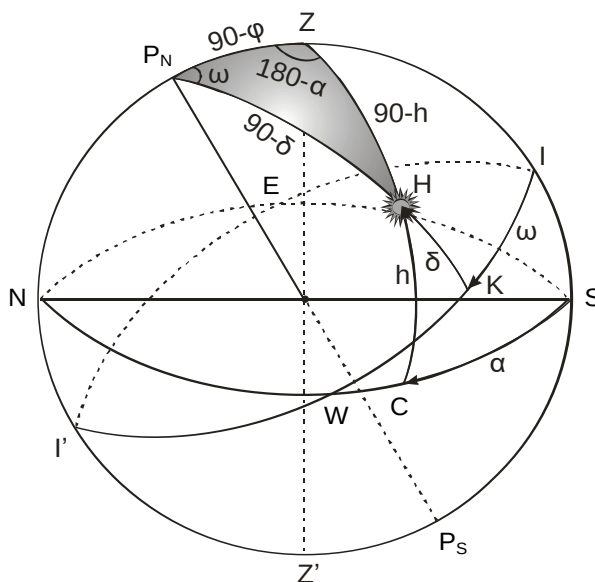
Za određivanje geografske dužine pak, potrebna je ravnina koja je okomita na ekvatorsku ravninu i koja sadrži os rotacije. Takva ravnina po svojim presjekom čini kružnice ili polukružnice koje spajaju sjeverni i južni pul, a zovu se meridijani. Nulti meridijan je onaj koji prolazi kroz Greenwich (Velika Britanija). Geografska dužina nekog mjesta je određena kutem kojeg omeđuju nulti meridijan i meridijan koji prolazi kroz odabrano mjesto. U ovom slučaju, pozitivne vrijednosti su one vrijednosti geografske dužine zapadno od Greenwich-a [14].

4.2. Osnovni kutovi solarne geometrije

Uzimajući pretpostavku da su zvijezde zajedno sa Suncem pričvršćeni na površini nebeske sfere, takva jedna zamišljena sfera je proizvoljnog polumjera i sa centrom koji je različito definiran u ovisnosti o koordinatnom sustavu. Uzimajući kao predloženi, horizontalni koordinatni sustav, centar takve nebeske sfere predstavlja poziciju promatrača, dok ekvatorski koordinatni sustav ima kao centar nebeske sfere centar same Zemlje. U skladu s tim, pozicija neke točke na takvoj nebeskoj sferi se može odrediti iz dva kuta u ovisnosti o odabranom koordinatnom sustavu.

Sa stajališta fotonaponskog sustava, bolje je promatrati nebesku sferu uz pomoć horizontalnog sustava jer u tom slučaju, referentna ravnina predstavlja horizont promatrača. Drugim riječima, ta ravan siječe nebesku sferu po horizontu. Presjek okomice na horizontalnu

ravninu i zamišljene nebeske sfere se naziva Zenit “Z“. Općenito, u ovakvom koordinantom sustavu se pozicija Sunca, na nebeskoj sferi, može definirati u bilo koje vrijeme za određeni dan preko dva kuta. Ti kutevi su solarni visinski kut h i solarni kut azimuta α (Slika 4.6.).

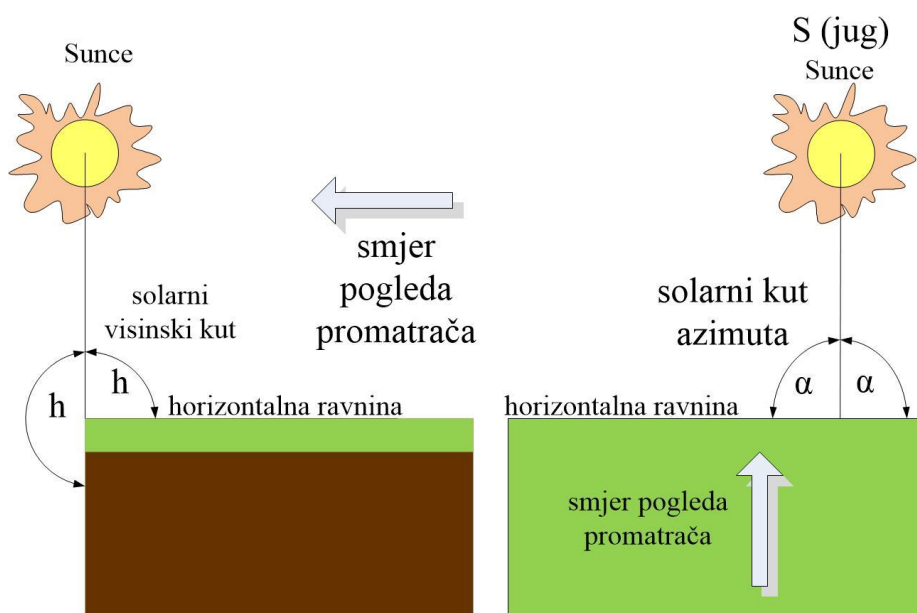


Slika 4.6. Nebeska sfera [14]

Visinski kut Sunca je onaj kojeg čine linija koja spaja centar Sunca i promatrača te projekcija te linije na horizontalnu ravninu. Kreće se u opsegu od -90° do $+90^\circ$ s pozitivnom vrijednošću kada je Sunce iznad horizonta, a negativnom kada je ono ispod njega. Udaljenost do Zenita se može definirati kao razlika 90° i visinskog kuta Sunca, čineći tako Zenitni kut ili ϑ_z [14]:

$$\vartheta_z = 90^\circ - h \quad (2-4)$$

Solarni kut azimuta pak, je onaj koji se gleda referentno u odnosu na jug. U okviru horizontalne ravnine, definiran je linijom koja kreće od juga do horizontalne projekcije sunčevih zraka. Istočno u odnosu na jug je uzet kao negativan, dok se na zapadnoj strani smatra pozitivnim. On se mjeri od juga za sjevernu polutku i od sjevera za južnu polutku. Solarni visinski kut i azimutni kut se mogu izračunati pomoću jednostavnih jednadžbi sferne trigonometrije. Kako bi se pojednostavilo shvaćanje prethodno spomenutih kuteva, napravljen je sljedeći prikaz (Slika 4.7.).



Slika 4.7. Solarni visinski kut i kut azimuta

U slučaju ekvatorskog koordinatnog sustava referentna ravnina je određena ekvatorom (točke EI'WI). Dva kuta za određivanje položaja Sunca na nebeskoj sferi u bilo koje vrijeme su kut deklinacije Sunca δ i satni kut ω .

Na prethodnom prikazu se može vidjeti da je kut deklinacije Sunca definiran linijom koja spaja centar Zemlje i centar Sunca i projekcije te linije na ekvatorsku ravninu Zemlje. Kreće su u opsegu $\pm 23^\circ 27'$. Maksimalnu pozitivnu vrijednost ima 21. lipnja kada je u tijeku ljetna dugodnevica na sjevernoj polutci, dok je na južnoj zimska kratkodnevica. Pri takvoj pojavi sve lokacije sjeverno od ekvatora imaju dan u trajanju više od 12 sati, dok na svim mjestima južno od ekvatora dan traje manje od 12 sati. Minimalna vrijednost deklinacije je $-23^\circ 27'$ i pojavljuje se 20. prosinca. U tom slučaju zimska kratkodnevica je na sjevernoj polutci, a ljetna dugodnevica na južnoj polutci, odnosno sjeverno od ekvatora dan traje manje od 12 sati, a južno duže od 12 sati. Deklinacija Sunca je u “ravnoteži” u vrijeme proljetne ravnodnevne 21. ožujka i za vrijeme jesenje ravnodnevne 22. rujna. Tokom ovakve pojave, sva mjesta, neovisno o njihovoj lokaciji imaju isto trajanje dana od 12 sati. Važno je napomenuti da se ugao deklinacije Sunca može smatrati konstantnim tokom dana jer mu je promjena manja od $0,5^\circ$ tokom dana, pa neće utjecati na većinu proračuna [14].

Kako bi se izračunala deklinacija Sunca, za bilo koji dan se može izračunati pomoću izraza [14]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (2-5)$$

gdje je sa n označen dan u godini. Ako je pak potrebna vrijednost deklinacije po mjesecima, možemo ih prikazati pomoću tablice preporučenih vrijednosti:

Tablica 4.1. Tablica preporučenih vrijednosti deklinacije Sunca po mjesecima [14]

Mjesec	Datum	Dan u godini	Solarna deklinacija	Mjesec	Datum	Dan u godini	Solarna deklinacija
Siječanj	17	17	-20,9°	Srpanj	17	198	21,2°
Veljača	16	47	-13,0°	Kolovoz	16	228	13,5°
Ožujak	16	75	-2,4°	Rujan	16	258	2,2°
Travanj	15	105	9,4°	Listopad	15	288	-9,6°
Svibanj	15	135	18,8°	Studenj	15	318	-18,9°
Lipanj	11	162	23,1°	Prosinac	11	344	-23,0°

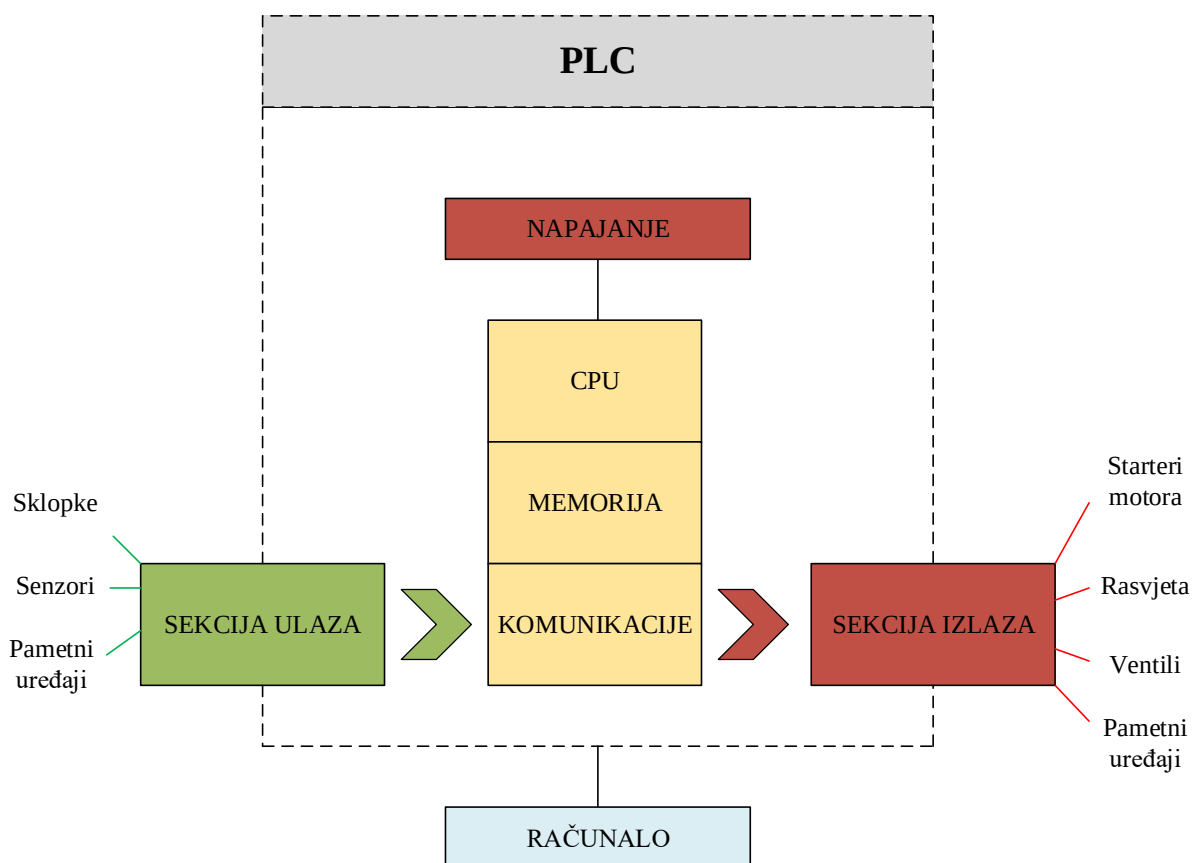
Solarni satni kut se može definirati kao kutna udaljenost između satnog kuta Sunca i lokalnog meridijana. Za nekog promatrača na Zemlji, Sunce se pojavljuje krećući se oko zemlje za 360° u toku 24 sata ili 15° po satu. Satni kut ima vrijednost nula u podne, kada je solarni visinski kut najveći u toku dana. Satni kut opada za 15° svaki sat prije podneva, a povećava se za 15° svaki sati nakon podneva. Na drugi način, solarni satni kut se računa pomoću jednostavnog izraza [14]:

$$\omega = 15 \cdot (t_l - 12) \quad (2-6)$$

gdje t_l predstavlja lokalno vrijeme.

5. PROGRAMABILNI LOGIČKI KONTROLER

Kako bi se objasnio konkretni zadatak programiranja PLC-a, potrebno je prvo objasniti samu osnovu i funkciju PLC-a. Prema [16], programabilni logički kontroleri (engl. *programmable logic controllers - PLC*) se definiraju kao minijatura industrijska računala koja sadrže određeni hardware i software za izvođenje kontrolnih funkcija. Konkretno, PLC se obično koristi za automatizaciju industrijskih elektromehaničkih procesa, kao što su kontrola mehanizacije proizvodnih linija, zabavne industrije, sigurnosnih sustava i mnogih drugih automatiziranih sustava. Predviđeni su za višebrojne kombinacije digitalnih i analognih ulaza i izlaza s povećanim temperaturnim opsezima, imunitetom na električni šum i otpornošću na vibracije i udarce. PLC se sastoji od dva glavna dijela: centralna upravljačka jedinica (engl. *central processing unit – CPU*) i sučelje ulaza i izlaza (engl. *input/output – I/O*). Pojednostavljen prikaz strukture se nalazi na slici 5.1.



Slika 5.1. Struktura PLC sustava

CPU kontrolira cijeli sustav primarno kroz procesorski i memorijski sustav. CPU se sastoji od mikroprocesora, memorijskog čipa i drugih integriranih krugova za kontroliranje logike, nadzora i komunikacije. CPU ima drugačije operativne modove. U programerskom

modu, CPU će prihvaćati promjene logike od računala. Kada je CPU postavljen u “run” mode, on izvršava program i samim time process navođen logikom na izlazu. Ulazni podaci od spojenih uređaja (sklopke, senzori itd.) se procesuiraju i onda CPU “izvršava” ili izvodi kontrolni program koji je skladišten u memoriji. Budući da je PLC “posvećeni kontroler” on će izvršavati program nakon završetka svaki put ponovno. Vrijeme potrebno da se izvrši jedan ciklus programa se zove vrijeme skeniranja i događa se jako brzo (u rangu jedne tisućinke sekunde, ovisno o programu). Memorija u centralnoj upravljačkoj jedinici skladišti program, zadržava vrijednosti ulaza i izlaza i naposljetku omogućava skladištenje različitih varijabli i vrijednosti [16].

Ulaz/izlaz sustav je fizički spojen sa stvarnim uređajima i ostvaruje poveznicu između CPU-a i njezinih davatelja informacija (inputa/ulaza) i kontroliranih uređaja (outputa/izlaza). Nakon što CPU obradi ulazne podatke (engl. *input scan*), ona će onda napraviti bilo kakve nužne promjene izlaza nakon izvršavanja programa (engl. *output scan*). Postoje četiri osnovna koraka operacije svih PLC uređaja [16]:

- Ulazno skeniranje (engl. *input scan*) – detektira stanje svih ulaznih uređaja koji su spojeni na PLC
- Programsko skeniranje (engl. *program scan*) – izvršava korisničku definiranu programsku logiku
- Izlazno skeniranje (engl. *output scan*) – napaja ili prekida napajanje svih uređaja na izlazu PLC-a
- Pospremanje (engl. *housekeeping*) – obuhvaća komuniciranje s programerskim uređajima i izvršava internu dijagnostiku

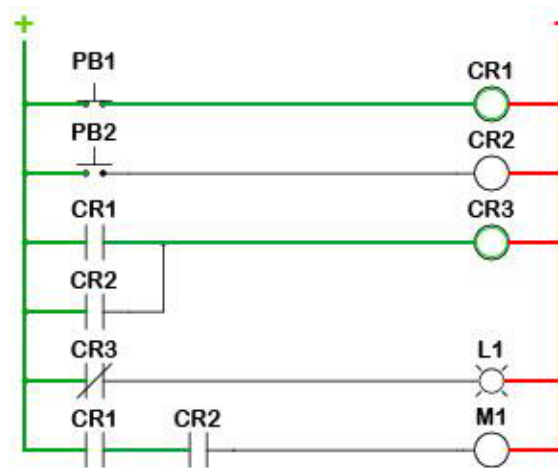
Tipični PLC imaju širok spektar ulaz/izlaz modula dostupnih za zadovoljavanje svih vrsta senzora i izlaznih uređaja. Na primjer, diskretni ulazni moduli se mogu koristiti za opažanje prisutnosti objekata ili događaja, pomoću uređaja kao što su senzori udaljenosti, ili fotoelektrični senzori, krajnje sklopke i tipkala. Takvi moduli mogu kontrolirati uključenje i isključenje opterećenja kao što su motori, rasvjeta, ventili. Analogni ulazni moduli mogu prihvatiti signale iz instrumentacije koja mjeri protok, tlak, temperaturu ili pak druge slične veličine. Ovakvi moduli mogu interpretirati signal i prezentirati vrijednost unutar opsega koji je definiran električnim specifikacijama uređaja. Analogni izlazi mogu upravljati opterećenjima, koja zahtijevaju različite upravljačke signale, kao što su varijabilni frekvencijski pogoni, različiti mjerači, ili analogni ventili protoka. Mnogi PLC-i također nude

specijaliziranje module kao što su visokobrzinski ulaz/izlaz, ili kontrola pokreta i serijska ili Ethernet komunikacija.

Najveća prednost automatiziranja s PLC-om je sposobnost ponavljanja, mijenjanja ili repliciranja operacije navođene programom, pritom prikupljajući bitne informacije. Upravo zbog različitih potreba kupaca ili naručitelja kao što su cijena, brzina, snaga i mogućnost komunikacije, PLC dobiva prednost u navedenom području zbog masivno velikog izbora PLC-ova za zadani posao.

5.1. Programiranje PLC-a

PLC mijenja klasični relejni sustav i ima fleksibilnost u svojem radu nalik računalu uz logiku sličnu relejnoj. Izgled programske strukture PLC-a u početku je zahtijevao lako razumijevanje i korištenje električara za održavanje i inženjera. Kako su se sustavi bazirani na relejima razvijali i postajali sve kompliciraniji, tako se i korištenje dijagrama ožičenja fizičkih komponenti razvilo u takozvani ljestveni oblik (Slika 5.2.). Upravo na takvoj strukturi se temelji i programiranje PLC-a.

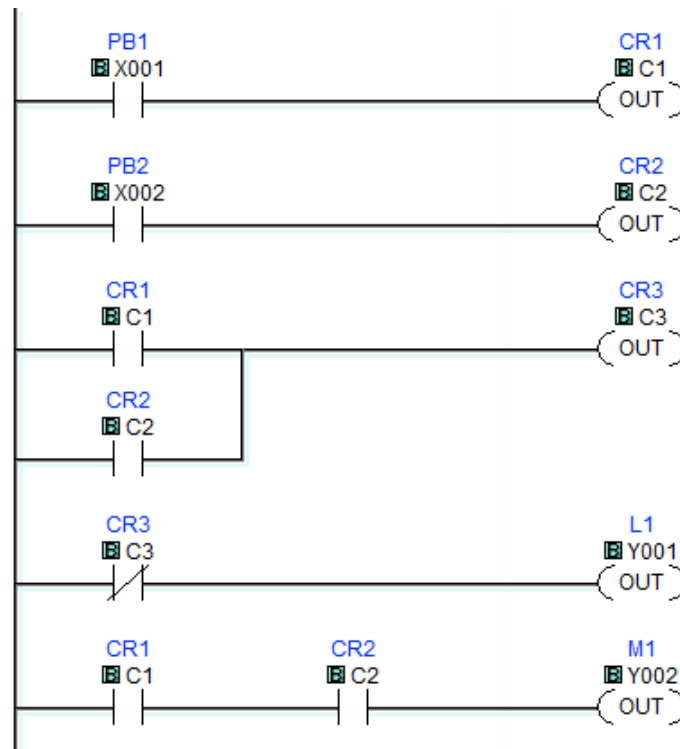


Slika 5.2. Relejna ljestvena struktura [16]

Nazivaju se “ljestveni dijagrami” jer njihova struktura podsjeća na ljestve s dvije vertikalne šine koje su spojene horizontalnim prečkama. Pozitivna šina (s lijeve strane) ima tok prema negativnoj (na desnoj strani) putem fizičkih uređaja koji su spojeni u prečki. U ovom primjeru, “PB” predstavlja tipkalo (engl. *pushbutton*) i “CR” predstavlja kontrolni relej (engl. *control relay*), dok je “L1” svjetlo (engl. *light*).

Logika PLC-a je osmišljena da ima isti izgled kao i ljestvena struktura releja, gdje su fizički kontakti i zavojnice zamijenjene memorijskim bitovima. (Slika 5.3.). Za program na slici, uzeta je relejna ljestvena struktura i duplicirana sa ljestvenom logikom. U ovom slučaju nema više logike spajanja, već samo memorijske lokacije. Neke od tih memorijskih lokacija se koriste interno a neke s vanjskim ulazima i izlazima. Kako bi se nadzirali i kontrolirali stvarni uređaji, moraju biti spojeni sa I/O modulima. Za ovaj PLC, inputi i outputi su dodijeljeni X i Y memorijskim adresama kao što je X001 u slučaju tipkala PB1. Stanje ovog normalno otvorenog kontakta (engl. *normal open* – NO), je očitano iz ulaza I/O modula gdje je tipkalo fizički spojeno. S druge strane, svaki Y bit će imati izlazni uređaj spojen kao što se

može vidjeti kod svjetla kontroliranog od strane Y001. Sve ostale lokacije su dodijeljene internim bitovima koji se mogu koristiti po potrebi.



Slika 5.3. Ljestvena logika PLC-a [16]

CPU će interpretirati logiku po redu, počevši od gornjeg lijevog dijela programa prema dolje u smjeru šine, obavljajući naredbe iz svake prečke s lijeva na desno. U tom slučaju, ako je pritisnuto tipkalo PB1, CPU će uključiti relej CR1. Budući da je CR1 promijenio stanja, u trećoj prečki CPU će aktivirati relej CR3. Normalno zatvoreno stanje (engl. *normal closed* – NC) releja CR3 se koristi u četvrtoj prečki, pa će CPU ugaziti svjetlo L1. Iako se i dalje referira na zavojnice i kontakte u ljestvenoj logici, važno je zapamtiti da su to memorijske interpretacije, a ne stvarni uređaji. Kada CPU dosegne zadnju prečku, napraviti će petlju nazad do početka programa i pokrenuti ga ponovno. Ovaj proces će se nastaviti dok god je CPU napajan i u RUN modu. Vrijeme koje je potrebno za CPU da vrati petlju na početak se naziva vrijeme skeniranja, koje je jako bitno za aplikacije gdje je vrijeme od kritične važnosti. Podrutine i posebni I/O moduli mogu biti korišteni za smanjenje tog vremena ako je potrebno. Osim osnovnih normalno otvorenih kontakata i normalno zatvorenih, može se koristiti Booleova logika s primjerice I, ILI i NE operatorima (engl. *AND*, *OR*, *NOT*), različiti tajmeri, brojači, usporedbe, matematičke funkcije i mnoge druge specijalne funkcije, sve u suradnji sa stvarnim fizičkim uređajima [16].

6. FIZIČKO SPAJANJE I IZRADA PLC PROGRAMA

Kako bi se ostvario pravilan pristup osmišljavanju i pisanju programa za PLC, potrebno je prvo smisliti što se želi kao rezultat PLC programa, to jest što želimo da sustav radi. Prije toga je važno spomenuti da je ovo simulacijski slučaj i postoje određena odstupanja u odnosu na stvarnu situaciju. Ta odstupanja uključuju korištenje brojača impulsa umjesto high speed brojača impulsa, korištenje improviziranih kip prekidača za davanje impulsa umjesto oba digitalna enkodera i parametri instrukcija unutar programa koji su prilagođeni za demonstraciju. U ovom slučaju, potrebno je osmisliti program koji će upravljati PLC-om, tako da će pomoću encodera, ovisno o odabranom prijenosu, rotirati fotonaponski panel po horizontalnoj i vertikalnoj osi. Pomoću aproksimacije podataka o vremenima izlazaka i zalazaka Sunca u regiji [17], informaciji da se panel rotira za 15° po satu i podatku optimalnog mjesečnog kuta iz [2] po mjesecu, za Slavonski Brod, omogućeno je osmišljavanje programa.

Tablica 6.1. Potrebne informacije za osmišljavanje principa rada

Mjesec	Vrijeme izlaska (h)	Vrijeme zalaska (h)	Mjesečni optimalni kut
Siječanj	7:30:00	17:00:00	58°
Veljača	12:00:00	17:00:00	50°
Ožujak	6:30:00	18:00:00	39°
Travanj	5:30:00	19:00:00	22°
Svibanj	4:30:00	20:00:00	8°
Lipanj	4:00:00	21:00:00	1°
Srpanj	4:00:00	21:00:00	4°
Kolovoz	4:30:00	20:00:00	17°
Rujan	5:30:00	19:00:00	36°
Listopad	6:00:00	17:00:00	49°
Studen	6:30:00	17:00:00	57°
Prosinac	7:00:00	16:00:00	57°

Princip rada se svodi u tome da je panel u početnoj poziciji $37,5^\circ$ stupnjeva prema sjeveroistoku u odnosu na horizontalnu os. Iz tablice se može primijetiti da dan može maksimalno trajati 17 h i stoga je bitno osigurati mogućnost da se ostvari ukupna dnevna rotacija od 255° . U 4 sata početkom dana, neovisno o mjesecu, budući da je to najranije vrijeme izlaska Sunca, panel počinje sa svojim horizontalnim kretanjem. Prolazi jedan sat i nakon toga obavlja zakret u smjeru zapada za 15° pomoću digitalnog encodera. Digitalni

enkoder je zapravo pretvornik pomaka, tako da dobivene impulse, pretvara u stvarni pomak osovine motora. Budući da fizički nije bilo moguće opremiti se pretvornikom pomaka, koji može raditi pri zadanom operativnom naponu, odabran je pretvornik čiji su podaci priloženi u *Data sheetu* na kraju rada. Njegova je rezolucija takva da je 1000 impulsa jednako jednom okretu potencijometra na samom pretvorniku. Budući da je planirani zakret 15° , ukupni broj impulsa koji bi odgovarao tom zakretu je 990 (malo manje od cijelog obrtaja), zbog cjelovitog broja od 66 impulsa po jednom stupnju zakreta. Takav uređaj je u programu predstavljen kao brojač impulsa (engl. *Counter*), koji je dodatno prilagođen za potrebe simulacije. U stvarnom slučaju, potrebno je koristiti brze brojače impulsa (engl. *High Speed Counter*) kao funkcije, zbog nemogućnosti PLC-a da izbroji toliki broj ulaza zbog manje frekvencije čitanja. Brzina zakreta je ovisna o odabiru prijenosa i samih motora za zakretanje potrebne osovine, o čemu neće biti riječ jer je fokus na izradi PLC programa. Kada je obavljen zakret od 15° , panel ponovno pauzira kretanju jedan sat i nakon toga ponovno radi zakret od 15° . Takva radnja se ponavlja sve do vremena zalaska Sunca koje ovisi o detektiranom mjesecu u godini. U 3 sata ujutro panel kreće s procesom inicijalizacije, to jest kretanjem prema istoku do početnog položaja prema istoku, gdje onda u 4 ujutro ponovno kreće s izvođenjem dnevnog kretanja prema zapadu. Horizontalna kretanja se svodi na detektiranje trenutnog mjeseca i potrebnog optimalnog nagiba panela. Također, detektira se i potrebni nagib za prethodni mjesec te se ti podaci uspoređuju. Dobivanjem razlike između ta dva nagiba, pomoću programa se dobiva apsolutni iznos te razlike, koja se onda koristi za kretanje panela gore ili dolje po potrebi svaki mjesec. Ako dođe do pojave prejakog vjetra kojeg anemometar detektira ovisno o postavkama, panel se vraća u horizontalan položaj kako ne bi došlo do utjecaja na kretanje panela ili pak oštećenja. Kada vjetar oslabi, panel se vraća u potreban položaj. Takva “petlja” se onda ponavlja iz mjeseca u mjesec.

Nakon osmišljenog principa rada, u EPLAN-u su samostalno nacrtane kompletne trofazne spojne sheme, što se može i vidjeti u posebnoj prilogu na kraju rada. Prethodno spomenuto uključuje sheme ožičenja dva motora za rotaciju svake osi, kao i njegovih kočnica i zaštite sustava, 24-voltno napajanje, sheme upravljanja, napajanje CPU jedinice, PLC ulazi s kojih se informacije prenose na CPU (enkoderi, induktivni krajnji prekidači, anemometar) i u konačnici izlazi koji aktiviraju vožnje u pojedinom smjeru.

Konačni cilj rada je osmišljavanje i stvaranje programa za PLC, koji će po principima objašnjenim u prethodnom poglavlju ostvariti upravljanje dvoosnim fotonaponskim sustavom

za praćenje sunca. U tu svrhu koristio se licencirani program “TIA portal V13“ uz pomoć sljedećeg hardware-a:

- CPU [Siemens S7 1200 CPU (Slika 6.1.)],
- HMI [engl. *Human Machine Interface* – KTP600 monochrome (Slika 6.2.)],
- Ispravljač - Napajanje [Phoenix Contact (Slika 6.3.)] s ulazom 100-240 V AC i izlazom 24 V DC,
- Improvizirani kip prekidači (Slika 6.4.).



Slika 6.1. Siemens S7 1200 CPU



Slika 6.2. HMI KTP600



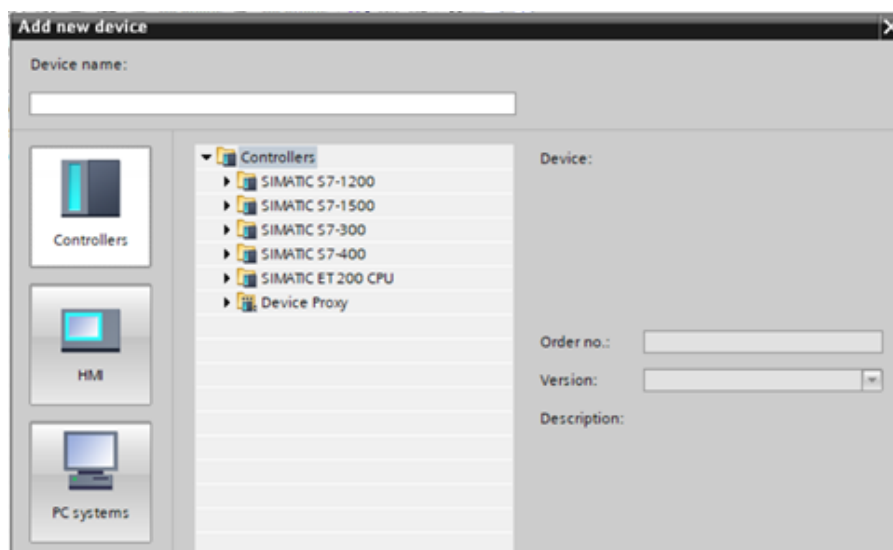
Slika 6.3. Ispravljač (napajanje)



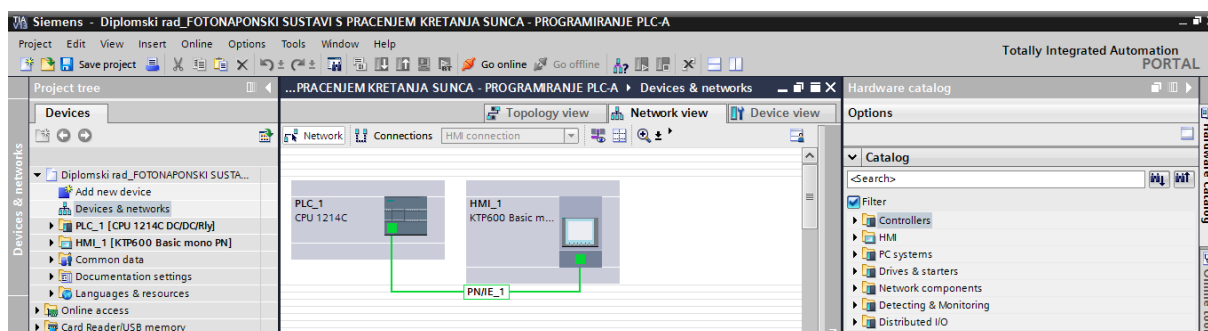
Slika 6.4. Improvizirani kip prekidači

Kada su svi ovi uređaji povezani prema prijespomenutim električnim shemama, potrebno je ostvariti konekciju između CPU-a, HMI-a, i računala preko kojeg se onda kreira program u "TIA portal V13". To se obavlja putem PROFINET (engl. *Process Field Network*) komunikacijskog standarda, povezujući HMI, CPU i računalo pomoću ethernet kablova s routerom. Kada su fizički spojeni, potrebno je u TIA portal programu dodati uređaje koje koristimo prema odgovarajućem predloženom modelu i ostalim odgovarajućim podacima, kao što je prikazano na slici 6.5.. Nakon toga je potrebno u programskom sučelju spojiti prethodno definirani CPU i HMI (Slika 6.6.) i konfigurirati IP adrese od svakog uređaja, kako bi bili u

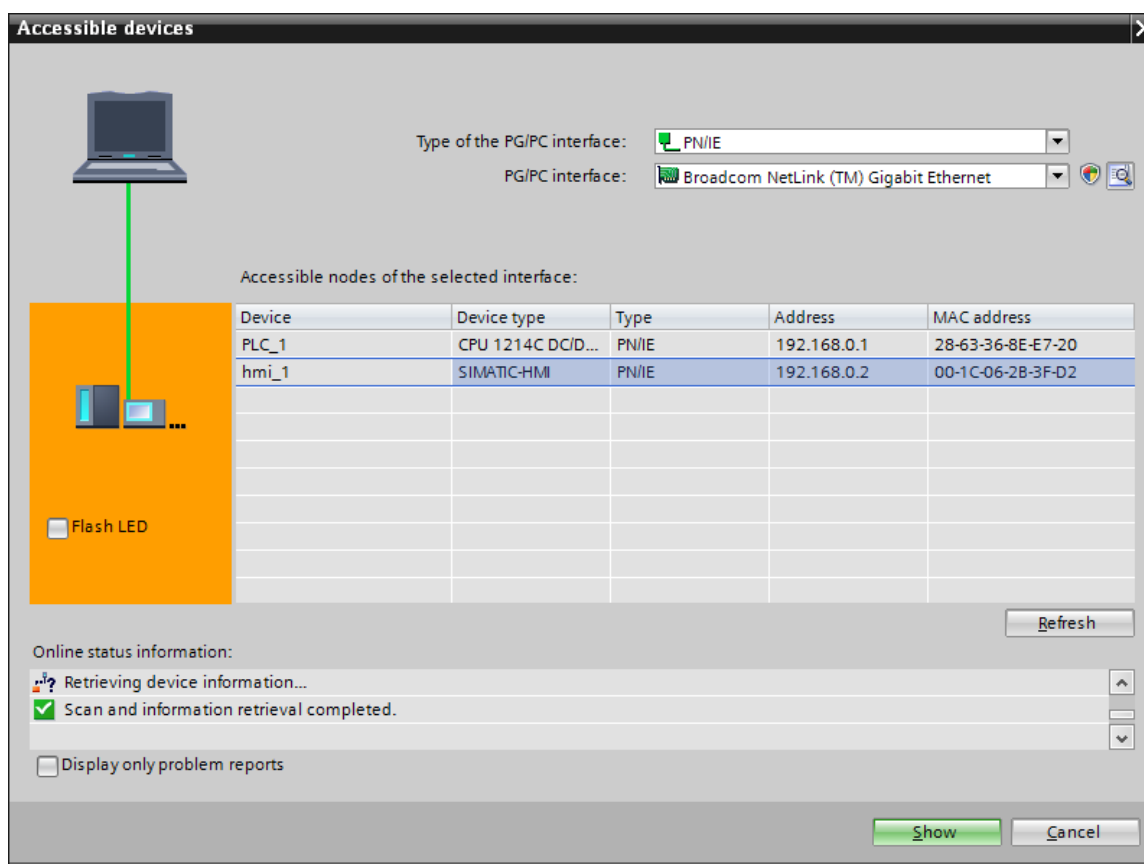
istoj domeni i tako ostvarili komunikaciju. Kada je to učinjeno, sve je spremno za stvaranje programskih blokova i mreža, to jest, za samo stvaranje programa (Slika 6.7.).



Slika 6.5. Dodavanje potrebnih uređaja u programu TIA portal V13

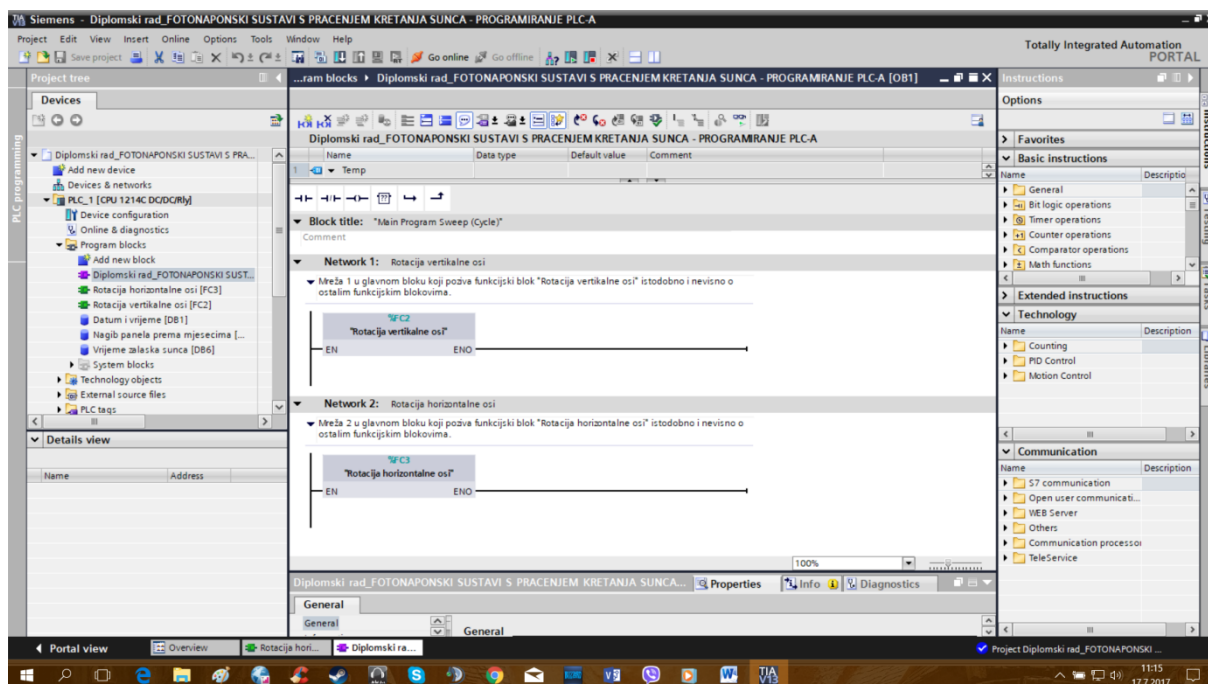


Slika 6.6. Stvaranje virtualne povezanosti između CPU-a i HMI-a



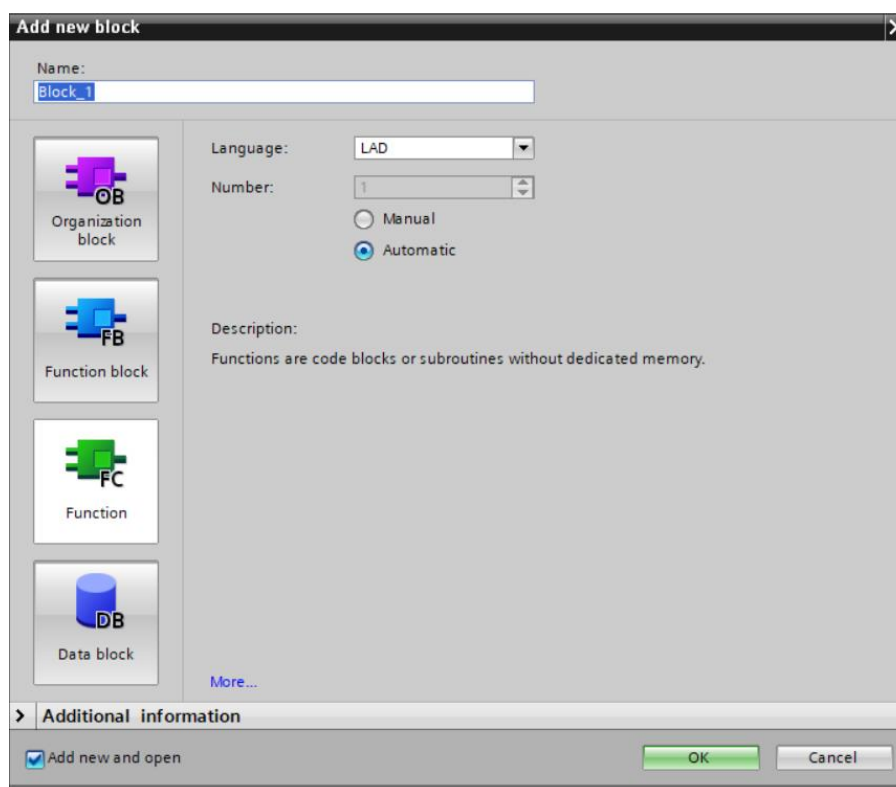
Slika 6.7. Ostvareni uvjeti za spajanje svih uređaja i njihovu komunikaciju

Pisanje programa započinje stvaranjem programskih blokova unutar kojih će se vršiti određene takozvane instrukcije ili subrutine. Pomoću opcije *Add new block*, dobiva se izbor koju vrstu korisnik želi stvoriti. Kao što je prije spomenuto u prethodnom poglavlju, logika PLC-a je osmišljena da ima isti izgled kao i ljestvena struktura releja, ali se gotovo svaka fizička pojava u osmišljenoj logici može predstaviti i kao memorijska varijabla u obliku memorijskih bitova, koja se potom može pozivati po potrebi. Slika 6.8. prikazuje sučelje programa TIA portal V13, gdje su s lijeve strane prikazani svi stvoreni uređaji i blokovi, u sredini ljestvena logika pojedine mreže i s desne instrukcije koje je moguće koristiti.



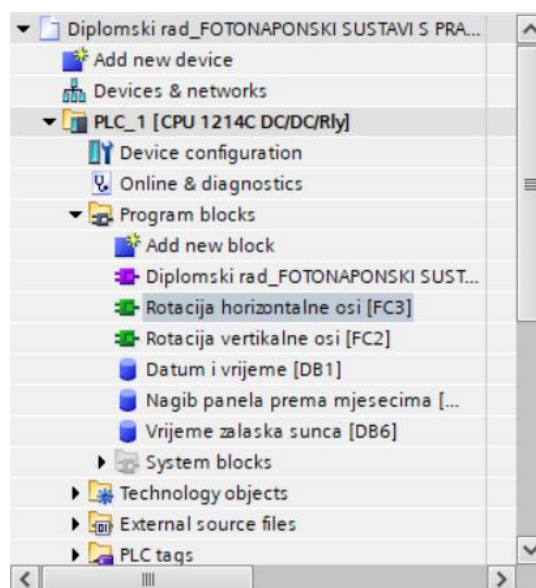
Slika 6.8. Sučelje programa TIA portal V13

Prema slici 6.9. može se vidjeti da postoje 4 glavne vrste programskih blokova. Prvi u redu je *Organization block* (OB) ili češće zvani *Main block* koji poziva ostale blokove (najčešće funkcijske, ovisno o njihovim postavkama), ili pak izvršava posebne subrutine. On je najčešće *Program cycle*, ili glavni dio programa koji se izvodi ciklički. Sljedeći je *Function block* (FB) koji skladište svoje vrijednosti u memorijske blokove, tako da vrijednosti ostanu dostupne i nakon izvršenja instrukcija bloka. *Function* (FC) su kodni blokovi ili subrutine bez posvećene memorije i oni se najčešće koriste za osmišljene radnje. Naposljetku, *Data block* (DB) ima za funkciju samo skladištiti određene podatke koji se onda mogu koristiti za subrutine u blokovima. Za potrebe objašnjenja, proći će se samo kroz glavni blok i funkcijski blok horizontalne osi, dok je ostatak programa objašnjen unutar priloga putem komentara za svaku subrutinu i varijablu.



Slika 6.9. Kreiranje programskih blokova

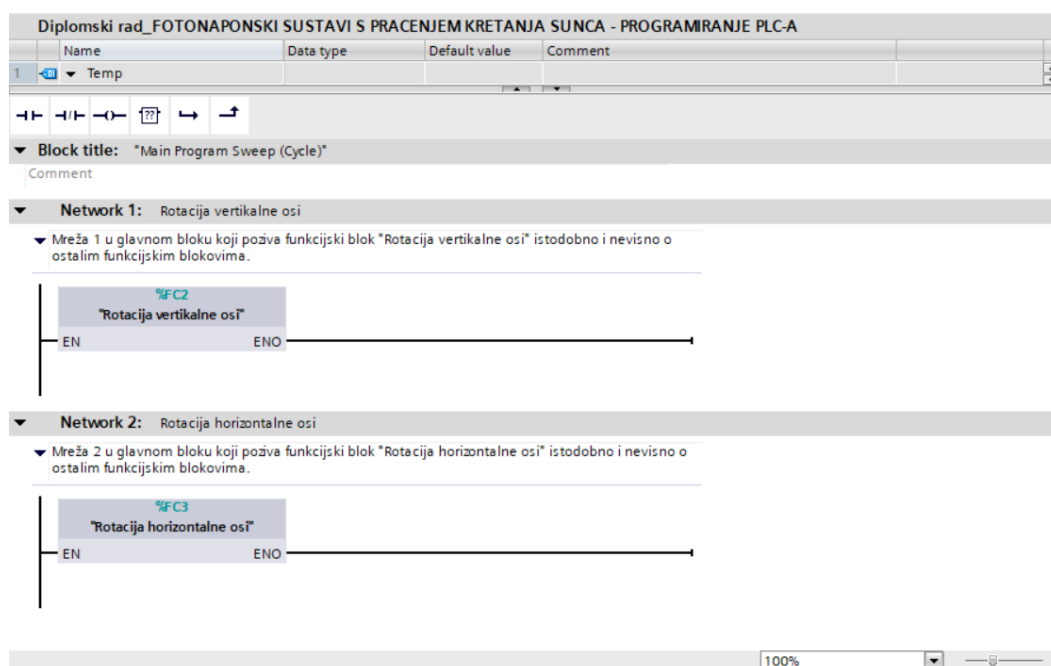
U ovom primjeru se može vidjeti na slici (Slika 6.10.) da se program sastoji od nekoliko blokova. Jednog glavnog bloka, koji izvodi dva funkcijska za rotaciju pojedine osi i nekoliko *Data blockova*.



Slika 6.10. Svi korišteni programski blokovi

Jedan u kojem su smješteni svi podaci vezanu uz lokalno i sistemsko vrijeme, jedan s informacijama o mjesečnom optimalnom kutu po mjesecu i jedan s vremenima zalaska Sunca po mjesecu, pomoću kojih će PLC sustav iščitavati te podatke i koristiti ih za svoj rad.

Počevši s *Main blockom*, na slici 6.11. se može vidjeti da u mreži 1 (Network 1), glavni blok programa poziva funkcijski blok vezan za rotaciju horizontalne osi, dok u mreži 2 poziva funkcijski blok vezan za rotaciju vertikalne osi. Ti funkcijski blokovi su postavljeni svaki u svoju mrežu, jer kada bi bili jedan iza drugog u jednoj mreži, drugi funkcijski blok bi bio izvršen tek nakon izvršenja prvog. Kada signal dobije prolaz, on je prikazan zelenom bojom prilikom rada.



Slika 6.11 *Main block* programa

Kako bi se prešlo na objašnjenje funkcijskih blokova, potrebno je znati što točno pojedina korištena instrukcija radi u mnoštvu svih ostalih instrukcija, za lakše razumijevanje logike programa (Tablica 6.2.). Postoje bit logičke instrukcije, tajmerske instrukcije, instrukcije brojača impulsa, matematičke, instrukcije pretvaranja varijabli u drugi oblik, konverzije vrijednosti, logičke operacije i bezbroj drugih. Svaka od njih koristi varijable ili takozvane Tag-ove, koje je potrebno posebno kreirati u odgovarajućem obliku (*Int*, *Dint*, *Word*, *Bool*, *Byte*, *Char*, *Array*, *Time*, *Date* itd.). One se kasnije mogu koristiti i povezivanjem na HMI-u kako bi prikazale neku informaciju na ekranu ili pak povećali interakciju korisnika preko ekrana. Popis takvih korištenih varijabli se može vidjeti na slici 6.12.

Diplomski rad_FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRACENJEM KRETANJA SUNCA - PROGRAMIRANJE PLC-A ▶ PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] ▶ PLC tags

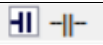
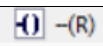
Tags User constants System constants

PLC tags

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...	Comment
1	KP4 gore	Default tag table	Bool	%I0.4		☒	☒	Fizička interpretacija krajnjeg prekidača gore na kraju y-osi
2	KP3 dolje	Default tag table	Bool	%I0.3		☒	☒	Fizička interpretacija krajnjeg prekidača dolje na kraju y-osi
3	R1 desno	Default tag table	Bool	%Q0.0		☒	☒	Fizički izlaz koji aktivira encoder i samim time ovisno o prijenosu, m...
4	R2 lijevo	Default tag table	Bool	%Q0.1		☒	☒	Fizički izlaz koji aktivira encoder i samim time ovisno o prijenosu, m...
5	R3 gore	Default tag table	Bool	%Q0.2		☒	☒	Fizički izlaz koji aktivira encoder i samim time ovisno o prijenosu, m...
6	R4 dolje	Default tag table	Bool	%Q0.3		☒	☒	Fizički izlaz koji aktivira encoder i samim time ovisno o prijenosu, m...
7	Sistemska vrijeme_READ	Default tag table	Word	%MW1		☒	☒	Memorijska varijabla koja očitava sistemska vrijeme
8	Lokalno vrijeme_READ	Default tag table	Word	%MW2		☒	☒	Memorijska varijabla koja očitava lokalno vrijeme
9	Sistem vrijeme_WRITE	Default tag table	Word	%MW3		☒	☒	Memorijska varijabla koja ispisuje sistemska vrijeme
10	Impuls	Default tag table	Bool	%I0.0		☒	☒	Fizička interpretacija KIP prekidača, koji simulira impulse koje daje .
11	Reset timera	Default tag table	Bool	%M100.0		☒	☒	Memorijska varijabla za reset timera koji odbrojava sat vremena za v
12	Nulta pozicija horizontalno	Default tag table	Bool	%M0.1		☒	☒	Memorijska varijabla koja označava nultu poziciju za horizontalnu os
13	Inicijalizacija	Default tag table	Bool	%M0.2		☒	☒	Memorijska varijabla koja označava početak inicijalizacije (vožnja do
14	Kraj vožnje horizontalno	Default tag table	Bool	%M0.3		☒	☒	Memorijska varijabla koja označava kraj horizontalne vožnje nakon o
15	KP1 lijevo	Default tag table	Bool	%I0.1		☒	☒	Fizička interpretacija krajnjeg prekidača gore na početku x-osi
16	KP2 desno	Default tag table	Bool	%I0.2		☒	☒	Fizička interpretacija krajnjeg prekidača gore na kraju x-osi
17	R1M	Default tag table	Bool	%M0.4		☒	☒	Memorijska varijabla koja prenosi vrijednost za ostvarenje uvjeta za f
18	R3M	Default tag table	Bool	%M0.5		☒	☒	Memorijska varijabla koja prenosi vrijednost za ostvarenje uvjeta za f
19	Zalazak Sunca	Default tag table	Dint	%MD250		☒	☒	Promjenjiva varijabla koja označava vrijeme zalaska Sunca po mjesec
20	Index	Default tag table	Dint	%MD254		☒	☒	Pomoćna konvertirana varijabla u pravilan oblik za Field Read instruk
21	PomoćnaHorizontalna	Default tag table	Dint	%MD258		☒	☒	Pomoćna konvertirana varijabla u pravilan oblik za Field Read instruk
22	PomoćnaVertikalna	Default tag table	Dint	%MD150		☒	☒	Pomoćna konvertirana varijabla u pravilan oblik za Field Read instruk
23	Iznos vertikalnog kuta	Default tag table	Dint	%MD154		☒	☒	Pomoćna konvertirana varijabla u pravilan oblik za Field Read instruk
24	Vertikalni kut	Default tag table	Dint	%MD158		☒	☒	Promjenjiva varijabla koja označava potrebni vertikalni kut za trenut.
25	Prethodni iznos vertikalnog kuta	Default tag table	Dint	%MD162		☒	☒	Pomoćna konvertirana varijabla u pravilan oblik za Field Read instruk
26	Prethodni vertikalni kut	Default tag table	Dint	%MD166		☒	☒	Promjenjiva varijabla koja označava potrebni vertikalni kut za pretho.

Slika 6.12. Popis korištenih varijabli

Tablica 6.2. Korištene instrukcije

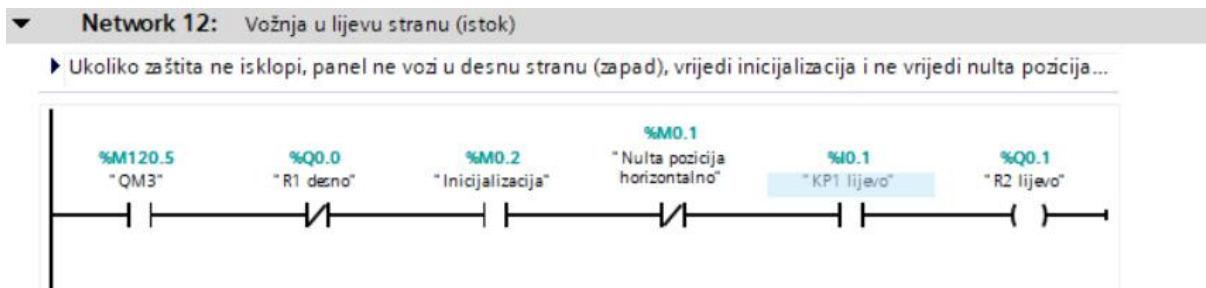
Ime instrukcije	Simbol	Opis rada
NO kontakt		Kada varijabla ima vrijednost 1, kontakt se zatvara i na izlazu daje vrijednost koju dobiva na svom ulazu, dok pri vrijednosti 0 nije aktiviran i izlaz je resetiran na nulu
NC kontakt		Kada varijabla ima vrijednost 1, kontakt se otvara i izlaz je resetiran na nulu, dok pri vrijednosti 0 je kontakt zatvoren i na izlazu daje vrijednost koju dobiva na svom ulazu
Set izlaza (ON)		Postavlja stanje signala u 1
Reset izlaza (OFF)		Postavlja stanje signala u 0.

Namjena (zavojnica)		Ako rezultat logičke operacije na ulazu zavojnice ima signalno stanje 1, specificirana varijabla je postavljena na signalno stanje 1, a u obrnutom slučaju ako je na ulazu nula, varijabla je na postavljena na 0.
Generiraj ON na kašnjenje		Kada se signalno stanje promijeni iz 0 u 1, nakon isteka vremena na izlazu se šalje 1.
Generiraj OFF na kašnjenje		Kada se signalno stanje promijeni iz 0 u 1, nakon isteka vremena na izlazu se šalje 1 uz mogućnost akumuliranja vremena i nastavka akumulacije ako se na ulazu promijeni stanje iz 1 u 0.
Brojač gore		Broji promjene signalnih stanja iz 0 u 1.
Brojač gore-dolje		Broji promjene signalnih stanja iz 0 u 1 i iz 1 u 0.
Komparator jednako		Kompariranje vrijednosti varijabli. Ako su vrijednosti jednake, na izlazu se šalje 1, u protivnom 0.
Komparator manje ili jednako		Kompariranje vrijednosti varijabli. Ako je vrijednost prve varijable manja ili jednaka vrijednosti druge, na izlazu se šalje 1, u protivnom 0.
Komparator veće ili jednako		Kompariranje vrijednosti varijabli. Ako je vrijednost prve varijable veća ili jednaka vrijednosti druge, na izlazu se šalje 1, u protivnom 0.
Komparator manje		Kompariranje vrijednosti varijabli. Ako je vrijednost prve varijable manja od vrijednosti druge, na izlazu se šalje 1, u protivnom 0.
Komparator veće		Kompariranje vrijednosti varijabli. Ako je vrijednost prve varijable veća od vrijednosti druge, na izlazu se šalje 1, u protivnom 0.

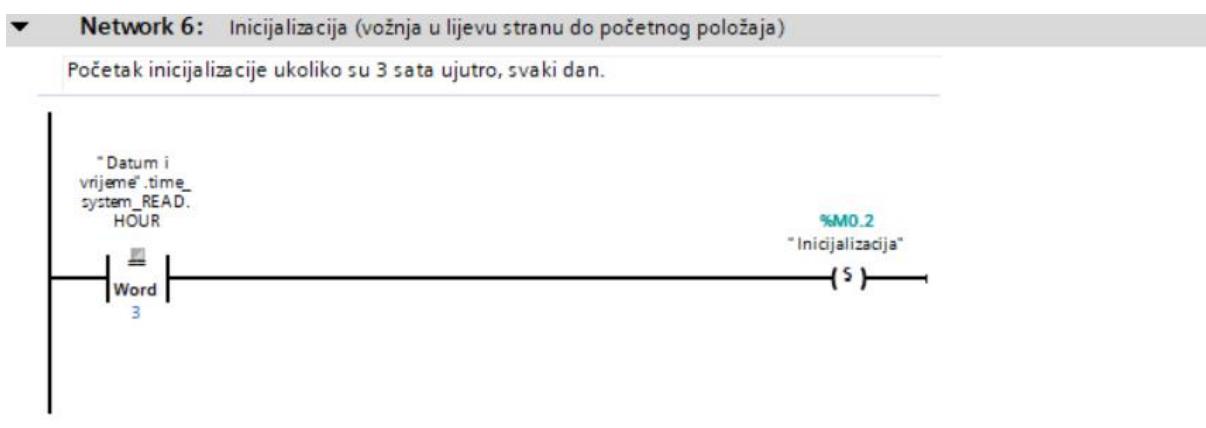
Oduzmi vrijednost	 SUB	Oduzima dvije vrijednosti varijabli na ulazu i na izlazu daje razliku.
Apsolutna vrijednost	 ABS	Formira apsolutnu vrijednost određene varijable.
Move vrijednost	 MOVE	Kopira vrijednost varijable na ulazu u vrijednost druge varijable na izlazu.
Čitaj polje vrijednosti	 FieldRead	Čita vrijednost specifičnog člana u polju vrijednosti i daje tu vrijednost na izlazu.
Čitaj lokalno vrijeme	 RD_LOC_T	Čitanje trenutnog vremena i datuma CPU sata uz pomicanje sata i odgovarajuću vremensku zonu te davanje te vrijednosti na izlazu.
Čitaj sistemsko vrijeme	 RD_SYS_T	Čitanje trenutnog vremena i datuma CPU sata te davanje te vrijednosti na izlazu.
Ispiši Sistemsko vrijeme	 WR_SYS_T	Instrukcija za postavljanje vremena i datuma CPU sata.

Svaka od ovih instrukcija ima posebne grane u koje se mogu smjestiti određene varijable i svaka instrukcija zahtijeva određeni tip varijable. Kako bi se dobio uvid u funkcioniranje same logike, potrebno je promotriti nekoliko mreža jednog funkcijskog bloka. Uzevši kao primjer mrežu 12 u kojoj su iskazani svi uvjeti za uključenje izlaza CPU jedinice koja aktivira vožnju panela u lijevu stranu prema istoku, može se primijetiti da je potrebno ispunjenje velikog broja uvjeta za aktiviranje izlaza. Varijable QM3, Inicijalizacija i KP1 lijevo su prikazani NO kontaktima, što znači ako na svom ulazu dobivaju vrijednost 1, propuštati će signal dalje. Obrnut slučaj vrijedi za varijable R1 desno i Nulta pozicija horizontalno koje su predstavljene NC kontaktima i koje propuštaju signal ako na ulazu dobiju vrijednost 0. Može se reći da ako zaštita QM3 ne isklopi, koja je predstavljena NO kontaktom, memorijskom varijablom i koja dobiva vrijednost 1 na ulazu, propušta signal dalje. Na sličan način ako ne vrijede uvjeti za ispunjenje varijable R1 desno (jer ne može biti uključena vožnja u lijevo i desno u isto vrijeme), NC kontakt dobiva 0 na ulazu i propušta signal dalje. Kako bi Inicijalizacija propuštala signal, moraju vrijediti uvjeti za njeno ispunjenje, a oni su definirani u mreži 6. Kao što je prikazano na slici 6.14., Ako je trenutno očitani sat s CPU sata pomoću instrukcije komparatora jednak 3 sata ujutro, na izlazu se propušta vrijednost 1 koja onda aktivira instrukciju *SET (ON)* povezanu s memorijskom

varijablom. Ta memorijska varijabla potom ima vrijednost 1 u mreži 12 i budući da je predstavljena NO kontaktom, zbog toga propušta signal dalje.

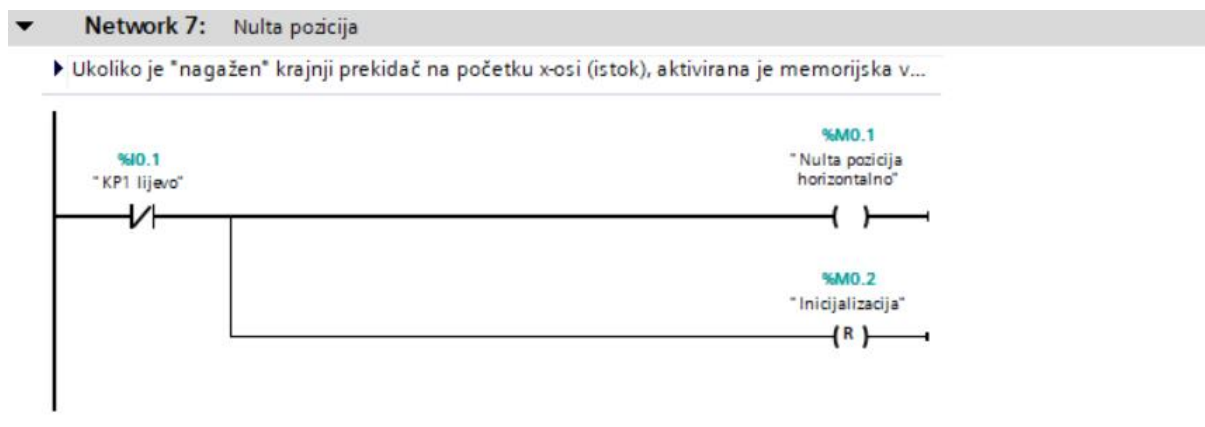


Slika 6.13. Mreža 12 za aktiviranje vožnje u lijevu stranu



Slika 6.14. Mreža 6 za aktiviranje memorijske varijable inicijalizacije

Slično vrijedi i za *Nultu poziciju horizontalno*, koja propušta signal dalje ako na ulazu dobiva vrijednost 0. Uvjeti za ispunjenje *Nulte pozicije horizontalno* su prikazani slikom 6.15., koje prikazuje mrežu 7. Ako je nagažen fizički krajnji prekidač KP1, predstavljen NC kontaktom, on dobiva na ulazu vrijednost 0 i šalje signal dalje koji aktivira memorijsku varijablu *Nulta pozicija horizontalno* i *Inicijalizacija*. *Nulta pozicija horizontalno* potom ima vrijednost 1 dok *Inicijalizacija* ima vrijednost 0 jer je predstavljena *reset* instrukcijom. U ovom slučaju, krajnji prekidač nije nagažen i vrijedi da *Nulta pozicija horizontalno* ima vrijednost 0. *Nulta pozicija horizontalno* je predstavljena NC kontaktom u mreži 12 i uz vrijednost 0 *Nulte pozicije horizontalno* iz mreže 7 propušta signal dalje.



Slika 6.15. Mreža 7 za ispunjenje uvjeta za nultu poziciju

Naposljetku, varijabla KP1 lijevo je fizička varijabla koja označava jedan od kip prekidača. Budući da je on u gornjoj poziciji (ON), ta varijabla ima vrijednost 1 i NO kontakt prikazan u mreži pušta signal dalje. U konačnici, aktivira se *R2 lijevo*, što je fizički izlaz koji aktivira motor za vožnju u pravom smjeru. Važno je napomenuti da svi ovi uvjeti moraju biti ispunjeni kako bi se samo aktivirala vožnja u jednu stranu, dok je također potrebno paziti da ne dođe do konflikata vrijednosti pojedinih varijabli i na činjenicu da svaka varijabla za svoje ispunjenje ima grananje vlastitih uvjeta. Ostatak cjelokupnog programa se može inspektirati na sličan način u prilogu na kraju rada.

Na kraju je važno spomenuti i HMI. HMI funkcionira tako da se programeru omogućava stvaranje velikog broja ekrana, interaktivnih tipki, unosa i ispisa varijabli koje su definirane u funkcijskim blokovima. Primjerice, na drugom ekranu je prikazan reprezentativni fotonaponski panel koji je smjeren u Sunce i strjelice za četiri smjera. Varijable R1, R2, R3, i R4 koje su zadužene za aktivaciju pojedinog smjera vrtnje se također kreiraju i definiraju kao HMI varijable (*HMI tags*) koje potom povezujemo s pojedinim kreiranim strjelicama na ekranu. Takvim varijablama se potom dodjeljuju određene animacije ili svojstva (pojavljivanje strjelica na ekranu pri vrijednosti 0 ili 1, treperenje pri određenim vrijednostima). I za prethodno se detaljno objašnjenje i opis može naći u prilogu na kraju rada.

7. ZAKLJUČAK

PLC sustavi kao sredstvo automatizacije imaju široku primjenu ne samo u industriji, nego i u ostalim granama znanosti zbog svojih mogućnosti. Sam koncept zamjenjivanja fizičkih pojava, pomoću memorijskih bitova i logičkih funkcija daje bezbroj mogućnosti i različitih funkcija te time dobiva sve više na popularnosti. PLC upravljanje fotonaponskih sustava ne može se smatrati naročito efektivnim zbog velikog financijskog troška opreme i puno jednostavnijih, već postojećih rješenja takvih sustava. Međutim, uvidjevši mogućnosti i varijacije upravljanja takvog sustava, korisnik može prilagoditi rad fotonaponskog panela s praćenjem Sunca do najsitnijeg detalja, na način kako to njemu odgovara.

PLC programiranje se može smatrati jako složenom i korisnom disciplinom, jer u sve razvijenijim industrijskim i elektrotehničkim sustavima potreba i ovisnost o kvalitetnim automatiziranim PLC sustavima biva sve veća prolaskom vremena, a nažalost nije toliko uključeno u trenutačnom edukacijskom sustavu.

7.1. LITERATURA

- [1] JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT, PV STATUS REPORT 2016., url: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC103426/ldna28159enn.pdf>, (28.4.2017.)
- [2] Ljubomir Majdandžić, Solarni sustavi, Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata, Graphis d.o.o., Jurjevska 20, Zagreb, Hrvatska 2010.
- [3] Slika strukture materijala, url: <https://ironlady003.wordpress.com/2013/11/04/struktura-metala-i-legura-kristalna-resetka-metala/> , (10.3.2017.)
- [4] Paul A. Lynn, Electricity from Sunlight: An introduction to Photovoltaics, John Wiley&Sons Ltd., Publication, 2010.
- [5] IEEE Spectrum, Interactive: Record-Breaking PV Cells, url: <http://spectrum.ieee.org/static/interactive-record-breaking-pv-cells>, (28.4.2017.)
- [6] Heinrich Häberlin, PHOTOVOLTAICS SYSTEM DESIGN AND PRACTICE, John Wiley&Sons Ltd., Publication, 2012.
- [7] Jean-Claude Sabonnadière, Renewable Energies, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [8] Prof. Dr. Stefan C.W. Krauter, Solar Electric Power Generation – Photovoltaic Energy Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [9] Ivan Cvrk, OPTIMIRANJE KORIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE FOTONAPONSKOM PRETVORBOM, diplomski rad, url:http://www.ieee.hr/_download/repository/DR08ICvrk.pdf, (5.4.2017.)
- [10] SOLARPRO, url: <http://solarprofessional.com/articles/products-equipment/racking/pv-trackers/page/0/2>, (6.4.2017.)
- [11] SOLARTODAY, url: <http://solartoday.org/2009/07/single-axis-solar-tracking/>, (7.4.2017.)
- [12] Hydro Shant Sharif url: <http://www.hydrosanatsharif.com/en/products/2solar-tracking-mechanism.html> (7.4.2017.)

[13] Gilbert M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley&Sons Inc., Publication, 2004.

[14] Nenad Jovančić, PRETVARANJE ENERGIJE SUNČEVOG ZRAČENJA U ELEKTRIČNU – FOTONAPONSKI SISTEMI, diplomski rad, url:
http://www.etf.unssa.rs.ba/~slubura/diplomski_radovi/diplomski_jovancic.doc (7.4.2017.)

[15] Prikaz nebeske sfere url:
http://astrogeo.geoinfo.geof.hr/online_efemeride/spherical_astronomy/nebeska-sfera.html
(29.03.2017.)

[16] PLC Handbook, Practical Guide to Programmable Logic Controllers, url:
<https://library.automationdirect.com/plc-handbook/> , (7.6.2017.)

[17] Izlasci i zalasci Sunca, DHMZ, url: <http://vrijeme.hr/aktpod.php?id=izl-zal> , (15.7.2017.)

7.2. SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisan je cjelokupni postupak programiranja PLC uređaja (engl. *programmable logic controller*) u svrhu postizanja upravljivosti fotonaponskog sustava s praćenjem kretanja sunca. Budući da korištenje PLC-a u razne svrhe dobiva na popularnosti zbog svoje jednostavnosti i mogućnosti rada, ovim se također čitatelja, koji nije upoznat s navedenom tematikom, uvelo u ovo područje znanosti. U skladu s prethodno spomenutim, izložena su i osnovna teorijska saznanja o fotonaponskim sustavima te solarnoj geometriji, usko povezanom s fotonaponskim sustavima s praćenjem sunca. Budući da je naglasak na PLC programiranju, izložen je i kratak teorijski uvod o principu rada PLC-a zajedno s detaljnom analizom tijeka stvaranja programa za sam PLC uređaj. Na samom kraju su opisani rezultati koji su dobiveni programiranjem i koje se prednosti mogu dobiti ovakvim upravljanjem.

7.3. ABSTRACT

In this thesis, the entire process of programming a programmable logic controller (PLC) is described, in order to achieve the manageability of the photovoltaic system with sun motion tracking. Since the usage of PLC for various purposes gains popularity, due to its simplicity and work abilities, this is used to introduce the reader, who is not familiar with the mentioned topic, into this area of science. In accordance with the previously mentioned, basic theoretical knowledge of photovoltaic systems and solar geometry, closely related to photovoltaic solar monitoring systems, are also presented. Since the emphasis is on PLC programming, a brief theoretical introduction to the PLC's operating principle, together with a detailed analysis of the program creation procedure of the PLC is presented. At the very end, the results obtained by programming are described and what advantages can be gained through such control.

7.4. ŽIVOTOPIS

Josip Klinc rođen je u Slavonskom Brodu 15. prosinca 1993. Godine. Završio je Osnovnu školu “Bogoslav Šulek“ u Vranovcima. Potom upisuje Gimnaziju “Matija Mesić“, opći smjer. Nakon završetka srednje škole, upisuje preddiplomski studij elektrotehnike i opredjeljuje se za smjer elektroenergetika. Završni rad je obradio na temu “POGON ZA PROIZVODNJU I ANTIKOROZIVNU ZAŠTITU PLINSKIH BOCA TVORNICA ZAVARENIH POSUDA D.D.“ Trenutno je student druge godine diplomskog studija elektrotehnike, smjer elektroenergetika, izborni modul održiva elektroenergetika.

Odlikuje ga tečni govor i sporazumijevanje engleskim jezikom, poznavanje njemačkog jezika, komunikacijske vještine stečene kroz višegodišnje iskustvo u različitim životnim situacijama, sposobnost učinkovitog rada u timu, sposobnost prilagodbe različitim okruženjima, fleksibilnost i prilagodljivost, usmjerenost na detalje, kvalitetan rad u brzom vremenu te kreativnost u poslovnom okruženju. Također, kroz godine edukacije, upoznao se služenjem programima kao što su Autocad, DigSILENT, KI-Ekspert, Easy Power, TIA portal, MS Office (Word, Excel), Visio, Matlab.

Hobiji su mu ples, kuhanje, čitanje knjiga.

Josip Klinc

Slavonska 137, Vranovci, 35209 Bukovlje

Mobitel: 095/533/4779

Telefon: 035/276/409

E-mail: joklinc@gmail.com

7.5. POPIS SLIKA I TABLICA

Popis slika:

Slika 2.1. Struktura čvrstih materijala: (a) monokristal; (b) polikristal; (c) amorfni [3]	3
Slika 2.2. Prikaz monokristalnog FN modula	4
Slika 2.3. Prikaz multikristalnog FN modula	5
Slika 2.4. Prikaz modula bakar-indij-diselenida (CIS)	7
Slika 2.5. (a) PN-spoj sa prikazanom osiromašenom regijom; (b) Upravni prednapon	8
Slika 2.6. U-I karakteristika silicijske diode	9
Slika 2.7. Strujno naponska karakteristika diode (neosvijetljene fotonaponske ćelije) i osvjetljene fotonaponske ćelije sa strujom kratkog spoja I_{SC} i naponom praznog hoda V_{OC}	10
Slika 2.8. Strujno-naponska karakteristika i karakteristika snage u ovisnosti o naponu silicijske fotonaponske ćelije	11
Slika 3.1. Poprečni presjek PV modula od kristalnog silicija	13
Slika 3.2. Glava <i>Zomeworkovog</i> pasivnog sustava za praćenje [9].....	16
Slika 3.3. Primjer solarne farme s polarnim sustavom praćenja u Greater Sandhill, Mosca, SAD [10]	17
Slika 3.4. Izgled jednoosnog horizontalnog sustava za praćenje [11].....	18
Slika 3.5. Izgled jednoosnog vertikalnog sustava za praćenje [12]	18
Slika 3.6. Izgled dvoosnog FN sustava s praćenjem Sunca [9].....	19
Slika 3.7. Kut između normale na lice kolektora i dolazne solarne radijacije	19
Slika 3.8. Kutevi solarne geometrije	20
Slika 3.9. Difuzna radijacija [13]	21
Slika 3.10. Pretpostavka jednakog inteziteta reflektirane radijacije od zemlje u svim smjerovima [13]	22
Slika 3.11. Odnos kuteva dvoosnog upravljanja	24
Slika 3.12. Odnos kuteva polarnog jednoosnog istok-zapad sistema za praćenje	24
Slika 3.13. (a) polarno praćenje jednoosnog sistema (utjecaj $15^\circ/h$) kutne rotacije (b) pogled prema Sjevernom polu	25
Slika 4.1. Horizont i ekvatorska ravnina	26
Slika 4.2. Prikaz rotacije Zemlje oko vlastite osi i njena eliptična putanja oko Sunca [14]	27
Slika 4.3. Ekvatorska ravnina i ekliptička ravnina	27
Slika 4.4. Nebeska sfera i ekliptika [15]	28
Slika 4.5. Geografska širina ϕ i geografska džina za odabrano mjesto T [14].....	29

Slika 4.6. Nebeska sfera [14]	30
Slika 4.7. Solarni visinski kut i kut azimuta.....	31
Slika 5.1. Struktura PLC sustava.....	33
Slika 5.2. Relejna ljestvena struktura [16]	36
Slika 5.3. Ljestvena logika PLC-a [16]	37
Slika 6.1. Siemens S7 1200 CPU	40
Slika 6.2. HMI KTP600	40
Slika 6.3. Ispravljač (napajanje).....	41
Slika 6.4. Improvizirani kip prekidači.....	41
Slika 6.5. Dodavanje potrebnih uređaja u programu TIA portal V13	42
Slika 6.6. Stvaranje virtualne povezanosti između CPU-a i HMI-a.....	42
Slika 6.7. Ostvareni uvjeti za spajanje svih uređaja i njihovu komunikaciju.....	43
Slika 6.8. Sučelje programa TIA portal V13.....	44
Slika 6.9. Kreiranje programskih blokova.....	45
Slika 6.10. Svi korišteni programski blokovi	45
Slika 6.11 <i>Main block</i> programa	46
Slika 6.12. Popis korištenih varijabli	47
Slika 6.13. Mreža 12 za aktiviranje vožnje u lijevu stranu	50
Slika 6.14. Mreža 6 za aktiviranje memorijske varijable inicijalizacije	50
Slika 6.15. Mreža 7 za ispunjenje uvjeta za nultu poziciju	51

Popis tablica:

Tablica 4.1. Tablica preporučenih vrijednosti deklinacije Sunca po mjesecima [14].....	32
Tablica 6.1. Potrebne informacije za osmišljavanje principa rada.....	38
Tablica 6.2. Korištene instrukcije.....	47

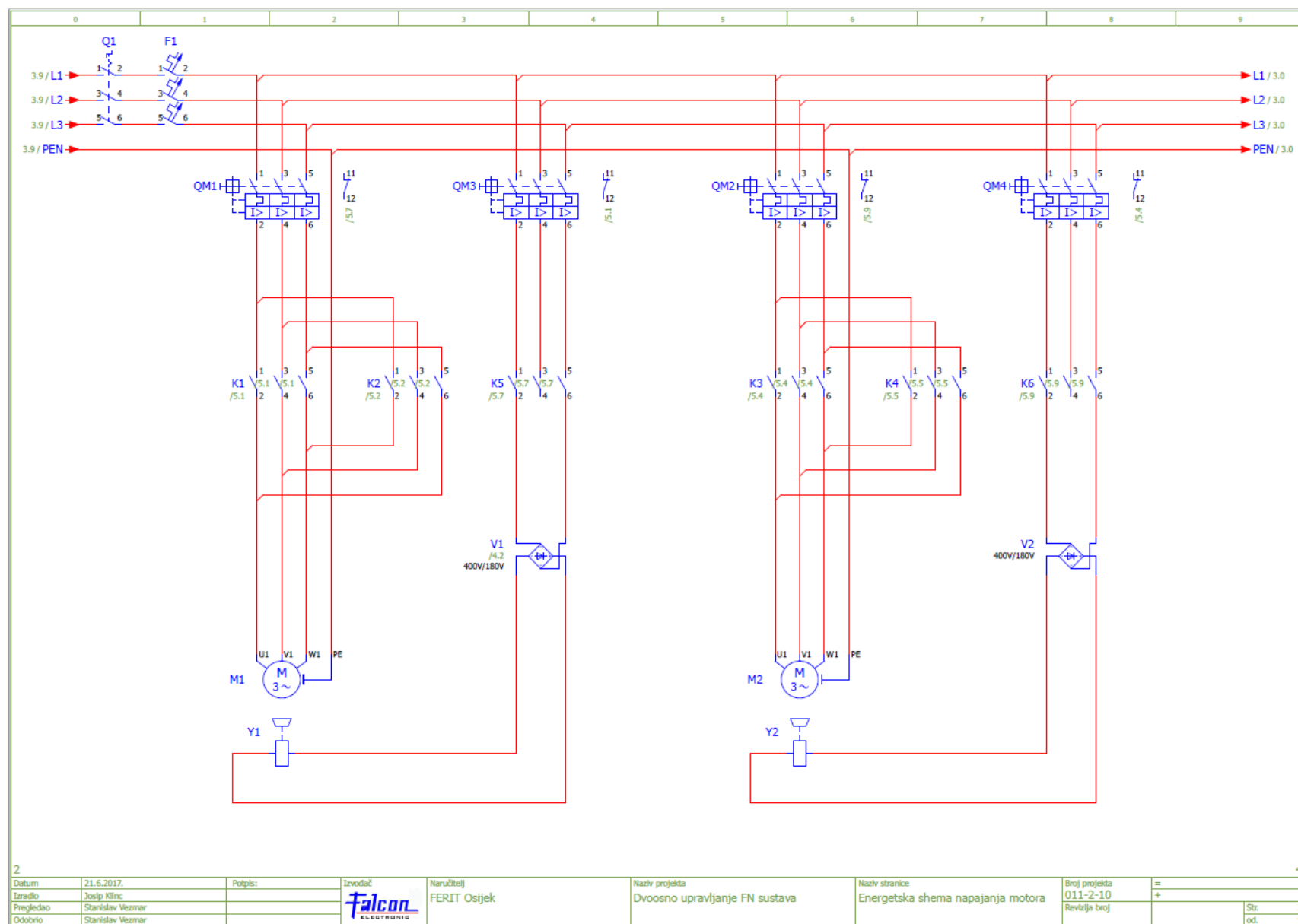
7.6. PRILOZI

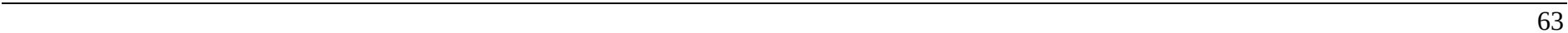
Datoteka Električne sheme spajanja.pdf

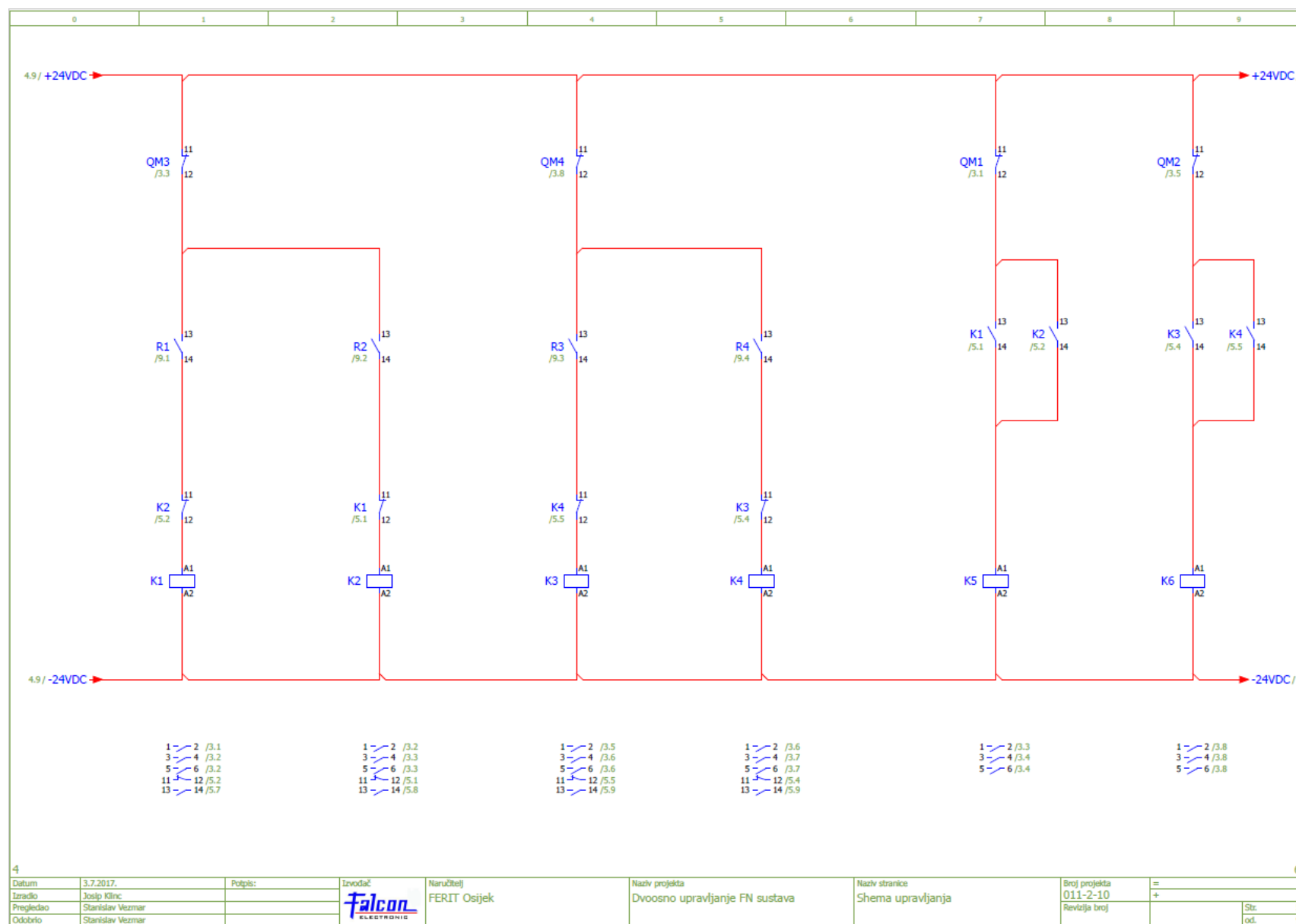
Trofazne električne sheme spajanja kompletnog sustava:

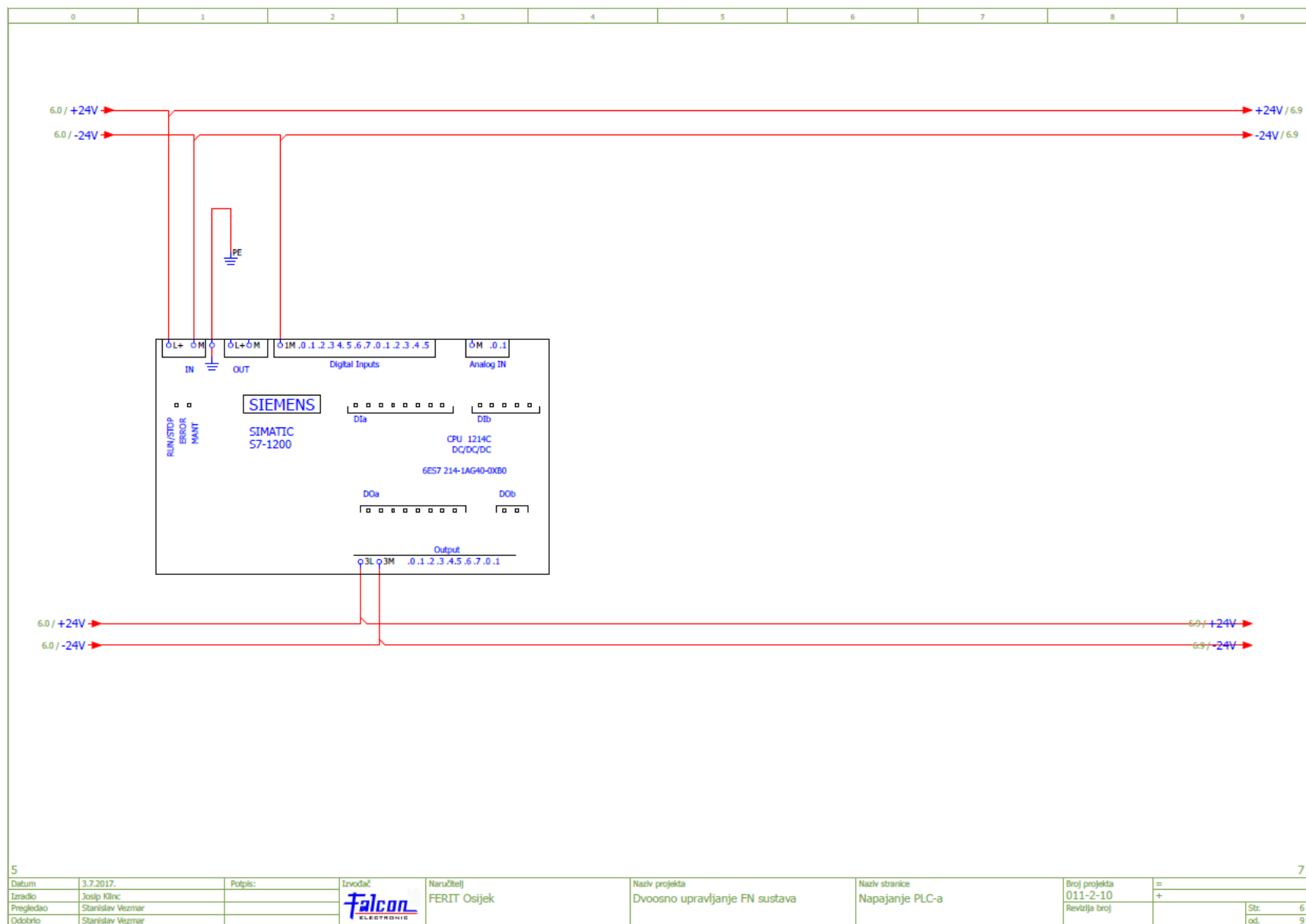
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																				
 Falcon electronic d.o.o. Vinogradska cesta 283 35000 Slavonski Brod Hrvatska Tel.: +385 (0)35 447 660 Fax.: +385 (0)35 443 108 falcon@falcon.hr www.falcon.hr																																													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Objekt</td> <td>: Dvoosno upravljanje FN sustava</td> </tr> <tr> <td>Naručitelj</td> <td>: FERIT Osijek</td> </tr> <tr> <td>Investitor</td> <td>: FERIT Osijek</td> </tr> <tr> <td>Godina</td> <td>: 21.6.2107.</td> </tr> </table>										Objekt	: Dvoosno upravljanje FN sustava	Naručitelj	: FERIT Osijek	Investitor	: FERIT Osijek	Godina	: 21.6.2107.																												
Objekt	: Dvoosno upravljanje FN sustava																																												
Naručitelj	: FERIT Osijek																																												
Investitor	: FERIT Osijek																																												
Godina	: 21.6.2107.																																												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Izvođač</td> <td>: Falcon electronic d.o.o.</td> </tr> <tr> <td>Naziv projekta</td> <td>: Klinc-diplomski</td> </tr> <tr> <td>Izradio</td> <td>: Josip Klinc univ. bacc. ing. el.</td> </tr> <tr> <td>Odobrio</td> <td>: Stanislav Vezmar</td> </tr> </table>										Izvođač	: Falcon electronic d.o.o.	Naziv projekta	: Klinc-diplomski	Izradio	: Josip Klinc univ. bacc. ing. el.	Odobrio	: Stanislav Vezmar																												
Izvođač	: Falcon electronic d.o.o.																																												
Naziv projekta	: Klinc-diplomski																																												
Izradio	: Josip Klinc univ. bacc. ing. el.																																												
Odobrio	: Stanislav Vezmar																																												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Datum izrade:</td> <td style="width: 30%;">3.7.2017.</td> <td style="width: 20%;">Ukupan broj stranica projekta:</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">9</td> </tr> </table>										Datum izrade:	3.7.2017.	Ukupan broj stranica projekta:	9																																
Datum izrade:	3.7.2017.	Ukupan broj stranica projekta:	9																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Datum</td> <td style="width: 15%;">3.7.2017.</td> <td style="width: 15%;">Potpis:</td> <td style="width: 15%;">Izvođač</td> <td style="width: 15%;">Naručitelj</td> <td style="width: 15%;">Naziv projekta</td> <td style="width: 15%;">Naziv stranice</td> <td style="width: 15%;">Broj projekta</td> <td style="width: 10%;">=</td> </tr> <tr> <td>Izradio</td> <td>Josip Klinc</td> <td></td> <td></td> <td>FERIT Osijek</td> <td>Dvoosno upravljanje FN sustava</td> <td>Naslovna</td> <td>011-2-10</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Pregledao</td> <td>Stanislav Vezmar</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Revizija broj</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Odobrio</td> <td>Stanislav Vezmar</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Str. 1 od. 9</td> </tr> </table>										Datum	3.7.2017.	Potpis:	Izvođač	Naručitelj	Naziv projekta	Naziv stranice	Broj projekta	=	Izradio	Josip Klinc			FERIT Osijek	Dvoosno upravljanje FN sustava	Naslovna	011-2-10	+	Pregledao	Stanislav Vezmar						Revizija broj		Odobrio	Stanislav Vezmar							Str. 1 od. 9
Datum	3.7.2017.	Potpis:	Izvođač	Naručitelj	Naziv projekta	Naziv stranice	Broj projekta	=																																					
Izradio	Josip Klinc			FERIT Osijek	Dvoosno upravljanje FN sustava	Naslovna	011-2-10	+																																					
Pregledao	Stanislav Vezmar						Revizija broj																																						
Odobrio	Stanislav Vezmar							Str. 1 od. 9																																					

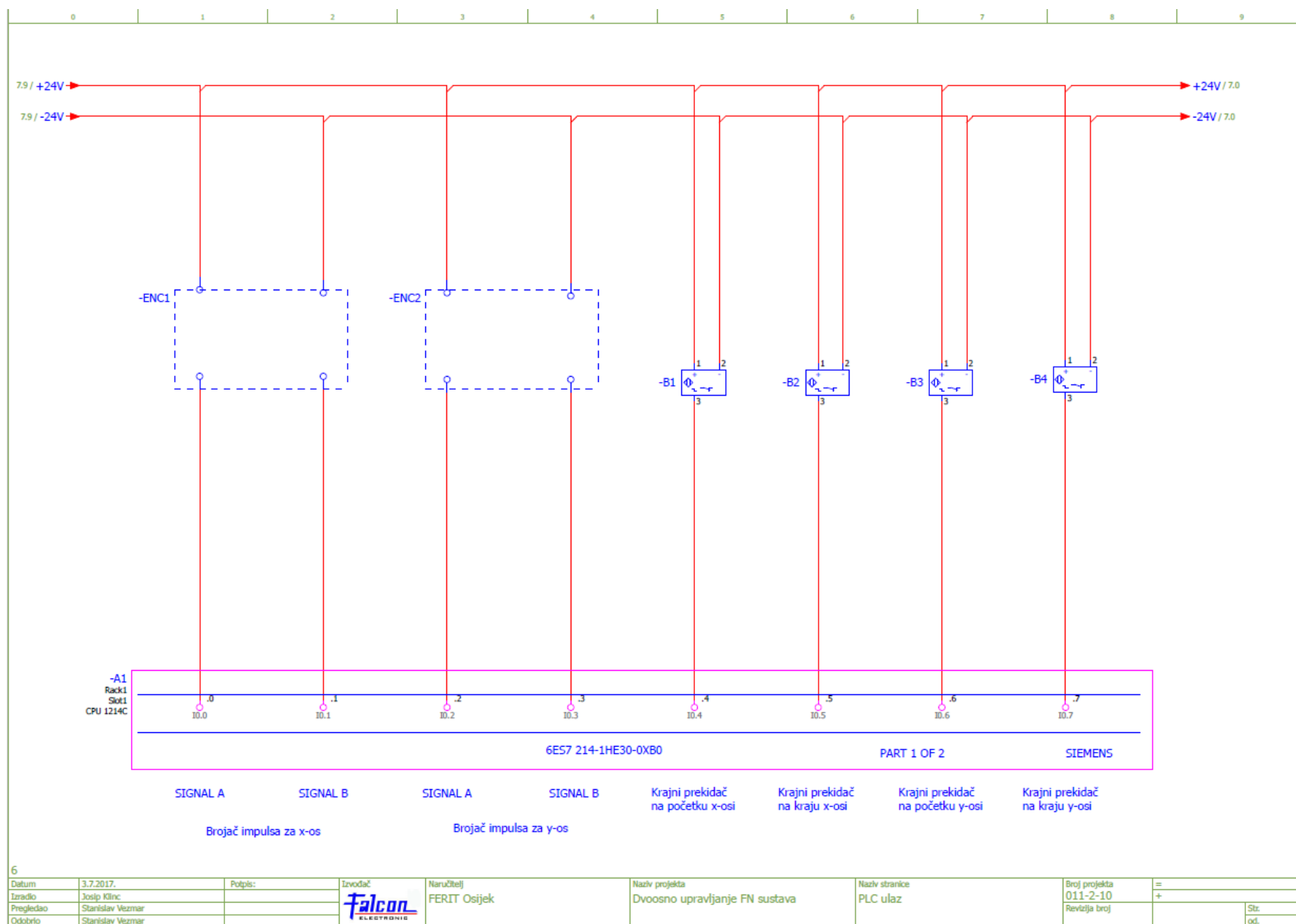
61

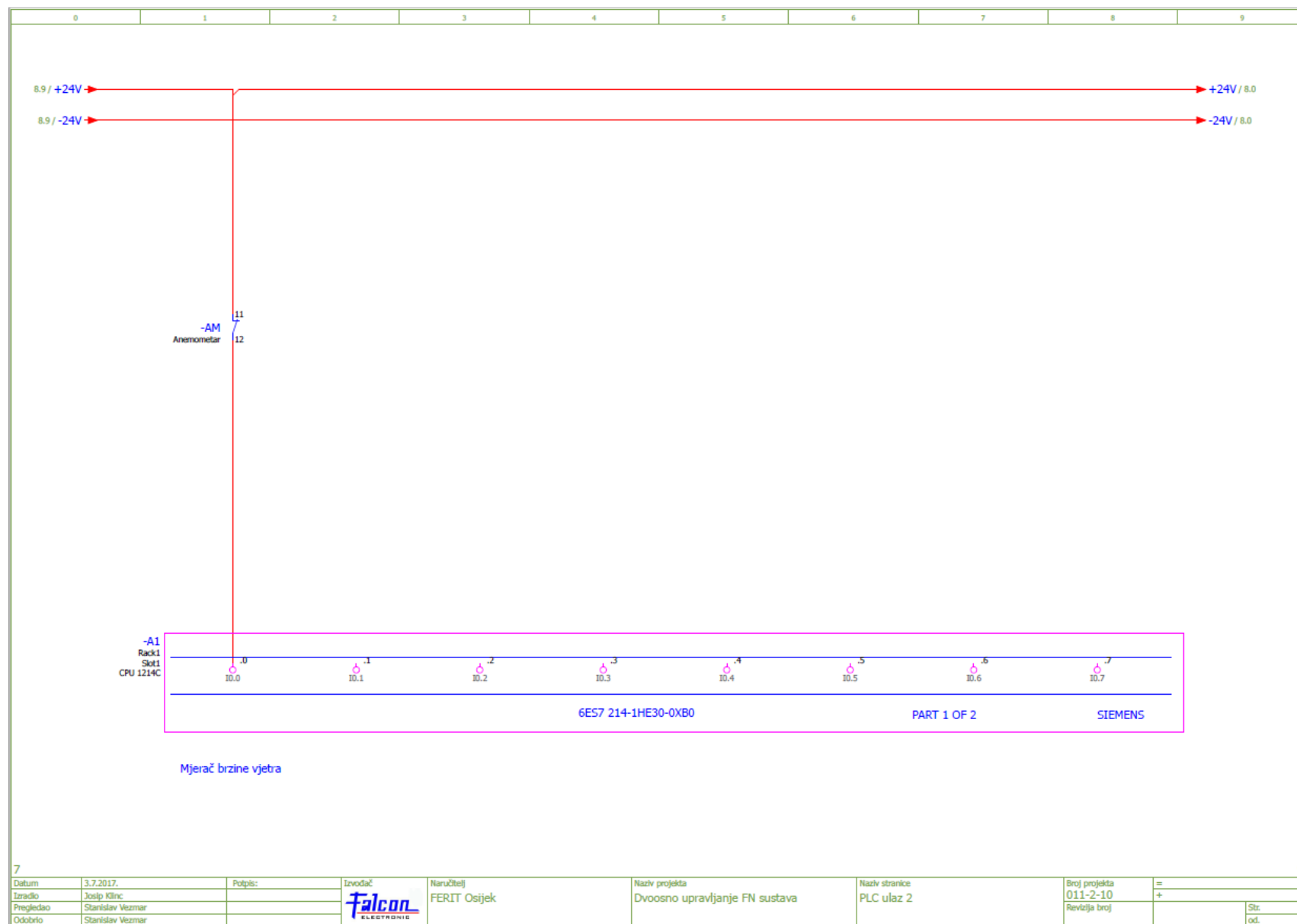


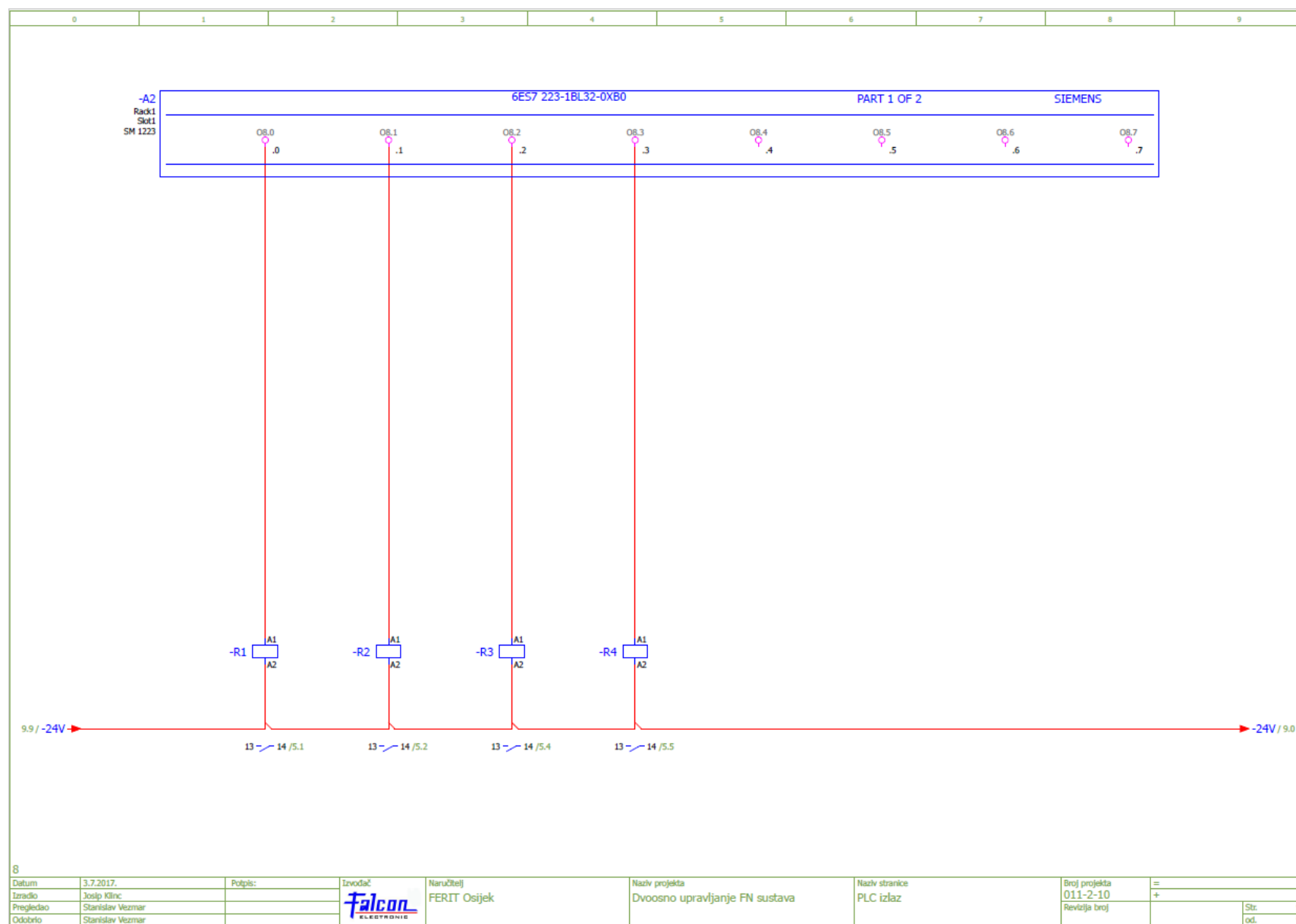












Datoteka Main block.png

Main block programa: Diplomski rad_FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRACENJEM KRETANJA SUNCA - PROGRAMIRANJE PLC-A

Totally Integrated Automation Portal						
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--

Diplomski rad_FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRACENJEM KRETANJA SUNCA - PROGRAMIRANJE PLC-A [OB1]

Diplomski rad_FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRACENJEM KRETANJA SUNCA - PROGRAMIRANJE PLC-A Properties							
General							
Name	Diplomski rad_FOTONAPONSKI SUSTAVI S PRACENJEM KRETANJA SUNCA - PROGRAMIRANJE PLC-A	Number	1	Type	OB	Language	LAD
Numbering	automatic						
Information							
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Default value	Comment
Temp			
Constant			

Network 1: Rotacija vertikalne osi

Mreža 1 u glavnom bloku koji poziva funkcijski blok "Rotacija vertikalne osi" istodobno i nevisno o ostalim funkcijskim blokovima.

	%FC2 "Rotacija vertikalne osi" EN ENO
--	--

Symbol	Address	Type	Comment
--------	---------	------	---------

Network 2: Rotacija horizontalne osi

Mreža 2 u glavnom bloku koji poziva funkcijski blok "Rotacija horizontalne osi" istodobno i nevisno o ostalim funkcijskim blokovima.

	%FC3 "Rotacija horizontalne osi" EN ENO
--	--

Symbol	Address	Type	Comment
--------	---------	------	---------

Dateoteka FC1.docx

Funkcijski blok programa: Rotacija horizontalne osi

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Rotacija horizontalne osi [FC3]

Rotacija horizontalne osi Properties

General					
Name	Rotacija horizontalne osi	Number	3	Type	FC
Numbering	automatic			Language	LAD
Information					
Title	Rotacija horizontalne osi	Author		Comment	Rotacija motora M1 (zadužen za rotaciju panela po horizontalnoj osi)
Version	0.1	User-defined ID			

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
Return		
Rotacija horizontalne osi	Void	

Network 1: Sistemsko i lokalno vrijeme

Čitanje sistemskog vremena i računanje lokalnog (vrijeme uz uzimanje u obzir vremenske zone i pomicanje sata) vremena pomoću Read System Time i Read Local Time ponuđenih instrukcija.

Network 2: Set sistemskog vremena

Setiranje (postavljanje u jedinicu) sistemskog vremena i overwrite sistemskog vremena kao lokalno.

Network 3: Paljenje vožnje u desno u vremenskom opsegu

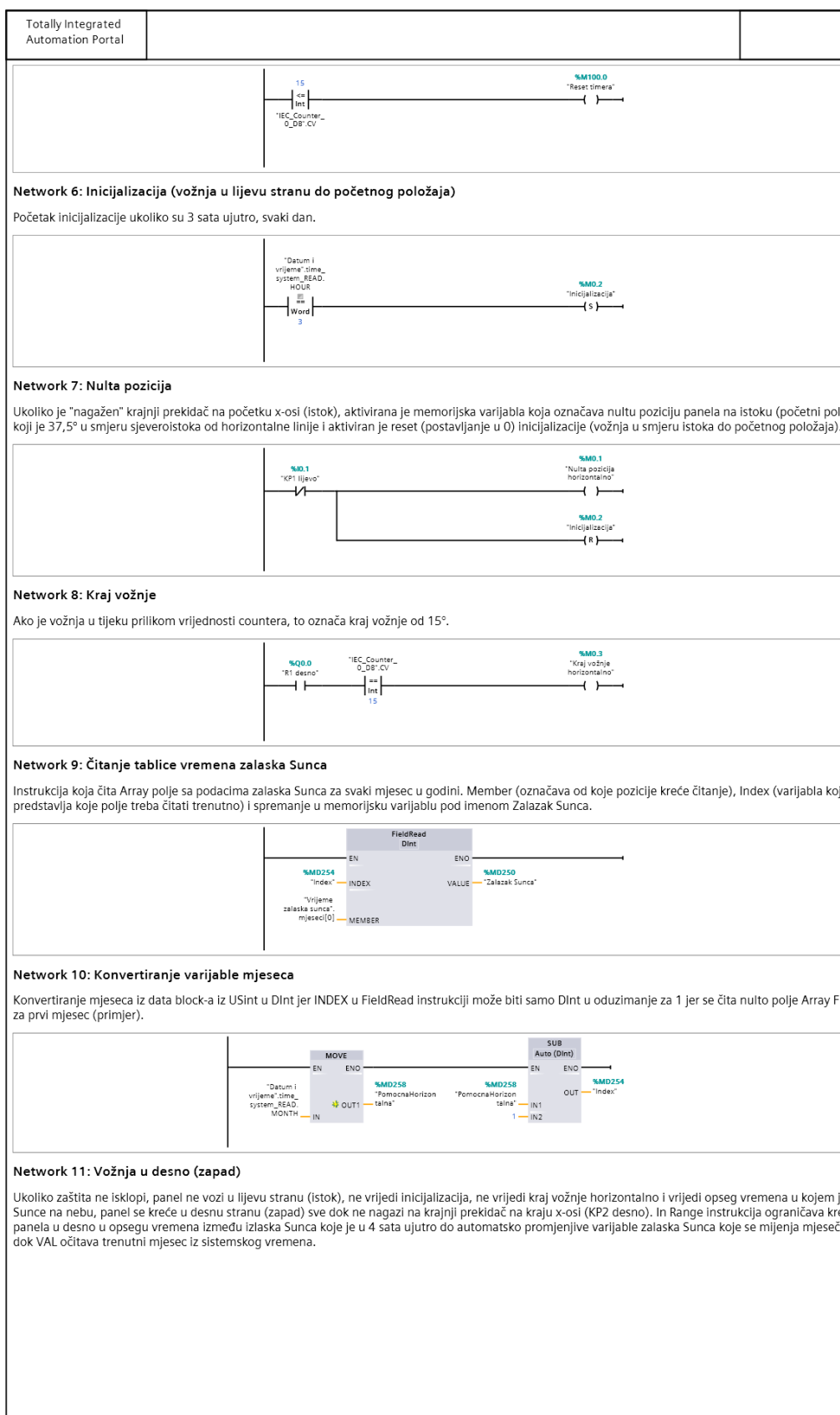
Paljenje vožnje panela u smjeru zapada pomoću timera, gdje istekom jednog sata se pali memorijska varijabla (čija vrijednost se prenosi na fizički izlaz) za vožnju za pomak od 15°. To je beskonačna petlja, koja se ponavlja sve dok panel ne nagazi na krajnji prekidač ili dode do zalaska Sunca.

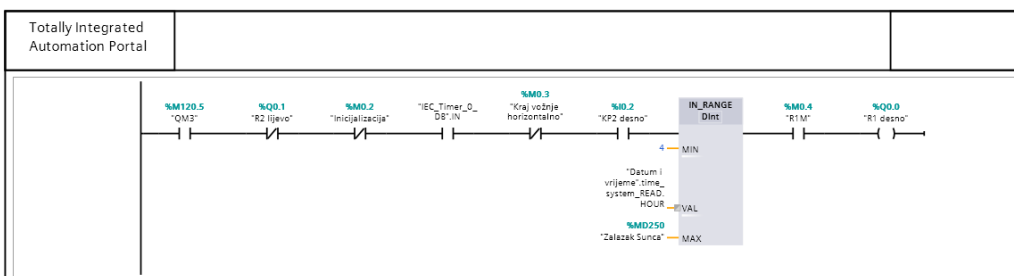
Network 4: Encoder (brojač impulsa)

Resetiranje brojača nakon izvršenja vožnje od 15° u smjeru zapada ili ako vožnja uopće nije aktivna, kao i timer-a, kako bi timer mogao ponovno odbrojati s vremena i nakon njegovog isteka, aktivirati vožnju od 15°.

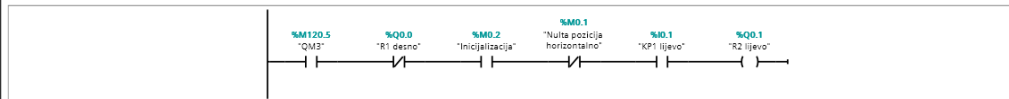
Network 5: Reset timera u trajanju od jedan sat

Komparator manje ili jednako osigurava aktiviranje memorijske varijable s ciljem da timer bude u nuli dok traje vožnja od 15°.



**Network 12: Vožnja u lijevu stranu (istok)**

Ukoliko zaštita ne iskloppi, panel ne vozi u desnu stranu (zapad), vrijedi inicijalizacija i ne vrijedi nulta pozicija, panel se kreće u lijevu stranu (istok) sve dok n nagazi krajnji prekidač na početku x-osi (KP1 lijevo).



Datoteka FC2.docx

Funkcijski blok programa: Rotacija vertikalne osi

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Rotacija vertikalne osi [FC2]

Rotacija vertikalne osi Properties			
General			
Name	Rotacija vertikalne osi	Number	2
Type	FC	Language	LAD
Numbering			
automatic			
Information			
Title	Rotacija vertikalne osi	Author	User-defined ID
Version	0.1	Comment	Rotacija motora M2
Family			

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
Return		
Rotacija vertikalne osi	Void	

Network 1: Čitanje iznosa potrebnog vertikalnog kuta po mjesecu

Instrukcija koja čita Array polje sa podacima potrebnog vertikalnog kuta za svaki mjesec u godini. Member (označava od koje pozicije kreće čitanje), Index (varijabla koja predstavlja koje polje treba čitati trenutno) i spremanje u memorijsku varijablu pod imenom Vertikalni kut.

Network 2: Konvertiranje varijable vertikalnog kuta

Konvertiranje mjeseca iz data block-a iz USint u Dint jer INDEX u FieldRead instrukciji može biti samo Dint uz oduzimanje za 1 jer se čita nulta polje Array Fie za prvi mjesec (primjer) i skladišti vrijednost u memorijsku varijablu "Iznos vertikalnog kuta" koji označava koji je potreban kut za trenutni mjesec, samo u drugom formatu.

Network 3: Čitanje iznosa potrebnog vertikalnog kuta u prethodnom mjesecu

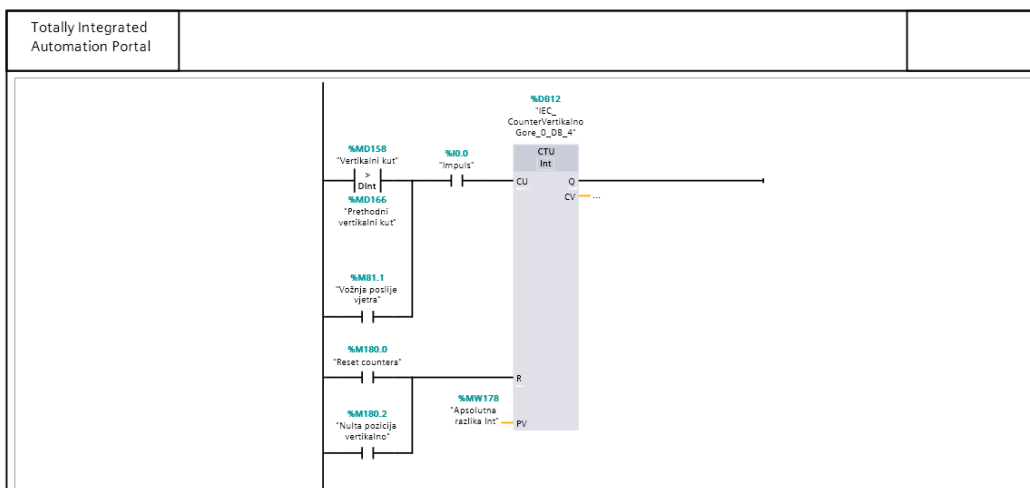
Na sličan princip kao kod čitanja iznosa potrebnog vertikalnog kuta za trenutni mjesec, uz oduzimanje za dva se omogućava čitanje polja u Array Field-u k je prije trenutnog.

Network 4: Apsolutni iznos impulsa

Kako bi se olakšalo programiranje, dobivajući razliku između iznosa potrebnog vertikalnog kuta u trenutnom i prethodnom mjesecu, taj iznos se konvertira u apsolutni iznos kako bi PLC znao za koliko impulsa (stupnjeva) se treba kretati, neovisno koji je smjer.

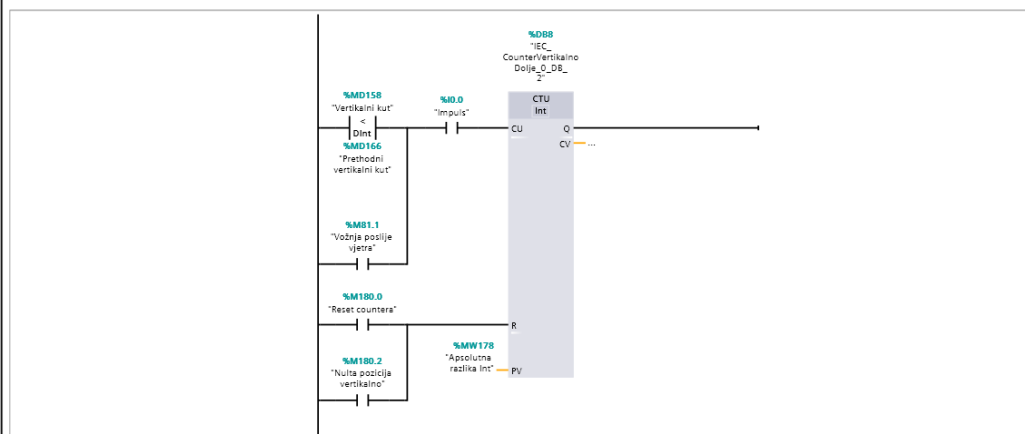
Network 5: Brojač impulsa za kretanje prema gore

Ukoliko je ispunjen uvjet da je trenutni potrebni vertikalni kut, veći od prethodnog, ili da je potrebna vožnja nakon prejakog vjetra, to označava da se pan mora kretati prema gore. Brojač broji onoliko impulsa koliko je zadano dobivenim apsolutnim iznosom, tj. panel se kreće prema gore vertikalno sve dok ne dostigne potreban kut. Kada postigne taj iznos, brojač se resetira, kao i nulta pozicija (panel postavljen u horizontalan položaj) i sljedeći mjesec koristi druge podatke za rad.



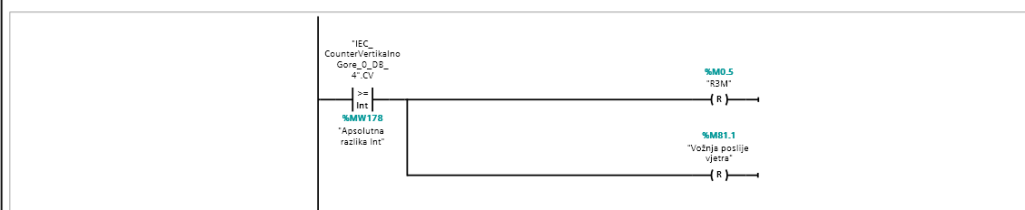
Network 6: Brojač impulsa za kretnju prema dolje

Ukoliko je ispunjen uvjet da je trenutni potrebni vertikalni kut, manji od prethodnog, ili da je potrebna vožnja nakon prejakog vjetra, to označava da se pa mora kretati prema dolje. Brojač broji onoliko impulsa koliko je zadano dobivenim apsolutnim iznosom, tj. panel se kreće prema dolje vertikalno sve dok ne dostigne potreban kut. Kada postigne taj iznos, brojač se resetira, kao i nulta pozicija (panel postavljen u horizontalan položaj) i sljedeći mjesec koristi druge podatke za rad.



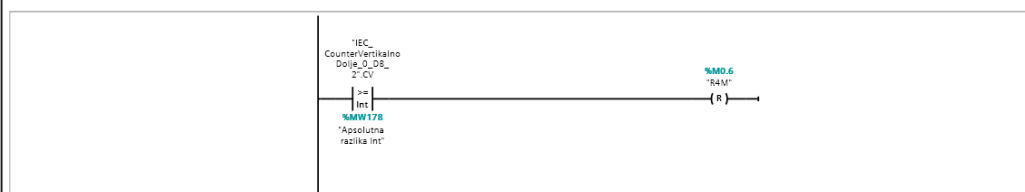
Network 7: Resetiranje vožnje prema gore i poslije vjetra

Ukoliko je trenutno stanje brojača za kretnju prema gore veće ili jednako apsolutnom iznosu, drži se reset (iznos 0) memorijske varijable (čija vrijednost se prenosi na fizički izlaz) za kretnju prema gore i za kretnju poslije prejakog vjetra.



Network 8: Resetiranje vožnje prema dolje

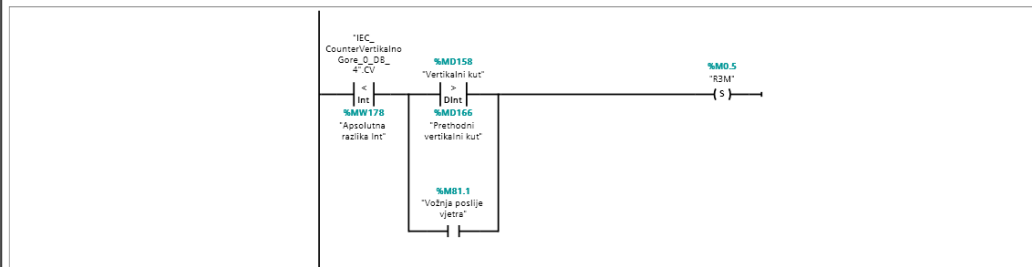
Ukoliko je trenutno stanje brojača za kretnju prema dolje veće ili jednako apsolutnom iznosu, drži se reset (iznos 0) memorijske varijable (čija vrijednost se prenosi na fizički izlaz) za kretnju prema dolje.



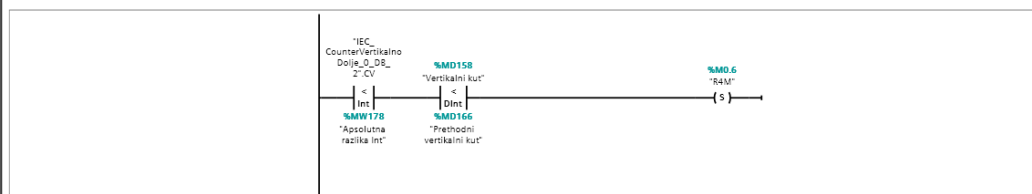
Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Network 9: Setiranje vožnje prema gore

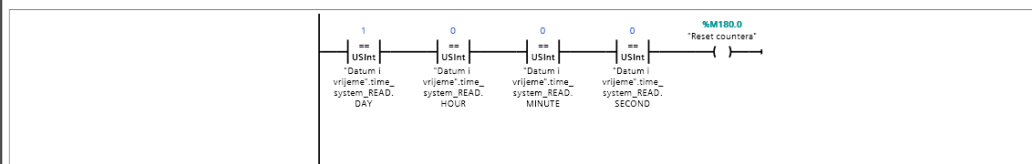
Ukoliko je trenutno stanje brojača za kretnju prema gore veće ili jednako apsolutnom iznosu, ako je trenutni potrebni vertikalni kut veći od onog u prethodnom mjesecu, ili ako uz to vrijedi vožnja poslije prejakog vjetra, drži se set (iznos 1) memorijske varijable (čija vrijednost se prenosi na fizički izlaz) za kretnju prema gore.

**Network 10: Setiranje vožnje prema dolje**

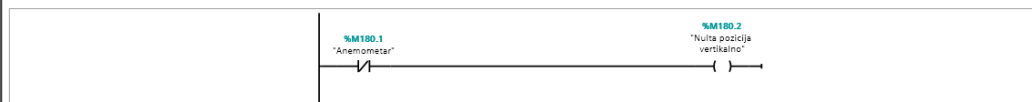
Ukoliko je trenutno stanje brojača za kretnju prema dolje veće ili jednako apsolutnom iznosu, ako je trenutni potrebni vertikalni kut manji od onog u prethodnom mjesecu, drži se set (iznos 1) memorijske varijable (čija vrijednost se prenosi na fizički izlaz) za kretnju prema dolje.

**Network 11: Resetiranje brojača**

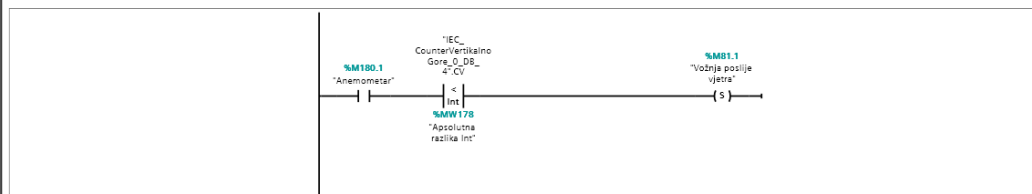
Ukoliko je 1. dan u mjesecu, nulti sat, nulta minuta i nulta sekunda (ponoć), izvršiće se reset brojača (vrijednost 0), kako bi brojač (encoder) mogao izvršiti vrtnju potrebnu za trenutni mjesec, pomoću podataka iz Array Field-a.

**Network 12: Anemometar**

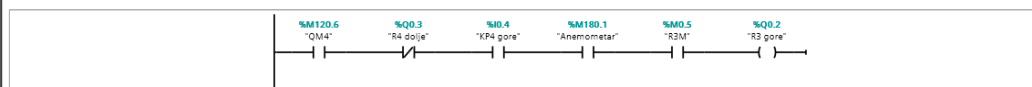
Ukoliko Anemometar reagira (isklopi) zbog prejakog vjetra, aktivira se memorijska varijabla (čija vrijednost se prenosi na fizički izlaz), koja označava početak postavljanja nulte vertikalne pozicije (panel se nalazi u horizontalnom položaju)

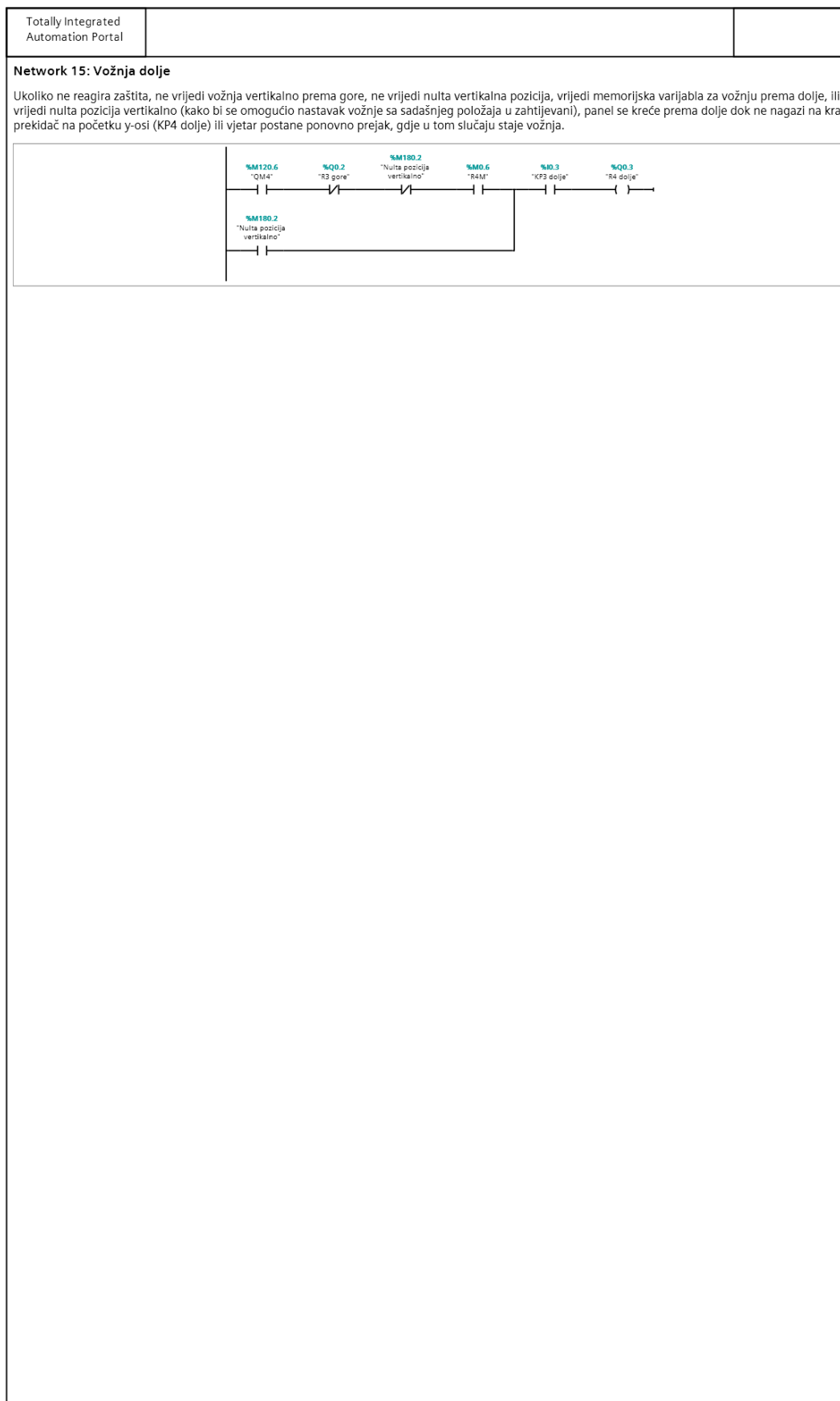
**Network 13: Vožnja nakon prestanka prejakog vjetra**

Ukoliko anemometar nije isklonio i vrijedi da je trenutna vrijednost brojača za vožnju vertikalno prema gore manji od apsolutne vrijednosti, setira (vrijednost se vožnja poslije vjetra). Ovim je omogućeno da nakon zauzimanja nultog položaja, panel ponovno zauzima propisani kut nakon prestanka prejakog vjetra.

**Network 14: Vožnja gore**

Ukoliko ne reagira zaštita, ne vrijedi vožnja vertikalno prema dolje, anemometar nije isklonio (kako bi se omogućio nastavak vožnje sa sadašnjeg položaja u zahtijevani) i vrijedi memorijska varijabla za vožnju prema gore, panel će se kretati prema gore sve dok ne nagazi na krajnji prekidač na kraju y-osi (KP4 gore) vjetar postane ponovno prejak, gdje u tom slučaju staje vožnja.





Datoteka Datum i vrijeme.png

Data block s informacijama o datumu i vremenu:

Totally Integrated Automation Portal							
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Datum i vrijeme [DB1]

Datum i vrijeme Properties							
General							
Name	Datum i vrijeme	Number	1	Type	DB	Language	DB
Numbering	automatic						
Information							
Title	Datum i vrijeme	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible from HMI	Visible in HMI	Setpoint	Comment
▼ Static							
▼ time_local_READ	DTL	DTL#1970-01-01-00:00:00	False	True	True	False	
YEAR	UInt	1970	False	True	True	False	
MONTH	UInt	1	False	True	True	False	
DAY	UInt	1	False	True	True	False	
WEEKDAY	UInt	5	False	True	True	False	
HOURL	UInt	0	False	True	True	False	
MINUTE	UInt	0	False	True	True	False	
SECOND	UInt	0	False	True	True	False	
NANOSECOND	UDInt	0	False	True	True	False	
▼ time_system_READ	DTL	DTL#1970-01-01-00:00:00	False	True	True	False	
YEAR	UInt	1970	False	True	True	False	
MONTH	UInt	1	False	True	True	False	
DAY	UInt	1	False	True	True	False	
WEEKDAY	UInt	5	False	True	True	False	
HOURL	UInt	0	False	True	True	False	
MINUTE	UInt	0	False	True	True	False	
SECOND	UInt	0	False	True	True	False	
NANOSECOND	UDInt	0	False	True	True	False	
Set_time	Bool	false	False	True	True	False	
▼ time_system_WRITE	DTL	DTL#1970-01-01-00:00:00	False	True	True	False	
YEAR	UInt	1970	False	True	True	False	
MONTH	UInt	1	False	True	True	False	
DAY	UInt	1	False	True	True	False	
WEEKDAY	UInt	5	False	True	True	False	
HOURL	UInt	0	False	True	True	False	
MINUTE	UInt	0	False	True	True	False	
SECOND	UInt	0	False	True	True	False	
NANOSECOND	UDInt	0	False	True	True	False	

Datoteka Nagib panela prema mjesecima.png

Data block s informacijama o optimalnom nagibu panela po mjesecu:

Totally Integrated Automation Portal							
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Nagib panela prema mjesecima [DB3]

Nagib panela prema mjesecima Properties							
General							
Name	Nagib panela prema mjesecima	Number	3	Type	DB	Language	DB
Numbering	automatic						
Information							
Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible from HMI	Visible in HMI	Setpoint	Comment
▼ Static							
▼ mjesečnikutevi	Array[0..11] of DInt		False	True	True	False	
mjesečnikutevi[0]	DInt	58	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[1]	DInt	50	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[2]	DInt	39	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[3]	DInt	22	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[4]	DInt	8	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[5]	DInt	1	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[6]	DInt	4	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[7]	DInt	17	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[8]	DInt	36	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[9]	DInt	49	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[10]	DInt	57	False	True	True	False	
mjesečnikutevi[11]	DInt	57	False	True	True	False	

Datoteka Vrijeme zalaska Sunca.png

Data block s informacijama o vremenima zalaska Sunca po mjesecu:

Totally Integrated Automation Portal							
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Vrijeme zalaska sunca [DB6]

Vrijeme zalaska sunca Properties							
General							
Name	Vrijeme zalaska sunca	Number	6	Type	DB	Language	DB
Numbering	automatic						
Information							
Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible from HMI	Visible in HMI	Setpoint	Comment
▼ Static							
▼ mjeseci	Array[0..11] of Dint		False	True	True	False	
mjeseci[0]	Dint	17	False	True	True	False	
mjeseci[1]	Dint	17	False	True	True	False	
mjeseci[2]	Dint	18	False	True	True	False	
mjeseci[3]	Dint	19	False	True	True	False	
mjeseci[4]	Dint	20	False	True	True	False	
mjeseci[5]	Dint	21	False	True	True	False	
mjeseci[6]	Dint	21	False	True	True	False	
mjeseci[7]	Dint	20	False	True	True	False	
mjeseci[8]	Dint	19	False	True	True	False	
mjeseci[9]	Dint	17	False	True	True	False	
mjeseci[10]	Dint	17	False	True	True	False	
mjeseci[11]	Dint	16	False	True	True	False	

Datoteka HMI.docx

Svi ekrani HMI-a s korištenim varijablama i dostupnim podacima u kompaktnom obliku:

Totally Integrated Automation Portal					
Screens					
Root screen					
Hardcopy of Root screen					
POSTAVKE VREMENA NAFALIŠO SISTEMSKO VRIJEME 2/23/2002 10:59:59 AM (Uključiti nakon unosa!) POSTAVI VRIJEME Mjesec 3 Dan 2 Godina 2000 Sati 5 Minute 59					
Name	Root screen	Background color	255, 255, 255	Grid color	192, 192, 192
Tooltip		Number	1	Template	Template_1
I/O field_6					
Type	I/O field	Name	I/O field_6	Y position	66
X position	90	Width	147	Height	23
Layer	0 - Layer_0	Mode	Output	Font	Tahoma, 9px, style=Bold
DynamizationsTag connection					
Property name	Process value	Tag	Data_block_1_time_system_READ		
Button_1					
Type	Button	Name	Button_1	Y position	120
X position	103	Width	108	Height	20
Mode	Text	Text OFF	POSTAVI VRIJEME	Text ON	Text
DynamizationsEvent					
Event name	Press				
Function listSetBit					
Tag	Data_block_1_Set_time				
DynamizationsEvent					
Event name	Release				
Function listResetBit					
Tag	Data_block_1_Set_time				
Text field_2					
Type	Text field	Name	Text field_2	Y position	38
X position	97	Width	131	Height	18
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 13px, style=Bold	Text	SISTEMSKO VRIJEME
Text field_3					
Type	Text field	Name	Text field_3	Y position	6
X position	16	Width	176	Height	21
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 16px, style=Bold	Text	POSTAVKE VREMENA
Text field_4					
Type	Text field	Name	Text field_4	Y position	99
X position	90	Width	148	Height	16
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 12px, style=Bold	Text	(Uključiti nakon unosa!)
I/O field_8					
Type	I/O field	Name	I/O field_8	Y position	164
X position	142	Width	28	Height	23
Layer	0 - Layer_0	Mode	Input/output	Font	Tahoma, 9px, style=Bold
DynamizationsTag connection					
Property name	Process value	Tag	Data_block_1_time_sys-tem_WRITE.DAY		
I/O field_9					
Type	I/O field	Name	I/O field_9	Y position	164
X position	35	Width	30	Height	23
Layer	0 - Layer_0	Mode	Input/output	Font	Tahoma, 9px, style=Bold
DynamizationsTag connection					
Property name	Process value	Tag	Data_block_1_time_sys-tem_WRITE.MONTH		

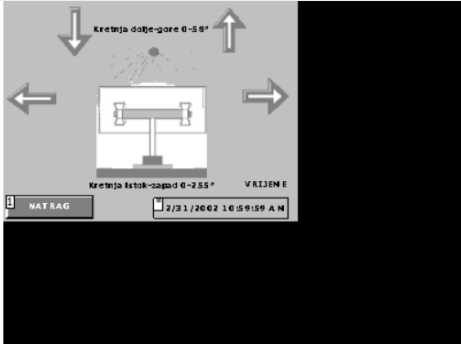
Totally Integrated Automation Portal					
I/O field_10					
Type	I/O field	Name	I/O field_10	Y position	164
X position	237	Width	46	Height	23
Layer	0 - Layer_0	Mode	Input/output	Font	Tahoma, 9px, style=Bold
Dynamizations\Tag connection					
Property name	Process value	Tag	Data_block_1_time_system_WRITE.YEAR		
I/O field_11					
Type	I/O field	Name	I/O field_11	Y position	211
X position	101	Width	33	Height	23
Layer	0 - Layer_0	Mode	Input/output	Font	Tahoma, 9px, style=Bold
Dynamizations\Tag connection					
Property name	Process value	Tag	Data_block_1_time_system_WRITE.HOUR		
I/O field_12					
Type	I/O field	Name	I/O field_12	Y position	212
X position	196	Width	32	Height	23
Layer	0 - Layer_0	Mode	Input/output	Font	Tahoma, 9px, style=Bold
Dynamizations\Tag connection					
Property name	Process value	Tag	Data_block_1_time_system_WRITE.MINUTE		
Text field_5					
Type	Text field	Name	Text field_5	Y position	142
X position	142	Width	24	Height	15
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 11px, style=Bold	Text	Dan
Text field_6					
Type	Text field	Name	Text field_6	Y position	142
X position	35	Width	42	Height	15
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 11px, style=Bold	Text	Mjsec
Text field_7					
Type	Text field	Name	Text field_7	Y position	142
X position	237	Width	41	Height	15
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 11px, style=Bold	Text	Godina
Text field_8					
Type	Text field	Name	Text field_8	Y position	193
X position	101	Width	24	Height	15
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 11px, style=Bold	Text	Sati
Text field_9					
Type	Text field	Name	Text field_9	Y position	192
X position	196	Width	41	Height	15
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 11px, style=Bold	Text	Minute
Button_2					
Type	Button	Name	Button_2	Y position	6
X position	221	Width	96	Height	32
Mode	Text	Text OFF	NAPRIJED	Text ON	Text
Dynamizations\Event					
Event name	Press				
Function list\ActivateScreen					
Screen name	Screen_1	Object number	0		

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Screens

Screen_1

Hardcopy of Screen_1



Name	Screen_1	Background color	192, 192, 192	Grid color	192, 192, 192
Tooltip		Number	2	Template	

Graphic view_1

Type	Graphic view	Name	Graphic view_1	Y position	6
X position	226	Width	38	Height	50
Layer	0 - Layer_0	Graphic	Graphic_2		

Dynamizations\Appearance					
Tag - Cycle	R3 -	Data type	Range	Range	0..0
Foreground color	255, 255, 255	Background color	192, 192, 192	Flashing	No
Range	1..1	Foreground color	255, 255, 255	Background color	182, 182, 182
Flashing	Yes				

Dynamizations\Visibility					
Tag - Cycle	R3 -	Data type	Range	Start range	0
End range	0	Visibility	Invisible		

Graphic view_2

Type	Graphic view	Name	Graphic view_2	Y position	87
X position	2	Width	56	Height	37
Layer	0 - Layer_0	Graphic	Graphic_3		

Dynamizations\Appearance					
Tag - Cycle	R2 -	Data type	Range	Range	0..0
Foreground color	255, 255, 255	Background color	182, 182, 182	Flashing	No
Range	1..1	Foreground color	255, 255, 255	Background color	182, 182, 182
Flashing	Yes				

Dynamizations\Visibility					
Tag - Cycle	R2 -	Data type	Range	Start range	0
End range	0	Visibility	Invisible		

Graphic view_3

Type	Graphic view	Name	Graphic view_3	Y position	82
X position	260	Width	50	Height	42
Layer	0 - Layer_0	Graphic	Graphic_4		

Dynamizations\Appearance					
Tag - Cycle	R1 -	Data type	Range	Range	0..0
Foreground color	255, 255, 255	Background color	192, 192, 192	Flashing	No
Range	1..1	Foreground color	255, 255, 255	Background color	182, 182, 182
Flashing	Yes				

Dynamizations\Visibility					
Tag - Cycle	R1 -	Data type	Range	Start range	0
End range	0	Visibility	Invisible		

Graphic view_4

Type	Graphic view	Name	Graphic view_4	Y position	6
X position	58	Width	38	Height	54
Layer	0 - Layer_0	Graphic	Graphic_5		

Dynamizations\Appearance					
Tag - Cycle	R4 -	Data type	Range	Range	0..0
Foreground color	255, 255, 255	Background color	182, 182, 182	Flashing	No
Range	1..1	Foreground color	255, 255, 255	Background color	182, 182, 182
Flashing	Yes				

Dynamizations\Visibility					
Tag - Cycle	R4 -	Data type	Range	Start range	0
End range	0	Visibility	Invisible		

Button_1

Type	Button	Name	Button_1	Y position	211
X position	2	Width	96	Height	26
Mode	Text	Text OFF	NATRAG	Text ON	Text

Totally Integrated Automation Portal					
DynamizationsEvent					
Event name		Press			
Function listActivatePreviousScreen					
I/O field_6					
Type	I/O field	Name	I/O field_6	Y position	214
X position	163	Width	147	Height	23
Layer	0 - Layer_0	Mode	Output	Font	Tahoma, 9px, style=Bold
DynamizationsTag connection					
Property name	Process value	Tag	Data_block_1_time_system_READ		
Text field_1					
Type	Text field	Name	Text field_1	Y position	192
X position	263	Width	47	Height	13
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 9px, style=Bold	Text	VRUJEME
Graphic view_5					
Type	Graphic view	Name	Graphic view_5	Y position	36
X position	101	Width	120	Height	156
Layer	0 - Layer_0	Graphic	Drawing1		
Text field_2					
Type	Text field	Name	Text field_2	Y position	23
X position	98	Width	128	Height	13
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 9px, style=Bold	Text	Kretnja dolje-gore 0-58°
Text field_3					
Type	Text field	Name	Text field_3	Y position	193
X position	92	Width	140	Height	13
Layer	0 - Layer_0	Font	Tahoma, 9px, style=Bold	Text	Kretnja istok-zapad 0-255°

Datoteka DataSheet.png

Informacije o pretpostavljenom korištenom inkrementalnom digitalnom enkoderu.

SIEMENS
Data sheet for Incremental encoder

MLFB-Ordering data 6FX2001-4DB00



Figure similar

Client order no. :
Order no. :
Offer no. :
Remarks :

Item no. :
Consignment no. :
Project :

Electrical data		Mechanical data	
Operating voltage Up	DC 10 ... 30 V	Shaft diameter	6 mm
Max. power consumption without	150 mA	Shaft length	10 mm
Signal level	UH >= 21 V at IH = 20 mA at 24 V; UL <= 2,8 V at IL = 20 mA at 24 V	Angular acceleration, max.	100000 rad/s²
Resolution	1000 S/R	Moment of inertia of rotor	0.00000145 kgm²
Accuracy	65 rad	Vibration (55...2000 Hz), max.	300 m/s²
Sampling frequency, max.	300 kHz	Friction torque (at 20°C), max.	0.01 Nm
Switching time (10 ... 90 %)	= 200 ns	Starting torque (at 20°C), max.	0.01 Nm
	Rise / fall time t _{RI} / t _{FI} <=	Net weight	0.3 kg
Phase relation signal A to B	90°	Speed max.	
Edge clearance at 300 kHz	0.45 µs	Max. permissible speed (elec.)	18000 rpm
LED failure monitoring	High impedance driver	Max. permissible speed (mech.)	12000 rpm
Cable length		Load capacity	
To the downstream electronics,	300 m	n = 6000 rpm	
		- Axial	10 N
		- Radial at shaft end	20 N
		n > 6000 rpm	
		- Axial	40 N
		- Radial at shaft end	60 N
		Shock, max.	
		2 ms	2000 m/s²
		6 ms	1000 m/s²
		Degree of protection	
		Without shaft input	IP67
		With shaft input	IP64
Standards			
Compliance with standards	CE, cULus		
EMC class filter	Tested according to the EMC guidelines 89/336/EEC and the rules of the EMC guidelines (generic standards)		

Technical data are subject to change! There may be discrepancies between calculated and rating plate values.

Page 1 of 1

Generated Fri Sep 01 18:02:04 CEST 2017