

RAZVOJ I IMPLEMENTACIJA UPRAVLJAČKOG DELA SOLARNOG SISTEMA ZA DVOOSNO PRAĆENJE POLOŽAJA SUNCA U REALNOM VREMENU**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE CONTROL PART OF THE SOLAR SYSTEM FOR DUAL AXIS TRACKING OF THE SUN'S POSITION IN REAL TIME**

Momčilo Medaković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je značaj solarne energije, sa fokusom na dvoosne sisteme za praćenje položaja Sunca. Zahvaljujući poznavanju NOAA algoritma za praćenje položaja Sunca u realnom vremenu, prikazano je rešenje implementirano u obliku biblioteke na PLC kontroleru. Praćenje je omogućeno izračunavanjem azimutnog i zenitnog ugla. Prikazan je izbor komponenata jednog ovakvog sistema kao i njihova mrežna topologija. Takođe, izdvojena su neka od softverskih rešenja dostupnih na svetskom tržištu. Ilustrovani su dobijeni rezultati i upoređeni sa dostupnim rešenjima. Na osnovu upoređenih rezultata zaključuje se da je implementacija uspešno realizovana, sa mogućnostima daljeg proširenja.

Ključne riječi: Solarna energija, NOAA algoritam, programabilno logički kontroler PLC, dvoosno praćenje Sunca

Abstract – This paper presents the importance of solar energy, with a focus on dual axis systems for tracking the position of the Sun. With the help of the knowledge of the NOAA algorithm for tracking the position of the Sun in real time, the solution implemented in the form of a library on PLC controller is presented. Tracking is executed by calculating the azimuth and zenith angles. The choice of components of such a system as well as their network topology is presented. Also, some of the software solutions available on the world market have been emphasized. The obtained results are illustrated and compared with the available solutions. Based on the compared results, it is concluded that the implementation has been successfully implemented, with the possibility of further expansion.

Keywords: Solar energy, NOAA algorithm, programmable logic controller PLC, dual axis solar tracking

1. UVOD

Praćenjem položaja Sunca u realnom vremenu postiže se znatno veća efikasnost prikupljanja solarne energije u odnosu na fiksne (neupravljive) sisteme. Sistem za dvoosno pozicioniranje u odnosu na Sunce (eng. Solar tracker) je upravljački uređaj koji omogućava orijentisanje sistema za prikupljanje solarne energije sa obzirom na relativni položaj Sunca na nebu, a zavisno od tačke posmatranja sa Zemlje.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Gordana Ostojić, red. prof.

Relativni položaj Sunca iznad fiksne tačke na Zemlji zavisi od geografske širine lokacije, geografske dužine lokacije, dana u godini i vremena. U nebeskom sistemu postoje dve ugaone veličine koje određuju položaj Sunca u svakom trenutku, to su azimutni i zenitni ugao. Cilj upravljačkog sistema jeste da omogući praćenje ove dve veličine u realnom vremenu.

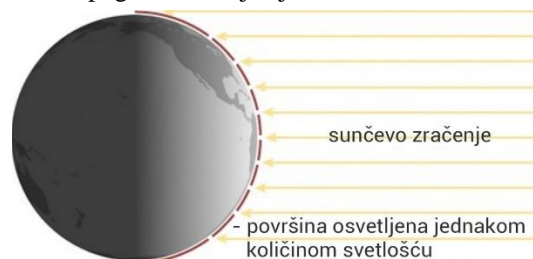
Pomenute uglove moguće je dobiti primenom algoritama koji se zasnivaju na astrofizičkim jednačinama kao što je NOAA algoritam. Algoritam za praćenje položaja Sunca je implementiran u programskom okruženju Mitsubishi PLC-a. Skup upravljačkih funkcija objedinjen je bibliotekom koju je moguće realizovati u bilo kojem mitsubishi PLC-u.

Za potrebe vizualizacije rezultata odnosno traženih veličina korišćen je HMI Mitsubishi proizvođača.

2. POJAM SUNČEVE TRAJEKTORIJE I ZRAČENJA NA POVRŠINI ZEMLJE

Osnovna geometrija ograničava stvarnu sunčevu energiju koju preseca Zemlja, tačnije samo pola Zemlje je osvetljeno Suncem u jednom trenutku, slika 1, što rezultuje smanjenjem ukupnog sunčevog zračenja. Insolacija sakupljena na površini Zemlje nije svugde ista, faktori koji utiču na količinu insolacije variraju od mesta do mesta i mogu se podeliti na sledeće [1].

- Revolucija Zemlje oko Sunca,
- rotacija Zemlje oko svoje ose,
- ugao nagiba sunčevih zraka,
- dužina dana,
- transparentnost atmosfere,
- topografske varijacije.



Slika 1. Raspoređivanje sunčeve svetlosti na površini Zemlje [2]

Definicije pojmova koji su od značaja za određivanje tačnog položaja Sunca su:

- **Sunčevo vreme** - Vreme zasnovano na ugao-kretanju Sunca, po kojem Sunce uvek prelazi meridijan posmatrača sever-jug u 12 časova

popodne. Razlikuje se u odnosu na lokalno vreme prema geografskoj dužini, vremenskoj zoni i jednačini vremena.

- **Sunčev časovni ugao**– Predstavlja ugaonu udaljenost između meridijana gde se nalazi posmatrač i meridijana čija ravan sadrži Sunce.
- **Sunčev zenitni ugao** - Ugao između sunčevog snopa zračenja i normale na horizontalnu ravan.
- **Sunčev azimutni ugao** - Ugao između direktnog sunčevog snopa i meridijana. Na severnoj hemisferi je jednak 0° za površinu okrenutu prema jugu, 180° prema severu, od 0° do 180° za površinu okrenutu prema zapadu i od 0° do -180° prema istoku.
- **Ugao deklinacije** - Predstavlja meru nagiba Zemljine ose prema liniji normalnoj na ravan njene orbite.

Postoji mnoštvo literature koja se bavi izračunavanjem pozicije Sunca pomoću algoritama, a koji se zasnivaju na astrofizičkim jednačinama. Pored međusobne razlike u načinu izračunavanja željenih uglova postojeći algoritmi se razlikuju i u tačnost. U većini slučajeva tolerancija tačnosti se nalazi u granicama od $\pm 0,03^\circ$, međutim postoje i složeniji algoritmi koji omogućavaju tačnost od oko $\pm 0,0003^\circ$ [3]. Autor ovog rada se odlučio za predstavljanje algoritima čiji su rezultati u granicama tolerancije od $\pm 0,03^\circ$. Algoritam je preuzet od NOAA odnosno od Nacionalne Okeanske i Atmosferske Administracije [4].

3. PRIKAZ TRENUTNO DOSTUPNIH SOFTVERSKIH REŠENJA

Praćenje položaja Sunca u realnom vremenu iziskuje postojanje kontrolerskih, aktuatorskih i senzorskih jedinica. Trenutno se u svetu koriste mnogobrojna softverska rešenja renomiranih proizvođača sa tendencijom porasta broja istih.

Gotovo većina svetskih proizvođača opreme za automatu kao svoj poseban paket prodaju i biblioteke sa gotovim funkcijskim blokovima za praćenje položaja Sunca. Većina softverskih rešenja je univerzalna za različite vrste solarnih sistema kao što su PV (Photovoltaic), CPV (Concentrating photovoltaic), CSP (Thermal to cylinder-parabolic) i drugi.

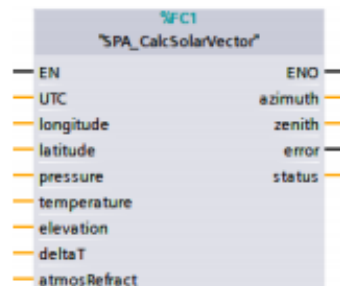
Međutim, uglavnom se baziraju na računanju azimutnog i zenitnog ugla Sunca koji je moguće dobiti korišćenjem odnosno izračunavanjem istog pomoću dostupnih algoritama.

U ovom poglavlju predstavljena su neka od rešenja koja se mogu pronaći trenutno na tržištu, kao gotov proizvod pod različitim nazivima, ali sa sličnom funkcijom. Rešenja se razlikuju u tačnosti, broju i vrsti ulaznih odnosno izlaznih promenljivih. U radu su predstavljena rešenja sledećih proizvođača: Siemens, ABB, Beckoff. Izgled simensovog rešenja pod nazivom Solar Position Algorithm Library prikazan je na slici 2.

4. RAZVOJ I PROJEKTOVANJE UPRAVLJAČKOG DELA

Po uzoru na renomirane proizvođače programabilno logičkih kontrolera [5-8], program formiran u okviru ovog

rada ima za cilj kreiranje biblioteke sa funkcijama. Preuzimanjem biblioteke i pokretanjem iz programskog okruženja Mitsubishi PLC-a biće moguće dobijanje vrednosti zaduženih za dvoosno praćenje položaja Sunca u realnom vremenu.



Slika 2. Funkcijski blok za izračunavanje izlaznih promenljivih Siemens [2]

4.1 Upravljačka arhitektura – blok dijagram sistema

Na slici 3. prikazana je upravljačka arhitektura prototipa. Svrha izrade prototipa ogleda se u testiranju programa kao i performansi servo odnosno AC motora u polju pozicioniranja. Takođe, u cilju traženja optimalnog rešenja upravljanja aktuatorima, izabrana su dva različita tipa aktuatora, servo motor i trofazni asinhroni motor. Ulazni parametri koji se odnose na geografsku širinu, dužinu i lokalni meridijan se unose preko HMI panela ili preko uređaja za daljinsko upravljanje Ewon Flexy205.

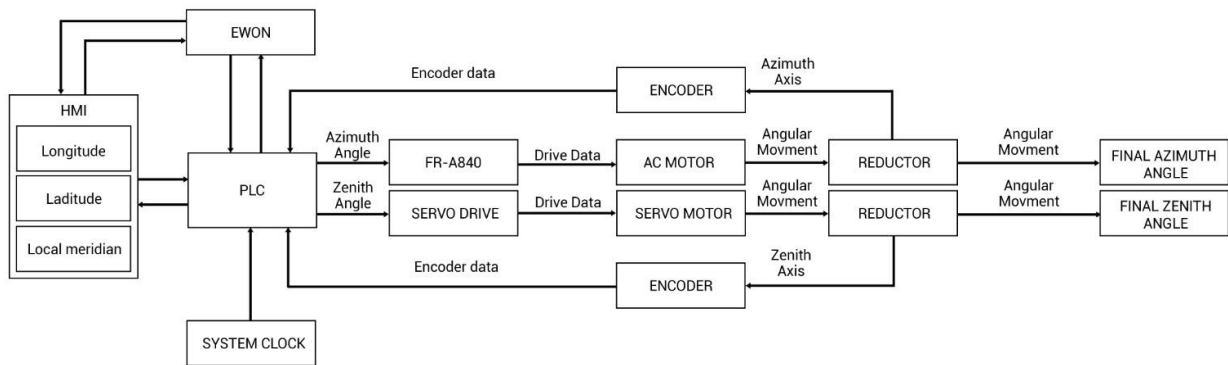
4.2 Organizacija programa i potprograma unutar projekta Solar_Tracking

Dva glavna programa koji čine projekat Solar_Tracking sastoje se od potprograma koji se izvršavaju u sken ciklusu koji im je dodeljen. Kreirani su funkcijski blokovi koje je moguće pozivati i izvršavati nebrojeno puta iz bilo kog programa ili potprograma ili drugog funkcijskog bloka. Funkcijski blokovi predstavljaju biblioteke korisnika. Funkcijskom bloku je neophodno proslediti ulazne parametre, a funkcijski blok na osnovu unutrašnje logike prosleđuje izlazne parametre. Na slici 4 prikazani su funkcijski blokovi za izračunavanje azimutnog i zenitnog ugla.

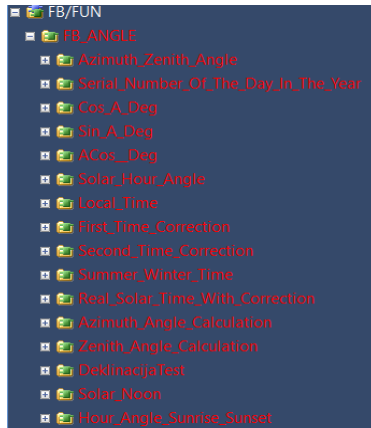
4.3 Prikaz implementiranog rešenja

Implementirano rešenje, koje je prvenstveno i cilj ovog rada bilo je formiranje funkcijskog bloka odnosno biblioteke funkcija koje će omogućiti dobijanje azimutnog i zenitnog ugla u realnom vremenu. Korišćenjem funkcijskog bloka (slika 5) i prethodnog ubacivanja biblioteke u GXWorks3 sa svim pratećim funkcijskim blokovima moguće je dobiti tražene veličine. U ovom slučaju funkcijski blok je izveden tako da preuzima vrednosti koje su unete putem HMI panela i smeštene u globalne promenljive, takođe moguće je obezbediti i unošenje putem PLC-a ili eWon uređaja.

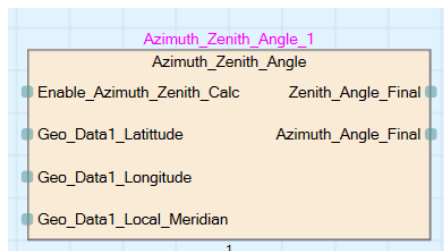
Biblioteku je moguće primeniti samo na kontrolerima proizvođača Mitsubishi koji podržavaju programsko okruženje GXWorks3. Izlazne promenljive koje se dobijaju nakon primene proračuna pozicije Sunca moguće je adaptirati i primeniti na drajvere odnosno aktuatore koji nisu pomenuti u ovom radu a mogu biti i drugih vrsta odnosno proizvođača, naravno ukoliko je moguće uspostaviti komunikaciju sa Mitsubishi PLC-om.



Slika 3. Upravljačka arhitektura prototipa

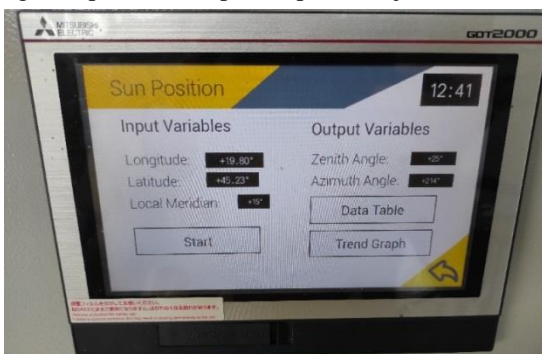


Slika 4. Spisak FB za izračunavanje azimutnog i zenitnog ugla



Slika 5. Izgled krajnjeg funkcijskog bloka za računanje azimutnog i zenitnog ugla

U svrhu testiranja biblioteke i sistema za prikupljanje solarne energije napravljen je razvodni ormar sa hardverskim komponentama, uključujući i korisnički interfejs, HMI panel. Kako je sistem u formi prototipa, moguće su dalje izmene i nadogradnje, međutim deo koji se odnosi na računanje azimutnog i zenitnog ugla se neće menjati. Izgled ekrana za proračun azimutnog i zenitnog ugla na putem HMI panela prikazan je na slici 6.



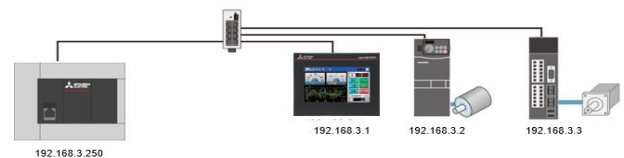
Slika 6. Izgled ekrana angle positioning nakon unošenja ulaznih promenljivih.

5. ODABIR KOMPONENATA UPRAVLJAČKOG SISTEMA

Autor ovog rada odlučio se za implementaciju upravljačkog dela sistema koristeći sledeće komponente:

- Mitsubishi PLC FX5U-32MT-DSS
- Mitsubishi frekventni regulator FR-A840
- Mitsubishi servo drajver MR-JE-70C
- Mitsubishi servo motor HG-KN73BJK
- Uređaj za daljinsku kontrolu – Ewon Cosy
- Trofazni asinhroni motor 0,75kw, ATB sever.

U toku projektovanja sistema, neophodno je unapred predvideti mogući broj komponentata, kao i načine komunikacije između komponentata. U ovom radu implementiran je prokol pod nazivom CC Link IE Field Basic koji je svojstven za Mitsubishi opremu. Mrežna topologija sistema prikazana je na slici 7.



Slika 7. Zvezda - mrežna topologija

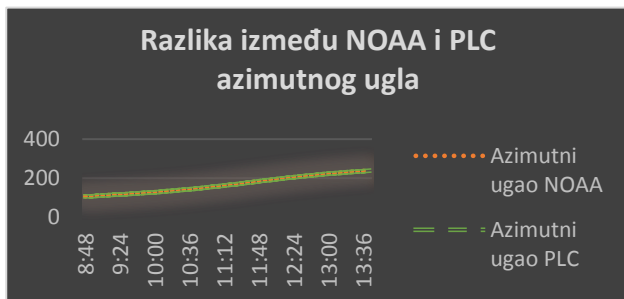
6. REZULTATI IMPLEMENTIRANOG REŠENJA

Testiranje validnosti promene zenitnog i azimutnog ugla korišćenjem kreirane biblioteke izvršeno je dana 14.6.2021. Novi Sad je izabran kao geografska lokacija sa sledećim podacima:

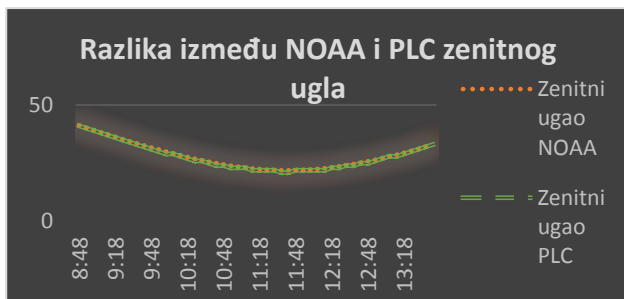
- Geografska širina +45.23°
- Geografska dužina +19.80°
- Lokalni meridijan +15°

Korišćenjem ugrađene funkcije na HMI panelu, data logging, kreiran je .csv fajl na SD kartici uređaja. Testiranje je započeto u 08:46 a završeno u 13:46, prikupljeno je 300 veličina, sa vremenom odabiranja od jednog minuta. Na slici 8 u kojoj su se poredile veličine azimutnih uglova NOAA solar kalkulatora i kreirane biblioteke na PLC-u može se pokazati verodostojnost izračunatih uglova. Zelenom bojom prikazani su uglovi izračunati putem PLC-a, koji u potpunosti prate tok promene azimutnog ugla (slika 9) dolazi do odstupanja od maksimalno $\pm 1^\circ$

koja se mogu pripisati zaokruživanjem konačnih vrednosti izračunatih uglova sa PLC-a na celobrojni tip promenljive. Međutim i dalje se vidi da kriva promene zenitnog ugla izračunatog na PLC-u prati tok promene zenitnih uglova izračunatih pomoću NOAA solar kalkulatora. U slučaju praćenja pozicije Sunca sa Zemlje, greška od $\pm 1^\circ$ u našem slučaju može biti prihvatljiva.



Slika 8. Razlika između azimutnih uglova NOAA solar kalkulatora i kreiranog rešenja



Slika 9. Razlika između zenitnih uglova NOAA solar kalkulatora i kreiranog rešenja

7. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni rezultati testiranja nakon 5h sati rada sistema za lokaciju Novi Sad. Rezultati su upoređeni sa zvaničnim NOAA solarnim kalkulatorom koji se koristi za dobijanje azimutnog i zenitnog ugla.

Na osnovu svega do sada navedenog, može se zaključiti da su rezultati dobijeni korišćenjem biblioteke putem PLC-a verodostojni za potrebe našeg prototipa.

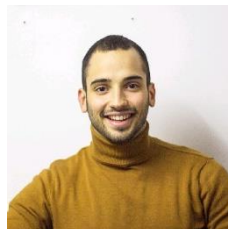
Fokus budućih istraživanja i razvoja biće usmeren na optimizaciju potrošnje električne energije upravljačkog dela. Konkretno, može se implementirati rešenje sa piriometrom koji ima mogućnost komunikacije putem MODBUS RTU protokola.

Pomoću ovog senzora moguće je računati količinu sunčeve energije koja padne na njega, na osnovu ove količine i proračunatih uglova pomoću kreirane biblioteke moguće je predvideti vremenske nepogode ili oblačno vreme. U toku vremenskih nepogoda sistem neće raditi a samim tim neće ni trošiti električnu energiju. U slučaju primene samo kreirane biblioteke sistem ne može da zna da li je vreme oblačno ili ne.

8. LITERATURA

- [1] <http://www.visionias.in> (pristupljeno u maju 2021)
- [2] <https://new.siemens.com/global/en/markets/machinebuilding/solar-production-machines/solar-tracking.html> (pristupljeno u maju 2021)
- [3] Reda, I., & Andreas, A. (2003). Solar position algorithm for solar radiation applications. Science Direct, 76, 577-589. doi:10.1016/j.solener.2003.12.003
- [4] NOAA(2021, 6 14). Solar Calculation Details. Preuzeto sa Global Monitoring Laboratory: <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/calcdetails.html>
- [5] S. Stankovski, G. Ostojić, and X. Zhang, "Influence of Industrial Internet of Things on Mechatronics", Journal of Mechatronics, Automation and Identification Technology, vol. 1, no.1. pp. 1-6, March, 2016.
- [6] S. Stankovski, G. Ostojić, I. Baranovski, M. Babić and M. Stanojević, "The Impact of Edge Computing on Industrial Automation," 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1-4, doi: 10.1109/INFOTEH48170.2020.9066341., 2020.
- [7] S. Stankovski, d. Kukolj, G. Ostojić, I. Baranovski, and S. Nemet, "Trends in Artificial Intelligence for Automated Industrial Systems", Journal of Mechatronics, Automation and Identification Technology, vol. 6, no.1. pp. 9-13, 2021.
- [8] S. Stankovski, G. Ostojić, X. Zhang, I. Zečević and M. Stanojević, "Challenges with Edge Computing in Mechatronics Education," 2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/INFOTEH51037.2021.9400664.

Kratka biografija:



Momčilo Medaković rođen je u Senti 1996. god. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka 2019. god. Sa prosečnom ocenom 9,77. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike – mehatronika u mehanizaciji odbranio je 2021.god.