Broj rada: R3-06
DOI:10.46793/CIRED2026.R3-06_198

IMPLEMENTACIJA SCADA SISTEMA I KONTROLERA ELEKTRANE ZA UPRAVLJANJE SOLARNOM ELEKTRANOM SNAGE 10 MW PRIKLJUČENE NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

IMPLEMENTATION OF A SCADA SYSTEM AND POWER PLANT CONTROLLER FOR THE CONTROL OF A 10 MW SOLAR POWER PLANT CONNECTED TO A DISTRIBUTION NETWORK

Marko GOSTOVIĆ, PowerGrid Engineering doo Beograd, Srbija *
Marko MEDIĆ, PowerGrid Engineering doo Beograd, Srbija
Miljana TODOROVIĆ, PowerGrid Engineering doo Beograd, Srbija
Pavle KRIČKA, PowerGrid Engineering doo Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Povećana integracija solarnih elektrana u distributivnim mrežama donosi nove izazove u pogledu regulacije napona, fluktuacija snage i ispunjenja zahteva operatora distributivnog sistema. Kako bi se obezbedio pouzdan i siguran rad, neophodna je primena naprednih sistema za nadzor i upravljanje na nivou elektrane. U ovom radu prikazana je implementacija SCADA sistema i kontrolera elektrane za solarnu elektranu instalisane snage 10 MW priključenu na srednjenaponsku distributivnu mrežu. Primena SCADA sistema omogućava centralizovan nadzor, prikupljanje mernih podataka, obradu alarma i daljinsko upravljanje ključnim komponentama elektrane. Kontroler elektrane je implementiran sa ciljem ispunjenja tipičnih zahteva operatora distributivne mreže, kao što su ograničenje aktivne snage, kontrola brzine promene snage i regulacija reaktivne snage ili faktora snage. Koordinacija između SCADA sistema, kontrolera elektrane i regulatora invertora omogućava fleksibilan i pouzdan rad elektrane u različitim pogonskim uslovima. Rad daje pregled arhitekture sistema, komunikacione strukture i osnovnih upravljačkih funkcija, uz poseban osvrt na praktična iskustva iz implementacije i eksploatacije. Prikazani primer potvrđuje da kombinacija SCADA sistema i kontrolera elektrane predstavlja efikasno rešenje za integraciju solarnih elektrana srednje snage u distributivne mreže.

Ključne reči: distributivna mreža, kontroler elektrane, SCADA, solarna elektrana

ABSTRACT

The increasing integration of solar power plants into distribution networks introduces new challenges in terms of voltage regulation, power fluctuations, and compliance with distribution system operator requirements. To ensure reliable and secure operation, the implementation of advanced monitoring and control systems at the plant level is essential. This paper presents the implementation of a SCADA system and a Power Plant Controller (PPC) for a 10 MW solar power plant connected to a medium-voltage distribution network. The SCADA system enables centralized supervision, data acquisition, alarm processing, and remote control of key plant components. The PPC is implemented to meet typical distribution network operator

* Marko Gostović marko.gostovic@powergrid-e.com

requirements, such as active power limitation, ramp-rate control, and reactive power or power factor regulation. Coordination between the SCADA system, the PPC, and inverter controllers ensures flexible and reliable plant operation under various operating conditions. The paper provides an overview of the system architecture, communication structure, and main control functions, with particular emphasis on practical experience gained during implementation and operation. The presented case study confirms that the combination of a SCADA system and a PPC represents an efficient solution for the integration of medium-scale solar power plants into distribution networks.

Keywords: distribution network, Power Plant Controller (PPC), SCADA, solar power plant

UVOD

Solarna energija predstavlja jedan od najzastupljenijih i najbrže rastućih izvora obnovljive energije. U Srbiji se iz godine u godinu beleži rast instalisanih kapaciteta solarnih elektrana, međutim i dalje su to elektrane snaga do 10 MW koje se povezuju na distributivni sistem, dok se u narednom periodu očekuje razvoj većih projekata i priključenje solarnih elektrana većih instalisanih snaga na prenosni sistem. Povećano učešće solarnih elektrana nameće nove zahteve u pogledu upravljanja i regulacije njihovog rada. Elektrane izgrađene u ranijem periodu često nisu imale napredne mogućnosti upravljanja, zbog čega je sada potrebno unaprediti lokalne upravljačke sisteme kako bi se omogućilo ispunjenje zahteva operatora sistema u pogledu kontrole aktivne i reaktivne snage. Istovremeno, savremeni trend razvoja solarnih elektrana, vođen kako zahtevima operatora sistema tako i interesima investitora, podrazumeva sve češću integraciju baterijskih sistema za skladištenje električne energije (BESS) u okviru postrojenja. Primena baterijskih sistema omogućava veću fleksibilnost rada elektrane, efikasnije upravljanje proizvodnjom i dodatni doprinos stabilnosti elektroenergetskog sistema. Shodno tome, u narednom periodu biće neophodno proširiti funkcionalnosti kontrolera solarnih elektrana uključivanjem upravljanja baterijskim kapacitetima u okviru postojećih upravljačkih algoritama.

U radu je dat pregled postojećih rešenja sistema za upravljanje i kontrolu solarnih elektrana, uz prikaz praktičnih iskustava stečenih tokom implementacije i eksploatacije ovakvih sistema na konkretnom primeru iz prakse.

1 TEHNIČKE KARAKTERISTIKE SOLARNE ELEKTRANE

Solarna elektrana predstavlja proizvodni objekat koji električnu energiju generiše konverzijom sunčevog zračenja pomoću fotonaponskih modula. Jednosmerna električna energija iz fotonaponskih modula se putem invertora pretvara u naizmeničnu energiju odgovarajuće frekvencije i naponskog nivoa za priključenje na elektroenergetski sistem. Osnovne tehničke karakteristike solarne elektrane obuhvataju instalisanu snagu solarne elektrane, nazivnu snagu invertora, konfiguraciju i raspored modula, način priključenja na mrežu preko odgovarajućih transformatora, kao i karakteristike sistema za zaštitu i upravljanje.

2 ZAHTEVI OPERATORA DISTRIBUTIVNOG SISTEMA

Prema Pravilima o radu distributivnog sistema Elektrodistribucije Srbije [1]-[4], priključenje solarne elektrane uslovljeno je ispunjenjem tehničkih kriterijuma kojima se obezbeđuju siguran i pouzdan rad distributivne mreže, kao i propisani kvalitet električne energije. Mesto i način priključenja, kao i naponski nivo, određuje operator distributivnog sistema, pri čemu rad

elektrane ne sme prouzrokovati nedozvoljena odstupanja napona, povećanje harmonijskog izobličenja, flikera ili nesimetrije iznad propisanih graničnih vrednosti. U postupku priključenja sprovodi se analiza struja kratkog spoja, termičkog opterećenja vodova i transformatora, kao i provera ispunjenosti kriterijuma sigurnosti „N-1“, a u slučaju prekoračenja definišu se odgovarajuće tehničke mere.

Savremena praksa priključenja solarnih elektrana na distributivnu mrežu podrazumeva implementaciju funkcija upravljanja proizvodnjom, kao što su ograničenje aktivne snage, regulacija reaktivne snage odnosno faktora snage, kao i kontrola brzine promene izlazne snage. U okviru realizovanih projekata često se definiše ograničenje promene aktivne snage na najviše 10% instalisane snage u minutu, čime se sprečavaju nagle promene snage koje mogu ugroziti naponske prilike u mreži. Pored toga, elektrana tipično omogućava daljinski nadzor i upravljanje, uključujući mogućnost redukcije snage ili isključenja u slučaju poremećaja, a pre puštanja u rad sprovodi se tehnički prijem i funkcionalno ispitivanje zaštitnih i upravljačkih sistema radi potvrde usklađenosti sa propisanim uslovima priključenja.

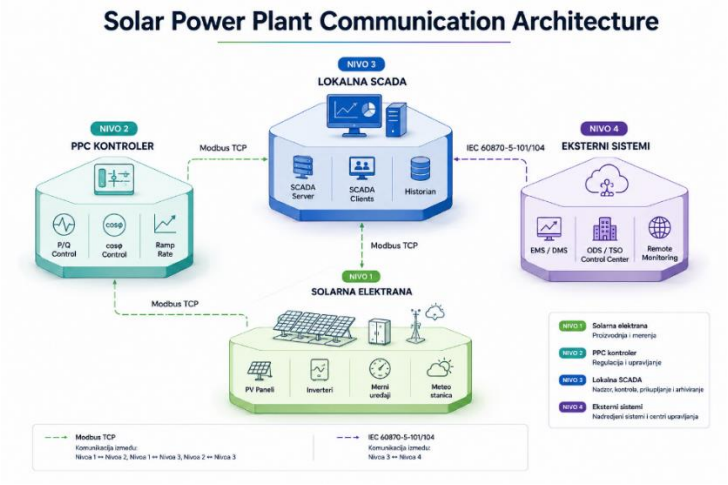
3 OPŠTA ARHITEKTURA SCADA I PPC SISTEMA

Arhitektura SCADA sistema (engl. Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA) i kontrolera solarne elektrane (engl. Power Plant Controller – PPC) zasniva se na vertikalnoj strukturi upravljanja. Na najnižem nivou nalaze se fotonaponski moduli, invertori i merna oprema. Podaci o dostupnom „kapacitetu“, proizvedenoj aktivnoj i reaktivnoj snazi, naponu i frekvenciji prikupljaju se putem data logger-a i uređaja za merenje i prosleđuju kontroleru elektrane.

SCADA sistem omogućava istovremeno nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka iz elektroenergetskog postrojenja i solarne elektrane, u realnom vremenu. Osnovne funkcionalnosti SCADA sistema obuhvataju prikupljanje podataka sa invertora i data logger-a, mernih uređaja i uređaja relejne zaštite, vizuelizaciju stanja sistema putem grafičkog korisničkog interfejsa, upravljanje opremom na daljinu, kao i arhiviranje i analizu podataka. Funkcionalnosti sistema uključuju i izradu izveštaja, trend analize i razmenu podataka sa drugim sistemima upravljanja, kao što su PPC sistemi ili dispečerski centri operatora sistema.

Kontroler elektrane predstavlja centralni upravljački sistem koji omogućava koordinisano upravljanje svim invertorima i drugim uređajima u solarnoj elektrani. Njegova osnovna uloga je da obezbedi da rad elektrane bude usklađen sa zahtevima operatora distributivnog sistema i pravilima priključenja elektrana na distributivni sistem. Kontroler prikuplja merne podatke sa nivoa elektrane i tačke priključenja, obrađuje zadate reference ili ograničenja i na osnovu toga generiše upravljačke komande prema invertorima. Na taj način obezbeđuje jedinstvenu regulaciju rada elektrane na nivou celog postrojenja. Jedna od osnovnih funkcija kontrolera je upravljanje aktivnom snagom. Kontroler omogućava ograničenje ukupne aktivne snage elektrane u skladu sa zahtevima operatora mreže, kao i kontrolu brzine promene snage. Pored toga, kontroler omogućava i upravljanje reaktivnom snagom ili faktorom snage. Na osnovu izabranog režima rada moguće je regulisati reaktivnu snagu, održavati zadati faktor snage ili učestvovati u regulaciji napona u tački priključenja. Na taj način elektrana aktivno doprinosi održavanju naponskih prilika i stabilnosti distributivne mreže.

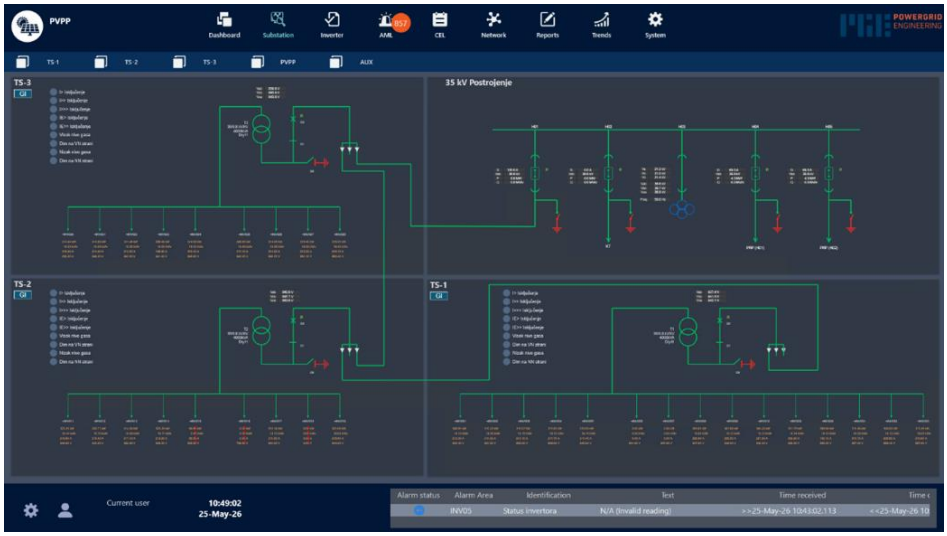
Arhitektura SCADA i PPC sistema u opštem slučaju je prikazana na slici 1.



Slika 1 – Arhitektura SCADA i PPC sistema

4 REALIZOVAN SCADA I PPC SISTEM NA PRAKTIČNOM PRIMERU

Kako je u radu dat osvrt na primer upravljanja solarne elektrane u praksi, biće dati osnovni tehnički podaci predmetne elektrane. Solarna elektrana je na 35 kV distributivni sistem povezana preko tri energetska transformatora prenosnog odnosa 35/0.8 kV sledećih snaga: T_1 - 4000 kVA, T_2 - 3150 kVA i T_3 - 3150 kVA. Na transformator T_1 je povezano 15 invertora, dok je na transformatore T_2 i T_3 povezano po 9 invertora. Svaki invertor je nazivne snage 320 kW, odnosno trajno dozvoljene snage 352 kW. Na slici 2 je data osnovna jednopolna šema konkretne solarne elektrane.

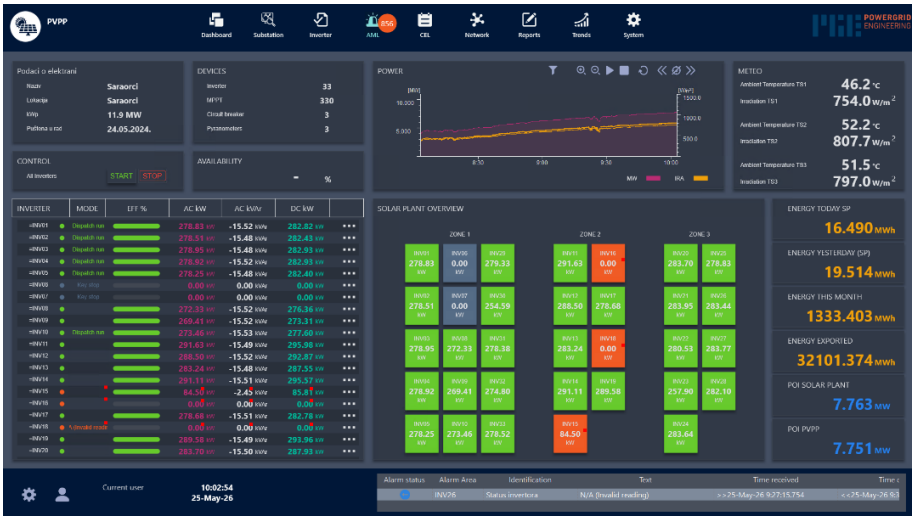


Slika 2 – Jednopolna šema elektrane

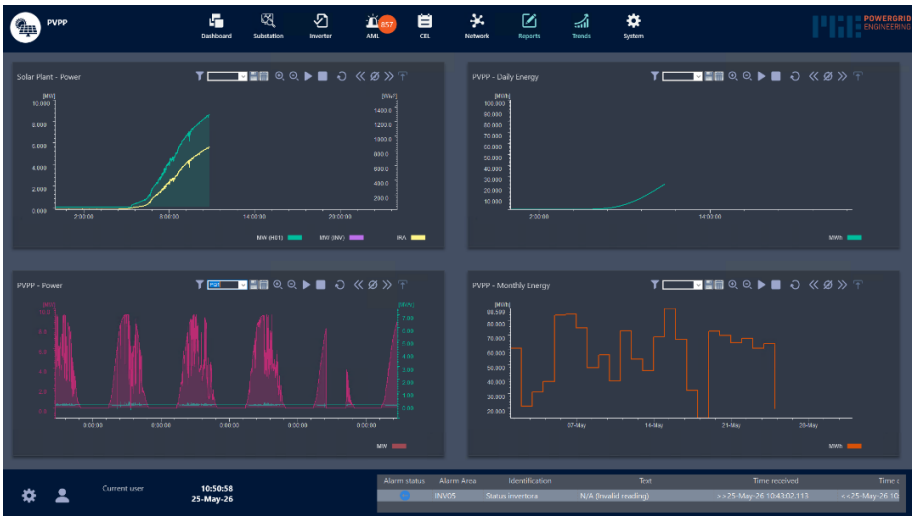
4.1 Realizovan SCADA sistem

Realizovani SCADA sistem omogućava operaterima praćenje električnih veličina kao što su napon, struja, aktivna i reaktivna snaga, frekvencija, statuse primarne opreme, kao i podatke iz meteoroloških stanica. Na slici 3 je prikazan kontrolni panel realizovanog SCADA sistema na kome se mogu videti trenutna proizvodnja elektrane, podaci o proizvedenoj energiji, statusi svih invertora u elektrani, aktivna snaga svakog od njih, ambijentalna temperatura, kao i

vrednost insolacije. Na slici 4 su prikazani na dnevnom nivou trendovi aktivne snage proizvodnje elektrane i insolacije (gore levo), na nedeljnom nivou trend aktivne snage na mestu priključka (dole levo), trend proizvodnje energije (gore desno), kao i dnevne proizvodnje električne energije na mesečnom nivou (dole desno). Prikaz trendova se podešava prema zahtevima operatora solarne elektrane, a može se jednostavno menjati. Pored toga, realizovan SCADA sistem obezbeđuje generisanje alarma i događaja u slučaju odstupanja od normalnog rada, čime se omogućava pravovremena reakcija operatera i povećava pouzdanost rada postrojenja.

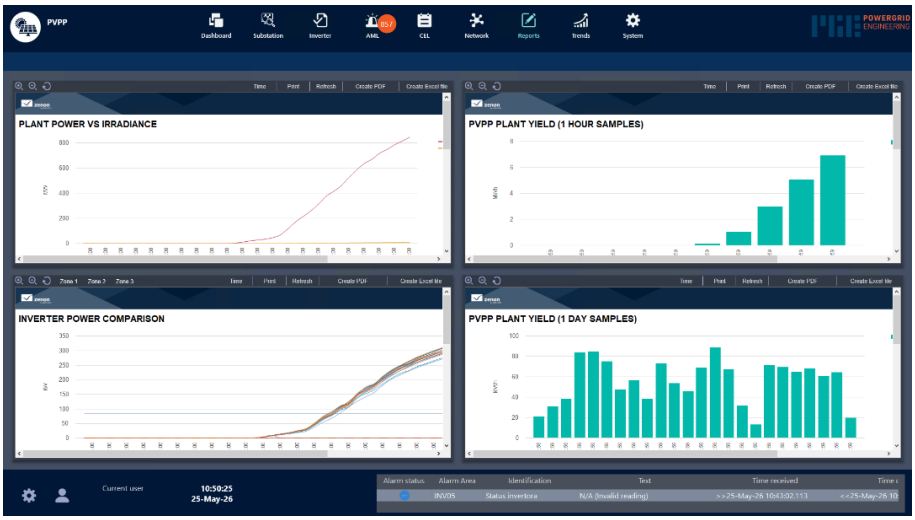


Slika 3 – Kontrolni panel SCADA sistema



Slika 4 – Prikaz trendova merenih veličina u SCADA sistemu

Na slici 5 je dat prikaz izveštaja koji se svakodnevno šalju vlasniku elektrane. U gornjem levom uglu je prikazan izveštaj koji uključuje dnevnu promenu vrednosti iradijanse i snage elektrane u MW. Do njega je dat izveštaj o proizvodnji elektrane na satnom nivou za tekući dan. U donjem levom uglu je izveštaj o dnevnoj promeni snage za svaki pojedinačni invertor, dok je u donjem desnom uglu izveštaj o proizvodnji elektrane u MWh za svaki dan u tekućem mesecu.



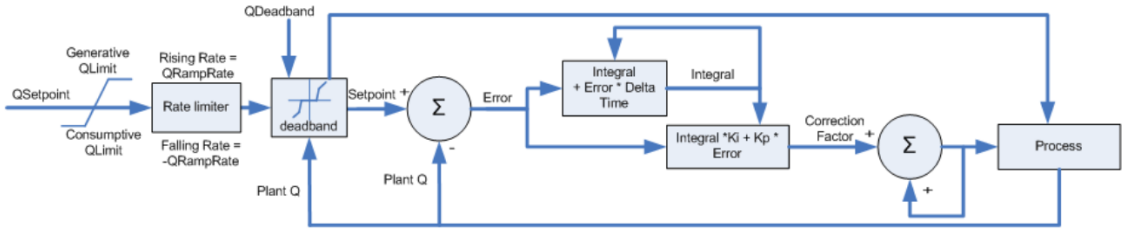
Slika 5 – Prikaz aktiviranih izveštaja na SCADA sistemu

4.2 Realizovan PPC sistem

Za elektranu opisanu u radu nije postojala obaveza ugradnje kontrolera elektrane, s obzirom na to da takav zahtev nije bio definisan uslovima za priključenje niti Rešenjem o priključenju objekta. Kontroler elektrane ugrađen je naknadno, na inicijativu investitora, sa ciljem unapređenja rada i efikasnosti elektrane, kao i pripreme postrojenja za buduću integraciju baterijskog sistema za skladištenje energije.

U postojećoj konfiguraciji PPC nije povezan sa SCADA sistemom operatora distributivnog sistema, već isključivo sa SCADA sistemom vlasnika elektrane. Upravljanje kontrolerom realizovano je preko njegovog ugrađenog Web HMI interfejsa ili putem lokalnog SCADA sistema. Istovremeno, PPC poseduje mogućnost povezivanja sa jednim ili više nadređenih dispečerskih centara primenom standardnih komunikacionih protokola IEC 60870-5-104, IEC 60870-5-101, Modbus i DNP3, ukoliko takav način integracije bude zahtevan u budućnosti. Pri tome je moguće slobodno definisati skup podataka koji će se razmenjivati sa nadređenim SCADA sistemom, pri čemu se mogu koristiti svi podaci dostupni u PPC-u, u skladu sa zahtevima korisnika ili operatora sistema.

Realizovani PPC sistem uključuje osnovne funkcije kontrolera, kao što su ograničenje ukupne aktivne snage elektrane u skladu sa zahtevima operatora mreže, kontrolu brzine promene snage, kao i upravljanje reaktivnom snagom. Definisana je maksimalna aktivna snaga elektrane od 9,9 MW, a dozvoljena brzina promene snage je podešena na 16,67 kW/s. Upravljanje reaktivnom snagom je omogućeno kroz rad u zatvorenoj regulacionoj petlji prema dijagramu prikazanom na slici 6. Rad regulatora se podešava pomoću parametara kao što su zadata vrednost reaktivne snage (QSetpoint), zona neosetljivosti regulacije (QDeadband), zadata brzina promene reaktivne snage (QRampSetpoint), kao i proporcionalni i integralni koeficijenti regulatora (QKp i QKi) koji određuju dinamiku odziva sistema [5].



Slika 6 – Dijagram kontrole reaktivne snage, preuzeto iz [5]

5 PRAKTIČNA ISKUSTVA NAKON IMPLEMENTACIJE KONTROLERA SOLARNE ELEKTRANE

Jedna od osnovnih funkcija PPC sistema u okviru solarne elektrane jeste upravljanje aktivnom snagom elektrane u skladu sa zahtevima operatora sistema i tehničkim ograničenjima elektroenergetske mreže. U tom smislu posebno su značajne funkcije ograničenja maksimalne aktivne snage i kontrole brzine promene snage (engl. Ramp Rate Control), koje će detaljnije biti razmotrene u poglavlju 5.1. Dodatno, s obzirom na to da je predmetna solarna elektrana bila u eksploataciji i pre implementacije PPC sistema, bilo je moguće analizirati efekte unapređenog sistema upravljanja poređenjem rada elektrane pre i nakon implementacije PPC-a. Analiza je pokazala da se prednosti implementiranog rešenja ogledaju u povećanju proizvodnje aktivne energije i smanjenju potrošnje reaktivne energije, a navedeni uticaji biće detaljnije razmotreni u poglavljima 5.2 i 5.3.

5.1 Ograničenje maksimalne aktivne snage i kontrola brzine promene snage

Solarne elektrane karakteriše promenljiva proizvodnja električne energije usled promena intenziteta sunčevog zračenja, temperature i meteoroloških uslova. Nagla promena vremenskih uslova, kao što je prolazak oblaka preko fotonaponskih panela, može izazvati brze promene izlazne snage elektrane. Takve promene mogu negativno uticati na stabilnost elektroenergetskog sistema, posebno u mrežama sa velikim učešćem obnovljivih izvora energije. Zbog toga PPC kontroler vrši kontinuirani nadzor i regulaciju izlazne aktivne snage elektrane. Funkcija ograničenja maksimalne aktivne snage omogućava da se proizvodnja elektrane ograniči na unapred definisanu vrednost, nezavisno od trenutne raspoložive snage fotonaponskog sistema. Ograničenje može biti zadato lokalno od strane operatora elektrane ili daljinski putem SCADA sistema od strane operatora mreže.

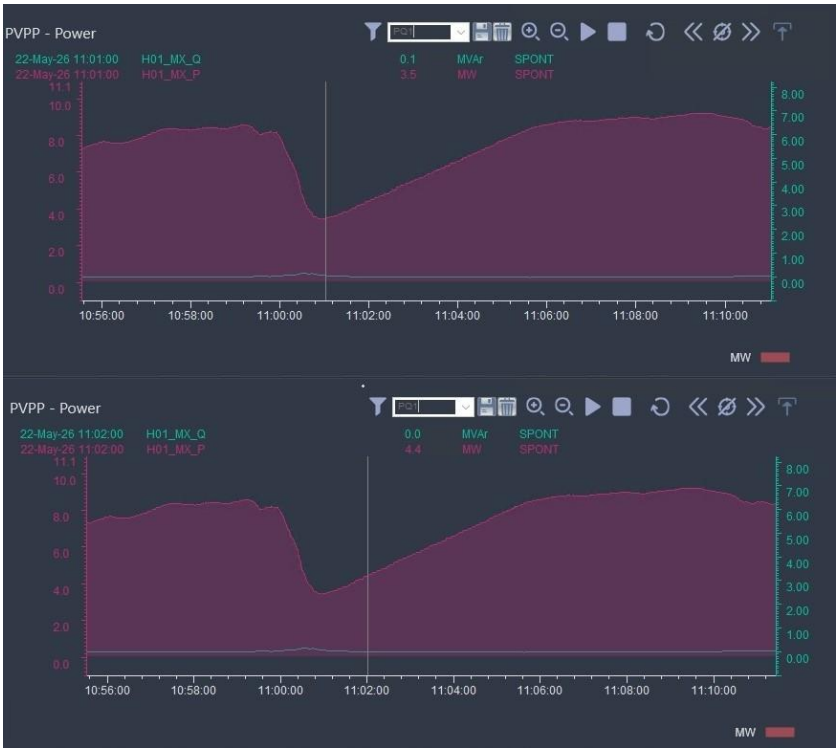
U praksi se ograničenje aktivne snage koristi za sprečavanje preopterećenja mreže, održavanje stabilnosti napona i frekvencije, poštovanje ugovorenih uslova priključenja, izvođenje balansnih i dispečerskih funkcija, kao i ograničenje proizvodnje tokom zagušenja mreže. PPC kontroler realizuje ovu funkciju tako što šalje odgovarajuće referentne vrednosti invertorima unutar elektrane. Svaki invertor zatim prilagođava svoju izlaznu snagu tako da ukupna snaga elektrane ne pređe zadatu granicu. Pored ograničenja maksimalne snage, veoma važna funkcija PPC sistema jeste kontrola brzine promene snage. Ova funkcija ograničava brzinu povećanja ili smanjenja aktivne snage elektrane u određenom vremenskom intervalu. Brzina promene aktivne snage može se definisati izrazom:

$$Ramp\ Rate = \Delta P/\Delta t \tag{1}$$

gde su ΔP – promena aktivne snage, a Δt – vremenski interval promene.

Operator elektroenergetskog sistema obično definiše maksimalno dozvoljenu brzinu promene snage, na primer 10% instalisane snage po minutu. PPC kontroler tada obezbeđuje da izlazna snaga elektrane prati zadatu promenu bez naglih skokova. Kontrola brzine promene snage ostvaruje se postepenim slanjem novih referentnih vrednosti invertorima, pri čemu PPC koristi algoritme regulacije i filtriranja kako bi se obezbedio stabilan odziv sistema. Na ovaj način smanjuju se oscilacije u mreži i poboljšava kvalitet električne energije. Uloga SCADA sistema u ovom procesu ogleda se u nadzoru rada PPC kontrolera, prikazu trenutnih vrednosti aktivne snage, zadatih limita i alarmnih stanja. SCADA omogućava operatoru uvid u istorijske podatke, trendove promene snage i daljinsko zadavanje novih ograničenja rada elektrane, a jedan takav uvid je prikazan na slici 7.

Primena funkcija ograničenja maksimalne aktivne snage i kontrole brzine promene snage predstavlja važan uslov za stabilan i pouzdan rad solarnih elektrana u savremenim elektroenergetskim sistemima sa visokim udelom obnovljivih izvora energije. Kod solarnih elektrana priključenih na distributivnu mrežu značaj funkcija ograničenja aktivne snage i kontrole brzine promene snage dodatno dolazi do izražaja jer su distributivne mreže osetljivije na nagle promene proizvodnje električne energije. Velike i brze promene izlazne snage solarne elektrane mogu izazvati lokalne promene napona, pojavu preopterećenja vodova i otežano održavanje stabilnih pogonskih uslova mreže.



Slika 7 – Dijagram promene aktivne snage sa uvaženim ramp rate podešenjem

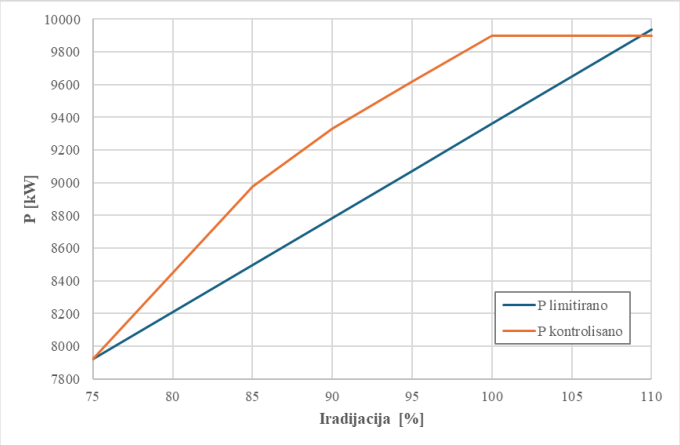
5.2 Uticaj na povećanje proizvodnje aktivne energije

Na osnovu jednopolne šeme postrojenja i tehničkih karakteristika opreme može se zaključiti da bi, bez primene ograničenja proizvodnje solarne elektrane, transformator T_1 instalisane snage 4 MVA bio preopterećen 132% ukoliko bi svi pripadajući invertori radili sa maksimalno dozvoljenom snagom, odnosno $15 \cdot 352\ kW = 5280\ kW$. Pored toga, ukupna proizvodnja elektrane u tom slučaju bi premašila dozvoljenu granicu od 9900 kW. Iz tog razloga su, pre

implementacije kontrolera elektrane, invertori povezani na T_1 bili fiksno ograničeni na maksimalno 75% raspoložive nominalne snage, dok za invertore povezane na transformatore T_2 i T_3 nisu bila primenjena dodatna ograničenja proizvodnje. Ukoliko se nivo iradijacije pri kojem invertori ostvaruju nominalnu snagu od 320 kW usvoji kao referentna vrednost, odnosno kao nivo iradijacije od 100%, može se izračunati da su za nivoe iradijacije između 75% i 110% invertori povezani na transformator T_1, usled fiksnog ograničenja od 75%, radili sa snagom manjom od maksimalno dozvoljene sa aspekta opterećenja transformatora. Pun kapacitet proizvodnje elektrane je ostvaren tek nakon implementacije PPC sistema. Kako bi se obezbedio rad elektrane u dozvoljenim granicama, u okviru kontrolnih algoritama PPC-a su implementirana dva ograničenja: ograničenje ukupne proizvodnje elektrane na 9900 kW, i ograničenje po proizvodnji iz invertora povezanih na transformator T_1 na 4150 kW, što predstavlja vrednost manju od 105% nominalne snage transformatora. U tabeli 1 su prikazane vrednosti snage proizvodnje elektrane u zavisnosti od nivoa iradijacije, za slučajeve pre i nakon implementacije kontrolera elektrane, kao i grafički prikaz dobijenih rezultata (slika 8). Pored toga, prikazana je i apsolutna razlika u snazi proizvodnje između ova dva režima rada, u zavisnosti od nivoa iradijacije. Analiza rezultata pokazuje da je za nivoe iradijacije između 85 i 100% ostvareno povećanje snage elektrane u opsegu od približno 480 do 550 kW nakon implementacije PPC sistema. Povećanje dozvoljene snage proizvodnje nakon implementacije kontrolera elektrane, u opsegu iradijacije između 75% i 110%, direktno je doprinelo povećanju ukupno proizvedene električne energije.

Tabela 1 – Zavisnost snage SE od nivoa iradijacije, pre i nakon implementacije kontrolera elektrane

Iradijacija [%]	T_1+T_2 [kW]	T_1 limitirano [kW]	T_1 kontrolisano [kW]	PSE limitirano [kW]	PSE kontrolisano [kW]	ΔPSE [kW]
75	4320	3600	3600	7920	7920	0
80	4608	3600	3840	8208	8448	240
85	4896	3600	4080	8496	8976	480
90	5184	3600	4150	8784	9334	550
95	5472	3600	4150	9072	9622	550
100	5760	3600	4150	9360	9900	540
105	6048	3600	4150	9648	9900	252
110	6336	3600	4150	9936	9900	-36



Slika 8 – Grafički prikaz zavisnosti snage SE od nivoa iradijacije, pre i nakon primene kontrolera elektrane

5.3 Uticaj na smanjenje potrošnje reaktivne energije

Pre implementacije kontrolera nije postojalo upravljanje proizvodnjom reaktivne energije iz invertora, usled čega elektrana praktično nije učestvovala u regulaciji reaktivne snage. To je značilo da se celokupna potrošnja reaktivne energije preuzimala iz distributivne mreže, iako je potrebna reaktivna energija mogla biti obezbeđena iz same elektrane. Vrednost reaktivne snage pre implementacije kontrolera tokom dana se najčešće kretala u opsegu od približno -100kVAr do 500 kVAr, pri čemu negativan predznak odgovara proizvodnji, a pozitivan potrošnji reaktivne energije. Implementacijom PPC sistema uvedena je regulacija reaktivne snage tako da razmena reaktivne energije u tački priključenja sa distributivnom mrežom bude održavana oko referentne vrednosti od 25 kVAr, uz dozvoljeno odstupanje od ±25 kVAr. Dnevni profil reaktivne snage u tački priključenja solarne elektrane nakon implementacije kontrolera je prikazan na slici 9.



Slika 9 – Dnevni profil reaktivne snage u tački priključenja solarne elektrane

6 ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen koncept povezivanja solarne elektrane na distributivni elektroenergetski sistem, kao i implementacija PPC i SCADA sistema za nadzor i upravljanje radom elektrane. Na primeru predmetne solarne elektrane prikazana su praktična iskustva koja potvrđuju da primena PPC kontrolera omogućava efikasnije i pouzdanije upravljanje postrojenjem, pre svega kroz povećanje proizvodnje aktivne energije, smanjenje potrošnje reaktivne energije i održavanje stabilnih pogonskih parametara u skladu sa zahtevima operatora distributivnog sistema. Značajnu ulogu u radu elektrane ima i SCADA sistem, koji omogućava kontinuirani nadzor ključnih parametara postrojenja, arhiviranje podataka, prikaz alarmnih i statusnih informacija, kao i analizu rada elektrane u realnom vremenu. Integracija SCADA sistema sa PPC kontrolerom omogućava centralizovan i pouzdan sistem upravljanja, čime se povećava operativna sigurnost i unapređuje efikasnost eksploatacije solarne elektrane.

Implementacijom funkcija regulacije aktivne i reaktivne snage, ograničenja maksimalne izlazne snage i kontrole brzine promene snage omogućena je bolja integracija solarne elektrane u distributivnu mrežu, uz smanjenje negativnog uticaja promenljive proizvodnje iz obnovljivih izvora energije na rad elektroenergetskog sistema. Dalji razvoj ovakvih postrojenja biće usmeren ka integraciji baterijskih sistema za skladištenje električne energije, pri čemu će PPC sistemi imati značajnu ulogu u upravljanju energetskim tokovima, optimizaciji režima rada i koordinaciji procesa punjenja i pražnjenja baterijskih kapaciteta. Sa povećanjem kompleksnosti postrojenja dodatno raste i značaj SCADA sistema, koji omogućava centralizovan nadzor svih podsistema, analizu pogonskih stanja i pravovremenu reakciju u slučaju poremećaja ili

odstupanja u radu elektrane. Na taj način solarne elektrane postaju fleksibilniji, stabilniji i tehnički napredniji učesnici savremenog distributivnog elektroenergetskog sistema.

LITERATURA

[1] Pravila o radu distributivnog sistema „EPS Distribucija“ d.o.o. Beograd, jul 2017
[2] Pravila o izmenama Pravila o radu distributivnog sistema „EPS Distribucija“ d.o.o. Beograd, februar 2019
[3] Pravila o izmenama i dopunama Pravila o radu distributivnog sistema Elektrodistribucije Srbije d.o.o. Beograd, februar 2025
[4] Pravila o izmeni i dopuni Pravila o radu distributivnog sistema Elektrodistribucije Srbije d.o.o. Beograd, jul 2025
[5] Programming Reference for AcSELerator RTAC SEL-5033 Software, Schweitzer Engineering Laboratories, 2025