

REALIZACIJA KOMUNIKACIONIH PROTOKOLA U SCADA SISTEMIMA FOTONAPONSKIH ELEKTRANA

I. GOJKOVIĆ, Institut „Mihajlo Pupin – Automatika“, Volgina 15, 11060 Beograd, Republika Srbija
S. MAKSIMOVIĆ, Institut „Mihajlo Pupin – Automatika“, Volgina 15 11060 Beograd, Republika Srbija
Ž. ZELJKOVIĆ, Institut „Mihajlo Pupin – Automatika“, Volgina 15, 11060 Beograd, Republika Srbija

UVOD

U duhu sve veće potražnje za obnovljivim izvorima energije i potrebom da se ispune ciljevi povećanja udela ovih izvora u ukupnoj proizvodnji, prepoznata je potreba da se razvije i odgovarajući segment SCADA sistema i realizacije komunikacije u ovim sistemima.

U ovom radu je pažnja stavljena na fotonaponske elektrane, koje su posebno interesantne zbog sve veće popularnosti i konstantnog pada cene implementacije sistema. Ukupna instalirana snaga fotonaponskih elektrana beleži rast od prosečnih 40% godišnje od 2000. godine. Razlog za ovakav rast se može naći u činjenici da je prosečan period otplate u protekloj deceniji iznosio manje od 3 godine (u zavisnosti od stimulacija) uz predviđeni vek trajanja elektrane od 30 godina. Ostvareni EROEI („Energy Turned On Energy Invested“) je u opsegu 10 do 30. Popularizacija fotonaponskih elektrana je velikom delom uslovljena i poremećajima na tržištima nafte i gasa, kao i potrebom povećanja učešća obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji sa ciljem ostvarivanja zacrtanih ekoloških normi.

Kako tržište fotonaponskih elektrana doživljava svoj ubrzani razvoj tek nakon 2000. godine nisu se još uvek stvorili uslovi za izdvajanje standardnih komunikacionih rešenja i standardnih protokola i arhitektura koji bi bili prihvaćeni od strane vodećih proizvođača invertorske opreme i softvera za nadzor i ~~upravljenje~~ upravljenje. Iz tog razloga većina proizvođača u ponudi komunikacionih rešenja ima neke od standardnih protokola koji se koriste u energetici (IEC 101, IEC 104, MODBUS, ...) kao i više drugih standardnih i namenskih protokola (USS, Etherlynx, ComLynx, OPC, ...).

Kroz realizaciju dva projekta fotonaponskih elektrana, različite arhitekture, kapaciteta i instalirane opreme, pristupilo se razvoju i implementaciji komunikacionih rešenja prilagođenih specifičnim uslovima i opremi uz ograničenja koja izabrana oprema postavlja.

Fokus u izvedenim realizacijama je stavljen na ponuđene protokole koji bi mogli da daju najbolje rezultate u konkretnom sistemu a ne na rešenjima korišćenim u drugim vrstama postrojenja slične arhitekture ali različitih specifičnosti. Pri tome je vršena procena isplativosti razvoja u odnosu na korišćenje poznatih rešenja uz određene izmene.

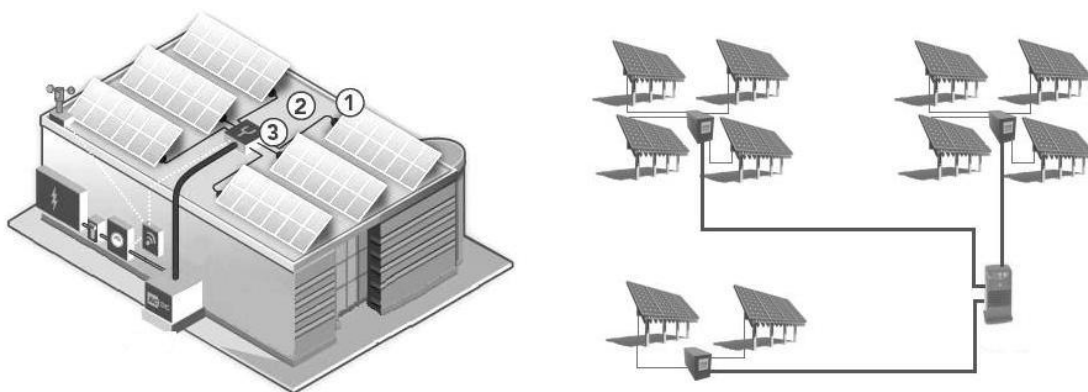
ARHITEKTURA SISTEMA

Projekti su realizovani kroz dve fotonaponske elektrane specifične arhitekture, uz pretpostavku da će se u budućim realizacijama uglavnom pojavljivati elektrane sličnih osobina, kako po topologiji tako i po kapacitetu.

Topologija. Topologija fotonaponskih elektrana je uslovljena pre svega prostornim pozicioniranjem fotonaponskih panela i njihovim brojem, odnosno ukupnom površinom. Sama arhitektura je modularna i dopušta distribuirano pozicioniranje modula koje čine grupe fotonaponskih panela i invertori. Ovi moduli zajedno formiraju jedan sistem. Same elektrane ne zahtevaju konstantno održavanje i prisustvo osoblja, što ih čini posebno pogodnim za primenu u ruralnim sredinama i kreiranje većih sistema povezivanjem velikog broja modula. Takva tehnološka rešenja stvaraju uslove za lako i brzo proširenje postojećih sistema.

Kapacitet. Kapacitet fotonaponske elektrane je direktno proporcionalan površini fotonaponskih panela, pa je samim tim ograničen raspoloživim prostorom.

U pogledu ovih karakteristika su prepoznate dve grupe fotonaponskih elektrana. Prvu čine elektrane na ograničenom prostoru, kakve su elektrane na krovovima objekata i u krugovima postrojenja, dok drugu grupu čine elektrane na širim, otvorenim, prostorima (Slika 1), koje po pravilu imaju veće kapacitete.



SLIKA 1 - Tipične arhitekture fotonaponskih elektrana

Dve predstavljene realizacije su upravo takve da obuhvataju ove grupe elektrana. Prvi primer se odnosi na elektranu realizovanu u urbanim uslovima na krovu poslovne zgrade, dok se drugi primer odnosi na elektranu realizovanu u relativno ruralnoj sredini i na većem prostoru.

ELEKTRANA MALE SNAGE

Prva realizacija se odnosi na fotonaponsku elektranu postavljenu na ravnom krovu poslovne zgrade. Ovakve elektrane su česte zbog relativno jednostavne realizacije i malih ulaganja, kao i činjenice da je investitor uglavnom i vlasnik objekta. Ovakva realizacija postavlja ograničenje u pogledu kapaciteta, pa su ovakve elektrane uglavnom male snage reda nekoliko desetina do nekoliko stotina KW.

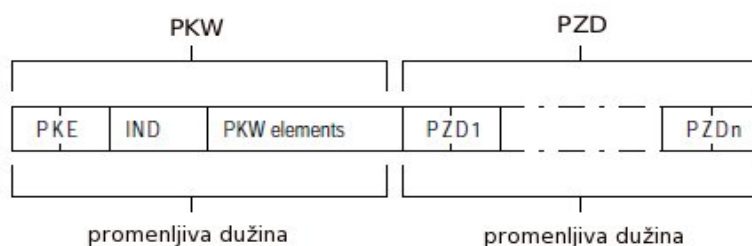
Kako se SCADA oprema, pri ovakvim realizacijama, nalazi u okviru samog objekta na čijem se krovu elektrana nalazi razumno je koristiti komunikacionu infrastrukturu koja je već prisutna u samom objektu.

U konkretnom primeru, elektrana je kapaciteta 50 KW i čine je 180 solarnih panela i 3 invertora različitih proizvođača. Za implementaciju novog rešenja je izabran jedan od invertora renomiranog proizvođača koji u

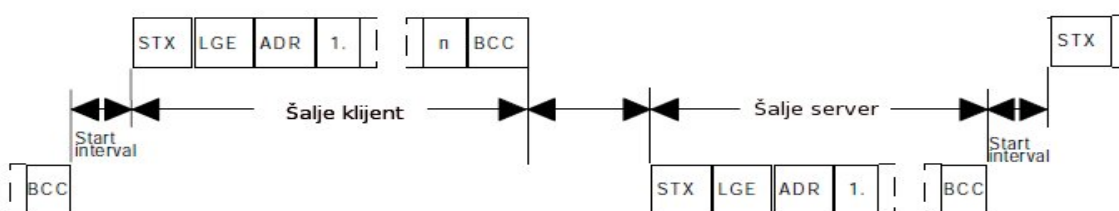
ponudi nije imao standardne komunikacione protokole koji su već realizovani u postojećem SCADA sistemu. Iz skupa komunikacionih protokola koji su podržani je zabran USS (Universal Serial Interface) Protokol (1) za koji do tada nije postojala podrška u instaliranom SCADA sistemu.

USS protokol. USS protokol je standardan protokol razvijen od strane SIEMENS i relativno je jednostavan za implementaciju, pa su i troškovi razvoja prihvatljivi.

Protokol je polu-dupleksni („half-duplex“) i radi po principu cikličnog čitanja („polling“). To podrazumeva da klijent ciklično zahteva podatke i dobija odmah odgovore od servera (Slika 3). Server prepoznaje da je poruka namenjena njemu po adresi u zahtevu. Sam protokol dopušta fleksibilnost u pogledu dužine paketa i broja prenetih podataka, ali je zbog jednostavnosti proizvođač svoju implemenetaciju ograničio na mrežne pakete fiksne dužine 22 bajta. U jednoj poruci je omogućen prenos jednog parametra dužine do 32 bita i 6 procesnih veličina, koje se za sada ne koriste.



SLIKA 2 - Struktura USS paketa



SLIKA 3 - Transakcija klijenta i servera

Pojednostavljena verzija standarda pruža mogućnost prenosa 16 bitnih i 32 bitnih vrednosti uz adresiranje svakog podatka pojedinačno. Prisustvo adrese servera i adrese parametra u zahtevu i u odgovoru garantuje pouzdanost prenete informacije. Na raspolaganju su i povratni kodovi od strane servera kojima se ukazuje na pogrešno adresiran zahtev ili na nevalidnu vrednost parametra, čime je dodatno povećan kvalitet komunikacije.

U sistemu može postojati tačno jedan klijent i do 32 servera, što zadovoljava potrebe pomenute arhitekture.

USS protokol je razvijen za RS485 interfejs, ali je proizvođač omogućio primenu ~~identičnog~~ identičnog standarda i na Ethernet-u uz zadržavanje svih aplikativnih funkcionalnosti i zamenu fizičkog sloja paketnim prenosom bez konekcije.

Upravo je Ethernet verzija USS protokola izabrana za realizaciju zbog brojnih pogodnosti koje sa sobom nosi Ethernet, kao i zbog činjenice da u samom objektu već postoji sva potrebna infrastruktura. Ovakva primena USS daje mogućnost korišćenja jedne privatne mreže za potrebe kako ovog tako i drugih komunikacionih protokola u sistemu, kao i za druge vidove komunikacije, bez potrebe za velikim ulaganjima u proširenje infrastrukture. Takođe Ethernet verzija ostavlja prostora i za softversko proširenje ograničenja u pogledu maksimalnog broju servera bez potrebe za proširenjem infrastrukture. Ovo se ostvaruje korišćenjem različitih mrežnih opsega u okviru postojeće mrežne infrastrukture. Zamena fizičkog sloja eliminiše i potrebu za korišćenjem terminal servera u situacijama kada je dužina prenosnog puta veća od maksimalno podržane za serijski intrefejs.

Loša strana implementiranog protokola je činjenica da je dužina paketa fiksna i da se uvek prenosi 12 bajtova procesnih veličina, koje se ne koriste, ali je to zanemareno u konkretnoj ~~implementaciji~~ implementaciji kao manje relevantan parametar pri analizi protokola. Razlog je u maloj dužini poruke i korišćenju lokalne komunikacione

infrastrukture, kao i ograničenog broja invertora. Zbog ovih činjenica ukupan prenos podataka ne utiče značajno na ostale aktere u sistemu, dok je sa druge strane ostvaren pouzdan prenos i ostavljena mogućnost za proširenja funkcionalnosti u kasnijim implementacijama, kroz mogućnost prenosa paketa podataka i dodatnih kvaliteta.

Ako bismo poredili pomenutu implementaciju protokola sa drugim standardnim i slobodnim protokolima, mogla bi da se povuče paralela sa MODBUS protokolom. Prednost MODBUS protokola u konkretnoj implementaciji bi bila u boljem iskorišćenju resursa. Sa druge strane prisustvo adrese podatka u odgovoru USS protokola pruža dosta veću pouzdanost i omogućuje primenu i u sistemima sa paketnim prenosom bez konekcije. Takođe, veći broj raspoloživih funkcija kao i postojanje standardnog tipa podatka širine 32 bita (Double Word) daje prednost USS protokolu.

ELEKTRANA SREDNJE SNAGE

Druga realizacija se odnosi na fotonaponsku elektranu instaliranu u ruralnoj sredini. Za ovu namenu se uglavnom koristi neobrađiva zemlja u sredinama gde često ne postoji odgovarajuća komunikaciona infrastruktura, pa je problem komunikacije posebno izražen i zahteva neka inovativna rešenja.

Ovakve elektrane su obično malih i srednjih snaga, reda nekoliko desetina KW do više desetina MW. Kako su troškovi realizacije fotonaponske elektrane proporcionalni instaliranoj snazi, ovakve elektrane se po pravilu realizuju fazno kroz postepeno povećavanje ukupne snage. Ovo je često uslovljeno i ograničenim kvotama za podsticajne tarife i investicione stimulanse.

Zahvaljujući modularnoj arhitekturi i nezavisnom radu svakog invertora u sistemu, po završetku svake pojedinačne faze novi segment elektrane se može brzo uključiti u elektro energetske sistem. Iz tog razloga se i komunikaciona infrastruktura mora realizovati tako da odgovara ovom zahtevu.

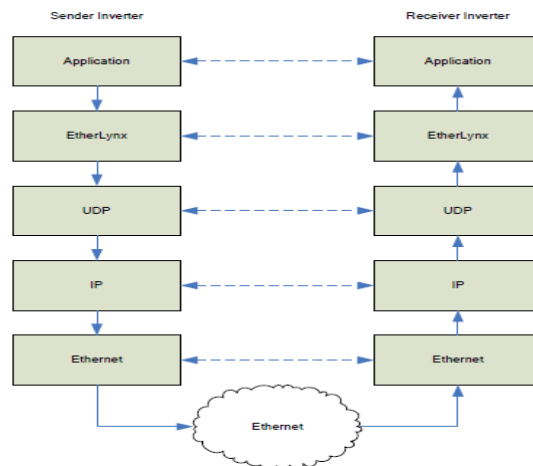
U realizovanom sistemu instalirano je oko 500 invertora u prvoj fazi realizacije. U narednim realizacijama je planirana implementacija sistema sa 2000 invertora. Ceo sistem čine grupe panela distribuirane na velikom prostoru, pri čemu je nadzor realizovan izdvojenim SCADA sistemom na udaljenoj lokaciji.

Zaključak je bio da komunikaciona infrastruktura mora biti u stanju da pokrije veliku površinu, da bude lako proširiva i da može obezbediti vezu sa udaljenim centrom za nadzor. Prema planiranom broju invertora u sistemu zaključeno je da je jedino primenljivo rešenje korišćenje paketnog prenosa podataka. U ovakvim implementacijama bi bilo opravdano korišćenje bežične ("wireless") komunikacije ili GPRS rutera.

Proizvođač instalirane opreme je između ostalih protokola ponudio i zanimljivo rešenje u vidu Etherlynx protokola (2) kombinovano sa GSM paketnim prenosom, pa je ovaj protokol izabran za realizaciju.

Etherlynx protokol. Etherlynx protokol se oslanja na UDP (Slika 4) koji koristi za prenos paketa. Zapravo, Etherlynx protokol je dizajniran tako da nije bitan protokol na nižim slojevima dokle god je taj protokol sposoban da prenosi pakete broadcastom.

Broadcast daje mogućnost znatnog povećanja efikasnosti prenosa podataka kada je potrebno isti zahtev proslediti velikom broju invertora. Takođe, korišćenjem odvojenih mrežnih opsega i broadcast adresa moguće je kreirati komunikacione grupe invertora.



SLIKA 4 - Etherlynx i povezani protokoli

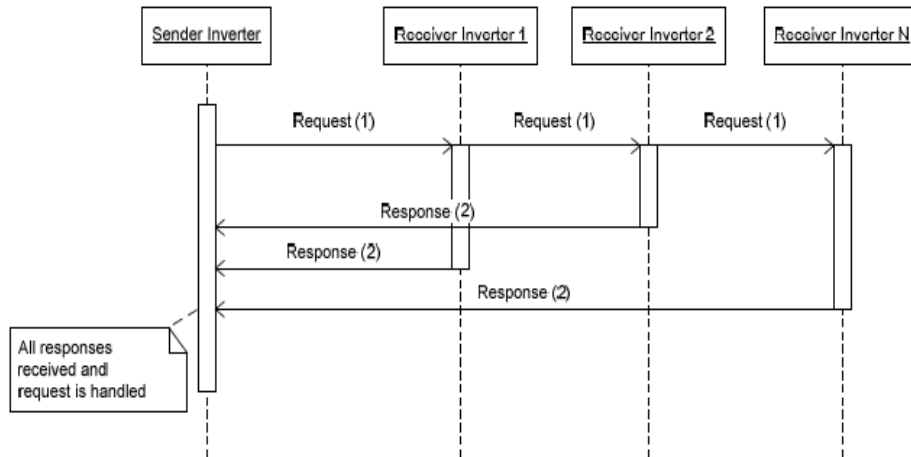
0											31	
0	Source inverter serial number (C string)											
96	Destination (destination inverter serial number C string or group name C string)											
288	Data offset Bits 0-4	Not used Bits 5-7	Flags (Bits 8-15)								Transaction no. Bits 16-23	Message ID Bits 24-31
			E	SB	GB	FB	SYN	RES	R	-		
			8	9	10	11	12	13	14	15		
320	Total data length											
352	Sequence number											
384	Acknowledge number											
416	Future options											
	Data											

SLIKA 5 - Struktura Etherlynx paketa

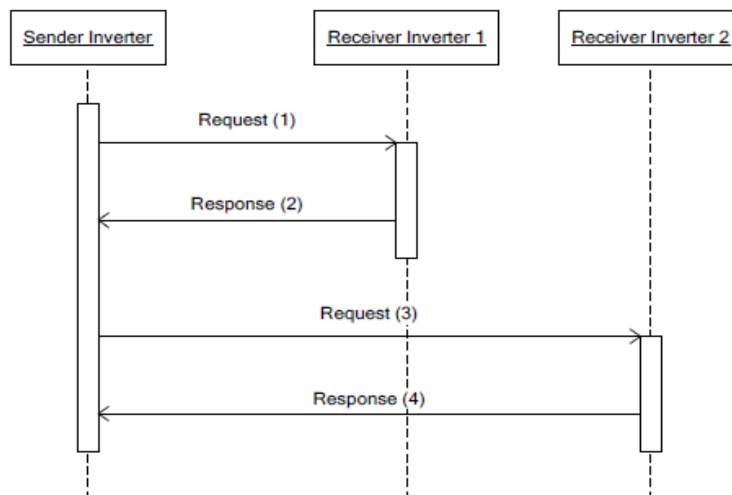
Struktura Etherlynx poruke (Slika 5) je takva da pored samih podataka i flegova sadrži i polja za adresiranje izvora i cilja, kao i brojače sekvenci i transakcija. Adresiranje cilja je na ovom nivou moguće ostvariti navođenjem jedinstvenog serijskog broja invertora, imena grupe invertora ili kao potpuni broadcast. Kombinovanje ovih mogućnosti sa broadcast ili direktnim slanjem zahteva na UDP nivou pruža izuzetne opcije za prilagođavanje protokola svakoj arhitekturi sistema i daje mu veliku prednost u odnosu na druge standardne protokole.

U konkretnoj implementaciji je omogućeno slanje broadcast i pojedinačnih zahteva na UDP nivou dok se na Etherlynx nivou koristi samo potpuni broadcast (FB) u zahtevima. Na taj način je pojednostavljena implementacija protokola dok je prenos podataka na UDP nivou sveden na minimum kako bi se smanjio ukupan saobraćaj u GSM mreži.

Omogućena je identifikacija invertora na Etherlynx nivou, na osnovu serijskog broja u odgovoru, ili na UDP nivou, na osnovu IP adrese sa koje je odgovor stigao. Za ~~identifikaciju~~ identifikaciju stanice je dovoljan samo jedan od ova dva ~~parametra~~ parametra, pa adresno polje ne mora biti popunjeno. Prepoznavanje se vrši dinamički u toku analize odgovora, pa je isključivanje i vraćanje invertora u sistem omogućeno bez uticaja na ostale učesnike komunikacije.



SLIKA 6 - Broadcast zahtev i odgovori



SLIKA 7 - Pojedinačni zahtevi i odgovori

Tipični scenario komunikacije je takav da se po pokretanju komunikacionog softvera šalje kao broadcast Etherlynx_PING zahtev. Sve stanice koje su aktivne u sistemu odgovaraju kratkom potvrdom u kojoj je sadržan njihov serijski broj, koji se ažurira u komunikacionom bloku. Po prijemu odgovora ka višim nivoima SCADA se šalje informacija o prisustvu invertora koji su odgovorili.

Nakon toga se ciklično šalje broadcast Etherlynx_GET zahtev za čitanje svih podataka sa invertora. Pošto su invertori u jednoj grupi identično podešeni, samo jedan zahtev je dovoljan za celu grupu. Da bi se smanjila količina komunikacije i sprečilo ponovno prozivanje invertora koji su uspešno završili transakciju retransmisije zahteva ka invertorima koji nisu poslali odgovor se vrši adresiranjem pojedinačnih IP adresa.

Svaki inverter je u sistem uključen tako da ima jedinstvenu IP adresu, pa je broj invertora u grupi ograničen raspoloživim IP adresama u mrežnoj grupi. Rutiranjem poruka sa istom IP adresom na više Etherlynx adresa mogao bi da se ostvari i znatno veći broj uređaja u sistemu. Kako je Etherlynx adresa servera (adresa stanice, adresa grupe ili broadcast adresa) niz karaktera maksimalne dužine 23 jasno je da je maksimalan broj uređaja u sistemu daleko veći od realnih potreba, pa je ovaj protokol pogodan za velike sisteme.

Korišćenjem Etherlynx protokola je ostvarena maksimalna optimizacija iskorišćenja komunikacionih resursa. Omogućeno je i podešavanje ciklusa povlačenja podataka sa ~~inverora~~invertora kako bi se ukupan saobraćaj prilagodio potrebama korisnika.

ZAKLJUČAK

U obe realizacije su potvrđene pretpostavljene performanse komunikacije. U toku eksploatacije je potvrđena pouzdanost oba rešenja.

Odabir jednostavnijih rešenja se pokazao kao opravdan kroz brzu realizaciju i manje troškove implementacije, pri čemu je ostavljen prostor za dalja unapređenja i proširenja. Pokazalo se da je moguće kroz prilagođene implementacije realizovati komunikaciona rešenja odličnih performansi i izbeći zamke koje nosi primena standardnih rešenja prisutnih u energetske sistemima slične topologije, ali drugačijih specifičnosti u pogledu vrste i ~~prioriteta~~ **prioriteta** podataka.

Prilagodavanjem ~~komunikacionih~~ **komunikacionih** rešenja specifičnostima ovog vida postrojenja je izbegnuta upotreba dodatne komunikacione opreme koja bi povećala cenu implementacije i smanjila pouzdanost sistema, pa je u fazi eksploatacije trošak razvoja uložen u nova softverska rešenja opravdan manjim troškovima implementacije i manjim troškovima održavanja.

LITERATURA

1. Walter Möller-Nehring, Wolfgang Bohrer, "Universal Serial Interface Protocol Specification", SIEMENS AG
2. Taavi Jantson, "Etherlynx Protocol Specification (v2)", Danfoss Solar Inverters A/S
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power

Ivan Gojković, Tel.: 011 33 15 695, Mob.: 063 272 074, email: ivan.gojkovic@pupin.rs

Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija