

Doc dr. sc. Ranko Goić, dipl.ing.el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
rgoic@fesb.hr

Jakov Krstulović Opara, dipl.ing.el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
jakov.krstulovic-opara@fesb.hr

Ivan Penović, dipl.ing.el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
ivan.penovic@fesb.hr

Damir Jakus, dipl.ing.el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
Damir.Jakus@fesb.hr

Ivo Zlatunić, student
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
Ivo.zlatunic@fesb.hr

PRIKLJUČAK VELIKIH FOTONAPONSKIH ELEKTRANA NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU

SAŽETAK

Proteklih nekoliko godina porast instalirane snage fotonaponskih elektrana u svijetu kreće se oko 50% godišnje. Veliki interes za izgradnju većih fotonaponskih elektrana, reda veličine 1-5 MWp, postoji i u Hrvatskoj unatoč još uvijek nedefiniranom regulatornom okviru za takve velike fotonaponske elektrane. U radu je dan prikaz osnovnih elemenata velike fotonaponske elektrane, tipične konfiguracije, način priključka na distribucijsku mrežu, te analiza mogućih pogonskih utjecaja.

Ključne riječi: fotonaponska elektrana, priključak na mrežu, utjecaj na distribucijsku mrežu

CONNECTION OF LARGE PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS ON DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

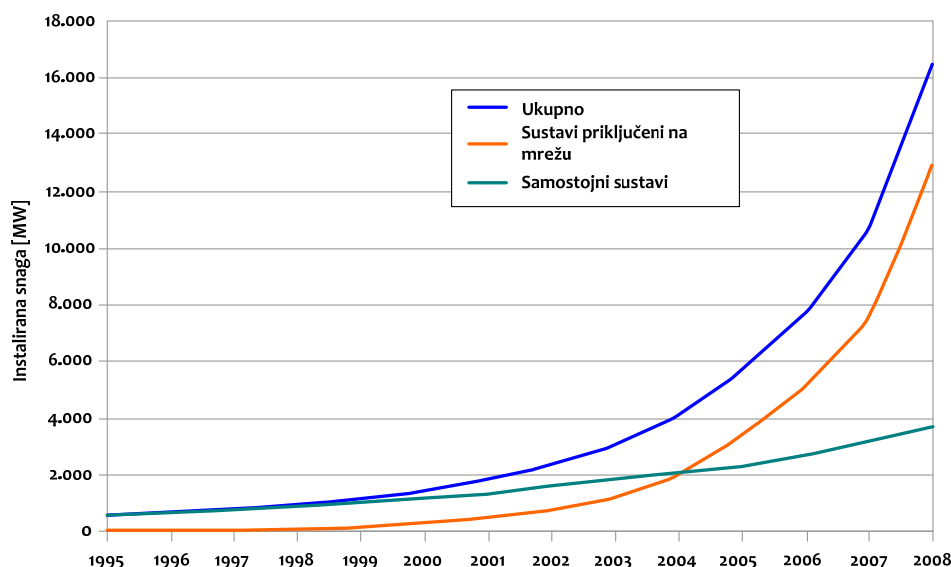
Installed capacity of grid-connected photovoltaic power plants increases last few years for about 50% annually. There is a great interest for investment in large-scale photovoltaic power plants, range 1-5 MWp, also in Croatia, although there is no complete regulatory mechanism for such power plants. In this paper the review of the main components of large-scale photovoltaic power plant is given, typical configurations, distribution network connection and possible impacts on a distribution system operation.

Key words: photovoltaic power plant, grid connection, impact on distribution network

1. UVOD

U posljednjih desetak godina intenzivno se istražuje mogućnost ostvarivanja značajnijeg udjela električne energije dobivene iz fotonaponskih izvora. Kao rezultat ovakvih nastojanja instalirana snaga fotonaponskih sustava u svijetu udvostručava se svake dvije godine uz prosječni godišnji porast od 48% zabilježen od 2002. godine i predstavlja tehnologiju s daleko najvećim trendom rasta [1]. Do kraja 2008. godine ukupna instalirana snaga u fotonaponskim sustavima u svijetu prelazi 16 GW, od čega je 12.95 GW ili oko 80% sustava priključeno na mrežu, a ostatak čine tzv. samostojni fotonaponski sustavi (slika

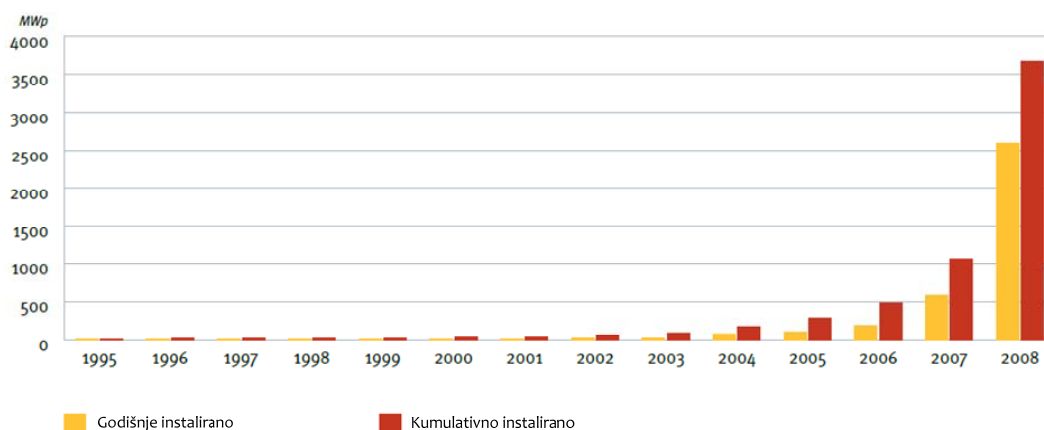
1). Trenutno vodeća po instaliranoj snazi je Njemačka s 5,4 GW, a slijede je Španjolska s 3,3 GW i Japan s 1.97 GW. Razlog ovakvog porasta instalirane snage prvenstveno je u svjetskom trendu poticaja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u cilju smanjivanja emisije stakleničnih plinova i ovisnosti o raspoloživosti fosilnih goriva. Tako se uvođenjem subvencija za cijenu električne energije proizvedenu u fotonaponskim ćelijama, uz stalan razvoj tehnologije i smanjenje cijena fotonaponskih panela, stvara ekonomska podloga za ulaganje u ovakve sustave [2].



Slika 1. Instalirana snaga fotonaponskih sustava u razdoblju 1995.-2008. godine

U protekle dvije godine na tržištu fotonaponskih sustava istaknuti su glavni smjerovi daljnjeg razvoja, s glavnom težnjom za povećanjem penetracije fotonaponskih sustava. Analiza cijene materijala pokazuje da današnja tehnologija, bazirana na kristaliničnom siliciju (danas dominantna tehnologija) teško da može doseći postavljene ciljeve zbog visoke cijene početnog materijala. Naime, očekuje se da će se današnja proizvodna cijena od 1-1.5 €/Wp za fotonaponske module i dalje smanjivati. Sve više se tako ulaže u razvoj tzv. tanko-slojnih solarnih ćelija za koje je potrebno znatno manje aktivnog materijala (oko 100 puta manje), no njihova efikasnost je niža od efikasnosti kristaliničnih pa razvoj tehnologije teži uklanjanju ovog nedostatka.

Velike fotonaponske elektrane obično se smatraju one s instaliranom snagom iznad 200 kW, a danas su najveće instalirane snage i do 60 MW. Na slici 2 prikazana je ukupna instalirana snaga i godišnji porast velikih fotonaponskih elektrana u svijetu, gdje se vidi rapidni porast posljednjih godina.



Slika 2. Godišnja i kumulativna instalirana snaga velikih fotonaponskih elektrana u razdoblju 1995.-2008.

U Hrvatskoj trenutno postoji nekolicina manjih fotonaponskih elektrana priključenih na niskonaponsku distribucijsku mrežu. Razlog ovako zanemarivog iskorištavanja velikog potencijala energije sunca u Hrvatskoj, prije svega je u relativno kompliciranom regulatornom okviru za prihvata

električne energije iz takvih elektrana, te problemima usklađivanja prostornih planova (za veće elektrane). Također, prema „Tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije“ utvrđen je limit od 1MW na ukupnu instaliranu snagu sunčanih elektrana u RH čija se proizvodnja subvencionira do kraja 2010.g. U budućnosti se očekuju ipak bitno veći poticaji izgradnje fotonaponskih sustava u Republici Hrvatskoj, s obzirom da prema novoj energetske strategiji Hrvatska do 2020. godine, mora biti izjednačena sa trenutnim stanjem u Španjolskoj po instaliranoj snazi po glavi stanovnika (11.71 W po stanovniku), te Njemačkoj do 2030. godine (preko 45 W po stanovniku). [5]

2. FOTONAPONSKE ELEKTRANE

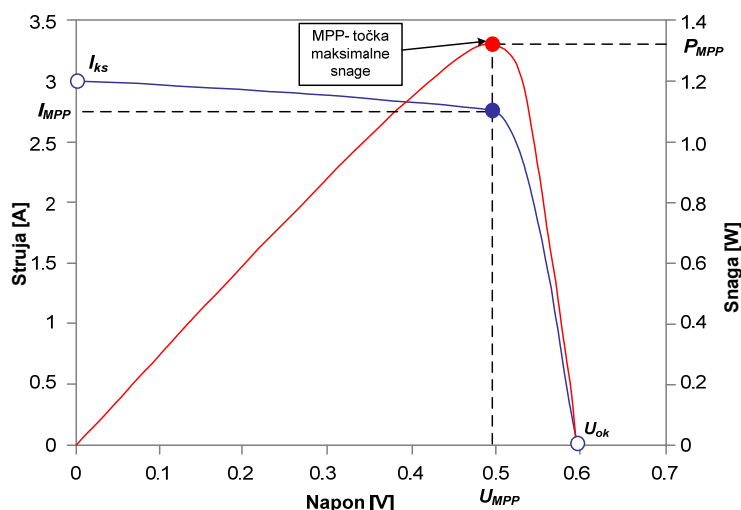
Fotonaponske elektrane omogućuje izravnu pretvorbu Sunčeve energije u električnu i predstavljaju jedan od najelegantnijih načina korištenja energije Sunca. Princip rada fotonaponskog (FN) sustava zasniva se na fotonaponskom efektu. Osnovni elektronički elementi u kojima se događa fotonaponska pretvorba nazivaju se sunčane ćelije. U praktičnim su primjenama sunčane ćelije međusobno povezane u veće cjeline koje se zovu fotonaponski moduli. Fotonaponski moduli osiguravaju mehaničku čvrstoću te štite sunčane ćelije i kontakte od korozije i vanjskih utjecaja. Osim fotonaponskih modula, FN sustav sastoji se od pretvarača, baterija za pohranu električne energije, regulatora punjenja baterija i dovoda energije potrošačima, zaštitnih uređaja, nosača modula i potrebnih električnih instalacija.

2.1. Fotonaponska ćelija

Materijali koji se danas najčešće koriste za proizvodnju fotonaponskih ćelija su:

- Kristalinični silicij (monokristalinični, polikristalinični i trakasti silicij)
- tzv. tankoslojni materijali (amorfni silicij (a-Si), bakar indij diselenid (CuInSe_2 , uobičajeno se koristi naziv CIS) i kadmij telurid (CdTe))

Strujno-naponska karakteristika osvijetljene fotonaponske ćelije prikazana je na slici 3. Na njoj su istaknuti osnovni parametri fotonaponske ćelije, tj. napon otvorenog kruga (U_{ok}), struja kratkog spoja (I_{ks}), te točka maksimalne snage (P_m).



Slika 3. Strujno-naponska karakteristika fotonaponske ćelije

Struja kratkog spoja proporcionalna je intenzitetu upadnog Sunčeva zračenja, dok je puno manje osjetljiva na promjenu temperature. Kod silicijskih ćelija struja kratkog spoja raste oko 0,05-0,07%/°C, a kod amorfnihi oko 0,02 %/°C. Manji temperaturni koeficijent razlog je zašto su ćelije od amorfnihi silicija efikasnije od kristaliničnih pri višim ljetnim temperaturama.

Napon otvorenog kruga raste naglo s intenzitetom Sunčeva zračenja i brzo dosegne vrijednost nakon koje raste sporo kao funkcija $\ln(I_L/I_0)$. Tipična vrijednost napona otvorenog kruga za kristalinične ćelije je između 0,5 i 0,6 V, a za ćelije od amorfnihi silicija od 0,6-0,9 V. Napon otvorenog kruga ovisi o temperaturi o čemu treba voditi računa jer ćelije dostižu temperature i 40°C više od temperature zraka.

Točka maksimalne snage (MPP - Maximum Power-Point) fotonaponske ćelije je ona točka na U-I krivulji u kojoj se sijeku krivulja i pravokutnik najveće površine koji se može upisati u krivulju. Ta točka nalazi se blizu koljena U-I krivulje pa se odgovarajuće vrijednosti napona i struje mogu procijeniti kao:

$$U_m \sim (0.75-0.9)U_{ok}, \quad I_m \sim (0.85-0.95)I_{ks}$$

Kako i struja i napon ovise o temperaturi, i snaga fotonaponske ćelije ovisi o temperaturi. Tipična silicijska fotonaponska ćelija ima temperaturni koeficijent snage iznosa $-(0,4-0,5\%)/^{\circ}\text{C}$, dok je kod amorfnih modula njegov iznos oko $-(0,2-0,25\%)/^{\circ}\text{C}$.

Efikasnost (djelotvornost) fotonaponske ćelije η definira se kao omjer maksimalne snage ćelije i njene ulazne snage sunčeva zračenja:

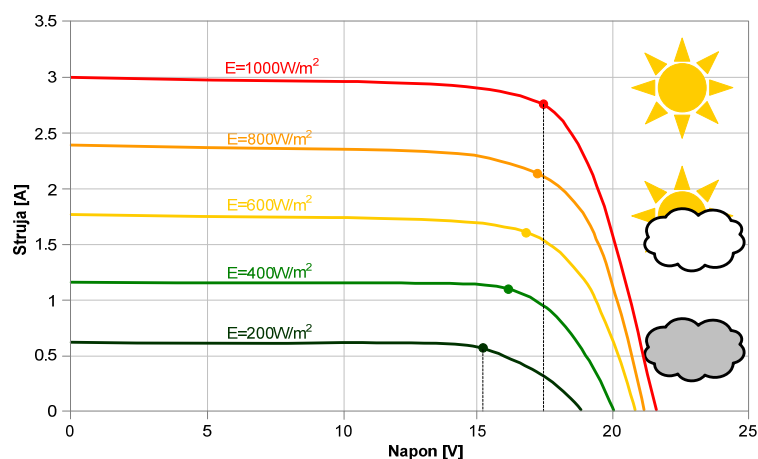
$$\eta = \frac{P_m}{P_u}$$

2.2. Fotonaponski modul

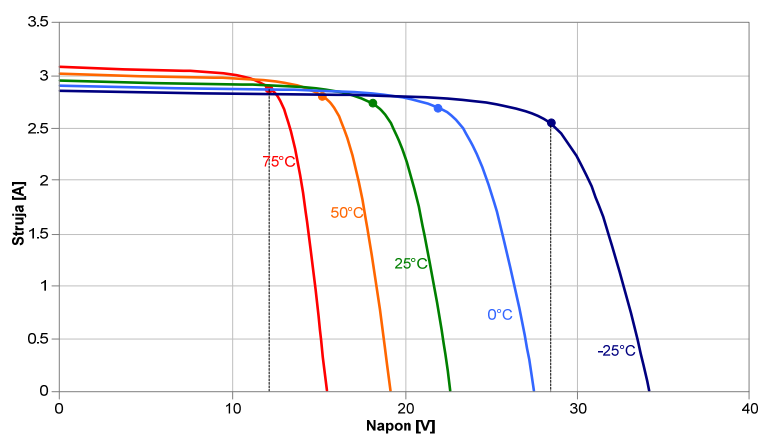
Fotonaponski modul sastoji se od većeg broja međusobno spojenih fotonaponskih ćelija kako bi se povećala ukupna izlazna snaga. Pri standardnom spektru upadnog zračenja i pod optimalnim nagibom, gustoća struje tipične komercijalne monokristalinične silicijske ćelije iznosi $30-36 \text{ mA/cm}^2$. Polikristalinične ćelije su obično nešto veće površine, a manjih gustoća struje pa je njihov tipičan iznos struje kratkog spoja oko 4A. Međutim, postoje velike razlike u veličini fotonaponskih ćelija, tako da iznos struje kratkog spoja može znatno varirati. Do prije nekoliko godina tipični FN modul od monokristaliničnog silicija sastojao se od 30 do 36 serijski spojenih ćelija i imao vršnu snagu od oko 50 Wp, a danas na tržištu postoje moduli vršnih snaga od 300 Wp i više.

Kada bi sve ćelije u fotonaponskom modulu bile identične i imale podjednake električne karakteristike, i kada bi sve bile izložene potpuno identičnim uvjetima Sunčeva zračenja i temperature, tada bi sve radile pri istoj struji i istom naponu. U tom slučaju strujno-naponska karakteristika fotonaponskog modula bila bi identična karakteristici pojedine ćelije. Fotonaponske ćelije u FN modulu mogu biti spojene serijski, ili u kombinaciji serijski i paralelno. Pri tome je potrebno voditi računa da serijsko spajanje sunčanih ćelija, a isto tako i FN modula, ima negativnu posljedicu kad je sunčana ćelija ili modul djelomično ili potpuno zasjenjen. Naime, kad je i samo jedna sunčana ćelija zasjenjena, efekt je isti kao da su sve serijski spojene ćelije zasjenjene i zbog toga dolazi do znatnog smanjenja snage. Da bi se to spriječilo paralelno sa sunčanom ćelijom spaja se tzv. premosna dioda koja sprječava pojavu visokih napona nepropusne polarizacije na sunčanoj ćeliji.

Radna točka fotonaponske ćelije, tj. modula, značajno ovise o temperaturi i intenzitetu zračenja, a pretpostavljeni normalni uvjeti (intenzitet zračenja 800 W/m^2 , $t=20^{\circ}\text{C}$) rijetko su prisutni, s obzirom da tijekom dana temperatura i intenzitet zračenja variraju, pri čemu se zračenje mijenja u većim iznosima nego temperatura. Promjene u zračenju direktno utječu na promjenu struje modula budući da je struja direktno proporcionalna zračenju, dok napon u točki maksimalne snage ima neznatne promjene (slika 4). Kako je u FN sustavu serijski povezan veliki broj FN modula, napon u točki maksimalne snage varira i do 40V. Napon modula najviše ovisi o temperaturi dok struja ima relativno malu promjenu pri promjeni temperature (slika 5). Porast napona pri niskim temperaturama u FN sustavu može biti u iznosu od +100V (ovisno o veličini FN sustava) što daleko prelazi nazivni napon elemenata FN sustava [5].



Slika 4. Utjecaj intenziteta sunčeva zračenja na promjenu napona i struje fotonaponskog modula



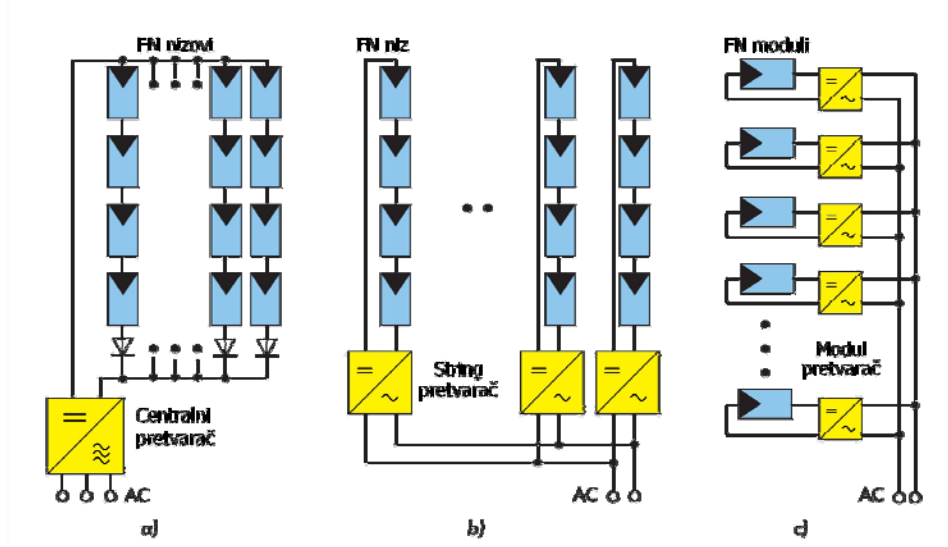
Slika 5. Utjecaj temperature na promjenu napona i struje fotonaponskog modula

2.3. DC-AC pretvarač (inverter)

Pretvarač (inverter) je elektronički sklop koji istosmjernu struju fotonaponskih modula ili baterije pretvara u izmjeničnu koja se šalje u električnu mrežu ili koristi za napajanje trošila. Osnovna podjela invertera je na uređaje za samostojne FN sustave i uređaje za sustave u paralelnom radu s mrežom.

U FN sustavima spojenima na mrežu moduli su spojeni izravno na mrežu preko invertera. Da bi se optimizirala snaga isporučena u mrežu inverter mora tijekom dana pratiti promjenu radnih uvjeta FN modula i istovremeno podešavati rad modula u točku maksimalne snage. Osnovne vrste invertera za FN sustave spojene na mrežu mogu se podijeliti u četiri grupe:

- centralni inverter (engl. Central inverter), slika 6. a),
- inverter za niz FN modula (engl. String inverter), slika 6. b),
- inverter za više nizova FN modula (engl. Multistring inverter),
- inverter integriran u FN modul (engl. Module-integrated inverter), slika 6. c).



Slika 6. Dijagram fotonaponske elektrane spojene s tri različite topologije: a) centralni inverter; b) inverter za niz FN modula; c) inverter integriran u FN modul

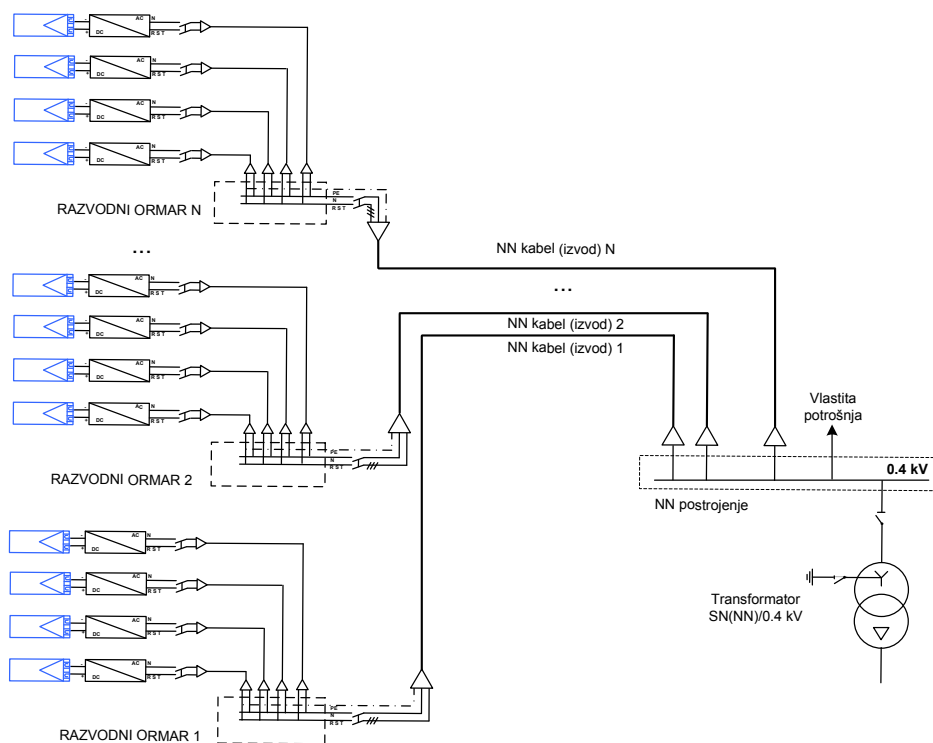
Centralni inverter se uglavnom koristi za FN sustave većih snaga (preko 10 kWp) u kojima je veći broj FN modula serijski spojen u niz, a zatim je više takvih nizova spojeno paralelno. Odlikuju se visokom djelotvornosti i najnižom specifičnom cijenom, ali ukupna proizvedena energija FN elektrane smanjuje se zbog gubitaka nepodudarnosti FN modula i utjecaja zasjenjenja. Dodatni nedostatak je što sva proizvodnja električne energije ovisi o samo jednoj komponenti tako da je manja pouzdanost sustava.

Inverter za niz FN modula osigurava rad u točki maksimalne snage jednog niza serijski spojenih FN modula (string) pa je moguće svaki pojedini niz održavati u njegovoj točki maksimalne snage. Na taj se način minimiziraju gubici zbog nepodudarnosti modula, te se smanjuju gubici zbog zasjenjenja. Inverteri za više nizova FN modula (multi-string inverteri) se obično koriste u FN sustavima čije su snage u rasponu između 3 kWp i 10 kWp i omogućuju spajanje više različitih serijskih nizova FN modula (po potrebi i različitih tehnologija) na jedan inverter, zadržavajući rad svakog niza u točki maksimalne snage.

Inverteri integrirani u module koriste se uglavnom u sustavima manjih snaga (između 50 Wp i 400 Wp). Svakom FN modulu pripada jedan inverter pa je moguće optimizirati rad pojedinog modula.

3. PRIKLJUČAK FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA SREDNJENAPONSKU DISTRIBUCIJSKU MREŽU

Većina današnjih fotonaponskih elektrana u svijetu priključeno je na elektroenergetsku mrežu. Priključak se izvodi preko DC-AC pretvarača namijenjenog paralelnom radu s mrežom i priključne transformatorske stanice. Tipična izvedba niskonaponske mreže fotonaponske elektrane i povezivanja pretvarača s priključnom transformatorskom stanicom prikazan je na slici 7.

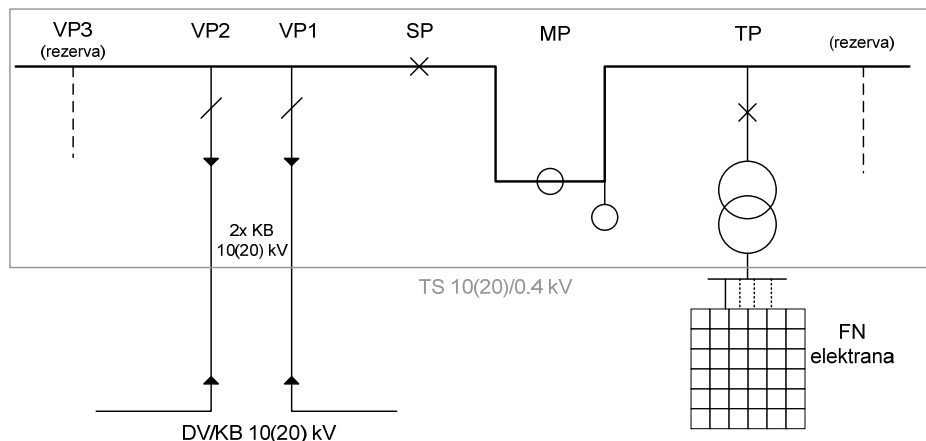


Slika 7. Načelna shema NN mreže fotonaponske elektrane i povezivanja s priklučnom TS x/10(20) kV

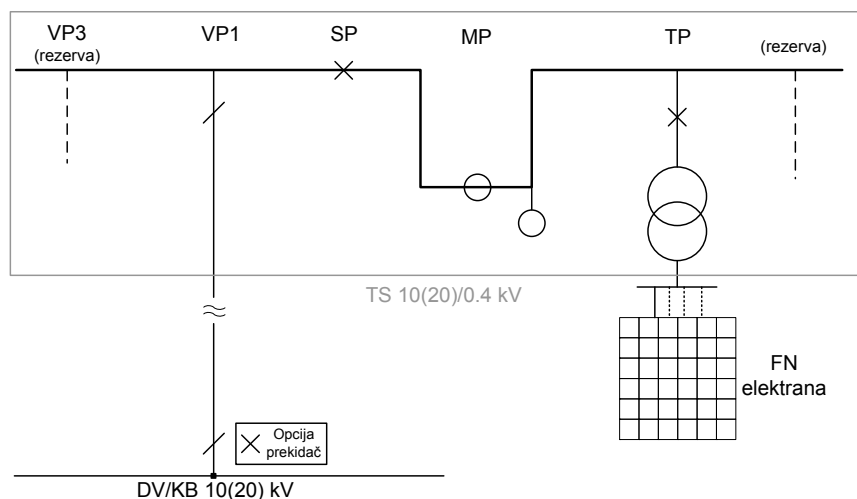
S obzirom na zasad još uvijek relativno male instalirane snage fotonaponskih elektrana, njihov priključak izvodi se najčešće na distribucijsku mrežu niskog napona. U slučaju FN elektrane veće snage, reda veličine 0.5-10 MW, nužan je priključak na srednjenaponsku distribucijsku mrežu. Sama izvedba priključka direktno je uvjetovana tehničkim i ekonomskim kriterijima, pa se sukladno tome ističu dva karakteristična slučaja, koja su dana za slučaj priključka na postojeći vod 10(20) kV:

- Priključak po sistemu ulaz/izlaz** izvodi se interpolacijom u obližnji dalekovod/kabel. Prednost ovakvog priključka je u stvaranju nove pojne točke, razdvajanjem postojećeg voda na dvije dionice, koje se mogu kvalitetnije štititi i održavati. U slučaju da izvod na koji se elektrana priključuje nije radijalan, povećane su mogućnosti plasmana proizvedene električne energije iz elektrane. Ovakav priključak obično se izvodi u slučaju manje udaljenosti elektrane od mjesta priključka, te u slučaju kableske SN mreže.
- Radijalni (T) spoj** jednostavnija je varijanta priključka zračnim vodom od priklučne TS do SN voda na kojemu se izvodi priključak. Izvodi se u slučaju veće udaljenosti fotonaponske elektrane od mjesta priključka na mrežu, odnosno u slučaju zračne SN mreže.

Načelne jednopolne sheme navedenih tipova priključka prikazane su na slici 8 i 9.



Slika 8. Načelna jednopolna shema priključka po sistemu ulaz-izlaz



Slika 9. Načelna jednopolna shema radijalnog (T) priključka

4. UTJECAJ PRIKLJUČKA FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA POGONSKE PRILIKE U MREŽI

4.1. Utjecaj priključka fotonaponske elektrane na naponske prilike i gubitke snage

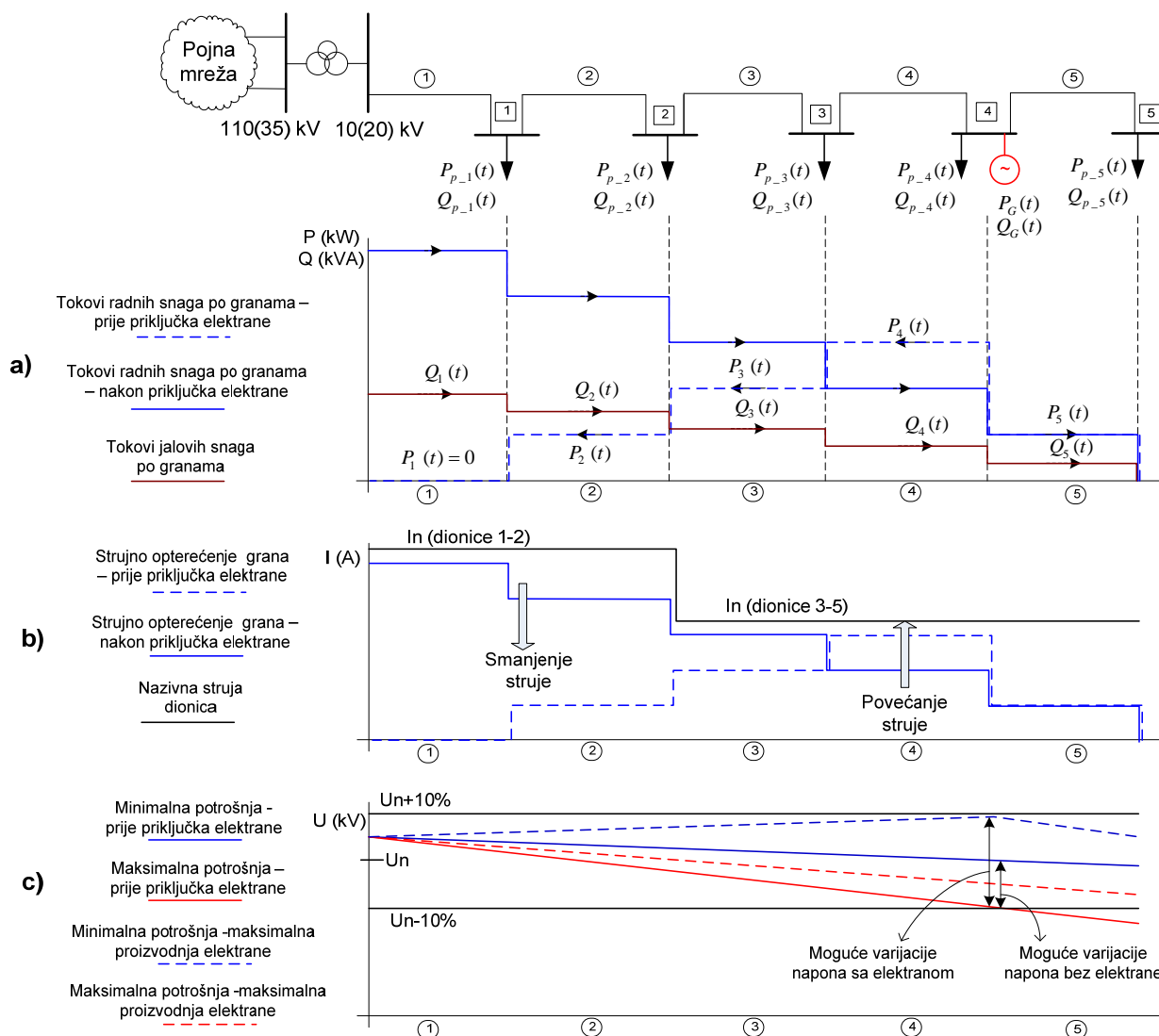
U tzv. „pasivnoj“ distribucijskoj mreži tokovi snaga u granama mreže rezultat su isključivo potrošnje i gubitaka. Zbog toga se na radijalnom izvodu distribucijske mreže snage u granama smanjuju od pojne točke prema kraju izvoda, pa se i gubici koncentriraju na početnim granama. Padovi napona u mreži se povećavaju s udaljenošću od pojne točke, a ovise o razini opterećenja (potrošnje) u mreži.

Ako se u nekom čvoru priključi elektrana, ona će u trenutku proizvoditi određenu radnu snagu i jalovu snagu, pa se takav dio mreže naziva „aktivna“ distribucijska mreža. U slučaju da nema potrošnje na izvodu, radna i jalova snaga koju proizvede elektrana ima tijek prema pojnoj točki i to u jednakom iznosu preko svih grana (zanemareni gubici). Superpozicijom tokova snaga u granama koje su rezultat potrošnje i tokova snaga koje su rezultat proizvodnje elektrane, dobije se situacija prikazana na slici 10a. Pri tome je pretpostavljeno da je elektrana neutralna po pitanju jalove snage ($\cos\varphi=1$). Općenito se može očekivati znatna promjena tokova snaga do mjesta priključka, te nikakva iza mjesta priključka elektrane.

Strujno opterećenje pojedinih dionica mreže rezultat je navedene promjene tokova snaga, tako da je redovita situacija povećano strujno opterećenje (u prosjeku) dionica mreže najbližih mjestu priključka elektrane, što je prikazano na slici 10b.

Naponske prilike u mreži, tj. stacionarne varijacije napona u slučaju priključka male elektrane redovito su najveći ograničavajući faktor kod priključka na mrežu. Bez elektrane, naponi opadaju od početka izvoda prema kraju u ovisnosti o opterećenju mreže. Sva naponska stanja u mreži, egzistiraju između dvaju graničnih naponskih profila koji odgovaraju maksimalnom i minimalnom opterećenju mreže. Kad je elektrana u pogonu, tokovi radne snage od elektrane prema pojnoj TS x/10(20) kV su suprotnog smjera, što rezultira povećanjem napona, najviše na mjestu priključka, ali i u ostatku mreže. Zbog toga, pogotovo na slabo opterećenim dugim zračnim vodovima, čak i injektiranjem relativno male snage iz elektrane u mrežu (u odnosu na nazivnu snagu SN voda), može se očekivati znatno povećanje napona.

U ovom slučaju, naponska stanja u mreži egzistiraju između dva granična naponska profila koji odgovaraju maksimalnom opterećenju mreže bez angažiranja elektrane i minimalnom opterećenju mreže s nazivnom snagom elektrane (slika 10c). Pozitivna specifičnost fotonaponske elektrane po pitanju varijacija napona, za razliku od npr. vjetroelektrane, je njena isključivo dnevna proizvodnja, tako da se ne mogu dogoditi najekstremniji slučajevi s minimalnom noćnom potrošnjom i maksimalnom proizvodnjom.



Slika 10. Tokovi snaga, struja i naponske prilike u granama aktivne distribucijske mreže

4.2. Utjecaj rada fotonaponskih elektrana na gubitke radne energije u mreži

Utjecaj priključka fotonaponske elektrane, odnosno općenito distribuiranog izvora na distribucijsku mrežu može imati pozitivan i negativan učinak s obzirom na gubitke djelatne snage i energije. Naime, ukoliko je proizvodnja elektrane razmjerna iznosu potrošnje na izvodu, tokovi radnih snaga u tom dijelu mreže se smanjuju, pa sukladno tome i gubici snage. Međutim, u slučaju da je proizvodnja radne snage elektrane znatno veća od ukupne potrošnje radne snage na izvodu, dobiti će se obrnuti efekt, tj. povećanje ukupnih tokova radne snage po granama, tako da će ukupni gubici radne snage biti veći.

Na godišnjoj razini općenito je za očekivati smanjenje gubitaka radne energije u mreži, ali nije pravilo, te je realno moguće povećanje i smanjenje gubitaka radne energije.

4.3. Utjecaj priključka fotonaponskih elektrana na raspoloživost opskrbe električnom energijom

Kao mjera raspoloživosti opskrbe električnom energijom definirani su indeksi srednjeg trajanja prekida napajanja sustava (SAIDI) i indeks srednje učestalosti prekida napajanja sustava (SAIFI). Općenito, utjecaj priključka distribuiranog izvora, tj. male elektrane na ove indekse primarno je vezan za način i izvedbu priključka na mrežu, pri čemu se ističu dva karakteristična slučaja:

- Mala elektrana ima mogućnost otočnog pogona, tj. napajanja dijela distribucijske mreže u slučaju ispada pojnog voda na kojemu je priključena. U tom slučaju će priključak male

elektrane pozitivno djelovati na indekse raspoloživosti jer može osigurati napajanje dijela distribucijske mreže koji bi inače ostao bez napajanja. Preduvjet za takav pogon male elektrane je odgovarajuća oprema za regulaciju snage/frekvencije i mogućnost dispečiranja/upravljanja radnom snagom.

- b) Mala elektrana je priključena na postojeću distribucijsku mrežu preko novog radijalnog odcjeka ili po sistemu ulaz-izlaz na način da se povećava ukupna duljina mreže. U slučaju da je lokacija priključne TS 0.4/10(20) kV udaljena od postojeće mreže, zbog veće ukupne duljine povezane radijalne mreže (izvoda s odcjepima) koja je štićena zaštitnim uređajem u pojnoj trafostanici x/10(20) kV, povećava se i vjerojatnost nastanka kvara, posebno u slučaju da se radi o nadzemnoj mreži. Zbog toga će priključak male elektrane negativno djelovati na indekse raspoloživosti jer će povećati vrijeme trajanja prekida napajanja, približno za iznos omjera duljine novog dijela mreže i ukupne duljine postojećeg izvoda zajedno s odcjepima.

U slučaju fotonaponske elektrane praktički nema mogućnosti regulacije radne snage (osim teoretski smanjivanjem proizvodnje u slučaju kad ima mogućnosti proizvodnje električne energije), stoga nema ni praktične mogućnosti otočnog pogona i pozitivnog djelovanja na indekse raspoloživosti. S druge strane smanjivanje raspoloživosti ovisno je o načinu priključka fotonaponske elektrane, predstavljenim u poglavlju 3. U slučaju priključka po sistemu ulaz-izlaz najčešće nema značajnijeg povećanja ukupne duljine mreže, stoga je utjecaj na raspoloživost mreže zanemariv. Radijalnim priključkom može se pak značajnije povećati ukupna duljina vodova/kabela, što zbog povećanja vjerojatnosti nastanka kvara ima određeni negativan utjecaj na indekse raspoloživosti opskrbe električnom energijom SAIDI i SAIFI.

4.4. Utjecaj pogona fotonaponske elektrane na kratkospojne prilike i zaštitu u mreži

Fotonaponska elektrana ne doprinosi porastu snage kratkog spoja, budući da se na mrežu priključuje isključivo preko pretvarača, tako da ne može razviti struje veće od nazivnih. Zbog toga pri analizi utjecaja priključka ovakve elektrane nema potrebe za detaljnijom provjerom već ugrađene opreme u okolnoj distribucijskoj mreži, s obzirom na snagu kratkog spoja.

Zaštita distribucijske mreže od utjecaja kvarova unutar postrojenja fotonaponske elektrane i eventualno neprimjerenog pogona s obzirom na izdane tehničke uvjete, rješava se odgovarajućim podešenjem zaštite koja djeluje na prekidač za odvajanje u spojnopolju. Također, preko istog prekidača vrši se i odvajanje elektrane od mreže za potrebe osiguranja beznaponskog stanja na pripadnom izvodu, te u cilju sprečavanja otočnog pogona za što je također potrebno predvidjeti odgovarajuću zaštitu. Za zaštitu same elektrane i priključnog voda najčešće je dovoljno podesiti postojeću nadstrujnu zaštitu, kojom se štiti pripadni dio izvoda. Dodatni zahtjevi na zaštitu najčešće nisu potrebni s obzirom da fotonaponska elektrana ne doprinosi porastu struje kratkog spoja. U slučaju značajnijeg negativnog utjecaja na naponske prilike u mreži, potrebno je ograničavanjem pogona odnosno odgovarajućom zaštitom spriječiti mogućnost nedopušteno visokih napona u mreži.

4.5. Utjecaj pogona fotonaponske elektrane na emisiju viših harmonika

Fotonaponske elektrane spojene su na distribucijsku mrežu preko pretvarača (invertera) koji istosmjernu struju fotonaponskih modula pretvara u izmjeničnu, koja se šalje u električnu mrežu. Prekidačko djelovanje poluvodičkih elemenata u pretvaraču uzrokuje harmonička izobličenja struje i napona, koja u određenoj mjeri mogu značajno narušiti kvalitetu električne energije. Pritom su i sami pretvarači osjetljivi na harmonička izobličenja, pa prilikom značajnih iznosa viših harmonika napona mogu neispravno djelovati. Dakle, prilikom analize utjecaja priključka fotonaponske elektrane na mrežu potrebno je ispitati razinu emisije viših harmonika u odnosu na dozvoljenu razinu, najčešće propisanu mrežnim pravilima.

5. ZAKLJUČAK

Globalni trendovi u energetskej politici, posljednjih godina obilježeni su prvenstveno porastom potražnje za energijom, porastom cijene klasičnih energenata te težnjom za iskorištavanjem obnovljivih izvora energije. Kao rezultat ovakvih inicijativa, posljednje vrijeme bilježi se rapidan rast instalirane snage fotonaponskih sustava, s daljnjim intenzivnim istraživanjem u mogućnosti ostvarivanja značajnijeg udjela električne energije dobivene iz fotonaponskih izvora. Glavna prepreka u tom cilju je još uvijek visoka cijena „solarne“ električne energije, prvenstveno zbog relativno visokih investicijskih troškova.

S obzirom na zasad još uvijek relativno male instalirane snage fotonaponskih elektrana, njihov priključak izvodi se najčešće na distribucijsku mrežu srednjeg ili niskog napona. Priključkom ovakvih elektrana na mrežu očekuje se uglavnom pozitivan utjecaj na pogonske prilike, točnije na naponski profil i gubitke djelatne snage, iako je vrlo često povećanje napona u točki priključka glavni ograničavajući faktor priključka FN elektrane veće snage na distribucijsku mrežu. U slučaju kvara fotonaponska elektrana ne doprinosi struji kratkog spoja, jer je na mrežu spojena preko pretvarača, pa ne može razviti struje veće od nazivnih. Potencijalne probleme mogu uzrokovati harmonička izobličenja, uzrokovana radom DC-AC pretvarača. Proizvodnja fotonaponskih sustava ograničena je isključivo na razdoblje dana, kada su i opterećenja najveća, stoga značajnija proizvodnja elektrane može izrazito povoljno djelovati smanjivanjem dnevnih vršnih opterećenja.

LITERATURA

- [1] R. Kropp, "Solar expected to maintain its status as World's fastest-growing Energy technology", SRI World group, 03.2009.
- [2] "Renewables global status report update 2009", Renewable energy policy network for the 21st century, 2009
- [3] D. Lenardič, "Large-scale photovoltaic power plants", Denis Lenardič, pvresources.com 2009.
- [4] „Prilagodba i nadogradnja strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske – Nacrt zelene knjige“, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, 2008.
- [5] „Planning & Installing Photovoltaic systems“, The German Energy Society, 2008.
- [6] „Optimalno tehničko rješenje priključenja solarne elektrane Stankovci na distribucijsku mrežu“, elaborat, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, listopad 2009.g.