

# Ostrvski rad mrežno povezanog fotonaponskog sistema - uzroci, posledice i zaštita

Ana Radovanović, Dunja Grujić

Elektrotehnički fakultet

Univerzitet u Beogradu

Beograd, Srbija

ana90.rad@gmail.com, dunjagrujic@gmail.com

**Sadržaj**— U ovom radu je analiziran odziv mrežno povezanog fotonaponskog sistema pri gubitku distributivne mreže. Predstavljani su mogući uzroci nastanka ostrvskog rada fotonaponske elektrane i opisane negativne posledice ovakvog radnog režima. Prikazane su osnovne metode za detekciju ostrvskog rada mrežno povezanih fotonaponskih sistema, kao i zakonska regulativa vezana za ovu oblast u Republici Srbiji i svetu. U okviru rada ispitivana je zaštita od ostrvskog rada mrežno povezanog fotonaponskog invertora Sungrow SG 1K5TL-31 na koji je priključen solarni panel koji je smešten u dvorištu zgrade Tehničkih fakulteta u Beogradu. Analizirani su talasni oblici napona i struja fotonaponskog invertora prilikom isključenja sa mreže.

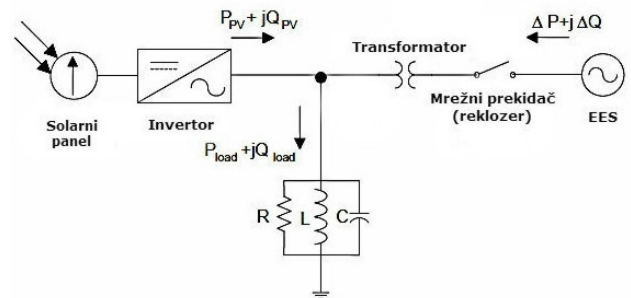
**Ključne reči**- fotonaponski sistem; ostrvski rad; zaštita od ostrvskog rada

## I. UVOD

U toku poslednjih dvadesetak godina došlo je do značajnog smanjenja proizvodnih troškova fotonaponskih modula, što je dovelo do intenzivnog razvoja fotonaponskih sistema. Pokazalo se da Sunce može imati bitnu ulogu u elektroenergetskom sistemu jedne države kao neiscrpan, obnovljiv izvor energije. Tradicionalno elektroenergetski sistem (EES) nije dizajniran da podrži generisanje i skladištenje električne energije na distributivnom nivou. Sa porastom udela fotonaponskih elektrana u EES-u, javlja se i veliki broj problema koji se moraju rešiti kako bi se osiguralo ispravno funkcionisanje distributivnog sistema. Jedan od značajnih problema jeste detekcija ostrvskog rada mrežno povezanih fotonaponskih sistema. U narednim odeljcima ukazano je na važnost poznavanja ovog problema i načina za njegovo rešavanje. U radu su prikazani i rezultati eksperimenta u kojem je ispitivana osetljivost zaštite od ostrvskog rada komercijalno dostupnog fotonaponskog invertora, kao i tranzijenti napona u instalacijama objekta pri kratkotrajnom ostrvskom radu.

## II. OSTRVSKI RAD MREŽNO POVEZANOG FOTONAPONSKOG SISTEMA- UZROCI I POSLEDICE

Ostrvski rad je stanje u kojem deo EES-a, koji sadrži potrošače i distribuirane izvore energije, ostaje energetska napajana dok je odvojen od ostatka EES-a,[1]. Osnovni koncept ostrvskog rada mrežno povezane fotonaponske elektrane je prikazan na Sl. 1.[2]



Slika 1. Prikaz ostrvskog rada mrežno povezanog fotonaponskog sistema, [2]

U normalnom režimu rada mrežni prekidač je zatvoren i važe sledeće jednakosti:

$$\Delta P = P_{load} - P_{PV} \quad (2.1)$$

$$\Delta Q = Q_{load} - Q_{PV} \quad (2.2)$$

gde su:

$P_{load}, Q_{load}$  - aktivna i reaktivna snaga koju zahteva lokalna potrošnja, respektivno,

$P_{PV}, Q_{PV}$  - aktivna i reaktivna snaga koju proizvodi fotonaponski sistem, respektivno,

$\Delta P, \Delta Q$  - aktivna i reaktivna snaga koju lokalnoj potrošnji obezbeđuje mreža, respektivno.

Otvaranjem mrežnog prekidača, odnosno prelaskom dela EES-a sa solarnim panelom u ostrvski režim rada, u opštem slučaju narušavaju se jednačine balansa aktivnih i reaktivnih snaga (2.1) i (2.2), što uzrokuje oštre promene napona i frekvencije u izolovanom delu EES-a, a to može dovesti do reagovanja naponskih i frekvencijskih zaštita pre reagovanja zaštite od izolovanog rada. Što se tiče vremena detekcije ostrvskog rada, najkritičniji slučaj je kada snaga potrošnje, koja ostane u izolovanom delu EES-a, ima vrednost blisku snazi proizvodnje fotonaponske elektrane. U tom slučaju fotonaponski sistem će nastaviti da snabdeva električnom energijom lokalne potrošače kao i pre gubitka mreže, do trenutka reagovanja zaštite invertora od ostrvskog rada.

Ostrvski rad fotonaponskog sistema može se dogoditi kao posledica sledećih prilika:

1) kvara koji je detektovan od strane mreže i koji rezultuje reagovanjem prekidačkog uređaja, ali koji nije detektovan od strane fotonaponskog invertora,

2) slučajnog prekida u normalnom snabdevanju snagom usled kvara opreme,

3) namernog gubitka mreže zbog potreba održavanja,

4) iznenadnih promena u mreži distributivnog sistema i/ili u opterećenju,

5) ljudske greške ili vandalizma. [3], [4]

Najozbiljnija posledica ostrvskog rada fotonaponske elektrane jeste ugrožavanje bezbednosti tehničkog osoblja koje sprovodi različite operacije na energetskim vodovima. Radnici pristupaju radovima, nesvesni da je taj deo EES-a i dalje energetski napajan. Ovo je od posebno velike važnosti u slučaju planiranog remonta, kada se prekidačem rukuje ručno od strane osoblja za održavanje, koje će odmah započeti rad na izolovanom sistemu. U ovom slučaju, ostrvski rad od čak samo nekoliko desetina sekundi bi mogao biti opasan.

Kada se dogodi ostrvski rad, mreža više nije u stanju da kontroliše napon i frekvenciju u tom delu EES-a. Elektrodistribucija, zajedno sa vlasnicima fotonaponskih elektrana, može biti smatrana odgovornom za štetu nanetu električnoj opremi korisnika koja je posledica odstupanja napona i frekvencije iz dozvoljenog opsega vrednosti.

Tokom ostrvskog rada moguće je i da fotonaponski sistem izgubi sinhronizam sa mrežom. Naime, u normalnom radnom režimu fotonaponska elektrana koristi mrežni napon za obezbeđivanje referenci za fazni stav i frekvenciju izlazne struje invertora. Pri ostrvskom radu fotonaponski sistem gubi tu referencu. Ponovno uspostavljanje reference napona i rekonekcija na mrežu obično zahtevaju duži vremenski period. Ovo može biti naročito bitno za mreže sa sistemom zaštite sa automatskim ponovnim uključanjem (APU), gde kratkotrajna beznaponska pauza sa strane mreže može izazvati ispad fotonaponskih elektrana zbog gubitka sinhronizma.

Problem, čiji značaj raste sa povećanjem udela fotonaponskih sistema u EES-u, je što neke metode za detekciju ostrvskog rada mogu da ometaju jedne druge. Ako je nekoliko fotonaponskih sistema priključeno na izolovani deo mreže, moguće je da bude potrebno više vremena da se identifikuje ostrvski rad nego u slučaju kada je prisutna samo jedna solarna elektrana, a moguće je da dođe i do neuspeha da se ostrvski rad prepozna. U nekim slučajevima, ovo se može dogoditi čak i kada svi fotonaponski invertori koriste istu metodu za detekciju ostrvskog rada.[1], [3], [5]

### III. UTVRĐIVANJE OSTRVSKOG RADA

Jedan od najvećih problema mrežno povezanih solarnih elektrana je ostrvski rad. Potrebno je istaći dva faktora kako bi se bolje razumeo ovaj fenomen. Prvo, moraju se poznavati dostupni standardi vezani za mrežno povezane fotonaponske sisteme – oni se bave i pitanjem ostrvskog rada kao i metodama za njegovu detekciju. Drugi faktor je vezan za zonu u kojoj nije moguće detektovati ostrvski rad (NDZ) solarne elektrane. Ona uglavnom zavisi od lokalnih opterećenja povezanih na solarnu elektranu.[6]

#### A. Standardi koji se bave ostrvskim radom

U Pravilima o radu distributivnog sistema Republike Srbije nije dozvoljeno ostrvsko napajanje dela DS iz elektrane. Ugradnjom odgovarajućih uređaja u objektu elektrane, treba obezbediti da se izvrši automatsko odvajanje elektrane sa distributivnog sistema, ako je sa strane DS prekinuto napajanje.[7]

U Tabeli I dat je pregled postojećih standarda (IEC, IEEE...). Oni daju dozvoljene vrednosti faktora kvaliteta ( $Q$ ), vremena za detekciju ostrvskog rada ( $t$ ) i drugih relevantnih veličina. Faktor kvaliteta se može definisati na sledeći način:

$$Q = R \sqrt{\frac{E}{L}} \quad (3.1)$$

Faktor kvaliteta  $Q$  opisuje vezu između sačuvane i disipirane energije u paralelnim RLC kolima pri rezonantnoj frekvenciji. Što je veća vrednost  $Q$ , jača je tendencija održavanja rezonantne frekvencije. To otežava detekciju ostrvskog rada. Faktor kvaliteta je direktno srazmeran sa NDZ.

Prema standardu IEEE 929-2000 faktor kvaliteta se definiše na sledeći način:

$$Q = \operatorname{tg}(\arccos(pf)), \quad (3.2)$$

gde je  $pf$  faktor snage potrošnje. Većina standarda zahteva da  $Q$  ima vrednosti od 0 do 2,5, što odgovara faktoru snage od 1 pa do 0,37.[4],[8],[9]

TABELA I. PREGLED POSTOJEĆIH STANDARDA [6]

Standard	Faktor kvaliteta, $Q$	Zahtevano vreme za detekciju ostrvskog rada, $t$	Normalan frekvencijski opseg ( $f_0$ nominalna frekvencija)	Normalan naponski opseg, $V$ (% od nominalnog napona $V_0$ )
IEC 62116	1	$t < 2s$	$(f_0 - 1,5\text{Hz}) \leq f \leq f_0 + 1,5\text{Hz}$	$85\% \leq V \leq 115\%$
IEEE 1547	1	$t < 2s$	$59,3\text{Hz} \leq f \leq 60,5\text{Hz}$	$88\% \leq V \leq 110\%$
IEEE 929-2000	2,5	$t < 2s$	$59,3\text{Hz} \leq f \leq 60,5\text{Hz}$	$88\% \leq V \leq 110\%$
Japanski standard	0 (+ rotirajuće mašine)	pasivno: $t < 0,5s$ ; aktivno: $0,5s < t < 1s$	Podesiva vrednost	Podesiva vrednost
Korejski standard	1	$t < 0,5s$	$59,3\text{Hz} \leq f \leq 60,5\text{Hz}$	$88\% \leq V \leq 110\%$
VDE 0126-1-1	2	$t < 0,2s$	$47,5\text{Hz} \leq f \leq 60,2\text{Hz}$	$80\% \leq V \leq 115\%$
AS4777.3-2005	1	$t < 2s$	Podesiva vrednost	Podesiva vrednost

#### B. Metode za detekciju ostrvskog rada

Metode za detekciju ostrvskog rada se mogu podeliti u tri kategorije:

- 1) aktivne,
- 2) pasivne i
- 3) daljinske.

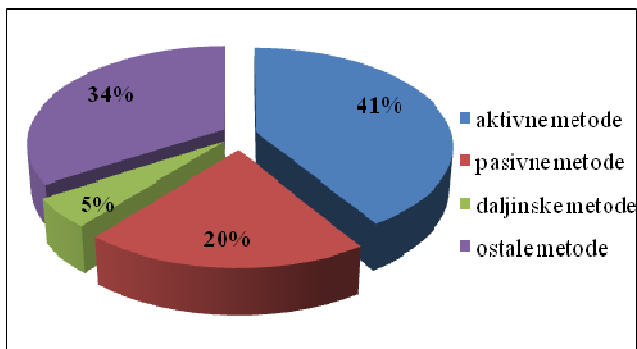
Efikasnost ovih metoda detekcije se određuje zonom u kojoj nije moguće detektovati ostrvski rad (NDZ). Što je manja ova zona to je metoda bolja.

Pasivne metode detekcije se zasnivaju na činjenici da isključenje mreže uzrokuje promene napona i frekvencije, više harmonike itd. S obzirom na to ove metode samo prate vrednosti konkretnih parametara. Do reagovanja dolazi ukoliko posmatrane vrednosti dostignu podešene vrednosti reagovanja. Uglavnom se koriste za detekciju prenapona/podnapona, promena frekvencije, viših harmonika i sl. Prednosti ovih metoda su laka implementacija, relativno niska cena, ne utiču na izlaz invertora jer ne injektiraju aktivne signale. Loše strane su relativno velika NDZ, neefikasnost u multi-invertorskim sistemima itd.

Aktivne metode detektovanja se zasnivaju na principu injektiranja aktivnog signala u izlaznu struju invertora. Mogu se podeliti u tri kategorije u zavisnosti od toga koji se parametar varira: amplituda, frekvencija ili fazni stav izlazne struje invertora. Mogu raditi na principu merenja impedanse, reaktivne snage koja se injektira u elektroenergetsku mrežu... Glavna prednost aktivnih nad pasivnim metodama je manja NDZ, dok je njihov osnovni nedostatak to što nose poremećaj u izlaznu struju invertora.

Daljinske metode detekcije su bazirane na komunikaciji između mreže i fotonaponskog invertora. Ove tehnike nemaju NDZ, ne menjaju izlaz invertora i mogu se primeniti na multi-invertorske sisteme. Međutim, ove metode su jako skupe i komplikovano je uspostaviti pomenutu komunikaciju. Ona se uglavnom uspostavlja pomoću energetskih i telekomunikacionih vodova. Praćenjem stanja kontakata strujnih prekidača pomoću npr. SCADA sistema, moguće je detektovati ostrvski rad mrežno povezanog fotonaponskog sistema.[8],[10],[11]

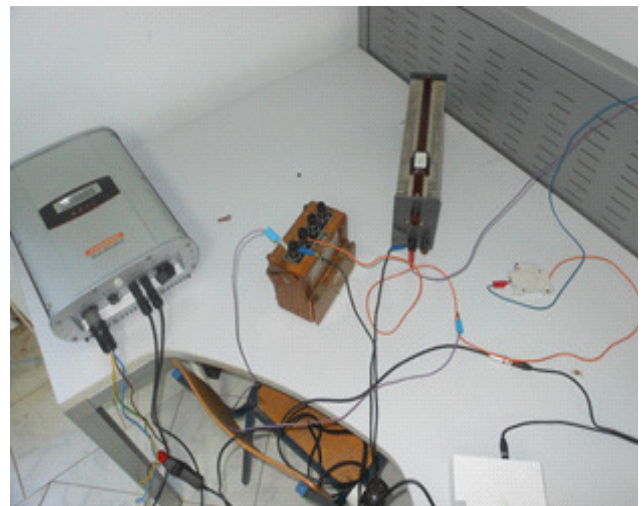
Na Sl. 2 prikazana je upotreba različitih metoda detekcije ostrvskog rada u periodu od 1989. do 2012. godine. Može se zaključiti da najveći broj invertora koristi aktivne metode. Iako su najefikasnije, daljinske metode su najmanje u upotrebi zbog svoje visoke cene.



Slika 2. Upotreba različitih metoda detekcije ostrvskog rada, [10]

#### IV. EKSPERIMENTALNI DEO

Cilj eksperimenta je ispitivanje osetljivosti zaštite od ostrvskog rada komercijalnog fotonaponskog invertora, kao i sagledavanje tranzijenata napona u instalacijama objekta, na koji je fotonaponski sistem priključen, pri gubitku napajanja sa strane distributivne mreže. Metoda za detekciju ostrvskog rada upotrebljena u posmatranom invertoru nije poznata, s obzirom na to da ovaj podatak predstavlja proizvođačku tajnu. Korišćena aparatura je prikazana na Sl. 3.



Slika 3. Aparatura korišćena u eksperimentu

Eksperiment je izveden u laboratoriji za elektrane Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. U eksperimentu je korišćen solarni panel koji se nalazi u dvorištu zgrade Tehničkih fakulteta u Beogradu. On se sastoji od šest redno vezanih fotonaponskih modula First Solar ZDNY-235P60, ukupne instalisane snage 1410 W<sub>p</sub>. Fotonaponski panel je povezan na distributivnu mrežu pomoću monofaznog invertora Sungrow SG 1K5TL-31, nazivne snage 1500 W. Na naizmenične priključke invertora je povezan i otpornik kojim je modelovana potrošnja, a koji je u normalnim pogonskim uslovima u paralelnom radu sa fotonaponskim sistemom i distributivnom mrežom. Pri isključenju mrežnog prekidača, kojim je inverter vezan na distributivnu mrežu, inverter prelazi u ostrvski rad i jednostrano napaja otpornik. U eksperimentu su varirane vrednosti otpornosti i mereno vreme za koje inverter detektuje ostrvski rad. Takođe, analizirani su i tranzijenti napona i struja napajanja otpornika u kratkotrajnom ostrvskom radu. Sproveden je i eksperiment u kome je ispitivano ponašanje invertora u kratkotrajnom ostrvskom radu kada je na njegove izlazne krajeve, umesto otpornika, priključen induktivni potrošač.

Merenje i zapis rezultata je vršen pomoću merno-akvizicionog sistema na bazi personalnog računara [12 - 15], koji je razvijen na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

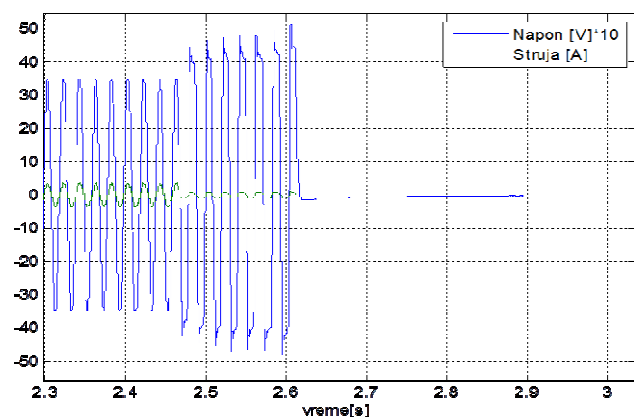
Posmatrani inverter radi sa jediničnim faktorom snage. Merenja su vršena pri vedrom, sunčanom danu. Usvojeno je da je snaga fotonaponskog invertora tokom celokupnog ispitivanja bila konstantna i iznosila 900 W, iako su zbog promene incidentne iradijacije na panel bile prisutne neznatne varijacije u izlaznoj snazi invertora. Takođe, smatrano je i da mrežni napon nije odstupao od vrednosti od 230 V.

Izvršena je procena otpornosti otpornika čija je snaga potrošnje jednaka snazi proizvodnje fotonaponskog sistema. Izračunata vrednost ove otpornosti iznosi 58,8 Ω. Međutim, korišćena je otpornost od 60 Ω usled nemogućnosti finijeg podešavanja otpornosti promenljivog otpornika upotrebljenog u ovom eksperimentu.

Na Sl. 4-7 prikazani su talasni oblici napona i struja na izlaznim krajevima invertora.

A. *Eksperiment u slučaju kada je nazivna snaga potrošnje u izolovanom sistemu manja od snage proizvodnje fotonaponskog invertora*

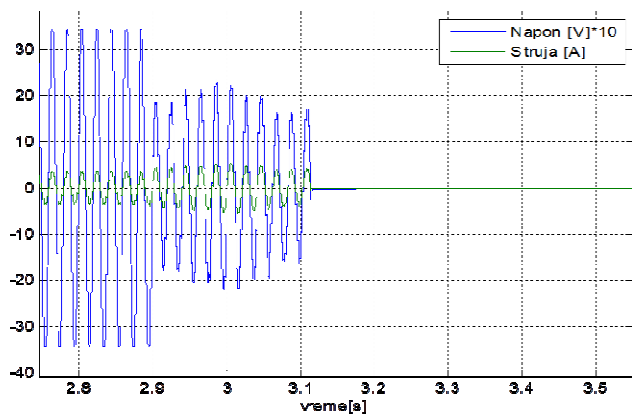
U ovom eksperimentu otpornost promenljivog otpornika je podešena na  $280 \Omega$ , pa je u trenutku otvaranja mrežnog prekidača snaga potrošnje u izolovanom sistemu bila manja od snage proizvodnje fotonaponskog invertora. Invertor je detektovao ostrvski rad za 151 ms. Tokom ostrvskog rada fotonaponskog sistema, maksimalna trenutna vrednost napona na otporniku je iznosila 514,4 V, što je značajan prenapon od 58,14 %. Nakon isključenja invertora sa mreže struja se smanjila ispod vrednosti u normalnom radnom režimu.



Slika 4. Talasni oblik napona i struje invertora u slučaju isključenja sa mreže, kada je nazivna snaga potrošnje manja od snage proizvodnje fotonaponskog invertora

B. *Eksperiment u slučaju kada je nazivna snaga potrošnje u izolovanom sistemu veća od snage proizvodnje fotonaponskog invertora*

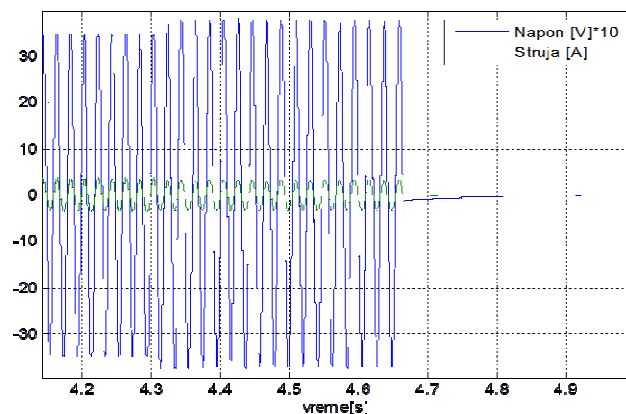
U ovom slučaju snaga koju zahteva otporničko opterećenje je bila veća od snage proizvodnje fotonaponskog invertora, s obzirom da je otpornost otpornika podešena na  $20 \Omega$ . Detekcija ostrvskog rada i isključenje invertora je izvršeno posle 217 ms. Tokom ostrvskog rada napon na otporniku je u svakom trenutku bio manji nego u normalnom režimu rada, sa maksimalnom trenutnom vrednošću od 235,1 V. Nakon isključenja invertora sa mreže, struja se povećala iznad vrednosti u normalnom radnom režimu.



Slika 5. Talasni oblik napona i struje invertora u slučaju isključenja sa mreže, kada je nazivna snaga potrošnje veća od snage proizvodnje fotonaponskog invertora

C. *Eksperiment u slučaju kada je nazivna snaga potrošnje u izolovanom sistemu bliska snazi proizvodnje fotonaponskog invertora*

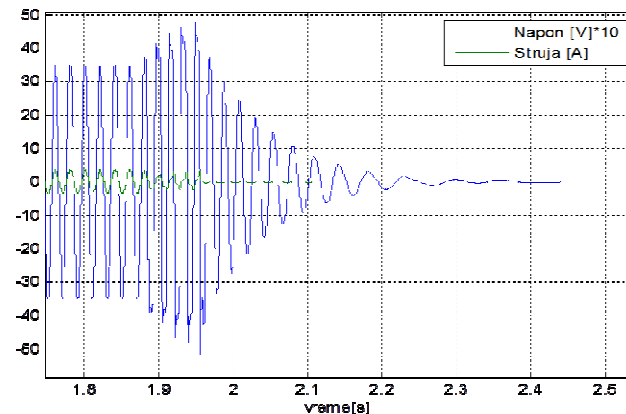
Trećim eksperimentom ispitan je rad invertora u najgorom mogućem slučaju u pogledu uslova za detekciju gubitka mreže - snaga proizvodnje fotonaponskog sistema i snaga priključene potrošnje su bile bliske. U ovom slučaju podešena otpornost otpornika je iznosila  $60 \Omega$ . I u ovom najgorom mogućem scenariju invertor je uspešno detektovao ostrvski rad i to za 355 ms. Maksimalni procentualni porast trenutne vrednosti napona na otporniku u ostrvskom radu, u odnosu na normalni radni režim, je iznosio 9,4 %, što spada u normalno dozvoljene varijacije napona. Znači, isključenje invertora je izvršeno od strane zaštite od ostrvskog rada, a ne naponskih zaštita. Nakon isključenja invertora sa mreže struja i napon su gotovo nepromenjeni u odnosu na normalan radni režim.



Slika 6. Talasni oblik napona i struje invertora u slučaju isključenja sa mreže, kada je nazivna snaga potrošnje bliska snazi proizvodnje fotonaponskog invertora

D. *Eksperiment u slučaju pretežno induktivnog potrošača u izolovanom sistemu*

U slučaju ostrvskog rada jednog krovno integrisanog fotonaponskog sistema kućni aparati mogu biti naponski ili strujno ugroženi. U ovom eksperimentu na naizmenične krajeve posmatranog invertora priključen je frižider, kao jedan od tipičnih predstavnika monofaznih potrošača sa elektromotornim pogonom.



Slika 7. Talasni oblik napona i struje invertora u slučaju isključenja sa mreže, kada je potrošač induktivne prirode

Kao što se može uočiti sa Sl. 7, inverter je uspešno prepoznao otvaranje mrežnog prekidača za 351 ms. U toku ostrvskog rada, struja frižidera je opala ispod normalne radne vrednosti, dok je maksimalna trenutna vrednost napona na priključcima frižidera iznosila 514,4 V. Prigušenje zaostalog napona na priključcima frižidera nastupilo je za oko 500 ms, nakon što je struja invertora opala na nulu.

## V. ZAKLJUČAK

Usled sve većeg prisustva fotonaponskih elektrana u elektroenergetskim sistemima dosta pažnje se posvećuje problemu ostrvskog rada. S obzirom na negativne efekte (kao što su odstupanje napona i frekvencije od dozvoljenih vrednosti, oštećenje aparata priključenih na mrežu, ugrožavanje bezbednosti tehničkog osoblja...) koje ostrvski rad izaziva, ispitivanja na ovu temu su opravdana.

U ovom radu je izvršena eksperimentalna analiza efikasnosti zaštite od ostrvskog rada fotonaponskog invertora Sungrow SG 1K5TL-31, kao i analiza tranzijentnih napona na priključcima invertora tokom kratkotrajnog ostrvskog rada. Pokazano je da je inverter uspešno detektovao ostrvski rad za sve tipove i snage potrošača korišćene u eksperimentu, pomoću posebno izvedene zaštite od ostrvskog rada ili naponske zaštite. Kao najkritičniji scenario po vremenu potrebnom za detekciju ostrvskog rada, prema očekivanjima, pokazao se onaj kada su snage potrošnje i proizvodnje bliske. Vreme isključenja invertora nakon prelaska u ostrvski rad u ovom najkritičnijem slučaju je bilo oko 350 ms, što zadovoljava većinu postojećih standarda.

Tokom tranzijentnih procesa, u kratkotrajnom ostrvskom radu, mogu se javiti značajni prenaponi u priključnoj instalaciji invertora, koji bi mogli oštetiti naponski osetljive uređaje koji su priključeni na tu instalaciju. Ovakvi prenaponi se javljaju u slučaju kada je u periodu izolovanog rada zatečena snaga potrošnje manja od zatečene snage proizvodnje fotonaponskog sistema. U konkretnom eksperimentu ovaj prenapon je iznosio 58,14 % u odnosu na nazivni napon mreže.

## ZAHVALNICA

Autori žele da se zahvale svom profesoru Željku Đurišiću na nesebičnoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

## LITERATURA

- [1] IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic Systems, IEEE Std 929-2000, 2000
- [2] M. Hanif, M. Bask and K. Gaughan, "A discussion of Anti-islanding Protection Schemes Incorporated in a Inverter Based DG", International conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC) 2011, 10th International, 8-11 May 2011
- [3] W. Bower and M. Ropp, "Evaluation of Islanding Detection Methods for Utility-Interactive Inverters in Photovoltaic Systems", Sandia Report, November 2002
- [4] C. Trujillo, D. Velasco, E. Figueres and G. Garcera, "Local and Remote Techniques for Islanding Detection in Distributed

Generators", ISBN: 978-953-307-064-9, Editorial I- Tech Education and Publishing KG, 2010

- [5] M. E. Ropp, M. Begovic and A. Rohatgi, "Prevention of Islanding in Grid- connected Photovoltaic Systems", Progress in Photovoltaic: Research and Applications, vol. 7, no. 11, pp. 39-59, Februar 1999
- [6] Ku Nurul Edhura Ku Ahmad, N. Abd Rahim, J. Selvaraj, A. Rivai, K. Chaniago, "An effective passive islanding detection method for PV single-phase grid-connected inverter", ScienceDirect, Solar Energy 97 (2013), pp. 155–167
- [7] "Pravila o radu distributivnog sistema", Službeni glasnik, br. 5/10 i 3/14, mart 2014, tačka 3.5.2.
- [8] B. Yu, M. Matsui, G. Yu, "A review of current anti-islanding methods for photovoltaic power system", ScienceDirect, Solar Energy 84 (2010), pp. 745–754
- [9] S. Gonzalez, R. Bonn, J. Ginn, Removing Barriers to Utility Interconnected Photovoltaic Inverters, Sandia National Laboratories Albuquerque, United States Department of Energy, NM 87185-0753
- [10] K.NurulEdhuraKuAhmadn, J. Selvaraj, N. AbdRahim, "A review of the islanding detection methods in grid-connected PV inverters", Renewable and Sustainable Energy Reviews 21 (2013) 756–766
- [11] D. Velasco, C.L. Trujillo, G. Garcera, E. Figueres, "Review of anti-islanding techniques in distributed generators", Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010), pp. 1608–1614
- [12] Razvoj sistema za merenje i analizu parametara kvaliteta električne energije baziranog na personalnom računaru, Projekat 223001. Realizator projekta: Elektrotehnički fakultet u Beogradu (Rukovodilac: prof. dr Milenko Đurić) 2006-2008. Naručilac: Ministarstvo nauke Republike Srbije, Korisnici projekta: JP TENT Obrenovac i JP Elektrodistribucija Kraljevo.
- [13] Ž. Đurišić, M. Đurić, J. Krstivojević, Monofazni analizator kvaliteta električne energije, Energija, br. 1-2, mart, 2007. ISSN: 0354-8651, str 275 – 280.
- [14] Ž. Đurišić, M. Đurić, Opis merno-akvizicionog sistema za kontrolu kvaliteta električne energije u distributivnom sistemu, Zbornik radova 27 savetovanja CIGRE, Zlatibor 2005.
- [15] M. Đurić, Ž. Đurišić, Primena merno-akvizicionog sistema za kontrolu kvaliteta električne energije u distributivnom sistemu, Zbornik radova 27 savetovanja CIGRE, Zlatibor 2005.

## ABSTRACT

This paper analyzes the response of the grid – connected photovoltaic system when the distribution network is no longer present. The possible causes of islanding of photovoltaic power plant are presented and the negative consequences of this operating mode are described. The paper shows the basic methods for detection of islanding of grid – connected photovoltaic systems, as well as the regulations related to this field in the Republic of Serbia and the world. As part of the work, the anti – islanding protection of the grid – connected photovoltaic inverter Sungrow SG1K5TL – 31, that is connected to the solar panel located in the courtyard of the building of the Faculty of Engineering in Belgrade, has been tested. The paper analyzes the waveforms of voltage and current of the photovoltaic inverter when the grid is disconnected.

## ISLANDING OF GRID – CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM – CAUSES, CONSEQUENCES AND PROTECTION

Ana Radovanović, Dunja Grujić