

## **ZAJEDNIČKI UTICAJ FOTONAPONSKIH SISTEMA I ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA NA HARMONIJSKO IZOBLIČENJE STRUJA U URBANIM DISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA**

D. TOVILOVIĆ, Katedra za elektroenergetske sisteme, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Republika Srbija

N. RAJAKOVIĆ, Katedra za elektroenergetske sisteme, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Republika Srbija

### **UVOD**

Fotonaponski sistemi (FNS-i) vrše direktno pretvaranje energije Sunca u električnu energiju i karakterišu se relativno malim troškovima održavanja (1) te se procjenjuje da će proizvodnja električne energije iz FNS-a i dalje rasti u godinama koje dolaze (2), (3). Povećanje korišćenja automobila na električni pogon (električni automobil, EA) prepoznato je kao mogućnost da se smanji potrošnja fosilnih goriva na bazi nafte (4) dok je korišćenje električne energije iz obnovljivih izvora prepoznato kao mogućnost da se smanji potreba za povećanjem proizvodnje iz izvora koji koriste fosilna goriva te smanji opterećenje i potreba za značajniju dogradnju elektroenergetskog distributivnog sistema (EDS-a) (5).

U odnosu na druge distribuirane izvore električne energije FNS-i imaju relativno jednostavniju konstrukciju (2), (3), (6), (7) te je zbog toga moguća njihova jednostavnija montaža čak i u urbanim gradskim sredinama. Urbane sredine mjesta su gdje je moguća i relativno velika koncentracija i priključenje EA-a te je za očekivati da će u skorijoj budućnosti doći do potrebe za istovremenim priključenjem fotonaponskih sistema FNS-a i EA-a na EDS (8).

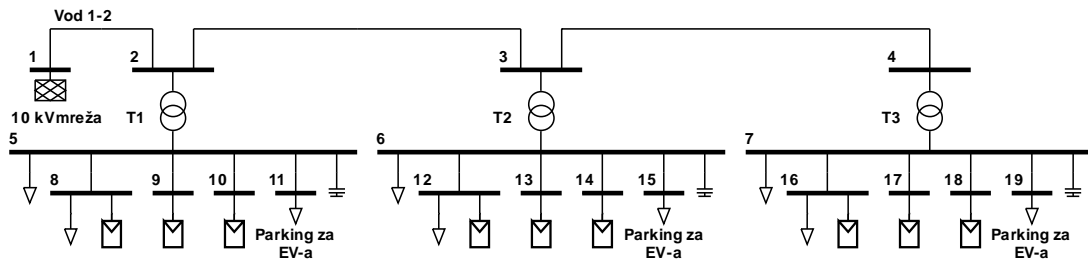
Priključenje FNS-a i EA-a na EDS može da utiče na opterećenje EDS-a i naponske prilike (9)–(12) te na harmonijska izobličenja struja i napona (12)–(15). Do sada su uglavnom istraživani pojedinačni uticaji FNS-a i EA-a na EDS dok su u radu (8) prikazani rezultati istraživanja zajedničkog uticaja ovih sistema na dijagrame opterećenja i napona te na harmonijska izobličenja napona u urbanim distributivnim sistemima.

Kako problem izobličenja struja i napona u EDS-ima postaje sve značajniji, te kako izobličenje struja prouzrokuje i izobličenje napona, u ovom radu biće prikazani zajednički uticaji FNS-a i EA-a na izobličenja struja u distributivnim EDS-ima dok su u radu (8) prikazani rezultati analize zajedničkog uticaja FNS-a i EA-a na harmonijsko izobličenje napona. Kako se i FNS-i i EA-a na elektroenergetsku mrežu priključuju pomoću pretvarača energetske elektronike, koji mogu da utiču na izobličenje struja, pretpostavlja se da zajednički uticaj FNS-a i EA-a na izobličenja struja može da bude veći od njihovih pojedinačnih uticaja. Istraživanje će biti sprovedeno korišćenjem računarskih simulacija.

### **MODELOVANJE TESTNOG SISTEMA, FNS-A, EA-A I DEFINISANJE SLUČAJEVA ZA POSMATRANJE**

## Testni sistem

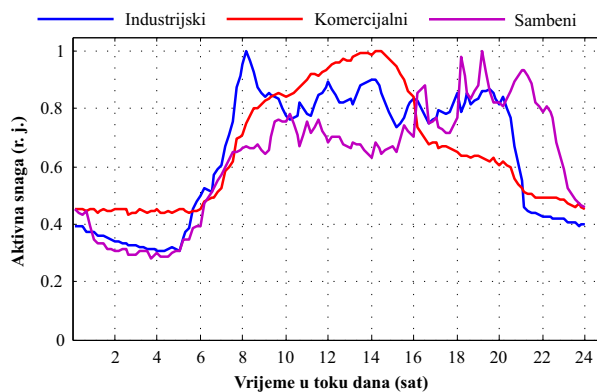
Za potrebe istraživanja razvijen je testni sistem baziran na stvarnom distributivnom sistemu koji snabdijeva električnom energijom urbanu gradsku sredinu. Na model testnog sistema dodati su modeli FNS-a i parkinga sa priključcima predviđenim za priključenje EA-a a što je podrazumijevalo dodavanje dodatnih čvorova i odgovarajućih kablovskih vodova. Transformatori T1, T2 i T3 snabdijevaju pretežno industrijski, komercijalni i stambeni tip potrošnje, respektivno. Konfiguracija testnog sistema prikazana je na slici 1 (8) a detaljni parametri transformatora i vodova i ostalih elemenata testnog sistema dati su u radu (8).



Slika 1 - Prikaz konfiguracije testnog sistema (8).

## Modelovanje potrošača

Potrošači na niskom naponu modelovani su sa dnevnim dijagramima opterećenja sa kvazistacionarnim intervalima od 10 minuta. Za modelovanje su korišćeni podaci o izmjerenim snagama grupisanih potrošača u stvarnom EDS-u. Kako bi se dobio dnevni dijagram opterećenja za ljetni period iskorišćeni su podaci opterećenja za jun, jul i avgust u okviru jedne godine. Za svaki desetominutni interval dijagrama opterećenja izračunata je srednja vrijednost, a na osnovu odgovarajućih podataka o snazi potrošača u posmatrana tri mjeseca. Dnevni dijagrami opterećenja karakterističnih tipova potrošača za ljetni period prikazani su na slici 2 (8) i oni su korišćeni za modelovanje pojedinih karakterističnih tipova potrošača.



Slika 2 - Dnevni dijagrami opterećenja posmatranih karakterističnih tipova potrošača za ljetni period (8).

Vrijednosti opterećenja na slici 2 normalizovani su u odnosu na maksimalne vrijednosti snage pojedinih karakterističnih potrošača. Osnovni podaci o potrošačima dati u Tabeli 1 (8).

TABELA 1 – OSNOVNI PODACI O POTROŠAČIMA (8)

Broj čvora	$P_{max}$ (kW)	Faktor snage	Tip
5	180	0,9	Industrijski
8	130	0,9	Industrijski
6	170	0,9	Komercijalni
12	160	0,9	Komercijalni
7	120	0,95	Stambeni
16	180	0,95	Stambeni

Za potrebe analize tokova snaga viših harmonika (harmonijska analiza) pojedini karakteristični tipovi potrošača modelovani su kao strujni izvori struja osnovnog harmonika i viših harmonijskih komponenti (harmonika) struje. Za modelovanje su korišćeni podaci o amplitudama i faznim stavovima pojedinih harmonika struje koji su izmjereni u stvarnom sistemu. Za svaki desetominutni interval vremena, i za svaki pojedinačni harmonik struje, izračunate su srednje vrijednosti i standardno odstupanje amplituda i faznih stavova harmonika na osnovu podataka o odgovarajućim vrijednostima u okviru tri ljetna mjeseca (jun, jul, avgust) (8).

### Modelovanje FNS-a

Dijagram proizvodnje fotonaponskog sistema modelovan je na osnovu izračunate izlazne snage stvarnog FNS-a naznačene snage od 15 kW (8). Proizvodnja električne energije posmatranog FNS-a izračunata je korišćenjem programskog alata OpenDSS (16), koji posjeduje model FNS-a (17), korišćenjem podataka o stepenu korisnog dejstva invertora posmatranog FNS-a te podataka o vrijednostima intenziteta Sunčevog zračenja u toku dana i dnevne temperature. Podaci o intenzitetu Sunčevog zračenja preuzeti su sa (18) i odnose se na područje grada Doboja za 2005. godinu. Podaci o srednjim dnevnim temperaturama za posmatrano područje preuzeti su sa (19). Dnevni dijagram proizvodnje FNS-a za ljetni period modelovan je izračunavanjem srednje vrijednosti izlazne snage za svaki desetominutni interval vremena na osnovu odgovarajućih vrijednosti izlazne snage svakog dana u toku posmatrana tri karakteristična ljetna mjeseca (8).

Posmatrani FNS priključen je na elektrodistributivnu mrežu niskog napona a na mjestu priključenja izvršeno je mjerenje pojedinih parametara kvaliteta električna energije u periodu od 17. do 24. avgusta 2013. godine (8). Na osnovu podataka o izmjenjenim strujama invertora izvršeno je modelovanje FNS-a za potrebe harmonijske analize. U ovom radu invertori su modelovani samo kao izvori struja osnovnog i pojedinih viših harmonika te nije uzeto u obzir neposredno izobličenje napona koje oni proizvode.

Harmonijsko izobličenje struje invertora, koji su danas u upotrebi, zavisi od izlazne snage invertora i ono je veće ukoliko je izlazna snaga invertora manja, tj. što je radna tačka invertora dalja od naznačene radne tačke (14), (20). Kako bi se uzela u obzir ova zavisnost izvršeno je modelovanje vrijednosti amplituda pojedinih harmonika za tri karakteristična područja u pogledu izlazne snage invertora i to za: nizak nivo ( $P_{FNS} < 0,13 \times P_{FNSn}$ ), srednji nivo ( $0,13 \times P_{FNSn} < P_{FNS} < 0,4 \times P_{FNSn}$ ), visoki nivo ( $P_{FNS} > 0,4 \times P_{FNSn}$ ) (8). U Tabeli 2 (8) date su vrijednosti amplituda pojedinih harmonika za opisani model FNS-a.

TABELA 2 – KARAKTERISTIKE MODELA FNS-A I EA-A ZA POTREBE HARMONIJSKE ANALIZE (8)

Redni broj harmonika (h)	3	5	7	9	11	13
FNS $I_h/I_1^a$ (%) – nizak nivo	18,75	20,39	11,22	7,4	2,87	3,23
FNS $I_h/I_1$ (%) – srednji nivo	2,98	5,53	3,21	2,1	1,67	2,12
FNS $I_h/I_1$ (%) – visok nivo	1,15	3,46	1,54	0,69	0,77	0,92
FNS fazni stav (stepen) [13]	-92	93	-68	117	-44	122
EA $I_h/I_1$ (%)	2,59	1,89	1,65	0,94	0,59	0,71
EA fazni stav (stepen)	87	45	-29	102	-78	46

a.  $I_1$ -amplituda osnovnog harmonika;  $I_h$ -amplituda h-tog harmonika

## Modelovanje EA-a

U ovom radu biće korišćeni podaci o jednom komercijalnom tipu EA (21) a čiji su osnovni podaci (8): maksimalni put koji EA može preći sa jednim punjenjem baterije (autonomija) 120 km, aktivna snaga punjača 3,3 kW, kapacitet baterije 120 kWh, faktor snage 0,998, vrijeme punjenja baterije 8 h. Modelovanje snage potrošnje tokom punjenja baterija, stanja napunjenosti baterija u trenutku priključenja EA-a na mrežu, pređeni put u toku dana, vremena priključenja i isključenja EA-a sa mreže izvršeno je kako je opisano u (8), (12), (22) i (23).

Vremena priključenja i isključenja EA-a mogu se modelovati kao slučajne promjenljive normalne funkcije raspodjele te su za modelovanje iskorišćeni parametri koji su dati u radu (8). Punjači EA-a predstavljaju energetske pretvarače čiji naponi i struje mogu biti izobličeni. Za potrebe ovog rada korišćeni su podaci o amplitudama pojedinih harmonika struja savremenih tipova punjača koji su preuzeti iz (24) i prikazani u Tabeli 2 (8).

## Posmatrani slučajevi

Kako bi se ispitali uticaji priključenja FNS-a i EA-a definisani u uvodu posmatrano je nekoliko karakterističnih slučajeva, i to:

- a) Slučaj 1 (S1) – Osnovni slučaj (sistem bez priključenih FNS-a i EA-a),
- b) Slučaj 2 (S2) – Osnovni slučaj sa priključenim FNS-ima bez priključenih EA-a,
- c) Slučaj 3 (S3) – Osnovni slučaj sa priključenim EA-a bez priključenih FNS-a,
- d) Slučaj 4 (S4) – Osnovni slučaj sa priključenim FNS-ima i EA-a.

Pretpostavljeno je da je u čvorovima 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17 i 18 priključeno po 10 jednakih FNS-a opisanih u tački „Modelovanje FNS-a“ te da su FNS-i izloženi istim meteorološkim uslovima (8). Biće posmatran samo ljetni period kada je proizvodnja FNS-a najznačajnija te su i harmonijska izobličenja struja koja proizvode FNS-i najveći (14), (20). U ovom radu biće posmatrano nekoordinisano priključenje EA-a u urbanoj gradskoj sredini. Pretpostavlja se da su svi EA-i istih karakteristika i istog tipa (8) čije su karakteristike date u tački „Modelovanje EA-a“, te da svaki od čvorova 11, 15 i 19 sadrži po 66 priključaka na koji se priključuju EA-i. Stanje napunjenosti EA-a te vremena priključenja i isključenja EA-a određeni su na osnovu odgovarajućih slučajnih promjenljivih kao slučajni brojevi.

S obzirom da proračuni tokova harmonika mogu da zavise od pojedinih faznih stavova izvora (25), (26) biće posmatrana dva karakteristična slučaja (8):

- a) Slučaj kada su fazni stavovi svih harmonika jednaki nuli (slučaj FAZO),
- b) Slučaj kada su fazni stavovi harmonika struja različiti od nule (8) (Slučaj FAZ1), pri čemu se koriste odgovarajuće vrijednosti navedene u Tabeli 2.

## PRORAČUNI TOKOVA SNAGA VIŠIH HARMONIKA

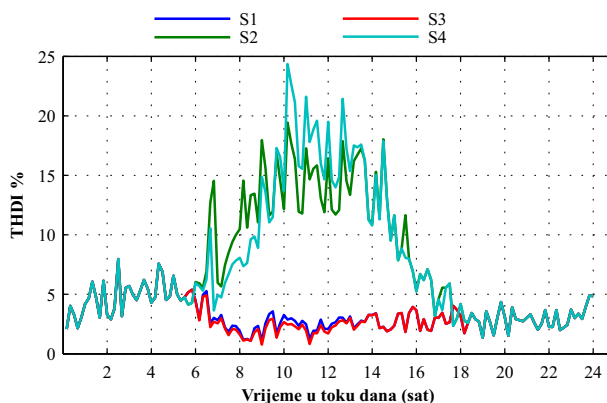
Za proračune tokova snaga viših harmonika korišćen je programski alat OpenDSS, koji je pogodan za analizu distributivnih sistema te posebno analiziranje uticaja distribuirane proizvodnje i EA-a (17), (27). Potrošači priključeni na niskom naponu, FNS-i i EA-a u proračunima tokova snaga pretpostavljeni su kao strujni izvori pojedinih viših harmonika struja (8), (14), (24), (28). Mreža srednjeg napona predstavljena je kao izvor viših harmonika napona (8). Strujni izvori harmonika modelovani su kao izvori osnovnog i prvih nekoliko neparnih harmonika zaključno sa trinaestim (prvi, treći, peti, sedmi, deveti, jedanaesti i trinaesti) jer oni imaju relativno veće vrijednosti amplituda i samim tim je njihov uticaj na izobličenja u sistemu značajniji (14), (25).

Proračun tokova viših harmonika izveden je za svaki kvazistacionarni desetominutni interval vremena te su na osnovu pojedinačnih proračuna prikazane promjene harmoniskog izobličenja struja u toku dana. Dijagrami opterećenja pojedinih EA-a formirani su na slučajnim izborom osnovu vremena priključenja i isključenja te uzevši karakteristiku punjenja EA-a opisani u tački „Modelovanje EA-a“. Pretpostavljeni stepeni priključenja FNS-a i EA-a su 71,43% i 34,7 %, respektivno. Stepeni priključenja FNS-a i EA-a u EDS-u izračunati su kao odnos ukupnih

prividnih snaga FNS-a i EA-a i prividnih snaga odgovarajućih energetskih transformatora koji snabdijevaju električnom energijom posmatrano transformatorsko područje (8).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 3 prikazana je promjena THDI struje niskonaponskog (NN) dijela (sekundara) energetskog transformatora T1 koji je priključen u čvoru 5. Svi rezultati koji su prikazani u nastavku odnose se na fazu struju treće faze (L3).



Slika 3 - Promjena ukupnog harmonijskog izobličenja struje (THDI) NN strane transformatora T1 u toku dana (slučaj FAZ0).

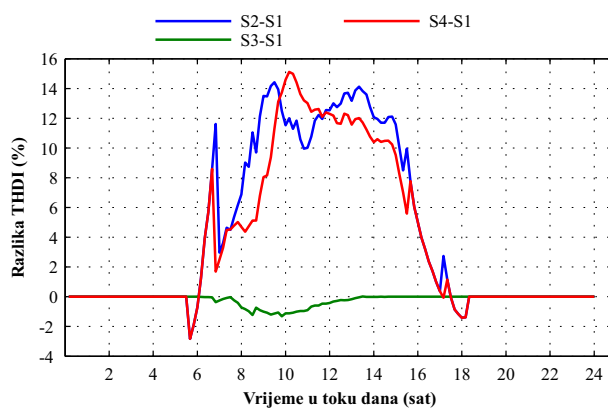
Sa slike 3 vidljivo je da priključenje FNS-a može da dovede do povećanja harmonijskog izobličenja struja u dijelu posmatranog testnog sistema dok priključenje EA-a može da dovede do smanjenja harmonijskog izobličenja struja. Najveće izobličenje struja u slučaju S2 ima se u periodima dana kada je proizvodnja električne energije FNS-a najveća jer su tada, zbog relativno većih inteziteta struje osnovnog harmonika, i apsolutne vrijednosti struja viših harmonika veće u odnosu na vrijednosti pri manjim snagama (bez obzira što su relativna izobličenja struja invertora veća pri manjim izlaznim snagama). U slučaju S3 najznačajnija promjena izobličenja struje zabilježena je u periodu dana kada je broj priljučenih EA-a najveći.

Takođe, sa slike 3 može se vidjeti da istovremeno priključenje FNS-a i EA-a može da dovede do povećanja harmonijskog izobličenja struja u periodima dana kada su zabilježeni njihovi najznačajniji pojedinačni uticaji tj. u periodu od 10 do 12 časova. U odnosu na slučaj S2, u slučaju S4, priključenje EA-a može da dođe i do smanjenja harmonijskog izobličenja struja u periodima neposredno prije 10 časova, a što je takođe prikazano na slici 3.

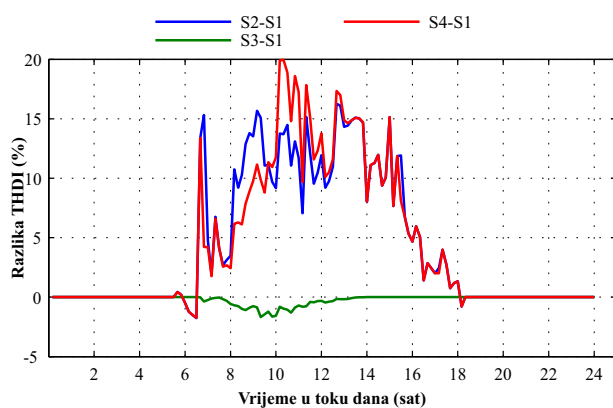
Na slici 4 i slici 5 prikazane su razlike THDI struje NN strane energetskog transformatora T1 i to razlike karakterističnih slučajeva S2, S3 i S4 u odnosu na slučaj S1. Slika 4 se odnosi na slučaj FAZ0 dok se Slika 5 odnosi na slučaj FAZ1.

Sa slike 4 i slike 5 vidljivo je da se vrijednosti THDI za slučajeve FAZ0 i FAZ1 razlikuju a što je posljedica uticaja pretpostavljenih vrijednosti faznih stavova pojedinih harmonika struja i napona strujnih i naponskih izvora u posmatranom sistemu. U posmatranim slučajevima veće vrijednosti THDI imaju se u slučaju FAZ1. Uočeno smanjenje THDI za slučaj istovremenog priključenja FNS-a i EA-a, u pojedinim kvazistacionarnim intervalima, posljedica je smanjenja amplituda pojedinih harmonika.

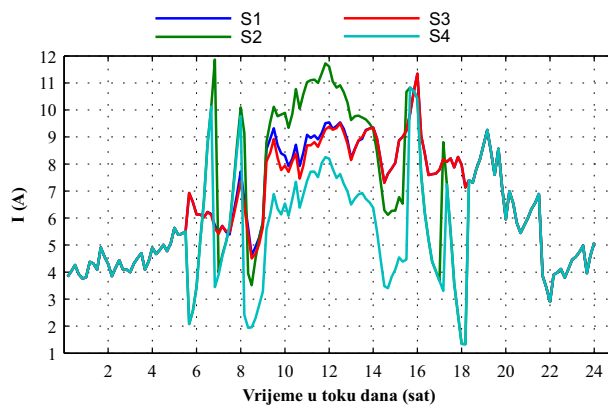
Na slici 6 prikazana je promjena vrijednosti amplitude sedmog harmonika struje NN strane energetskog transformatora T1 za posmatrane karakteristične slučajeve.



Slika 4 - Promjena razlika ukupnog harmonijskog izobličenja struje (THDI) NN strane transformatora T1 u toku dana (slučaj FAZ0).



Slika 5 - Promjena razlika ukupnog harmonijskog izobličenja struje (THDI) NN strane transformatora T1 u toku dana (slučaj FAZ1).



Slika 6 - Promjena amplitude sedmog harmonika struje NN strane transformatora T1 u toku dana (slučaj FAZ1).

Međusobni uticaj trofaznih i jednofaznih potrošača na vrijednosti amplituda petog i sedmog harmonika mogu da budu takvi da dolazi do smanjenja ovih harmonijskih komponenti struja. Ovaj princip opisan je u radu (29) a s obzirom da su u ovom radu NN potrošači i FNS-i modelovani kao trofazni a EA-i kao jednofazni elementi moguć uzrok smanjenja sedmog harmonika struje može da bude posljedica pomenutog principa.

Proračuni tokova snaga viših harmonika, između ostalog, zavise od sljedećih faktora: faznih stavova pojedinih posmatranih harmonijskih komponenti struja i napona, broja posmatranih harmonijskih komponenti, preciznosti modela sistema. Dodatno, vrijednosti amplituda i faznih stavova harmonika struja i napona u stvarnim sistemima veoma su promjenljivi u vremenu. Zbog toga bi bilo korisno izvesti stohastički proračun tokova snaga viših harmonika te proračun tokova snaga viših harmonika u vremenskom domenu uz preciznije modelovanje sistema.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu izvedenih proračuna tokova snaga viših harmonika prikazane su promjene THDI u toku dana za posmatrane karakteristične slučajeve u pogledu priključenja FNS-a i EA-i na EDS. Pokazano je da u režimima rada posmatranog testnog sistema, kada su na isti priključeni FNS-i i EA-i, može da dođe kako do povećanja tako i do smanjenja harmonijskog izobličenja struja u SN i NN dijelovima sistema. Pokazan je uticaj faznih stavova pojedinih harmonijskih komponenti strujnih i naponskih izvora na rezultate proračuna tokova snaga viših harmonika. Na ovaj način pokazani su mogući kvalitativni uticaji FNS-a i EA-a na promjene harmonijskog izobličenja struja u EDS-ima.

S obzirom da je održavanje kvaliteta električne energije u zadovoljavajućim granicama jedan od zadataka u eksploataciji EDS-a, te pošto se očekuje značajnije priključenje FNS-a i EA-a u skorijoj budućnosti, neophodno je nastaviti istraživanje zajedničkog uticaja FNS-a i EA-a u pravcu otkrivanja radnih režima sistema u kojima bi njihovi negativni uticaji bili minimalni.

## LITERATURA

- (1) G. K. Singh, "Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review," *Energy*, Vol. 53, pp 1–13, 2013
- (2) S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, 2nd ed. Academic Press an imprint of Elsevier, Kidlington, United Kingdom, 2014.
- (3) H. Häberlin, *Photovoltaics System Design and Practice*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, United Kingdom, 2012.
- (4) P. Denholm, M. Kuss, R.M. Margolis, "Co-benefits of large scale plug-in hybrid electric vehicle and solar PV deployment," *J. Power Sources*, vol. 236, pp 350–356, 2013.
- (5) R. Garcia-Valle, J.A.P. Lopes, *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks*. Springer, New York, 2014.
- (6) K. Mertens, *Photovoltaics Fundamental, Technology and Practice*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, United Kingdom, 2014.
- (7) G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Stanford University, John Wiley and Sons Ltd, Hoboken, United States of America, 2004.
- (8) D. M. Tovilović, N.L.J. Rajaković, "The simultaneous impact of photovoltaic systems and plug-in electric vehicles on the daily load and voltage profiles and the harmonic voltage distortions in urban distribution systems," *Renew. Energy*, vol. 76, pp 454–464, 2015.
- (9) I. T. Papaioannou, M.C. Alexiadis, C.S. Demoulias, D.P. Labridis, P.S. Dokopoulos, "Modeling and Field Measurements of Photovoltaic Units Connected to LV Grid. Study of Penetration Scenarios," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, pp 979–987, 2011.
- (10) A. G. Marinopoulos, M.C. Alexiadis, P.S. Dokopoulos, "Energy losses in a distribution line with distributed generation based on stochastic power flow," *Electr. Pow. Syst. Res.*, vol. 81, pp 1986–1994, 2011.
- (11) K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, pp 371–380, 2010.

- (12) K. Quian, C. Zhou, M. Allan, Y. Yuan, "Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, pp 802–810, 2011.
- (13) M. Patsalides, A. Stavrou, V. Efthymiou, G.E. Georghiou, "Towards the establishment of maximum PV generation limits due to power quality constraints," *Int. J. Electr. Power Energ. Syst.*, vol. 42, pp 285–298, 2012.
- (14) K. Fekete, Z. Klaic, L.J. Majdandzic, "Expansion of residential photovoltaic systems and its harmonic impact on the distribution grid," *Renew. Energy*, vol. 43, pp 140–148, 2012.
- (15) J. C. Gomez, M.M. Morcos, "Impact of EV battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 18, pp 975–981, 2003.
- (16) Electric Power Research Institute (EPRI) – Simulation Tool – OpenDSS Internet stranica: <http://www.smartgrid.epri.com/SimulationTool.aspx>, (pristupljeno Avgust 2013).
- (17) J. W. Smith, R. Dugan, W. Sunderman, "Distribution Modeling and Analysis of High Penetration PV," in: *Proc. 2011 IEEE PES General Meeting, July 24-29, San Diego, California, 2011*.
- (18) SoDa – Project, Solar Energy Services for Professionals, Internet stranica: [http://www.soda-is.com/eng/about/soda\\_project.html](http://www.soda-is.com/eng/about/soda_project.html), (pristupljeno Avgust 2013).
- (19) Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), Internet stranica: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, (pristupljeno Avgust 2013).
- (20) G. Chicco, J. Schlabbach, F. Spertino, "Experimental assessment of the waveform distortion in grid-connected photovoltaic installations," *Sol. Energy*, vol. 83, pp 1026–1039, 2009.
- (21) Nissan Leaf, Brochure, Internet stranica: <http://www.nissan.co.uk/content/dam/services/gb/brochure/New%20LEAF%20Tech%20Spec%20and%20Pricesv2.pdf>, (pristupljeno Avgust 2013).
- (22) W. Su, M.-Y. Chow, "Computational intelligence-based energy management for a large-scale PHEV/PEV enabled municipal parking deck," *Appl. Energy*, vol 96, pp 171–182, 2012.
- (23) C. Battistelli, L. Baringo, A.J. Conejo, "Optimal energy management of small electric energy systems including V2G facilities and renewable energy sources," *Electr. Pow. Syst. Res.*, vol. 92, pp 50–59, 2012.
- (24) A. J. Collin, S.Z. Djokic, H.F. Thomas, J. Meyer, "Modelling of Electric Vehicle Chargers for Power System Analysis," in: *Proc. 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), October 17-19, Lisbon, Portugal, 2011*.
- (25) "Task force on Harmonics Modeling and Simulation, The modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power networks Part II : Sample systems and Examples," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 11, pp 466–474, 1996.
- (26) "Task Force on Probabilistic Aspects of Harmonics, Time-varying harmonics: Part I—Characterizing measured data," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 13, pp 938–944, 1998.
- (27) J. A. Martinez, J. Martin-Arnedo, "Distribution Load Flow Calculations Using Time Driven and Probabilistic Approaches," in: *Proc. 2011 IEEE PES General Meeting, July 24-29, San Diego, California, 2011*.
- (28) V. Čuk, P.F. Ribeiro, J.F.G. Cobben, W.L. Kling, F.R. Isleifsson, H.W. Bindner, N. Martensen, A. Samadi, L. Söder, "Considerations on the Modeling of Photovoltaic Systems for Grid Impact Studies, in *Proc. 1st International Workshop on the Integration of Solar Power into Power Systems,*" October 24, Aarhus, Denmark, 2011.
- (29) S. Hansen, P. Nielsen, F. Blaabjerg, "Harmonic Cancellation by Mixing Nonlinear Single-Phase and Three-Phase Loads," *IEEE Trans. Ind.*