

PRILAGAJANJE VODENJA AVTOPOLNILNICE SPREMEBAM IZHODNE MOČI FOTONAPETOSTNE ELEKTRARNE

Primož SUKIČ, Miran RODIČ, Gorazd ŠTUMBERGER

POVZETEK

Z večanjem število fotonapetostnih elektrarn se večja tudi njihov vpliv na električno omrežje v katero so priključene. Pogosto fotonapetostne elektrarne s svojim načinom delovanja negativno vplivajo na napetostni profil. Prehodi oblakov povzročajo hipno znižanje sončnega obsevanja, kar povzroči velike spremembe v izhodni moči v zelo kratkem času. Na območjih kjer je velika koncentracija fotonapetostnih elektrarn, lahko omenjeno delovanje povzroči hipni upad napetosti ali celo znižanje frekvence. Težave z velikimi spremembami v izhodni moči v zelo kratkem času se večinoma rešujejo s hranilniki energije, ki so sposobni reagirati v zelo kratkem času, da nadomestijo manjkajočo ali presežno moč in navidezno zgladijo izhodno moč.

Časovno gledano so se istočasno a neodvisno od fotonapetostnih elektrarn začele v električnih omrežjih pojavljati tudi polnilnice za električna vozila, ki se jim z vsako generacijo večajo nazivne moči. Najmočnejše hitre polnilnice so moči 120 kW na enoto, kar pomeni, da so precej velik porabnik glede na ostale običajne posamezne porabnike v okolici. To pa odpira možnost, da bi v primerih, ko pride do hipnega znižanja izhodne moči v bližnji fotonapetostni elektrarni, za čas prehodnega pojava znižali moč polnjenja polnilnice za električna vozila, ki bo jo potem postopoma zvišali do polne moč. S tem bi lahko lahko znižali negativen vpliv fotonapetostnih elektrarn na omrežje.

V prispevku je prikazan primer simulacije kompenzacije motenj fotonapetostne elektrarne z začasnim zniževanjem moči polnilnice za električna vozila. Rezultati kažejo, da se s predlagano kompenzacijo moči napetostni profil v omrežju izboljša.

ABSTRACT

The increasing number of PV systems increases also their influence on the electricity network in which they are connected. The PV systems operation has often a negative impact on the network voltage profile. Fluctuation of clouds causes a step decrease of a solar irradiation and subsequently leads to drastically changes in PV system's output power in a very short period of time. In areas with a high concentration of PV systems it is to expect the drop of network voltage or even frequency. Problems related to step changes in output power of PV systems are usually solved by using energy storage devices, which are capable to compensate the output power changes.

Simultaneously with PV systems charging stations for electrical vehicle appeared in electricity networks. The most powerful chargers achieve a power up to 120 kW per installed unit and represent a heavy load in comparison to other loads connected to the network in

vicinity. In case of a step reduction in PV system's output power it is possible to lower the charging of electrical vehicles during the transient behaviour in order reduce the overall impact on the electricity network.

The paper presents simulation of the PV system disturbance compensation with the temporary decrease in charging power of vehicle connected to the charging station. The results presented show that the proposed compensation can improve voltage profile in the electricity network.

1. UVOD

Fotonapetostne elektrarne so zadnjih nekaj let zaradi političnih odločitev (20-20-20) in finančnih vzpodbud zelo povišale odstotek pridobljene energije iz obnovljivih virov. Pogosto so fotonapetostne elektrarne locirane blizu naselij in so posledično približale proizvodnjo električne energije končnim porabnikom, s tem pa se je povišal vpliv fotonapetostne elektrarne na napetostni profil elektroenergetskega omrežja v katero so priključene.

Fotonapetostnim elektrarnam se zaradi hitrih sprememb sončnega obsevanja, ki ga povzročajo prehodi oblakov lahko v zelo kratkem času zelo spremeni izhodna moč. Lahko se zgodi da v nekaj sekundah pade izhodna moč iz nazivne na 30 %. Tako velike spremembe v izhodni moči v tako kratkem času lahko negativno vplivajo na napetost in frekvenco v elektroenergetskem omrežju. Na področjih, kjer je velika gostota fotonapetostnih elektrarn je lahko vpliv na napetostni profil z fotonapetostnimi elektrarnami velik. Težava je, ker se turbine v standardnih elektrarnah ne uspejo v tako kratkem času prilagajati spremembam, niso sposobne nadomestiti manjkajočo moč. [1] [2] [3].

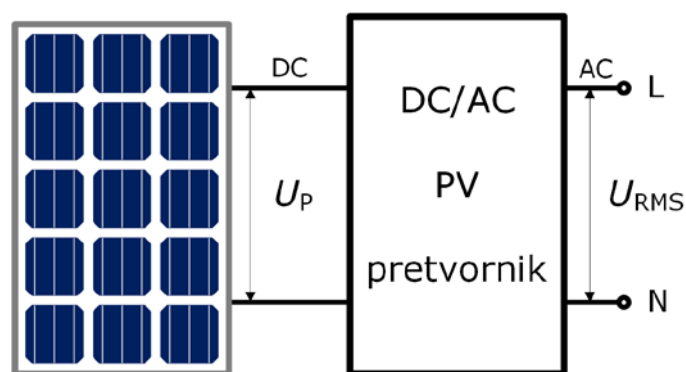
Negativne vplive na napetostni profil, ki jih povzročajo fotonapetostne elektrarne, se v splošnem da reševati na dva načina. Prvi je, da se omeji vnos negativnih vplivov v omrežje, drug pa kompenzacija negativnih vplivov. Negativne vplive na omrežje se lahko kompenzira na primer z vgradnjo hranilnikov energije, ki imajo sposobnost, da reagirajo v zelo kratkem času, da oddajajo ali sprejemajo energijo s tem pa navidezno gladijo izhodno moč fotonapetostne elektrarne in popravljajo napetostni profil s tem pa pozitivno vplivajo tako na napetost kot na frekvenco. Drug način kompenzacije negativnih vplivov iz fotonapetostnih elektrarn na električno omrežje pa je prilagajanje porabe trenutnim spremembam preko pametnega omrežja (Smart grid) [1] [4].

Prilagajanje porabe je mišljeno na način, da se porabnike električne energije vključuje in izključuje glede na napetost v elektroenergetskem omrežju. Kadar je napetost znotraj določenih profilov, so porabniki normalno vključeni. Kadar pa se napetost zniža pod določeno vrednost, se naprave izključi in s tem zniža poraba električne energije v delu omrežja, kar povzroči, da se napetost ponovno zviša. Težava je, da je to precej groba regulacija in je potrebno vključiti precej porabnikov, ki so takšnega značaja, da se jih lahko za kratek čas izključi brez nastale škode. Takšni porabniki so grelne in hladilne naprave oziroma tiste naprave, ki imajo za sabo neko akumulacijo in uporabniki posledično ne čutijo velikega negativnega vpliva kratkih izklopov.

Dodatna možnost za regulacijo porabe zaradi so polnilnice električnih avtomobilov. Najmočnejše hitre polnilnice so moči 120 kW na enoto, kar pomeni, da so precej velik porabnik glede na ostale običajne posamezne porabnike v okolici in s tem velik vpliv na napetostni profil. S prilagajanjem polnilne moči glede na spremembe fotonapetostne elektrarne se lahko vpliva na napetostni profil v omrežju kar bo v nadaljevanju naloge podrobneje obrazloženo.

2. GENERACIJA ELEKTRIČNE ENERGIJE S FOTONAPETOSTNIMI SISTEMI

Fotonapetostne elektrarne pretvarjajo del energije, ki jo oddaja sonce v električno energijo. Fotonapetostni sistemi so sestavljeni iz dveh glavnih komponent, to sta fotonapetostni modul in pretvornik močnostne elektronike. Pri tem fotonapetostni modul pretvarja pretok energije sončnega sevanja v pretok električne energije. Pretvornik, ki se ga običajno priključi na električno omrežje, pretvarja pretok energije iz enosmernega sistema tokov in napetosti v izmenični sistem.



Slika 1: Fotonapetostni sistem.

Vir energije, ki ga koristi fotonapetostna elektrarna se lahko po moči zelo spreminja, s tem pa se tudi zelo spreminja izhodna moč fotonapetostne elektrarne. Če se te spremembe zgodijo v kratkem času, lahko s tem zelo vpliva na napetost, pri zelo velikih močeh pa tudi na frekvenco omrežja. Zato je pomembno, v kakšnem času se odvijajo velike spremembe v oddani moči fotonapetostnega sistema.

3. MERITEV FOTONAPETOSTNE ELEKTRARNE

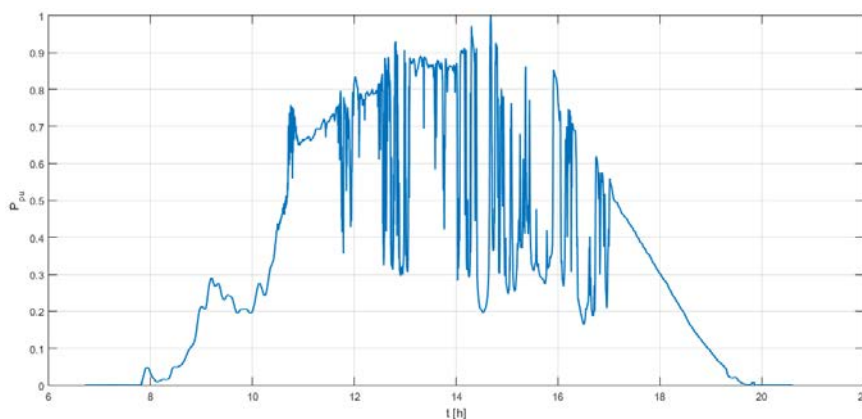
Da bi ugotovili kakšnega časovnega reda so spremembe v oddani moči fotonapetostne elektrarne pri prehajanju oblakov, smo naredili meritve na raziskovalni mikro fotonapetostni elektrarni UM-FERI (Slika 2). Uporabljeni fotonapetostni moduli so BISOL BMU-250 Premium nazivne moči 250 Wp in mikrorazsmerniki podjetja Mahle Letrika d.o.o., nazivne moči 260 VA. Fotonapetostna elektrarna je sestavljena iz šestih modulov in šestih mikrorazsmernikov ter ima skupno nazivno moč 1,5 kWp.



Slika 2: Raziskovalna mikro fotonapetostna elektrarna.

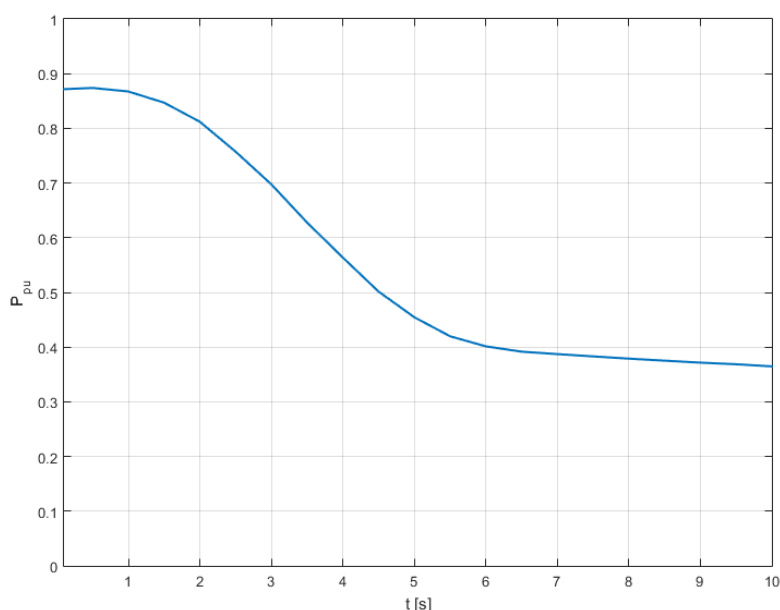
Meritve so se izvajale dne 3. 8. 2015, ker je bil takrat delno oblačen dan in so bile spremembe v izhodni moči fotonapetostne elektrarne zelo pogoste. V takšnih okoliščinah so podani tudi idealni pogoji, da dobimo podatke, o časovnih konstantah sprememb v izhodni moči fotonapetostne elektrarne.

Podatke se je zajemalo z merilnim sistemom Sirius-HS, ki ima že vgrajene napetostne vhode do 1400 V in napetostne vhode do 10 V za tokovne ali druge senzorje. Za merjenje toka so se uporabile tokovne klešče CHAUVIN ARNOUX Clamp E3N CVH Oscillo. Merila sta se napetost in tok s frekvenco vzorčenja 20 kS/s, nato se je sproti računala moč in so se beležila 0,5 sekundna povprečja moči.



Slika 3: 0,5 s povprečja oddane moči v enotinih vrednostih eksperimentalne fotonapetostne elektrarne UM-FERI na dan 3. 8. 2015.

Na sliki 3 so prikazana 0,5 s povprečja oddane moči čez celoten dan, dne 3. 8. 2015. Moči so podane v enotinih vrednostih, za lažjo predstavo sprememb v oddani moči. Iz slike 3 se vidi, da je bilo v celotnem dnevu precej velikih sprememb v oddani moči fotonapetostne elektrarne. Za potrebe simulacije smo poiskali največjo spremembo v oddani moči v časovnem okvirju 4 s. Izris poteka izhodne moči, pri največji spremembi je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Največja sprememba izhodne moči v času 4 s.

Iz slike 4 se vidi, da v času med 1 - 5,5 s izhodna moč fotonapetostne elektrarne pade za skoraj 50 %, kar predstavlja veliko spremembo moči v zelo kratki časovni enoti.

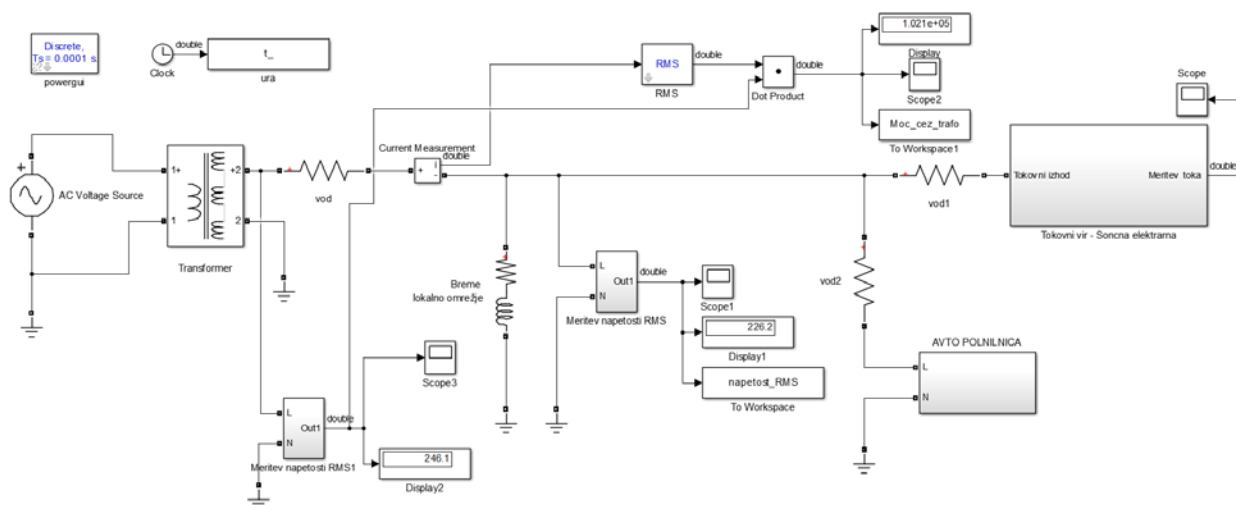
Velike spremembe moči v kratki časovni enoti negativno vplivajo na elektroenergetski sistem, na napetost in na frekvenco. Glavno težavo predstavlja nezmožnost hitrega prilagajanja spremembam standardnih proizvodnih virov v tako kratkem času. Hidro in termo elektrarne, ki imajo nalogo zagotavljati primarno in sekundarno regulacijo, zaradi velikih mas in vztrajnosti, ne morejo v tako kratkem času s takšno dinamiko prilagajati proizvodnjo električne energije. Posledica je nihanje napetosti v elektroenergetskem omrežju in nihanje frekvence pri zelo velikih spremembah moči v elektroenergetskem omrežju.

Da bi ugotovili kakšen vpliv ima sprememba izhodne moči fotonapetostne elektrarne na omrežje in kakšen vpliv ima avto polnilnica na omrežje v istem trenutku, se je izdelala simulacija vpliva.

4. SIMULACIJA VPLIVA FOTONAPETOSTNE ELEKTRARNE IN AVTOPOLNILNICE NA ELEKTROENERGETSKO OMREŽJE

V programskem paketu Matlab/Simulink se je naredila simulacija vpliva fotonapetostne elektrarne in avto polnilnice na NN elektroenergetsko omrežje in redukcija moči polnilne postaje glede na proizvodnjo fotonapetostne elektrarne.

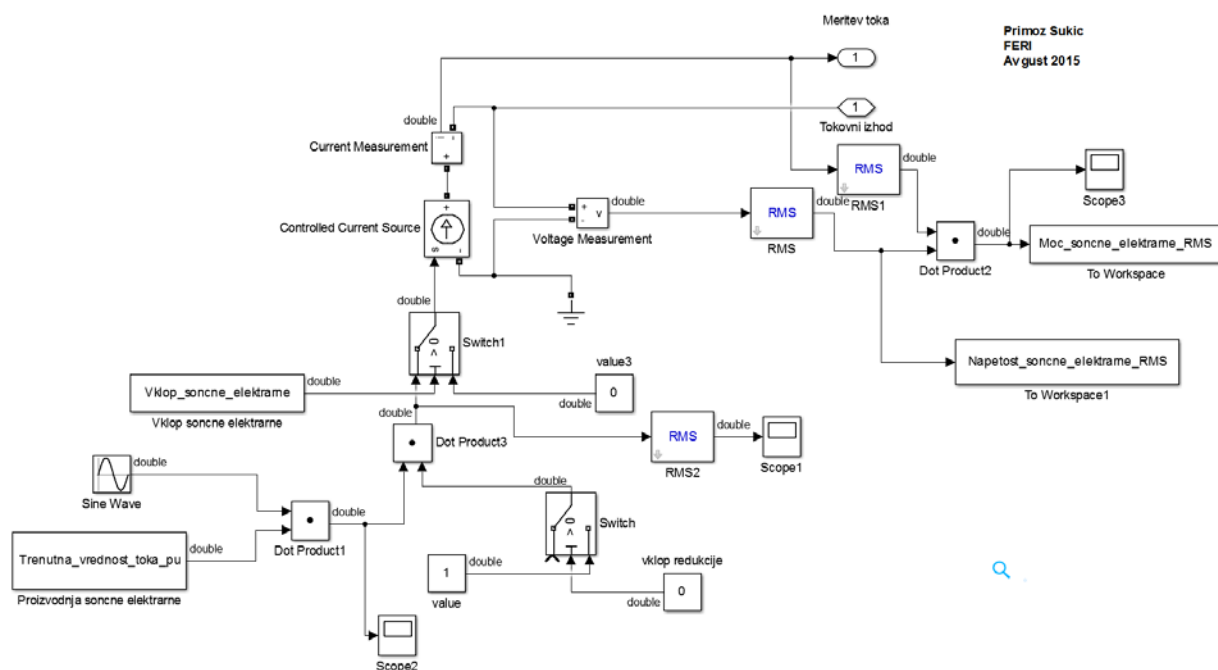
Zmodeliral se je del NN omrežja, ki je sestavljen iz distribucijskega transformatorja, vodov, bremen, fotonapetostne elektrarne in avto polnilnice, kot kaže slika 5. Simulacija je izvedena enofazno in se lahko gleda kot eno fazo simetričnega trifaznega sistema.



Slika 5: Simulink shema dela NN omrežja z avto polnilnico in fotonapetostno elektrarno.

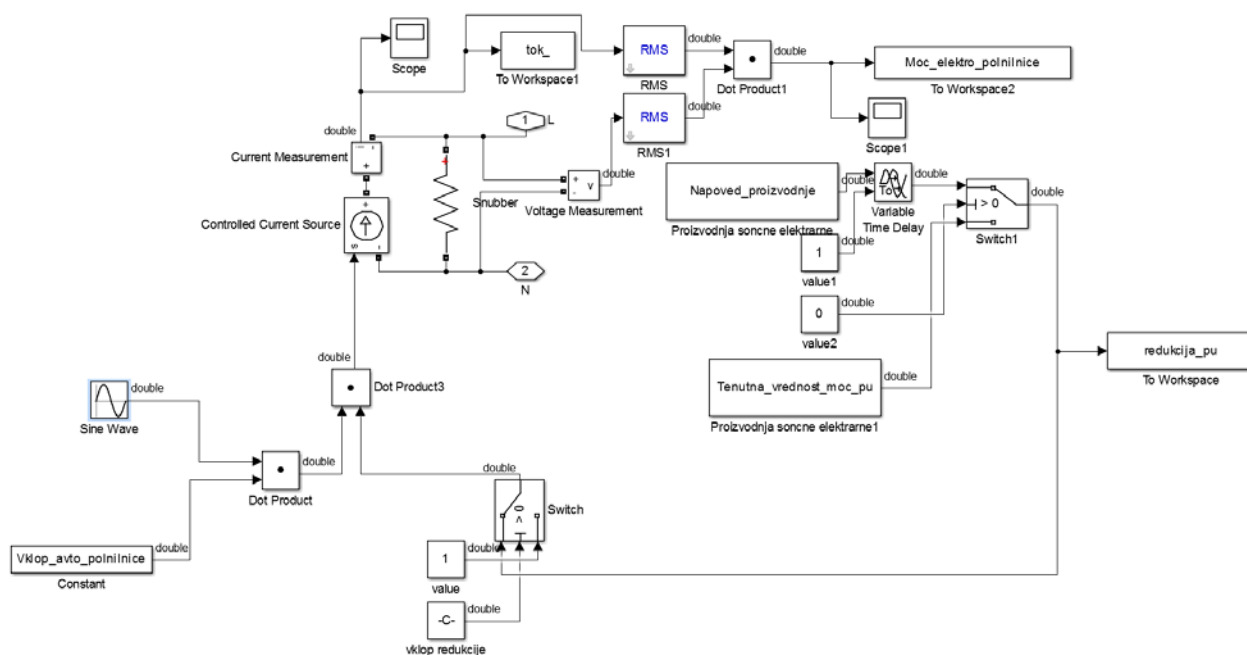
Izbran transformator je distribucijski transformator iz 10/0,4 kV. nazivne moči 210 kVA za eno fazo. Ta vrednost je izbrana kot ena tretjina moči trifaznega 630 kVA distribucijskega transformatorja, ki je pogosto vgrajen v elektrodistribucijskem omrežju. Za simulacijo vodov je bil vstavljen ohmski element, saj je večina vodov v razdeljevalnem omrežju predvsem ohmskega značaja.

Fotonapetostna elektrarna je nazivne moči 65 kVA, kot približno ena tretjina 200 kVA trifazne fotonapetostne elektrarne. Fotonapetostna elektrarna je zmodelirana iz tokovnega vira, kateremu je referenca modulacijski sinusni signal frekvence 50 Hz in tabela vrednosti za generacijo toka, kot kaže slika 7.



Slika 6: Fotonapetostna elektrarna.

Avto polnilnica je zmodelirana na podoben način kot fotonapetostna elektrarna s tokovnim virom le, da ima smer toka drugačen predznak. Dodatna funkcionalnost je, da ima vgrajeno redukcijo toka s ciljem, da se lahko moč avto polnilnice prilagaja trenutnim razmeram v elektroenergetskem omrežju. Avto polnilnica se lahko prilagaja napetosti v elektroenergetskem omrežju, ali kot je prikazano na sliki 8, se prilagaja moč avto polnilnice trenutni proizvodnji fotonapetostne elektrarne. S tem, ko se zniža proizvodnja fotonapetostne elektrarne, se zniža tudi moč polnjenja avto polnilnice.



Slika 7: Shema avto polnilnice.

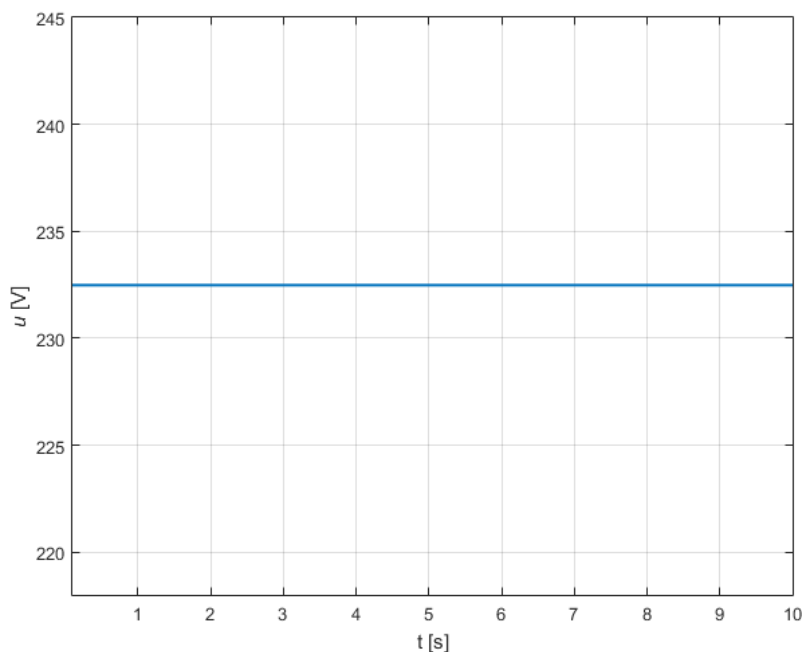
Cilji simulacije so bili pridobiti podatke o vplivu fotonapetostne elektrarne na NN omrežje in o vplivu avto polnilnice ali skupek avto polnilnic na NN omrežje ter raziskati, kako se lahko s prilagajanjem trenutne moči polnjenja avto polnilnice vpliva na napetostni profil NN omrežja.

5. REZULTATI SIMULACIJE FOTONAPETOSTNE ELEKTRARNE IN AVTO POLNILNICE NA NN OMREŽJE

V simulaciji so parametri elementov določeni na način, da se bi čim bolj približali vrednostim, ki so pogoste v NN distribucijskem omrežju. Nazivna moč transformatorja enofazno je 210 kVA, gledano trifazno pa 630 kVA, kar je med pogostejšimi vrednostmi. V simulaciji je upoštevano tudi dejstvo, da se transformatorje zelo pogosto dimenzionira, da so polovično obremenjeni. Moč sodobnih avto polnilnic je nekaj deset kW. Na primer TESLA Super charger ima nazivno moč 120 kW, kar je tudi razlog za nastavitev moči avto polnilnice ene faze v tej simulaciji na 40 kVA. Tudi fotonapetostna elektrarna je dimenzionirana na način, da so napetosti v točki priključitve znotraj predpisanih 230 $\pm$ 10% maksimalnega dovoljenega odstopanja.

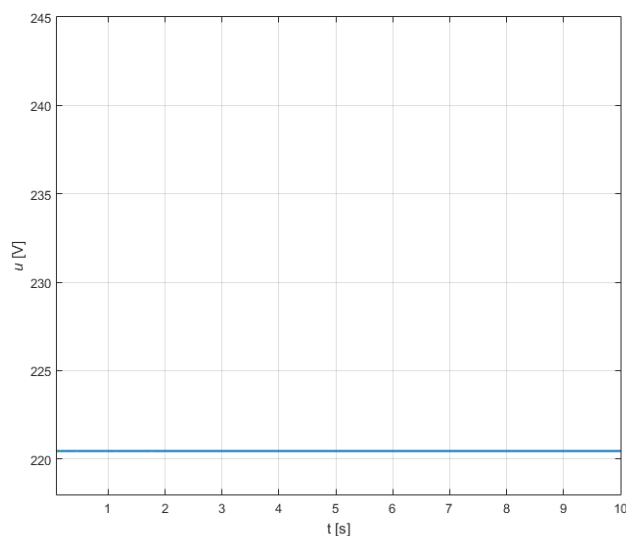
Čas simulacije je 10 s, da se lahko vključi v simulacijo vrednosti največje spremembe v oddani moči fotonapetostne elektrarne, ki je bila posneta in je prikazana v prejšnjem poglavju na sliki 4.

V primeru, ko avto polnilnica in fotonapetostna elektrarna ne delujeta, je pretok energije oziroma delovna moč čez transformator 75 kVA in napetost v priključitveni točki avto polnilnice 232,5 V, kot je prikazano na sliki 9. Mešan odjem v elektroenergetskem omrežju oziroma ostalo breme je predstavljeno s konstanto, zato je tudi napetost v točki priključitve avto polnilnice celoten čas konstantna.



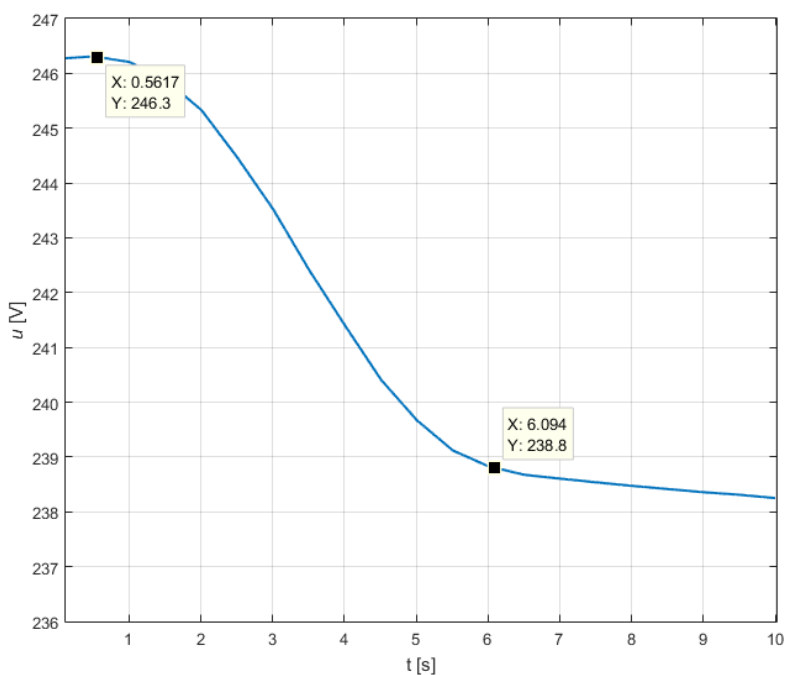
Slika 8: Napetost v priključitveni točki avto polnilnice, ko sta polnilnica in fotonapetostna elektrarna izključeni.

V primeru, kadar je poleg ostalega bremena v omrežju vključena še avto polnilnica s konstantnim nazivnim polnjenjem, se napetost v točki priključitve avto polnilnice zniža na 221 V, kot kaže slika 10. Moč čez transformator gledano enofazno se posledično poviša na 112 kVA, kar tudi predstavlja tipično polovično obremenitev.



Slika 9: Napetost v točki priključitve avto polnilnice, kadar avto polnilnica deluje,

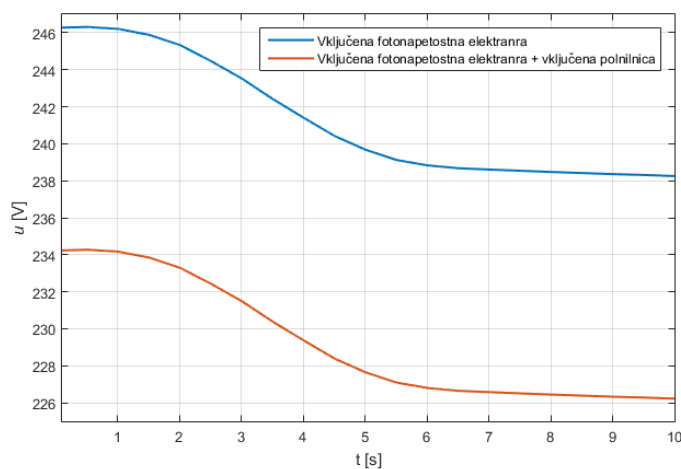
V primeru, kadar je poleg mešanega odjema, ostalega bremena vključena še fotonapetostna elektrarna, napetost niha z proizvodnjo fotonapetostne elektrarne. Kadar se izhodna moč fotonapetostne elektrarne hitro zniža, kot je že bilo opisano v prejšnjem poglavju, se hitro zniža tudi napetost v točki priključitve. Kot se lahko vidi iz slike 11, se je napetost v zgolj nekaj sekundah znižala za skoraj 8 V.



Slika 10: Sprememba napetosti zaradi nihanja proizvodnje fotonapetostne elektrarne.

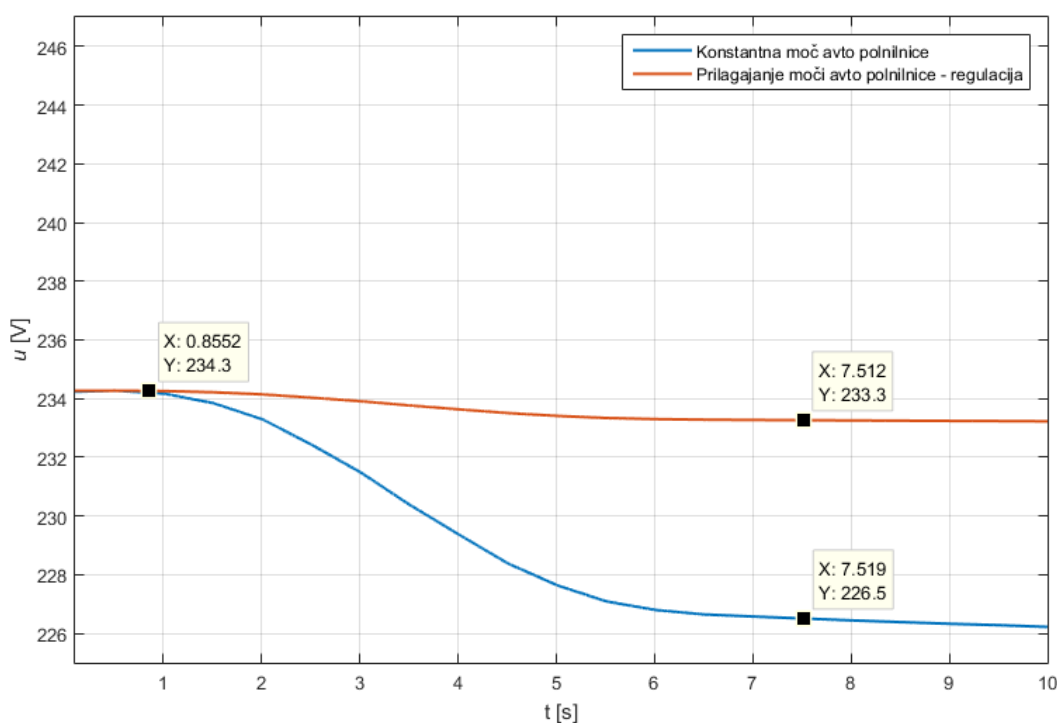
Velikost nihanja napetosti je odvisna od proizvodne moči fotonapetostne elektrarne. Če bi bila fotonapetostna elektrarna večje moči, bi bila razlika v napetosti še večja. Na tistih območjih, kjer so višje hitrosti vetra in se oblaki še hitreje gibljejo so možne tudi večje spremembe proizvodnje fotonapetostne elektrarne v še krajšem času, kar posledično pomeni velike spremembe amplitude napetosti v elektroenergetskem omrežju v zelo kratkem času.

V primeru, kadar poleg fotonapetostne elektrarne deluje še avto polnilnica s konstantnim polnjenjem, se zaradi večje porabe napetost zniža, kot kaže slika 12. Zaradi velike moči avto polnilnice se napetost zniža za kar 12 V.



Slika 11: Napetost v točki priključitve polnilnice, ko je le-ta vključena in ko ni vključena

Iz zgornjega primera in iz slike 12 se lahko vidi, kako velik vpliv ima močna avto polnilnica na napetost v elektroenergetskem omrežju. To pa ni nujno, da je vedno slaba lastnost avto polnilnic. Zaradi možnosti velikega vpliva na napetost v elektroenergetskem omrežju in dejstva, da je v polnilcu elektronika, ki lahko zelo hitro prilagaja izhodno moč, se bi lahko ta lastnost izkoristila za popravljanje napetostnega profila v elektroenergetskih omrežjih. Ko bi začela napetost nenadoma padati, bi polnilec zniževal moč in s tem zmanjšal vpliv motnje na elektroenergetsko omrežje. Večja kot je moč avto polnilnice, večja je možnost vplivanja na napetostni profil. Zato smo simulirali primer, kjer se z nižanjem proizvodnje fotonapetostne elektrarne hkrati niža tudi moč avto polnilnice (Slika 13). Simulacija je bila narejena za največji posnet prehodni pojav, ki je bil opisan v prejšnjem poglavju.



Slika 12: Napetost s konstantno močjo in napetost s prilagajanjem moči.

Iz slike 13 se lahko vidi rezultat simulacije, da se zaradi velike možnosti vplivanja avto polnilnice na napetost v NN omrežju, lahko izkoristi to lastnost. Kadar deluje polnilnica s konstantno močjo, napetost niha z motnjo, ki jo je povzročila fotonapetostna elektrarna. Napetostna razlika, ki se je s tem ustvarila v precej kratkem času znaša skoraj 8 V. To pomeni precej velik padec napetosti v podanem času. V primeru, ko se je avto polnilnica prilagajala proizvodnji fotonapetostne elektrarne, je avto polnilnica zaradi velike zmožnosti vplivanja na napetostni profil uspela zelo uspešno kompenzirati motnjo v napetosti, ki jo je ustvarila fotonapetostna elektrarna. Kadar je moč fotonapetostne elektrarne začela padati, se je moč avto polnilnice prav tako nižala. Zaradi nižjega odjema v NN omrežju napetost ni tako zelo padla, kot bi sicer. Napetost je padla zgolj za 1V, kar predstavlja precej manjšo strmino padanja napetosti v isti časovni enoti.

6. SKLEP

Na območjih kjer je vgrajenih veliko fotonapetostnih in vetrnih elektrarn ter je nizko razmerje med standardnimi proizvodnimi viri in fotonapetostnimi ter vetrnimi elektrarnami lahko ti dve vrsti obnovljivih virov povzročata kopico negativnih vplivov na omrežje. Negativno lahko vplivata na napetost in frekvenco. Ob velikih spremembah v izhodni moči obnovljivih virov se spremembe poznajo na napetosti omrežja. V primeru ko se velika sprememba v izhodni moči zgodi v zelo kratkem času pa motnja vpliva tudi na frekvenco

omrežja saj se veliki generatorji v klasičnih proizvodnih virih ne morejo prilagajati tako hitrim spremembam.

V zadnjem obdobju se gradi zmeraj več avto polnilnic, ki spadajo med večja bremena v distribucijskem omrežju. In v bodoče kaže, da se bo trend nadaljeval, saj so se novejšje zmogljivejše baterije sposobne napolniti v krajšem času, kar pomeni, da morajo biti polnilnice večjih moči. Zaradi večjih moči električnih avto polnilnic to pomeni tudi večji vpliv na omrežje saj se zaradi velikega dodatnega bremena začne napetost v točki priključitve nižati. To opisano lastnost, ki je običajno negativna se bi lahko pozitivno izkoristilo. V primeru kadar pride do nenadnega padca napetosti zaradi nenadne nižje proizvodnje ali druge motnje, bi lahko avto polnilnica istočasno zmanjšala moč polnjenja avtomobila in bi s tem zmanjšala vpliv motnje na napetost v omrežju.

Sedaj z avto polnilnicami imamo prvič v zgodovini dovolj močna bremena, da imajo dovoljšen vpliv na napetost v omrežju in da se jim lahko zelo hitro spreminja izhodno moč. Hkrati pa s tem ne povzroča neke večje dodatne škode porabniku, le čas polnjenja se nekoliko podaljša. Dodatna pozitivna lastnost, da bi z avto polnilnico popravljali napetostni profil je to, da vsi močnostni elementi, ki so prisotni za polnjenje avtomobila vsebujejo vso potrebno elektroniko in posledično ni potrebne nobene dodatne investicije za hardware. Za pametna omrežja se je želelo v primerih, kadar bi bila nizka napetost izključevati hladilnike in bojlerje po domovih, vendar so ti precej nižjih moči v primerjavi z avto polnilnicami, zato bi jih bilo za isti vpliv na napetost potrebno zajeti precej več.

V bodoče bi bilo smiselno raziskovati v smeri, da bi tudi porabniki pomagali popravljati napetostni profil v omrežju glede na to, da z nekaterimi obnovljivimi viri energije vnašamo motnje v omrežje. Avto polnilnica bi zaradi svoje zmogljivosti prilagajanja spremembam gotovo lahko bila ena izmed takšnih porabnikov.

7. VIRI

- [1] M. Alam, K. Muttaqi in D. Sutanto, „A Novel Approach for Ramp-Rate Control of Solar PV Using Energy Storage to Mitigate Output Fluctuations Caused by Cloud Passing,“ *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, Izvo. %1 od %2vol.29, no.2, pp. 507-518, 2014.
- [2] W. Jewell in R. Ramakumar, „The Effects of Moving Clouds on Electric Utilities with Dispersed Photovoltaic Generation,“ *Energy Conversion, IEEE Transactions* , Izvo. %1 od %2vol.EC-2, no.4, pp. 570-576, 1987.
- [3] L. Casey, C. Schauder, J. Cleary in M. Ropp, „Advanced inverters facilitate high penetration of renewable generation on medium voltage feeders - impact and benefits for the utility,“ v *Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply* , 2010.

- [4] M. Alam, K. Muttaqi in D. Sutanto, „Mitigation of rapid voltage variations caused by passing clouds in distribution networks with solar PV using energy storage,“ v *Electrical and Computer Engineering (ICECE), 2014 International Conference* , 2014.
- [5] A. Ellis, D. Schoenwald, J. Hawkins, S. Willard in B. Arellano, „PV output smoothing with energy storage,“ v *Photovoltaic Specialists Conference*, Austin, 2012.
- [6] A. Puri, „Bounds on the smoothing of renewable sources,“ v *Power & Energy Society General Meeting*, Denver, 2015.
- [7] E. H. Thomas in P. Richard, „Quantifying PV power Output Variability,“ *Solar Energy* , pp. 1782-1793, 10/2010.

NASLOV AVTORJEV

Primož Sukič, mag. inž. el.

doc. dr. Miran Rodič, univ. dipl. inž. el.

red. prof. dr. Gorazd Štumberger, univ. dipl. inž. el.

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 71 79

Elektronska pošta: primoz.sukic@um.si