GENERIRANJE JALOVE MOČI S SONČNIMI ELEKTRARNAMI IN PRIMERI NEPRAVILNEGA DELOVANJA SONČNIH ELEKTRARN

Primož SUKIČ, Gorazd ŠTUMBERGER

POVZETEK

Prispevek obravnava problematiko generacije jalove moči s sončnimi elektrarnami. Prikazan je vpliv generacije jalove moči z razsmerniki sončnih elektrarn na izkoristek samega razmernika. Sončne elektrarne v celem letu malo časa delujejo z maksimalno močjo zato je mogoča generacija večje količine jalove moči z razsmerniki sončnih elektrarn, če bi omrežje to potrebovalo. Zaradi nepravilnega delovanja sončnih elektrarn se v distribucijskem omrežju dogajajo anomalije, nekaj jih je opisanih v prispevku.

ABSTRACT

The article discusses the generation of reactive power with solar power plants. Discussed is the impact of reactive power generation on the efficiency of solar inverter. Throughout the year solar power plants operate with maximum power only in short time intervals. Therefore it is possible to generate large amounts of reactive power with solar power inverters, if needed. Due to improper operation of solar power plants, anomalies in the distribution network occur. This paper presents some of these anomalies.

1. UVOD

Sončne elektrarne imajo možnost poleg delovne moči proizvajati tudi jalovo moč. Količina jalove moči, ki jo lahko sončna elektrarna v nekem trenutku proizvede, je odvisna od trenutnih razmer, nazivne moči pretvornika in načina vodenja generacije jalove moči. Sistemski operater distribucijskega omrežja v navodilih za priklop sončne elektrarne določa karakteristiko jalove moči po kateri mora sončna elektrarna obratovati. S tem skuša sistemski operater distribucijskega omrežja ugodno vplivati na napetostni profil v nizkonapetostnem distribucijskem omrežju. Težavi povezani z generacijo jalove moči sta vsaj dve. Prva je ta, da se lastniki sončnih elektrarn ne držijo navodil sistemskega operaterja in obratujejo s $\cos(\varphi) = 1$. Druga pa je, da pretvorniki ne upoštevajo napetostih razmer in proizvajajo električno energijo dokler napetost ni previsoka, nato pa prenapetostna zaščita odklopi sončno elektrarno od omrežja.

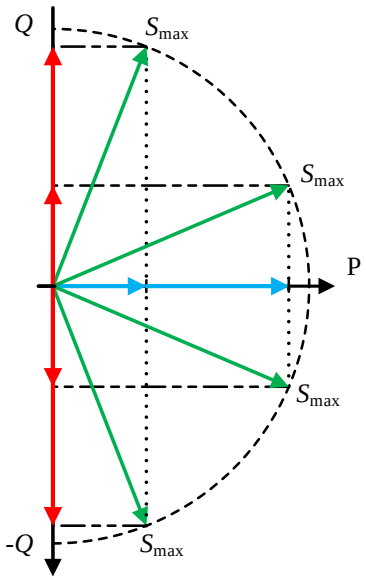
2. GENERIRANJE JALOVE MOČI Z RAZSMERNIKI SONČNIH ELEKTRARN

Pretvornik sončne elektrarne ima nalogo pretvarjati sistem enosmerne napetosti in toka v sistem izmenične napetosti in toka. Maksimalno moč pretvornika je določena z elementi močnostne elektronike saj so vse te komponente omejene na maksimalni tok $I_{\max}$. Ob upoštevanju zgolj osnovnih harmonskih komponent toka in napetosti, lahko ob upoštevanju efektivne vrednosti napetosti U_{ef} in maksimalne efektivne vrednosti izhodnega toka $I_{\max}$ pridemo do maksimalne navidezne moči razsmernika sončne elektrarne $S_{\max}$, kot kaže enačba (1) [1].

$$S_{\max} = U_{\text{ef}}\, I_{\max} \tag{1}$$

Maksimalna vrednost jalove moči $Q_{\max}$, ki jo lahko da razsmernik, je izražena z izrazom (2). Odvisna je od maksimalne navidezne moči $S_{\max}$ razsmernika in od trenutne oddane delovne moči razsmernika P. Z večanjem oddane delovne moči se vrednost maksimalne možne generacija jalove moči $Q_{\max}$ zmanjšuje, kar kaže tudi slika 1 [1].

$$Q_{\max} = \sqrt{{S_{\max}}^2 - P^2} \tag{2}$$

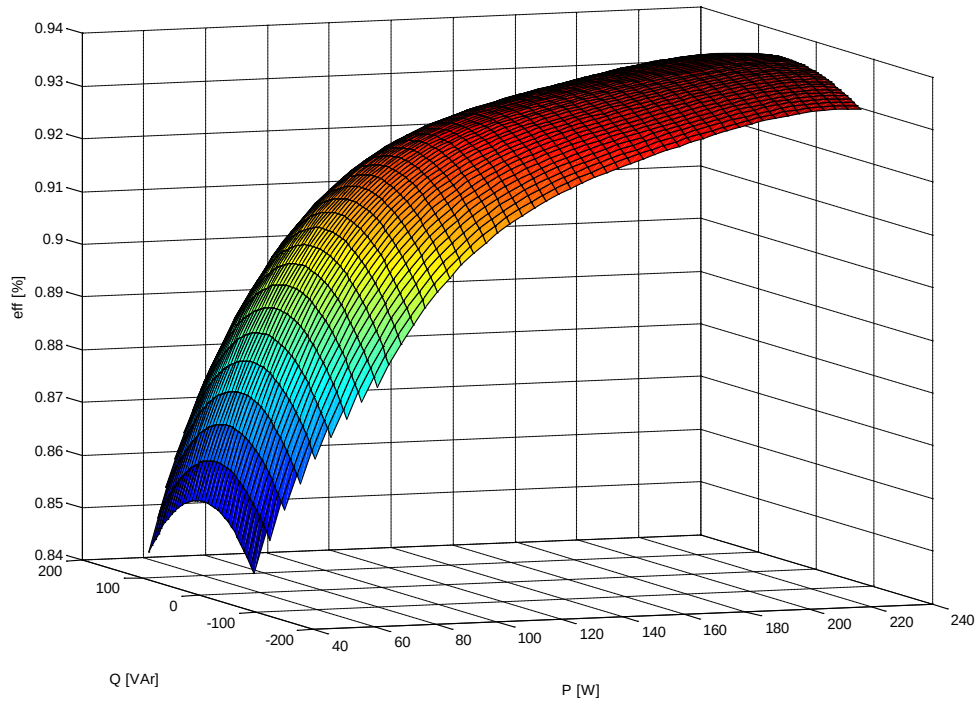


Slika 1: Razmerja med navidezno močjo S, delovno močjo P in jalovo močjo Q [1]

Slika 1 kaže, da sta delovna kot tudi jalova moč na izhodu razsmernika omejeni z maksimalno navidezno močjo $S_{\max}$. Delovna moč predstavlja usmerjen pretok energije iz sončnih celic v omrežje in je zato odvisna od gostote moči sončnega sevanja na površini sončnih celic, impedančne prilagoditve delovni točki sončnih celic, ki je zagotovljena s sledenju točki največje moči in z izkoristkom razsmernika. V skladu z enačbo (2) je maksimalna jalova moč, ki predstavlja recipročno izmenjavo energije in jo lahko generira razsmernik, odvisna od trenutne oddane delovne moči P. Manjša kot je moč sončnega sevanja

na površini sončnih celic, manjša je tudi oddana delovna moč razsmernika. Z manjšanjem oddane delovne moči razsmernika se veča delež jalove moči, ki bi jo lahko generiral razsmernik. Slednja je lahko kapacitivnega $(-Q)$ ali induktivnega $(+Q)$ značaja [1].

Za ovrednotenje vpliva generacije jalove moči na izkoristek razsmernika sončne elektrarne, so bile izvedene meritve razsmernika v različnih delovnih točkah z danim korakom. Iskana je bila odvisnost izkoristka razsmernika od generirane delovne moči P in jalove moči Q. Merjen razsmernik je bil nazivne moči 260 VA.



Slika 2: Karakteristika izkoristka razsmernika v odvisnosti od delovne in jalove moči [1]

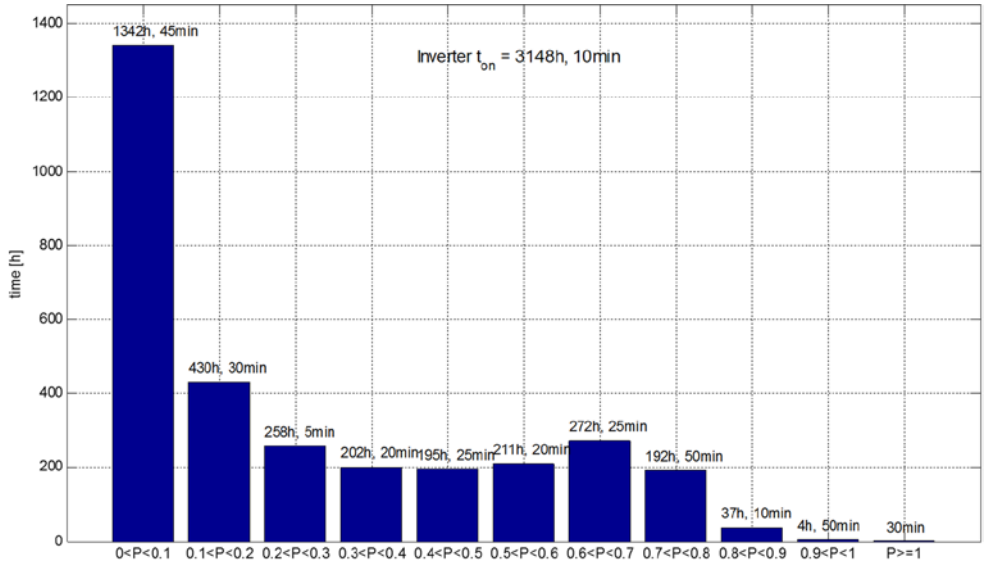
Dobljene vrednosti meritev se je aproksimiralo s ploskvijo, prikazano na sliki 2, ki predstavlja izkoristek pretvornika v odvisnosti od generiranja različnih vrednosti delovne moči P in jalove moči Q. Iz slike 2 je razvidno, da pri višanju jalove moči Q in konstantni vrednosti delovne moči P izkoristek pada. Pri nižjih vrednostih delovne moči P izkoristek pade za ~2 %, pri višjih vrednostih delovne moči P pa manj kot en odstotek. Torej se izkoristek razsmernika pri generaciji jalove moči zmanjša za relativno majhen delež [1].

Sonce čez leto različno obseva sončne elektrarne, zaradi česar spreminja se tudi proizvedena delovna moč. Ob upoštevanju maksimalne navidezne moči razsmernika $S_{\max}$ in trenutne delovne moči P, bi načeloma lahko, v skladu z enačbo (2), z razsmernikom generirali jalove moči do iznosa $Q_{\max}$.

Za analizo porazdelitve delovne moči sončne elektrarne smo uporabili vrednosti meritev delovne moči sončne elektrarne, ki je nameščena na Fakulteti za elektrotehniko računalništvo

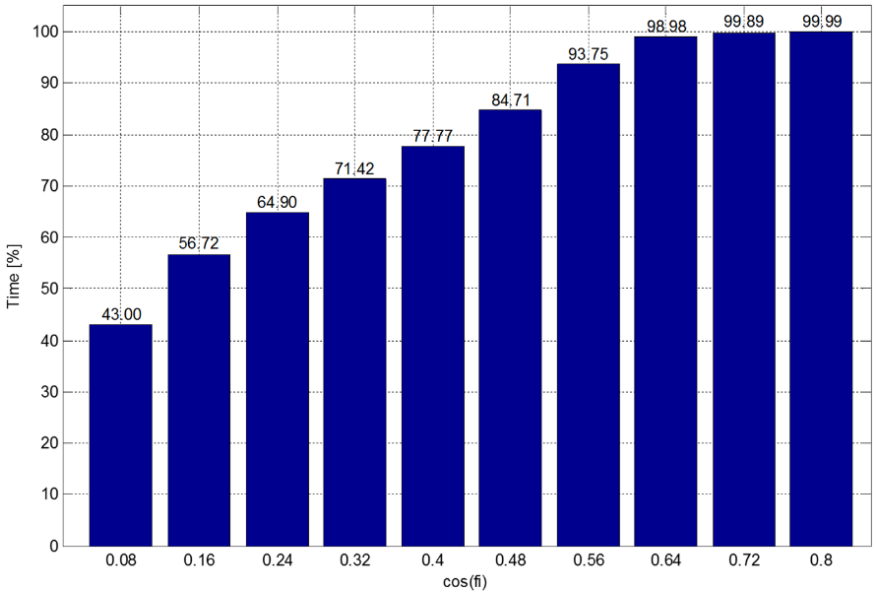
in informatiko v Mariboru. Meritve veljajo za leto 2013 in so podane kot pet minutne povprečne vrednosti za vsak dan znotraj leta.

Meritve delovne moči sončne elektrarne znotraj leta smo statistično obdelali in opazovali, koliko časa sončna elektrarna deluje znotraj določenega področja nazivne moči po koraku 10 %, kot kaže slika 3. Torej od $(0 < P < 0{,}1)$, $(0{,}1 < P < 0{,}2)$ … $(0{,}9 < P < 1)$, $(P > 1)$, pri čemer je P podan v sistemu enotinih vrednosti [2].



Slika 3: Urejen diagram porazdelitve proizvodnje sončne elektrarne v enem letu

Kot kaže slika 3 je sončna elektrarna večji del časa proizvaja zelo malo. V celem letu 2013 je več kot 1300 ur delovala z močjo manjšo od 10 % navidezne moči razsmernika. Po drugi strani je le 30 min bila proizvodnja večja od navidezne moči, kar je je lep pokazatelj, da bi lahko sončne elektrarne veliko časa generirale jalovo moč. Izvedli smo tudi izračun, koliko časa v celem letu bi omenjena sončna elektrarna lahko delovala z določenim $\cos(\varphi)$. Pri teoretičnem izračunu smo upoštevali porazdelitev proizvodnje delovne moči s slike 3, navidezno moč $S_{\max}$, če bi bil razsmernik grajen, da mora biti sposoben delovati do $\cos(\varphi) = 0{,}8$ [2].



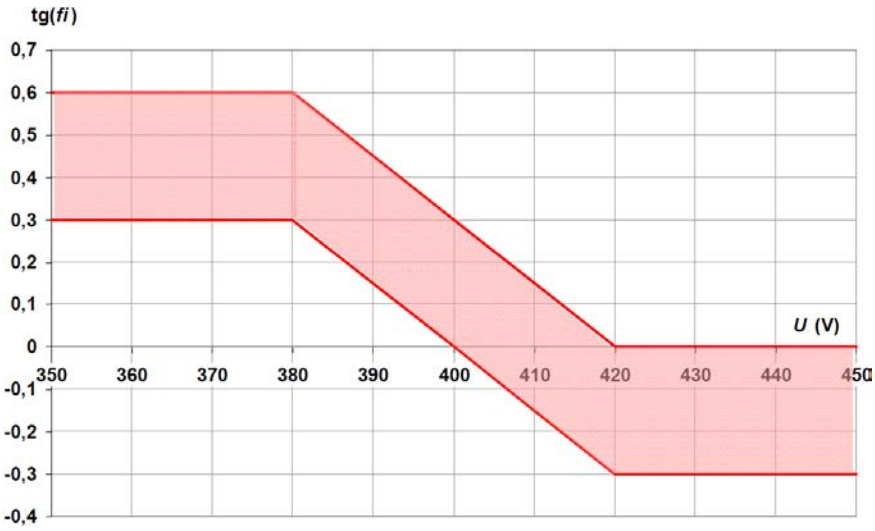
Slika 4: Delež časa, v katerem lahko sončna elektrarna deluje z danim cos(φ) znotraj enega leta

Kot kaže slika 4, bi lahko sončna elektrarna več kot 98 % časa v celem letu delovala s $\cos(\varphi) = 0{,}64$, kar pomeni, da bi lahko večino časa v letu proizvajala relativno velik delež jalove moči, če bi omrežje to zahtevalo. S tem bi se lahko tudi zmanjšali stroški kompenzacijskih naprav v razdelilno transformatorskih postajah.

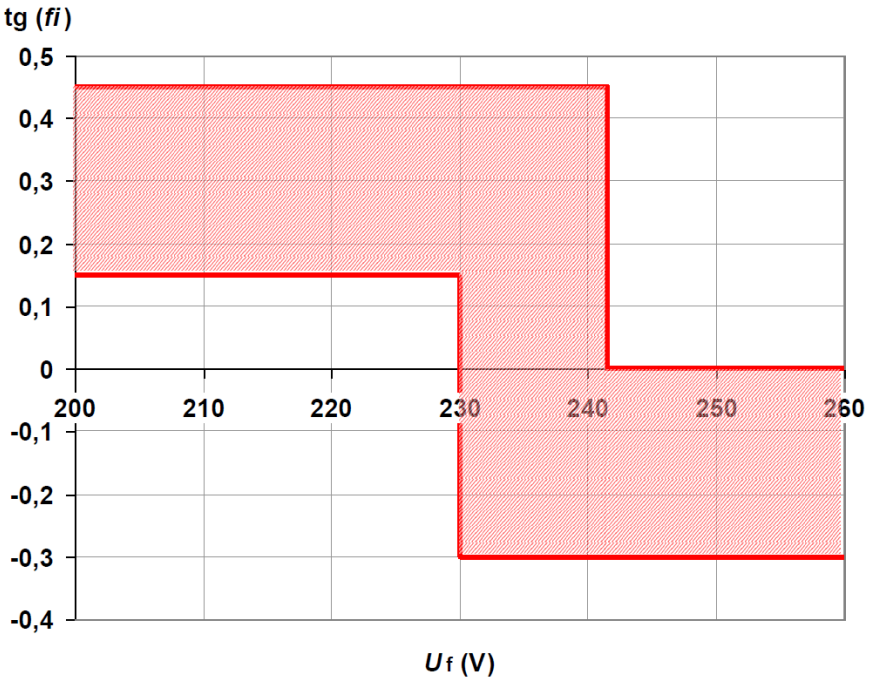
Omenjen način obratovanja ima tudi nekaj negativnih lastnosti. Za pokrivanje dodatnih izgub, ki nastanejo pri generaciji jalove moči Q se porabi nekaj energije, kar se kaže v zmanjšanju izkoristka pretvornika. Dodatna negativna lastnost je, da razsmernik deluje dlje časa z višjim tokom. Zaradi tega bi komponente razsmernika lahko bile dlje časa izpostavljene višjim temperaturam, kar bi lahko skrajšalo življenjsko dobo razsmernika. Zaradi omenjenih pomanjkljivosti lastniki sončnih elektrarn načeloma ne kažejo interesa za proizvodnjo jalove moči s sončnimi elektrarnami, čeprav bi skladno z obstoječimi predpisi sončne elektrarne morale sodelovati pri proizvodnji jalove moči do $\cos(\varphi) = 0{,}8$ [2].

3. TEŽAVE PRI OBRATOVANJU SONČNIH ELEKTRARN

V prejšnjem poglavju je prikazano, da so pretvorniki sončnih elektrarn sposobni dajati večje količine jalove moči. Po navodilih sistemskima operaterja za priključevanje sončnih elektrarn v distribucijsko omrežje bi sončne elektrarne morale delovati znotraj predpisane karakteristike, ki se razlikuje glede na priključno moč, kot kažeta 5 in 6. Glede na vrednost napetosti se po karakteristiki (Slika 5 in 6) spreminja referenca za generiranje jalove moči [3].



Slika 5: Karakteristika jalove moči razpršenih virov do 250 kW vključeni v NN omrežje [3].



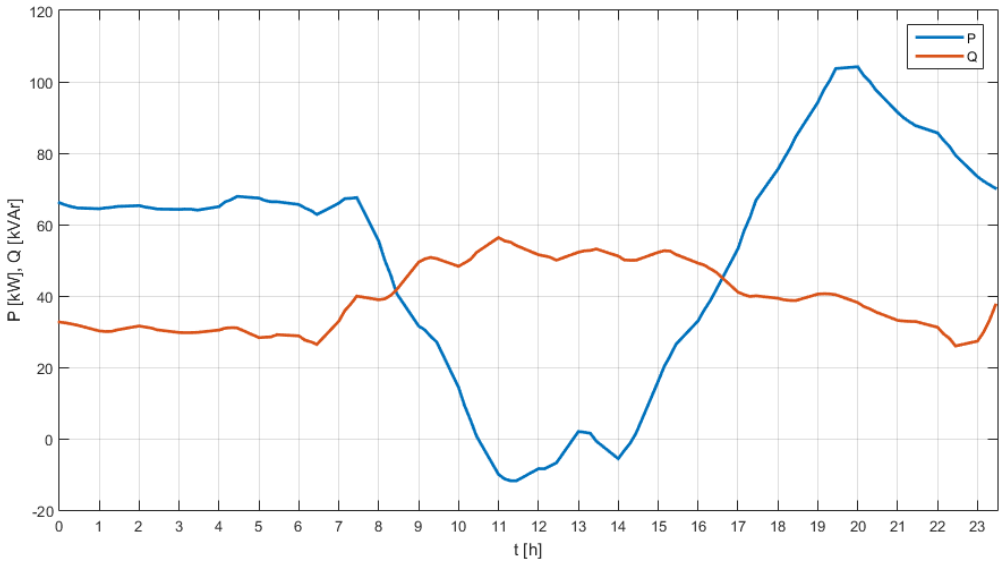
Slika 6: Karakteristika jalove moči razpršenih virov do 16 A na fazo [3]

S karakteristiko (Slika 5 in 6) generiranja jalove moči želi sistemski operater pozitivno vplivati na napetostni profil. Kadar je napetost nižja od predpisane, karakteristika določa generiranje jalove moči kapacitivnega značaja, da bi se nekoliko dvignila napetost. Kadar pa je napetost v točki priključitve višja od predpisane, karakteristika določa generiranje jalove moči induktivnega značaja. S tem se poviša tok čez električne vode in nastane večji padec napetosti, kar znižuje napetost.

Težava takšnega generiranja jalove moči je, da ne upošteva potreb po jalovi moči v omrežju in ne upošteva koliko dodatnih izgub nastaja v omrežju zaradi takšnega načina generiranja jalove moči. Dodatne težave za distribucijska podjetja pa povzroča obratovanje

nekaterih sončnih elektrarn s cos(φ) = 1. Te sončne elektrarne ne proizvajajo jalove moči, kar pomeni, da ta del jalove moči, ki bi ga morale zagotoviti sončne elektrarne, morajo sedaj zagotoviti klasične elektrarne zaradi tega se poveča tok čez električne vode, kar povečuje izgube na vodih, ki jih plačajo distribucijska podjetja.

Slika 7 kaže primer meritev pretoka energije čez transformator, ki ima mešan odjem in priključeno sončno elektrarno. Sončna elektrarna je proizvajala s takšno delovno močjo, da je pokrila vse potrebe po delovni moči v delu omrežja za transformatorjem in je začela energija teči v obratno smer, čez transformator. Vendar je sončna elektrarna delovala s cos(φ) = 1, kar pomeni, da ni proizvajanja jalove moči zato je prišlo do situacije, da je bil značaj jalove moči v eno smer, značaj delovne moi pa v drugo smer. Če bi ta sončna elektrarna v dani situaciji, ko je bila proizvodnja največja med 11 – 14h, generirala jalovo moč s cos(φ) = ~0,87 bi s tem pokrila vse potrebe po jalovi moči v delu omrežja za transformatorjem. S tem bi se izgube, ki so posledica povečanega toka zaradi jalove moči, drastično znižale.



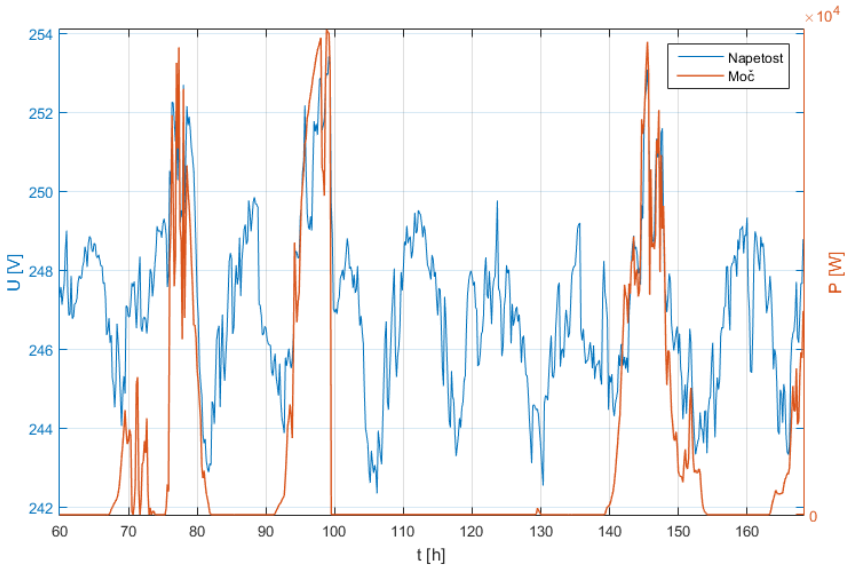
Slika 7: Primer nasprotne smeri delovne in jalove moči

Izgube v omrežju so najnižje takrat kadar se pri referenci za generacijo jalove moči upošteva potrebe po jalovi moči v delu omrežja kjer je sončna elektrarna priključena [2].

Sončne elektrarne zaradi svojega načina delovanja lahko negativno vplivajo tudi na napetostni profil v točki priključitve. Pogosto se dogaja, da sončne elektrarne velikih moči v točki priključitve dvignejo napetost, kadar proizvajajo električno energijo z veliko močjo in je hkrati majhen odjem v tistem delu omrežja. Napetost se lahko toliko dvigne, da preseže mejne vrednosti $U = U_n + 11\ \%$ takrat pa mora prenapetostna zaščita odklopiti elektrarno od omrežja [3]. S tem pa se povzroči stopnično spremembo v oddani moči v omrežje, kar pri večjih sončnih elektrarnah povzroči, da se napetost stopnično zniža. Pri zelo velikih sistemih, v katere so priključena velika polja sončnih elektrarn, pa lahko takšna stopnična sprememba v oddani moči povzroči tudi nihanje frekvence.

Pogosto se pojavljajo težave na radialnih vodih kjer so priključene sončne elektrarne. Podobno kot je bilo že opisano, se pri povečani oddani moči sončne elektrarne in ob majhni porabi v vzdolž radialnega voda, lahko napetost dvigne do mejnih vrednosti, ko prenapetostna zaščita izklopi sončno elektrarno iz omrežja. Takrat se napetost zniža, kar ponovno vzpostavi ustrezne pogoji za priključitev elektrarne v električno omrežje. Pri zaščitni napravi, ki je sama sposobna takrat ponovno vključiti sončno elektrarno v omrežje se začne dogajati, da začne napetost ponovno naraščati do mejne vrednosti, kar povzroči, da prenapetostna zaščita ponovno odklopi sončno elektrarno in se ponovno zniža napetost, kar se lahko tudi ponavlja. Takšno delovanje sončne elektrarne zelo negativno vpliva na samo omrežje in napetostni profil.

V primeru kadar je potrebno sončno elektrarno ročno vključiti nazaj v omrežje je potrebuje lastnik sončne elektrarne sistem za obveščanje o statusu elektrarne, da se lahko elektrarno v čim krajšem času vključi nazaj v omrežje. Če je sončna elektrarna dlje časa izklopljena, pride do izpada dohodka. Slika 8 kaže primer izklopa sončne elektrarne zaradi prevelike napetosti. Elektrarno so ponovno vključili v omrežje naslednji dan pozno popoldne. Posledično ni proizvajala električne energije cel dan, investitor pa je bil v tem času ob dohodek.



Slika 8: Izklop sončne elektrarne zaradi prevelike napetosti

4. SKLEP

Sončne elektrarne imajo možnost generacije jalove moči. Na delih omrežja, kjer je dovoljšna gostota sončnih elektrarn bi bilo mogoče s sončnimi elektrarnami zadostiti potrebam po jalovi moči, kar bi zniževalo izgube na vodih in stroške za namestitev kompenzacijskih naprav. Izkoristek sončnih elektrarn se ob generaciji jalove moči zniža a le

za nekaj odstotkov zato generacija jalove moči ne vpliva bistveno na proizvodnjo delovne moči.

Generacija jalove moči lahko pozitivno ali negativno vpliva na izgube na električnih vodih. Zato bi bilo potrebno za zniževanje izgub na vodih ustrezno generiranje jalove moči, kar pomeni, da se referenčna vrednost za generiranje jalove moči določi glede na trenutne potrebe po jalovi moči v omrežju, potrebna jalova moč pa se zagotovi lokalno.

5. VIRI

[1] P. Sukič, D. Drevenšek, E. Belič in G. Štumberger, „IZKORISTEK SOLARNIH RAZSMERNIKOV PRI PROIZVODNJI JALOVE MOČI,“ v *23. posvetovanje "KOMUNALNA ENERGETIKA / POWER ENGINEERING"*, Maribor, 2014.

[2] E. BELIČ, K. DEŽAN, J. VOH, N. LUKAČ, N. SREĆKOVIĆ, P. SUKIČ, K. DEŽELAK, I. DOVNIK, I. ZADRAVEC, M. MIKLAVČIČ in G. ŠTUMBERGER, „Vpliv generacije jalove moči sončnih elektrarn na nizkonapetostno distribucijsko omrežje.,“ v *Kotnikovi dnevi, Radenci, 26. in 27. marec 2015.*, Radenci, 2015.

[3] P. SODO, *Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn inštalirane električne moči do 10 MW*, 2011.

NASLOV AVTORJEV

Primož Sukič, mag. inž. el.

primoz.sukic@um.si

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

gorazd.stumberger@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija