

Dušan Medved'

Možnosti zvýšenia účinnosti fotovoltaických panelov

Technické a ekonomické aspekty aplikácie solárnych elektrických systémov v mestských aglomeráciách sú predmetom rôznych diskusií. Zvyšovanie účinnosti premeny slnečnej energie je možné zabezpečiť využitím automatického sledovania polohy Slnka prípadne pohyblivými plošinami fotovoltaických solárnych panelov. Je potrebné vopred analyzovať nasadenie týchto systémov a pripojenie do sústavy. Zavedenie predmetných analýz má pozitívny dosah a v mnohých oblastiach je nasadenie fotovoltaických systémov aj ekonomicky výhodné bez použitia štátnej dotácie.

Kľúčové slová: solárne systémy, sledovanie Slnka

I. ÚVOD

Metóda sledovania polohy pracovného bodu (Maximum Power Point Tracking – MPPT) sa stala štandardnou technikou pre dosiahnutie maximálneho výkonu fotovoltaických systémov. Inteligentný regulátor nastavuje napätie, prúd alebo impedanciu solárnych panelov tak, aby sa pracovný bod nachádzal v mieste s maximálnym výkonom pri aktuálnej teplote a svetelných podmienkach. Existuje množstvo literárnych prameňov popisujúcich metódu a riadiace techniky MPPT. Aj keď zavedené techniky sú bežne vykonávané v priemysle a vo všeobecnosti poskytujú uspokojivý výkon, naďalej sa objavujú nové publikácie na túto tému, pretože získať čo najvyšší výkon z drahých panelov je často krát jednou z kľúčových podmienok.

Algoritmus MPPT zahŕňa sledovanie rýchlosti a presnosti a je predmetom rozsiahlych diskusií (viď literatúru v závere). Rušivé vplyvy môžu v niektorých prípadoch ovplyvniť aj rýchlosť natáčania systému. Štandardné algoritmy sledovania Slnka sa nasadzujú priamo alebo nepriamo v závislosti od rušivých vplyvov na nastavenie prevádzkového bodu. Tieto rušivé vplyvy znižujú maximálny výkon, ktorý je možné získať, hoci algoritmus výpočtu stanovil, že bod, v ktorom sa panel práve nachádza je optimálny. Zníženie tejto chyby algoritmu je úlohou nových metód MPPT, ktoré zvýšia rozdiel signálu od šumu a eliminujú tak možnú odchýlku. Pri metódach merania maxima prúdu fotovoltaických meničov (snímače založené na Hallovom jave) je nevyhnutné eliminovať rušivé vplyvy; podobne je to pri meracích metódach založených na meraní výkonových strát na rezistore.

II. OTÁČACÍ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM

Výkon fotovoltaického (FV) systému závisí od mnohých faktorov, medzi ktoré patrí závislosť výkonu od uhlu dopadu slnečného žiarenia. Je zrejmé, že FV panel dodáva najvyšší výkon pri kolmom dopade slnečného žiarenia. Preto, aby bolo možné zaistiť najvyšší výkon, je potrebné FV panel natáčať za Slnkom. V praxi sa bežne využívajú nasledovné otáčacie systémy:

- otáčanie v jednej osi – pevne nastavený sklon panelov na vypočítaný optimálny uhol,
- otáčanie v jednej osi – sklon panelov sa v priebehu roka niekoľkokrát mení (zafixuje),
- otáčanie v dvoch osiach.

Samozrejme, najúčinnjší FV polohovateľný systém je dvojosí. Pri matematickom modelovaní dvojosého polohovateľného systému sa musí dbať hlavne na:

- typ použitého FV článku,
- voltampérovú charakteristiku,
- vzájomné prepojenie FV článkov,
- vplyv teploty na účinnosť FV článku,
- vplyv intenzity dopadajúceho slnečného žiarenia,

Zvyšovanie účinnosti, resp. výkonu otáčacích FV systémov je možné zabezpečiť presným matematickým popisom ďalších faktorov, ako sú:

- sledovanie pohybu Slnka,
- sledovanie polohy pracovného bodu (MPPT),
- optické koncentrátory,
- pomocné komponenty FV systému,
- vplyv znečistenia povrchu FV panelov.

III. ZVÝŠENIE VÝKONU OTÁČACIEHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Zvýšenie výkonu pevného a pohyblivého fotovoltaického panelu je možné dosiahnuť mnohými spôsobmi. V nasledujúcej časti bude uvedený orientačný výpočet vyrobenej energie využitím pevného a pohyblivého FV panelu.

Pre výpočet energie platí:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} I \cdot S \cdot dt \quad (1)$$

kde: P – je výkon dopadajúceho žiarenia [W]

S – je priemet plochy FV panelu (S_0) pri šikmom dopade lúčov [m^2]

I – je intenzita slnečného žiarenia pri kolmom dopade [$W \cdot m^{-2}$]

Výpočet pre pevný FV panel:

Uhol dopadu slnečných lúčov na pevný (fixný) FV panel sa v priebehu dňa mení v rozsahu:

$$\varphi = \left\langle -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right\rangle \quad (2)$$

Pre uhlovú rýchlosť pohybu Slnka po oblohe platí:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} \quad (3)$$

V prípade, že sa zanedbáva vplyv atmosféry, tak pre výpočet energie, ktorá dopadne na jednotkovú plochu FV panelu platí:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} I \cdot S \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} I \cdot S_0 \cdot \cos \omega \cdot dt = \quad (4)$$

$$= I \cdot S_0 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \cos \omega \cdot dt = I \cdot S \cdot \left[\frac{\sin \omega}{\omega} \right]_{t_1}^{t_2} = \frac{2 \cdot I \cdot S_0}{\omega}$$

Výpočet pre pohyblivý FV panel:

Pre FV panel, ktorý ideálne sníma pohyb Slnka tak, že slnečné žiarenie dopadá vždy kolmo na FV panel (využitím natáčania v dvoch osiach), je možné vypočítať energiu podľa vzťahu:

$$W = P \cdot t = I \cdot S_0 \cdot t \quad (5)$$

Výpočtom je možné porovnať vyrobenú energiu pevným a pohyblivým FV panelom, pričom rozdiel je približne 45 %, čo je spôsobené hlavne:

- po východe Slnka a pred jeho západom svieti Slnko cez silnú vrstvu atmosféry, ktorá znižuje intenzitu dopadajúceho žiarenia na plochu FV panelu orientovanú kolmo k smeru žiarenia na poľudnie,
- vo vyšších zemepisných šírkach môže byť deň (svit) dlhší než 12 hodín,
- vplyvom difúzneho žiarenia.

Zariadenie pre sledovanie pohybu Slnka

Zariadenie pre sledovanie pohybu Slnka zaisťuje trvalý kolmý dopad slnečného žiarenia na FV panel. Tieto systémy častokrát umožňujú využívať FV systém bez MPPT, pretože zmeny polohy pracovného bodu MPP (Maximum Power Point) sú veľmi malé. Tieto systémy zároveň často umožňujú priame pripojenie na spotrebiče bez batérií. Snímač polohy Slnka vykazuje najvyšší zisk v ranných a večerných hodinách, keď je pevný panel osvetlený len difúznou zložkou žiarenia (rozptýlené žiarenie oblohy). V tej dobe prechádza priame slnečné žiarenie i mnohonásobne väčšou vrstvou atmosféry a je tým pádom silne utlmované.

Pre sledovanie polohy Slnka sa využívajú rôzne technológie:

- a) aktívne – snímač polohy Slnka + motor,
- b) pasívne – využíva tepelnú rozťažnosť plynov,
- c) časovacie – systém, ktorý pracuje s reálnym časom a vypočítava polohu Slnka + motor.

Pri malých otáčacích systémoch, ktoré sú najrozšírenejšie, sa často používa otáčanie okolo jednej osi, čo umožňuje snímať denný pohyb Slnka po oblohe. Zmena výšky Slnka nad obzorom sa v priebehu roka niekoľkokrát zastaví. Dochádza k určitým stratám, keď poloha panelu vzhľadom k výške Slnka nad obzorom nie je ideálna, ale s ohľadom na výkon malých FV systémov sú tieto straty zanedbateľné.

Pri veľkých otáčacích systémoch sa používa natáčanie v dvoch osiach.

IV. SLEDOVANIE POLOHY PRACOVNÉHO BODU (MPP)

Vlastnosti FV článkov sa menia v závislosti od intenzity osvetlenia a teploty. Táto skutočnosť má vplyv na priebeh VA charakteristiky, čím je ovplyvnená poloha pracovného bodu (MPP), pri ktorom dodáva FV článok maximálny výkon.

Sledovanie polohy pracovného bodu (MPP) prispieva k zvýšeniu efektívnej premeny solárnej energie na elektrickú. Pre sledovanie polohy pracovného bodu (MPP) sa používa skratka MPPT –

Maximum Power Point Tracker. Základným princípom metódy MPPT je nájsť hodnotu napätia U_m alebo prúdovej I_m súradnice bodu MPP pri zmenách intenzity osvetlenia a teploty. Výstupné signály MPPT obvodov potom riadia striedač, ktorý mení jednosmerný prúd z FV článku na striedavý. Niektoré metódy MPPT sú efektívnejšie pri konštantnej teplote. Väčšina metód taktiež reaguje na zmeny spôsobené starnutím FV článku. Pri výbere vhodnej metódy sa zohľadňujú nasledujúce kritériá:

- komplikovanosť riešenia,
- potrebné snímače,
- rýchlosť priebehu (reakčná doba),
- cena,
- medza efektívnosti,
- zložitosť implementácie.

Medzi najrozšírenejšie metódy MPPT patria:

- P&O** (Perturb and Observe) – metóda odchýlenia a vyhodnotenia
- INC** (Incremental Conductance) – metóda prírastkovej vodivosti

Algoritmus metódy MPPT P&O (metóda odchýlenia a vyhodnotenia) zmení pracovné napätie známym smerom a potom vyhodnotí deriváciu výkonu podľa napätia (v známom smere):

$$\frac{dP}{dU} \equiv \frac{\Delta P}{\Delta U} \quad (6)$$

Polarita derivácie výkonu podľa napätia rozhoduje o smere ďalšej zmeny pracovného napätia nasledovne:

- a) kladná derivácia:

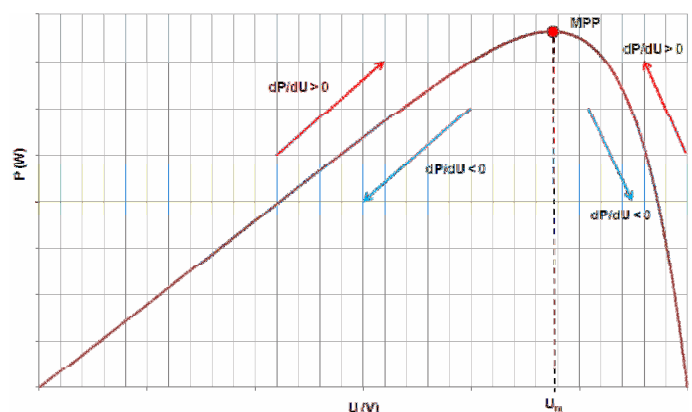
$$\frac{dP}{dU} \equiv \frac{\Delta P}{\Delta U} > 0 \quad (7)$$

- vyjadruje, že smer zmeny napätia je správny k dosiahnutiu MPP,
- ďalšia zmena bude v rovnakom smere.

- b) záporná derivácia:

$$\frac{dP}{dU} \equiv \frac{\Delta P}{\Delta U} < 0 \quad (8)$$

- vyjadruje, že zmena napätia je smerom od MPP – nesprávny smer,
- ďalšia zmena bude opačným smerom.

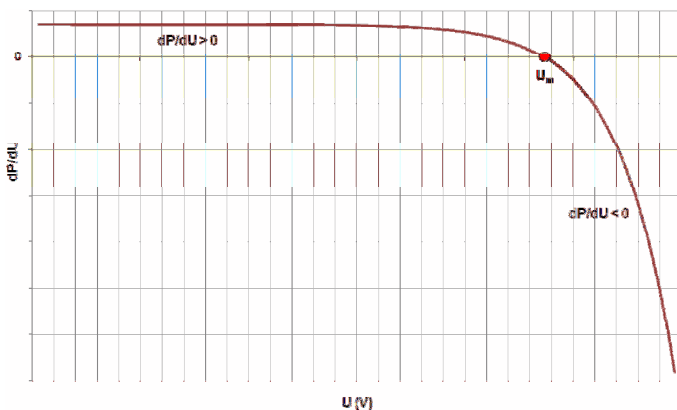


Obr. 1. Priebeh algoritmu P&O

Z grafu na obr. 1 je zrejmé, že zmena napätia FV článku spôsobí zmenu výkonu. Nevýhodou tejto metódy je stála oscilácia v okolí MPP, čo pri rýchlych zmenách intenzity osvetlenia môže vytvoriť nesprávnu konvergenciu. Odstránenie tejto nevýhody je možné uskutočniť napríklad spriemerovaním niekoľkých nameraných vzoriek alebo nerovnomerným krokom nastavovania napätia FV článku.

Algoritmus metódy MPPT INC (metóda prírastkovej vodivosti) pracuje so skutočnosťou, že smernica derivácie výkonovej charakteristiky FV článku v bode MPP je nulová, naľavo od MPP je kladná a napravo je záporná:

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dU} \equiv \frac{\Delta P}{\Delta U} = 0 &\Rightarrow \text{v MPP} \\ \frac{dP}{dU} \equiv \frac{\Delta P}{\Delta U} < 0 &\Rightarrow \text{napravo od MPP} \\ \frac{dP}{dU} \equiv \frac{\Delta P}{\Delta U} > 0 &\Rightarrow \text{naľavo od MPP} \end{aligned} \quad (9)$$



Obr. 2. Hodnota a polarita (znamienko) smernice (derivácie) výkonu podľa napätia

Zároveň platí:

$$\frac{dP}{dU} = \frac{d(U \cdot I)}{dU} = I + U \cdot \frac{dI}{dU} \equiv I + U \cdot \frac{\Delta I}{\Delta U} \quad (10)$$

Pri platnosti vzťahu (10) je možné vzťahy (9) prepísať na:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta U} = -\frac{I}{U} &\Rightarrow \text{v MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta U} < -\frac{I}{U} &\Rightarrow \text{napravo od MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta U} > -\frac{I}{U} &\Rightarrow \text{naľavo od MPP} \end{aligned} \quad (11)$$

Poloha MPP je potom vyhľadávaná porovnaním okamžitej a prírastkovej elektrickej vodivosti:

$$G = \frac{I}{U} \quad (12)$$

$$\Delta G = \frac{\Delta I}{\Delta U} \quad (13)$$

Princíp algoritmu spočíva v tom, že zvyšuje alebo znižuje napätie U_{ref} tak, aby bola dosiahnutá poloha MPP. Veľkosť prírastku napätia určuje, ako rýchlo bude poloha MPP nájdená. Rýchle sledovanie je možné dosiahnuť veľkými prírastkami, ale na úkor toho, že systém nebude pracovať presne v MPP a bude oscilovať v okolí MPP. Pri voľbe veľkosti prírastku sa musí zvoliť vhodný kompromis.

Ako efektívna cesta pri použití metódy INC sa ukazuje použitie okamžitej a prírastkovej metódy pre generovanie chybového signálu:

$$e = \frac{I}{U} + \frac{dI}{dU}; \quad \text{v MPP } e \rightarrow 0 \quad (14)$$

Pre reguláciu e na nulu potom postačuje PI regulátor (proporcionálne integračný). INC metóda kompenzuje nedostatky P&O metódy.

V. ZÁVER

Maximálny výkon FV systémov závisí od mnohých vstupných parametrov, ktoré vplyvajú na celkovú účinnosť systému. Rovnako namerané údaje sa vzťahujú k miestnym klimatickým podmienkam, technickej konfigurácii FV systému a prevádzkovej dobe.

Otáčací FV systém by mal byť preto navrhnutý tak, aby umožňoval jednoduchú variabilitu svojej konfigurácie, možnosť riadenia a merania. Pri meraní je potrebné zohľadniť podmienky jednoznačnosti, t.j. či sa jedná o laboratórne meranie umelým zdrojom svetla alebo meranie na otvorenom priestranstve so slnečným žiarením.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Centrum VUKONZE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Tiago Mateus, Armando C. Oliveira: *Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates*. Elsevier: Applied Energy. Volume 86, Issue 6, June 2009, Pages 949-957. ISSN: 0306-2619.
- [2] Anish Modi, Anirban Chaudhuri, Bhavesh Vijay, Jyotirmay Mathur: *Performance analysis of a solar photovoltaic operated domestic refrigerator*. Elsevier: Applied Energy. Volume 86, Issue 12, December 2009, Pages 2583-2591, ISSN: 0306-2619.
- [3] Maranda, W.; Piotrowicz, M.: *Extraction of thermal model parameters for field-installed photovoltaic module*. Microelectronics Proceedings (MIEL), 2010 27th International Conference, 16-19 May 2010, pp. 153 - 156, Location: Nis, ISBN: 978-1-4244-7200-0, DOI: 10.1109/MIEL.2010.5490512.
- [4] Hutchens, C.; Wensong Yu; Jih-Sheng Lai: *Modeling and control of charge-pumped reboost converter for pv applications*. 2010 IEEE 12th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 28-30 June 2010, pp. 1 - 5, Location: Boulder, CO, ISBN: 978-1-4244-7462-2. DOI: 10.1109/COMPEL.2010.5562396.
- [5] Kim, K.A.; Krein, P.T.: *Photovoltaic converter module configurations for maximum power point operation*. 2010 Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 12-13 Feb. 2010, pp. 77 - 82, Location: Urbana-Champaign, IL, ISBN: 978-1-4244-5902-5. DOI: 10.1109/PECI.2010.5437152.
- [6] Patino, J.; Tello, J.; Hernandez, J.; Arredondo, C. A.; Gordillo, G.: *Development and implementation of a hybrid photovoltaic system for energy back-up*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 2338 - 2341, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371. DOI: 10.1109/PVSC.2010.5614433.
- [7] Seol, M.S.; Kim, D.H.; Kwak, D.W.; Lee, D.W.; Jeong, J.H.; Kim, W.S.; Cho, H.Y.: *Suppression of deep level defects in CIGS solar cells using*

- proton implantations*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 2418 - 2422, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5614235.
- [8] Kuei-Hsiang Chao; Chia-Lung Chiu: *An intelligent islanding detection method based-on extension theory for photovoltaic power generation systems*. 2010 International Symposium on Computer Communication Control and Automation (3CA), 5-7 May 2010, Volume: 2, pp. 171 - 174, Location: Tainan, ISBN: 978-1-4244-5565-2, DOI: 10.1109/3CA.2010.5533607.
- [9] Liang, Zhigang; Alesi, Larry; Zhou, Xiaohu; Li, Jun; Huang, Alex: *Digital controller design for PV inverter with model based technique*. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 12-16 Sept. 2010, pp. 2950 - 2955, Location: Atlanta, GA, USA, ISBN: 978-1-4244-5286-6, DOI: 10.1109/ECCE.2010.5618223.
- [10] Luce, Thomas; Cohen, Joel: *The path to volume production for CPV optics*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 487 - 492, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5616775.
- [11] Cohen, Uri; Roitberg, Michael: *Floating crystalline Si-foils for photovoltaic applications*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 2151 - 2156, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5615910.
- [12] Cavalcanti, M.C.; de Oliveira, K.C.; de Farias, A.M.; Neves, F.A.S.; Azevedo, G.M.S.; Camboim, F.C.: *Modulation Techniques to Eliminate Leakage Currents in Transformerless Three-Phase Photovoltaic Systems*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, April 2010, Volume: 57, Issue: 4, pp. 1360 - 1368, ISSN: 0278-0046, DOI: 10.1109/TIE.2009.2029511.
- [13] Neal, Russell: *The use of AMI meters and solar PV inverters in an advanced Volt/VAr control system on a distribution circuit*. 2010 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 19-22 April 2010, pp. 1 - 4, Location: New Orleans, LA, USA, ISBN: 978-1-4244-6546-0, DOI: 10.1109/TDC.2010.5484402.
- [14] Chongqiu Fang; Yurong Zhou: *Study on soft-switching technology of photovoltaic grid-connected system*. 2010 International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS), 28-30 July 2010, pp. 612 - 615, Location: Chengdu, ISBN: 978-1-4244-8224-5, DOI: 10.1109/ICCCAS.2010.5581920.
- [15] Thakkar, Niket; Cormode, Daniel; Lonij, Vincent P.A.; Pulver, Steve; Cronin, Alexander D.: *A simple non-linear model for the effect of partial shade on PV systems*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 2321 - 2326, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5614450.
- [16] Ziaoping Zhang; Huimei Pan; Gang Wu: *Photovoltaic generation and its applications in DC-motor*. 2010 International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS), 28-30 July 2010, pp. 609 - 611, Location: Chengdu, ISBN: 978-1-4244-8224-5, DOI: 10.1109/ICCCAS.2010.5581919.
- [17] Vorobiev, P.; Vorobiev, Yu: *Automatic sun tracking solar electric systems for applications on transport*. 2010 7th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control (CCE), 8-10 Sept. 2010, pp. 66 - 70, Location: Tuxtla Gutierrez, Mexico, ISBN: 978-1-4244-7312-0, DOI: 10.1109/ICEEE.2010.5608582.
- [18] Yukita, K.; Shimizu, Y.; Goto, Y.; Yoda, M.; Ueda, A.; Ichiyana, K.; Hirose, K.; Takeda, T.; Ota, T.; Okui, Y.; Takabayashi, H.: *Study of AC/DC power supply system with DGs using parallel processing method*. 2010 International Power Electronics Conference (IPEC), 21-24 June 2010, pp. 722 - 725, Location: Sapporo, ISBN: 978-1-4244-5394-8, DOI: 10.1109/IPEC.2010.5544599.
- [19] Thomsen, E.; Muric-Nesic, J.; Everett, V.; Brauers, M.; Davies, E.; Ratcliff, T.; Samundsett, C.; Skryabin, I.; Xia, L.; Blakers, A.: *Materials and manufacturing processes for high-efficiency flexible photovoltaic modules*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 2877 - 2882, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5615841.
- [20] Bi, Rui; Ding, Ming; Xu, Ting Ting: *Design of common communication platform of microgrid*. 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 16-18 June 2010, pp. 735 - 738, Location: Hefei, China, ISBN: 978-1-4244-5669-7, DOI: 10.1109/PEDG.2010.5545914.
- [21] Baker-Finch, Simeon C.; McIntosh, Keith R.: *A freeware program for precise optical analysis of the front surface of a solar cell*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 2184 - 2187, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5616132.
- [22] Griva, G.; Oleschuk, V.; Di Leo, P.; Spertino, F.: *Synchronously modulated cascaded neutral-clamped converters for photovoltaic application*. 2010 International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), 14-16 June 2010, pp. 809 - 814, Location: Pisa, ISBN: 978-1-4244-4986-6, DOI: 10.1109/SPEEDAM.2010.5542118.
- [23] Latham, Alexander M.; Sullivan, Charles R.; Odame, Kofi M.: *Performance of photovoltaic maximum power point tracking algorithms in the presence of noise*. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 12-16 Sept. 2010, pp. 632 - 639, Location: Atlanta, GA, USA, ISBN: 978-1-4244-5286-6, DOI: 10.1109/ECCE.2010.5617951.
- [24] Yun Chiu; Xi Luo: *Direct-sequence maximum power-point tracker for photovoltaic sources*. 2010 Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 12-13 Feb. 2010, pp. 25 - 28, Location: Urbana-Champaign, IL, ISBN: 978-1-4244-5902-5, DOI: 10.1109/PECI.2010.5437162.
- [25] Jukui Wei; Yu Tang; Shaojun Xie: *Grid-connected PV system based on the series Z-Source inverter*. 2010 the 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 15-17 June 2010, pp. 532 - 537, Location: Taichung, ISBN: 978-1-4244-5045-9, DOI: 10.1109/ICIEA.2010.5517096.
- [26] Loc Nguyen Khanh; Dong-Jun Won; Sung-Eun Lee; Jae-Geun Jeon; Jae-Ho Choi: *Improvement of a PV-FC hybrid source operation in a microgrid*. 2010 International Power Electronics Conference (IPEC), 21-24 June 2010, pp. 717 - 720, Location: Sapporo, ISBN: 978-1-4244-5394-8, DOI: 10.1109/IPEC.2010.5543225.
- [27] Kendig, Dustin; Alers, Glenn B.; Shakouri, Ali: *Characterization of defects in photovoltaics using thermoreflectance and electroluminescence imaging*. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2010, pp. 1733 - 1736, Location: Honolulu, HI, USA, ISSN: 0160-8371, DOI: 10.1109/PVSC.2010.5616126.
- [28] Liang, Zhigang; Guo, Rong; Wang, Gangyao; Huang, Alex: *A new wide input range high efficiency photovoltaic inverter*. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 12-16 Sept. 2010, pp. 2937 - 2943, Location: Atlanta, GA, USA, ISBN: 978-1-4244-5286-6, DOI: 10.1109/ECCE.2010.5618217.
- [29] Morello, R.; Carbone, R.; De Capua, C.; Meduri, A.: *Energy accounting in presence of unbalances: The case study of a Photovoltaic plant*. 2010 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 3-6 May 2010, pp. 1145 - 1149, Location: Austin, TX, ISSN: 1091-5281, DOI: 10.1109/IMTC.2010.5488135.
- [30] Koller, L.; Novak, B.; Tevan, G.: *Heating Effects of Short-Circuit Current Impulses on Contacts and Conductors—Part I*. IEEE Transactions on Power Delivery, Jan. 2008, Volume: 23, Issue: 1, pp. 221-227, ISSN: 0885-8977, DOI: 10.1109/TPWRD.2007.905806.
- [31] Koller, L.; Novak, B.; Tevan, G.: *Heating Effects of Short-Circuit Current Impulses on Contacts and Conductors—Part II*. IEEE Transactions on Power Delivery, Jan. 2008, Volume: 23, Issue: 1, pp. 228-232, ISSN: 0885-8977, DOI: 10.1109/TPWRD.2007.905807.
- [32] Patcharaprakiti, N.; Kirtikara, K.; Chenvidhya, D.; Monyakul, V.; Muenpinij, B.: *Modeling of Single Phase Inverter of Photovoltaic System Using System Identification*. 2010 Second International Conference on Computer and Network Technology (ICCNT), 23-25 April 2010, pp. 462 - 466, Location: Bangkok, ISBN: 978-0-7695-4042-9, DOI: 10.1109/ICCNT.2010.120.
- [33] Bannert, P.; Potůček, J.: *Natáčeční fotovoltaiický systém*. [online] Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Varnsdorf. 2009. [citované 14.3.2011] Dostupné na <http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_013_cviceni/013_nataceci_fvs.pdf >

ADRESY AUTOROV

Dušan Medveď, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Dusan.Medved@tuke.sk