

بهبود الگوریتم انحراف و مشاهده جهت ردیابی نقطه توان ماکزیمم سیستم فتوولتائیک با استفاده از مبدل بوست

رضا حسینی جزه^۱، حمید رضا اکبری^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران، hossaynreza@yahoo.com

^۲استادیار، گروه برق، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران، hamid_r_akbari@yahoo.com

چکیده - تغییرات غیر خطی ولتاژ و جریان خروجی ماژول های PV موجب می گردد که بازده پایینی داشته باشند. تغییرات غیر خطی در اثر میزان تابش و دما در شرایط مختلف جوی و جریان بار ایجاد می گردد. از این رو لزوم ردیابی نقطه توان ماکزیمم (MPPT) مطرح می گردد. تا کنون روش های مختلفی جهت MPPT بیان شده است و در هر روش تلاش بر این بوده که بر معایب خاص ماژول های PV غلبه گردد. یکی از روش های بسیار رایج و متداول، الگوریتم انحراف و مشاهده (P&O) می باشد. این الگوریتم به دلیل ویژگی ساده بودن و پیاده سازی عملی راحت، بسیار رایج است؛ ولیکن از ایرادات بارز آن نوسانات حول MPP و سرعت کم MPPT می باشد. در این مقاله ابتدا روش P&O و سپس روش P&O بهبود یافته پیشنهادی مطرح می گردد. اصول کار روش P&O پیشنهادی افزایش تدریجی ولتاژ متناظر با توان است که با هر افزایش گام، مقدار توان با مقادیر به دست آمده قبلی و بعدی مورد مقایسه قرار می گیرد. بدین ترتیب از مقایسه کلی جهت MPPT بهره گرفته می شود. نتایج شبیه سازی حاکی از عملکرد بهتر روش پیشنهادی نسبت به P&O متداول است. کلید واژه - سیستم فتوولتائیک (PV)، ردیابی نقطه توان ماکزیمم (MPPT)، الگوریتم انحراف و مشاهده (P&O)، مبدل DC/DC بوست.

پیشنهادی شبیه سازی و مورد مقایسه قرار می گیرند. نتایج شبیه سازی نشان خواهد داد که روش P&O بهبود یافته پیشنهادی بهتر از P&O کلاسیک عمل خواهد کرد و در عین حال مزایای آن را حفظ خواهد کرد.

۱- مقدمه

خروجی ماژول فتوولتائیک یک منحنی غیرخطی می باشد که دارای نقطه توان ماکزیمم منحصر بفردی برای شرایط مشخصی از تابش و دما می باشد. وقتی باری به ماژول PV متصل می گردد، تنها در موارد خیلی خاص نقطه عملکرد برابر نقطه توان ماکزیمم خواهد شد و در بسیاری از شرایط دیگر این عمل رخ نخواهد داد. یکی از روش های ساده در ردیابی نقطه توان ماکزیمم روش P&O می باشد. این روش به دلیل ساده بودن، پیاده سازی راحت و هزینه کم در طراحی و ساخت بسیار متداول است [۱-۶]. اما این روش نیز عیوب خاصی دارد که از جمله آن می توان به سرعت کم ردیابی نقطه توان ماکزیمم (MPP) و نوسانات حول MPP اشاره داشت. در این مقاله ابتدا، به بررسی بر ایرادات الگوریتم P&O و تلاش هایی که تا کنون جهت حل این ایرادات انجام شده است پرداخته خواهد شد. سپس طریقه انجام MPPT با مبدل DC/DC بوست مطرح می گردد. در نهایت نیز روش P&O کلاسیک و P&O بهبود یافته

۲- مروری بر روش های بهبود الگوریتم P&O

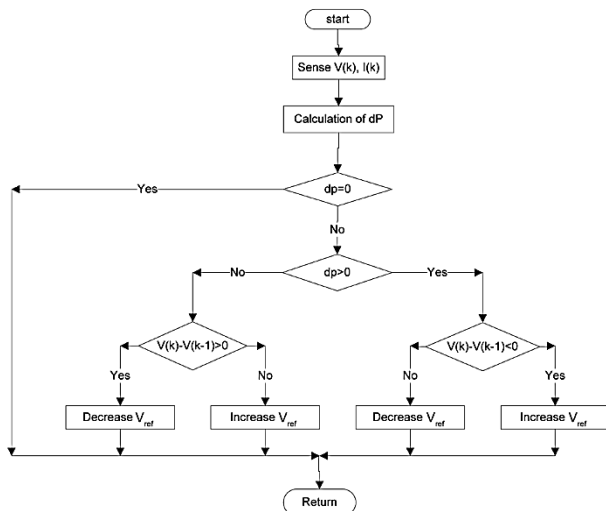
همان طور که متذکر شدیم، روش انحراف و مشاهده (P&O) کلاسیک دارای نوسانات حول MPP می باشد؛ همچنین دارای بازده پایینی در تابش های کم است. این موارد موجب شده است که راه حل های مختلفی جهت بهبود این تکنیک مطرح گردد که در اینجا تنها به مرور راه حل های مهم و پایه پرداخته می شود.

جهت بهبود بازده پایین در تابش های کم، پژوهشگران در مرجع [۷] با ترکیب الگوریتم ولتاژ ثابت (CV) و یک روش P&O بهبود یافته اقدام به ردیابی MPP با بازدهی بالا و تحت هر دو شرایط تابش خورشید کم و زیاد پرداختند. این روش در شکل (۱) نشان داده شده است. در این الگوریتم، زمانی که ولتاژ

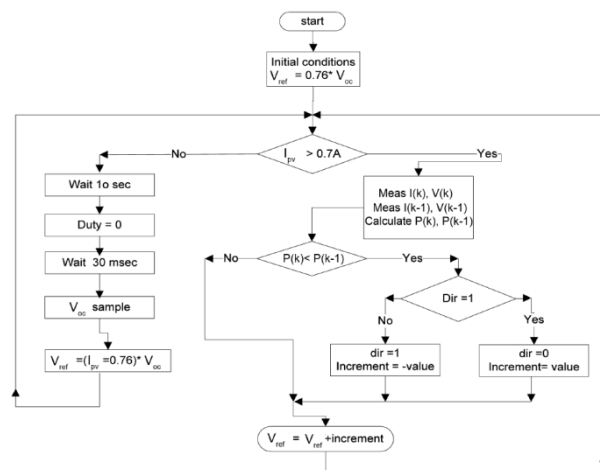
[۹] پیشنهاد شده است. الگوریتم EPP از یک گام تخمینگر برای هر مرحله انحراف استفاده می کند [۱۰]. به طور عملی نشان داده شده است که در مقایسه MP&O، روش EPP در ردیابی نقطه توان ماکزیمم سرعت بالاتری را دارا است و از طرفی دقت آن نیز مشابه الگوریتم MP&O است.

عیب دیگر الگوریتم P&O این است که نوسانات حول MPP منجر به افزایش تلفات انرژی می گردد [۱۱]. جهت محدود کردن اثر این نقص، Nicola Femia و همکارانش [۱۲] نشان دادند که چگونه پارامترهای P&O را می توان برای رفتار دینامیکی مبدل قدرت خاصی بهینه کرد.

در طی تغییرات سریع تابش، ممکن است الگوریتم P&O کلاسیک در ردیابی MPP دچار سردرگمی شده و جهت اشتباهی را ردیابی کند [۵، ۱۳، ۱۴]. D. Sera و دیگر همکارانش [۶] یک راه حل ساده و مؤثری تحت عنوان dP-P&O پیشنهاد کردند. در این روش، اندازه گیری توان جهت مشخص کردن توان ناشی از منابع مختلف واسازی می گردد. پس از آن MPPT منحصراً با تغییر توان ایجاد شده توسط دستورالعمل قبلی خودش فراهم می گردد. برای دستیابی به این مورد، نیاز به اندازه گیری های بیش تری از توان آرایه خورشیدی است. چنانچه در شکل (۲) نشان داده شده است، اندازه گیری ها در مرکز پریود نمونه برداری MPPT انجام می گیرد. روش dP-P&O به صورت عملی مورد آزمایش قرار گرفته و با روش P&O مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که تکنیک dP-P&O علاوه بر این که مانع از ردیابی جهت اشتباه می گردد به طور قابل ملاحظه ای سرعت ردیابی را نیز افزایش می دهد.



خروجی PV نزدیک به ولتاژ مدار باز پنل (V_{oc}) می رسد، دیوتی سایکل افزایش می یابد. از این مورد به عنوان شرایط اولیه ردیابی MPP استفاده شده است. پس از آن الگوریتم پیشنهادی میزان خروجی جریان را ارزیابی می کند، اگر جریان بیش از $0.7 A$ باشد، الگوریتم از روش P&O استفاده می کند و اگر جریان کمتر از این مقدار باشد از الگوریتم CV بهره گرفته می شود. نتایج شبیه سازی این پژوهشگران حاکی از آن است که استفاده از این الگوریتم موجب افزایش انرژی استخراج شده از پنل PV می شود؛ مرجع مذکور استفاده از این روش را موجب افزایش بازده از 9.5% به 9.9% در رنج وسیعی از تابش می داند. با این همه بدیهی است که ترکیب این دو روش موجب افزایش پیچیدگی سیستم کنترل کننده خواهد شد.



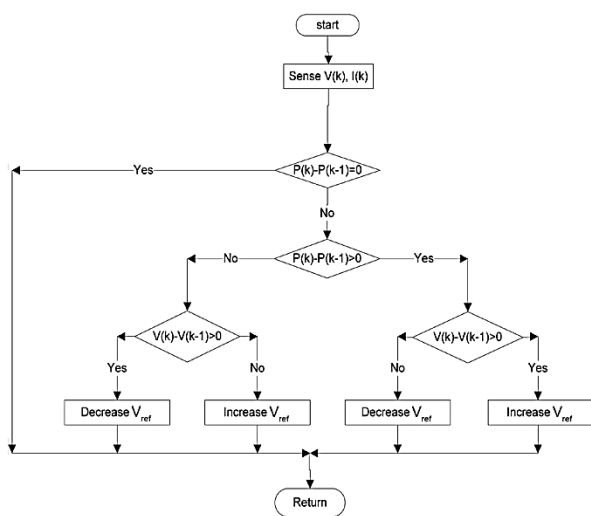
شکل ۱: فلوجارت روش ترکیب P&O با CV [۷].

ایراد دیگر روش P&O، تمایل به داشتن رفتاری نامنظم تحت تغییرات سریع سطوح نور می باشد. این امر موجب کند شدن و ناصحیح بودن روند ردیابی MPP می شود. R. و C. Liu و Cheung در مرجع [۸]، A. Yafaoui و B. Wu در مقاله [۹] یک روش P&O بهبود یافته را جهت حل این مشکل ارائه داده اند. در این روش فرآیند تخمین تغییرات تابش در هر پروسه انحراف اضافه می گردد و این چنین میزان تغییرات توانی که بخاطر تغییر شرایط به وجود آمده است، اندازه گیری می شود. نتایج این پژوهش ها حاکی از بهبود عملکرد روش P&O متداول می باشد. با این وجود روش P&O اصلاح شده که اصطلاحاً MP&O نیز نامیده می شود، دارای سرعت ردیابی تقریباً نصف روش P&O رایج است. جهت بهبود سرعت ردیابی روش MP&O و ارزیابی یک روش تخمین انحراف و انحراف (EPP) در مرجع

شکل ۲: فلوجارت روش dP-P&O [۶].

۴- الگوریتم P&O کلاسیک

چنانچه گفته شد، الگوریتم انحراف و مشاهده (P&O) به دلیل ساده بودن و پیاده سازی راحت بسیار متداول است. شکل (۴) فلوجارت این الگوریتم را نشان می دهد. اصول کار آن بر اساس افزایش یا کاهش ولتاژ (یا جریان) ترمینال آرایه خورشیدی در فواصل زمانی معین و سپس مقایسه توان خروجی کنونی PV با توان خروجی نمونه گیری شده قبلی می باشد. اگر ولتاژ کار آرایه PV تغییر یابد و توان نیز افزایش یابد، سیستم نقطه کار آرایه PV را در آن جهت تنظیم می کند و در غیر این صورت نقطه کار به جهت مخالف حرکت می کند. به بیانی دیگر اگر $P_{out}(k)$ بزرگتر از $P_{out}(k-1)$ باشد، آن گاه تغییر ولتاژ بعدی در همان جهت حفظ می گردد در غیر این صورت به جهت مخالف تغییر وضعیت می دهد. در هر نقطه انحراف، الگوریتم جهت کار در همان نقطه ادامه می یابد [۱۵].



شکل ۴: فلوجارت روش P&O [۱۵].

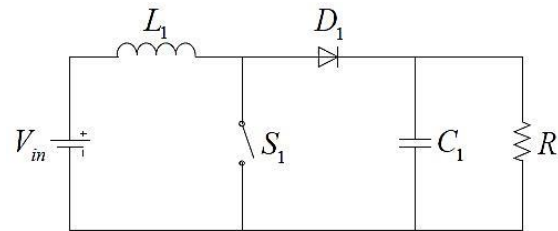
۵- الگوریتم P&O بهبود یافته پیشنهادی

همان طور که متذکر شدیم، به دلیل آن که تکنیک P&O هم پیاده سازی راحت تری داشته و هم عملی تر است؛ بسیاری از مراجع سعی در اصلاح این تکنیک با تغییراتی در الگوریتم آن نموده اند [۷-۱۵]. این نوع الگوریتم ها معروف به MP&O (اصطلاحاً P&O اصلاح شده) می باشند. در این بخش یک الگوریتم MP&O ارائه و با P&O متداول مقایسه می گردد. در

در این مقاله الگوریتمی جهت بهبود روش P&O ارائه و روی مبدل بوست پیاده سازی می گردد. الگوریتم P&O بهبود یافته پیشنهادی برخی از ایرادات P&O متداول را حل خواهد کرد.

۳- مبدل بوست و MPPT توسط آن

مبدل DC/DC بوست جهت افزایش سطح ولتاژ DC بین پنل PV و بار قرار می گیرد. این مبدل ولتاژ غیر رگوله شده ورودی را به ولتاژ رگوله شده در خروجی تحویل می دهد. به عبارتی این مبدل موجب کاهش نوسانات توان خروجی سلول خورشیدی می شود؛ علاوه بر این، با کنترل سوئیچینگ این مبدل، امکان تطبیق بار برای انتقال توان ماکزیمم فراهم می گردد. شکل (۳) مدار مبدل DC/DC بوست را نشان می دهد.



شکل ۳: ساختار مداری مبدل بوست.

در یک مبدل بوست داریم:

$$V_o = (1 / (1 - D)) \times V_i \quad (1)$$

در رابطه فوق V_o ولتاژ خروجی، V_i ولتاژ ورودی و D دیوتی سایکل می باشد (نسبت زمان وصل سوئیچ مبدل به یک پریود قطع و وصل). در این حالت، حل نرخ تبدیل امپدانس به شکل زیر است:

$$R_o = (1 / (1 - D))^2 \times R_i \quad (2)$$

$$R_i = (1 - D)^2 \times R_o \quad (3)$$

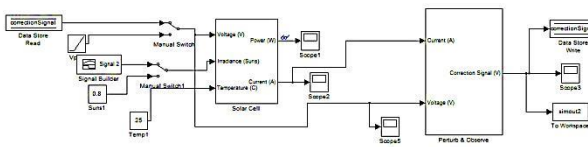
که R_i مقاومت ورودی و R_o مقاومت خروجی از دید منبع است. با توجه به روابط فوق می توان گفت زمانی که مقاومت خروجی R_o ثابت باقی بماند، با تغییر دیوتی سایکل، مقاومت ورودی R_i با نوسانات منبع، به طور مناسبی تغییر خواهد کرد. در واقع مقاومت متناظر نقطه توان ماکزیمم با تغییر دیوتی سایکل به دست می آید.

۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

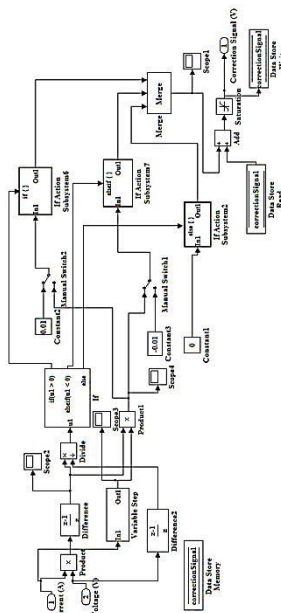
16.56 V	ولتاژ در توان ماکزیمم (V_{mpp})
2.25 A	جریان در توان ماکزیمم (I_{mpp})
2.55 A	جریان اتصال کوتاه (I_{sc})
21.24 V	ولتاژ مدار باز (V_{oc})
36	تعداد کل سلول ها در حالت سری (N_s)
1	تعداد کل سلول ها در حالت موازی (N_p)

روش پیشنهادی، از منحنی P-V استفاده می شود و مقدار ولتاژ به تدریج متناظر با مقدار توان افزایش می یابد. با هر افزایش گام، مقدار توان با مقادیر به دست آمده قبلی و بعدی مورد مقایسه قرار می گیرد بدان معنا که در هر گام افزایش زمان، مقایسه سه مقدار (مقدار قبلی، حاضر و بعدی) صورت می پذیرد. بدین ترتیب از مقایسه کلی جهت MPPT بهره گرفته می شود.

مهم ترین تفاوت بین تکنیک P&O متداول و MP&O، فرآیند مقایسه می باشد. در روش P&O، مقدار بعدی از مقایسه مقدار حاضر به دست می آید و نه مقدار قبلی، از این جهت روش MP&O پیشنهادی نقطه ضعف روش P&O متداول را جبران می کند. این تکنیک دارای سرعت ردیابی بیش تر و تعداد تکرار کمتر است. شکل (۵) الگوریتم MP&O پیشنهادی را نشان می دهد.

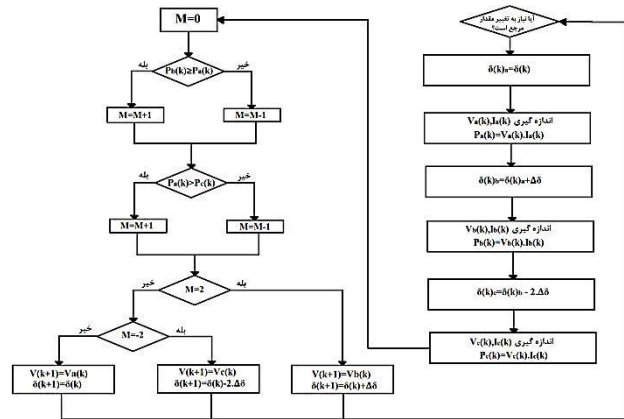


شکل ۶: ساختار کلی مدل.



شکل ۷: جزئیات ساختار کلی (مدل MP&O و P&O در کنار هم).

شکل (۸) رفتار هر دو نوع الگوریتم را در دمای ثابت $25^{\circ}C$ به ازای سطوح تابش مختلف نشان می دهد. شکل (۹) نیز رفتار هر دو نوع الگوریتم را در تابش ثابت 1000 W/m^2 به ازای سطوح دمای مختلف نشان می دهد. در هر دو تصویر، علائم ستاره بیانگر ردیابی با P&O و نقاط قرمز بیانگر ردیابی با MP&O است.



شکل ۵: فلوچارت MP&O پیشنهادی.

۶- شبیه سازی، آنالیز و بحث

جهت شبیه سازی و آنالیز از یک آرایه PV با مشخصات جدول (۱) استفاده می کنیم. شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB و ارتباط بین دو محیط Simulink و Command صورت پذیرفته است. مدل شبیه سازی هر دو الگوریتم در شکل های (۶) و (۷) نشان داده شده است. الگوریتم MP&O داخل بلوک step variable است. سوئیچ های ۱ و ۲ جهت انتخاب نوع الگوریتم (یعنی P&O یا MP&O) می باشند تا بتوان براحتی هر دو را تحت شرایط یکسان مورد مقایسه قرار داد.

جدول (۱): پارامترهای آرایه PV در شبیه سازی.

پارامتر	مقدار
توان نامی	36 W

جدول (۲): مقایسه الگوریتم های P&O و MP&O پیشنهادی.

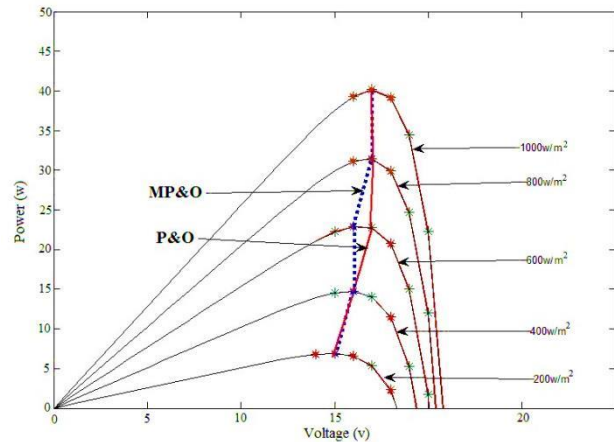
بازده انرژی (%)	توان	زمان جهت ردیابی به ازای دماهای مختلف (s)	زمان جهت ردیابی به ازای تابش های مختلف (s)	نوع تکنیک
80.55	29	13.305	13.492	P&O
91.67	31	3.795	4.112	MP&O

۷- نتیجه گیری

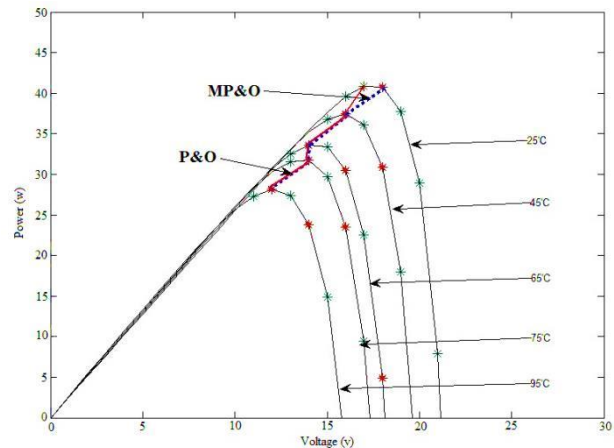
در این مقاله، ابتدائاً مرور دقیقی بر الگوریتم های بهبود دهنده P&O ارائه گردید. سپس الگوریتم جدیدی جهت بهبود الگوریتم P&O کلاسیک پیشنهاد و هر دو روش با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که بهره گیری از روش MP&O پیشنهادی بازده بیش تری داشته و ردیابی نقطه توان ماکزیمم را در زمان کمتری میسر می سازد. بنابراین روش MP&O پیشنهادی می تواند جایگزین مناسبی برای P&O کلاسیک باشد.

مراجع

- [1] Bidyadhar Subudhi and Raseswar Pradhan, "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems", IEEE Transactions on sustainable energy, vol. 4, no.1, Jan 2013.
- [2] A. K. Abdelsalam, A. M. Massoud, S. Ahmed, and P. N. Enjeti, "High-performance adaptive perturb and observe MPPT technique for photovoltaic-based microgrids", IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, no. 4, Apr. 2011.
- [3] J. Lopez-Seguel, S. I. Seleme, P. Donoso-Garcia, L. F. Morais, P. Cortizo and M. S. Mendes, "Comparison of MPPT Approaches in Autonomous Photovoltaic Energy Supply System Using DSP", Industrial Technology (ICIT), IEEE Transactions, 2010.
- [4] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "A technique for improving P&O MPPT performances of double-stage grid-connected photovoltaic systems". IEEE Trans. vol. 56, no. 11, Nov. 2009.
- [5] Faranda, R. and Leva, S., "Energy Comparison of MPPT Techniques for PV Systems." WSEAS Transactions on Power Systems, 3, 447-455, 2008.
- [6] D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu and F. Blaabjerg, "Improved MPPT Method for Rapidly Changing Environmental Conditions." 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2,, 1420-1425, 2006.
- [7] C. Dorofte, U. Borup and F. Blaabjerg, "A Combined Two-Method MPPT Control Scheme for Grid-Connected Photovoltaic Systems." 2005 European Conference on Power Electronics and Applications, Dresden, 11-14 September 2005, 10. <http://dx.doi.org/10.1109/EPE.2005>.

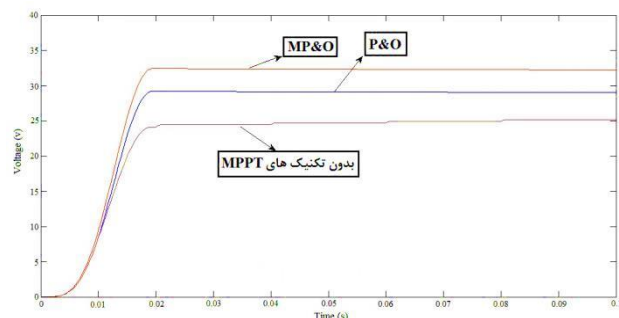


شکل ۸: رفتار الگوریتم های کنترل P&O و MP&O به ازای دمای ثابت و سطوح تابش متغیر.



شکل ۹: رفتار الگوریتم های کنترل P&O و MP&O به ازای تابش ثابت و سطوح دمای متغیر.

شکل (۱۰) و جدول (۲) مقایسه مناسبی از هر دو تکنیک MPPT را نشان می دهند. چنانچه مشاهده می گردد روش MP&O پیشنهادی نسبت به P&O متداول بازده انرژی بیش تری را دارا است و این روش در مدت زمان کمتر و با دقت بیش تری به ردیابی نقطه توان ماکزیمم می پردازد.



شکل ۱۰: مقایسه رفتار هر دو تکنیک P&O و MP&O در ردیابی ولتاژ.

- [8] C.Liu, B.Wu and R.Cheung, "Advanced Algorithm for MPPT Control of Photovoltaic Systems." Canadian Solar Buildings Conference, Montreal, 20-24 August 2004.
- [9] A.Yafaoui, B.Wu, and R.Cheung, "Implementation of Maximum Power Point Tracking Algorithm for Residential Photovoltaic Systems", 2nd Canadian Solar Buildings Conference, Calgary, 10-14 June 2007.
- [10] B.Subudhi, and R.Pradhan, " A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems." IEEE Transactions on Sustainable Energy, 4, 89-98.,2012.
- [11] A.Giustiniani,G.Petrone,G.Spagnuolo and M.Vitelli, "Low-Frequency Current Oscillations and Maximum Power Point Tracking in Grid-Connected Fuel-Cell-Based Systems." IEEE Transactions on Industrial Electronics, 57, 2042-2053, 2010.
- [12] N.Femia, G.Petrone, G.Spagnuolo and M.Vitelli, "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method." IEEE Transactions on Power Electronics, 963-973.2005.
- [13] V.Salas, E.Olias, A.Barrado, and A.Lazaro,"Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-Alone Photovoltaic Systems.", Solar Energy Materials and Solar Cells, 90, 1555-1578, 2006.
- [14] Y.C.Kuo, T.J.Liang and J.F.Chen, "Novel Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 48, 594-601.2001.
- [15] S.E Babaa, M. Armstrong, V. Pickert, "Overview of Maximum Power Point Tracking Control Methods for PV Systems", Journal of Power and Energy Engineering, 59-72,2014.