چهارمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق
۲۰و۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

آنالیز دقیق الگوریتم های P&O و IC در ردیابی نقطه توان ماکزیمم سلول های خورشیدی

رضا حسینی جزه[۱]، حمید رضا اکبری[۲]
[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه برق،واحد یزد،دانشگاه آزاد اسلامی،یزد،ایران، hossaynireza@yahoo.com
[۲]استادیار،گروه برق،واحد یزد،دانشگاه آزاد اسلامی،یزد،ایران، hamid_r_akbari@yahoo.com

چکیده - الگوریتم های ردیابی نقطه توان ماکزیمم (*MPPT*) نقش بسیار مهمی را در سیستم های فتوولتائیک ایفا می کنند. آن ها ماکزیمم توان خروجی آرایه *PV* را در شرایط تابش و دمای مختلف به مصرف کننده ارائه می دهند. در این مقاله آنالیز بسیار دقیقی از روش های بسیار متعارف انحراف و مشاهده (*P&O*) و هدایت افزایشی (*IC*) که در صنعت نیز بیش ترین کاربرد را دارند ارائه می گردد. نتایج حاکی از آن است که هر دو تکنیک در *MPPT* بسیار موفق عمل می کنند.

کلید واژه- ردیابی نقطه توان ماکزیمم (MPPT)، سیستم های فتولتائیک، الگوریتم های MPPT صنعتی.

۱- مقدمه

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. بنابراین لزوم ردیابی نقطه توان ماکزیمم (MPPT) مطرح می گردد.

جهت دستیابی به توان ماکزیمم از یک ردیاب نقطه توان ماکزیمم استفاده می گردد. این ردیاب توان ماکزیمم ماژول PV را استخراج و به بار تحویل می دهد. جهت این کار از یک مبدل DC/DC بهره گرفته می شود. مبدل DC/DC واسط میان بار و ماژول PV می باشد [۱]. با تغییرات دیوتی سایکل، امپدانس بار تغییر و منطبق بر نقطه توان ماکزیمم شده و به بار انتقال می یابد. به بیانی دیگر دیوتی سایکل مبدل این قدر تغییر می کند تا نقطه توان ماکزیمم به دست آید.

۱-۱- چگونگی ردیابی نقطه توان ماکزیمم

با فرض این که از یک مبدل افزاینده استفاده می گردد، خواهیم داشت :

$$Vo = (1/(1-D)) \times Vi \qquad (۱)$$

در رابطه فوق Vo ولتاژ خروجی، Vi 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 فرم زیر است [۱]:

$$Ro = (1/(1-D))^2 \times Ri \qquad (۲)$$

$$Ri = (1-D)^2 \times Ro \qquad (۳)$$

که Ri مقاومت ورودی و Ro مقاومت خروجی از دید منبع است.

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

در این مقاله، آنالیز دقیقی از روش های MPPT صنعتی ارائه می گردد.

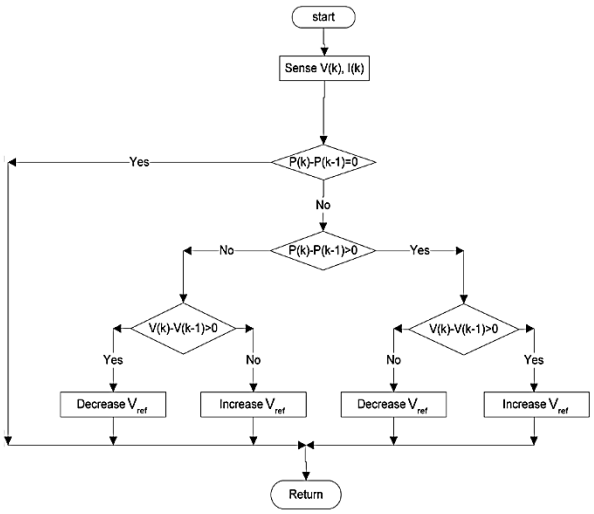
۲- الگوریتم های MPPT پر کاربرد در صنعت

ردیابی نقطه توان ماکزیمم (MPPT) آرایه های فتوولتائیک یک امر مهم و حیاتی در سیستم های PV است [۲و۳]. به همین منظور روش های MPPT مختلفی ارائه گردیده و در هر روش تلاش بر این بوده است که بر معایب خاص ماژول های PV غلبه

گردد. ردیابی نقطه توان ماکزیمم به ۱۹ الگوریتم قابل تقسیم است [۴] که هشت مورد آن محبوب ترین، جدیدترین و بیش ترین کاربرد را دارد [۵]. این تعداد زیاد الگوریتم تعیین بهترین روش را با مشکل مواجه خواهد کرد. انتخاب روش مناسب بستگی به پیچیدگی زمانی جهت ردیابی نقطه توان ماکزیمم، هزینه پیاده سازی و سهولت انجام کار، تعداد سنسورهای مورد نیاز و سرعت همگرایی دارد. علاوه بر این، نوع کاربرد نیز نقش مهمی در انتخاب الگوریتم MPPT دارد. در میان الگوریتم های MPPT مختلف دو الگوریتم انحراف و مشاهده (P&O) و هدایت افزایشی (IC) بیش ترین کاربرد را دارا هستند [۵] شاید دلیل آن وجود نوسانات کمتر حول MPP، پیاده سازی عملی راحت تر، اثبات کاربردی بودن و ساده بودن خود الگوریتم باشد. بنابراین لازم است که آنالیز دقیقی از آنها ارائه گردد تا در اولین گام مشخص شود کدام تکنیک می تواند در صنعت بیش تر مناسب واقع شود و ثانیاً چه رفتاری را در مناطق گوناگون با شدت تابش و دمای مختلف داشته باشد.

۲-۱- الگوریتم انحراف و مشاهده (P&O)

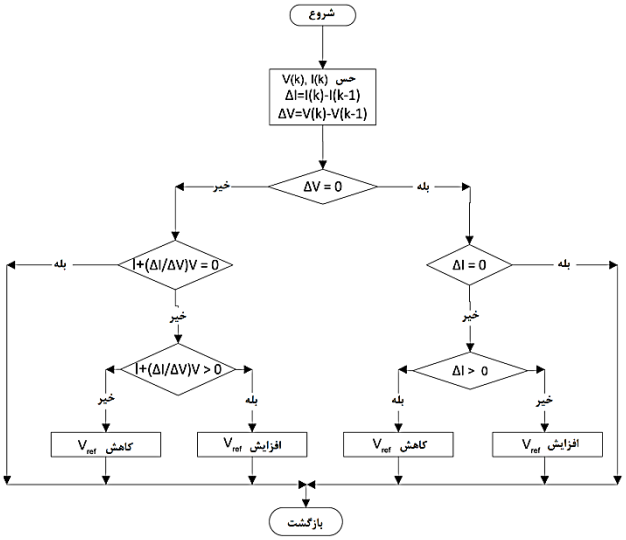
همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، الگوریتم P&O با افزایش یا کاهش ولتاژ یا جریان ترمینال آرایه خورشیدی در فواصل زمانی معین و سپس مقایسه توان خروجی کنونی PV با توان خروجی نمونه گیری شده قبلی، اقدام به ردیابی نقطه توان ماکزیمم می نماید [۶-۸]. اگر ولتاژ کار آرایه PV تغییر یابد و توان نیز افزایش یابد. 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 [۹]. به بیانی دیگر اگر Pout(k) بزرگتر از Pout(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 [۶]. در هر نقطه انحراف، الگوریتم جهت کار در همان نقطه ادامه می یابد [۱۰و۱۱]. مزیت اصلی این روش ساده بودن آن می باشد و همین امر موجب رایج شدن آن در سیستم های کنترلی جدید شده است [۵و۶]. علاوه بر این در این الگوریتم نیازی به دانش قبلی از ویژگی های پنل PV نمی باشد و از طرفی هم زمانی که تابش خورشید خیلی سریع تغییر نمی کند، کارایی خوبی را از خود نشان خواهد داد [۵]. عیب بارز این روش وجود نوسانات زیاد حول نقطه عملکرد در حالت ماندگار می باشد. به همین علت بایستی فرکانس انحراف به اندازه کافی پایین باشد تا سیستم بتواند قبل از انحراف بعدی به پایداری برسد. همچنین اندازه گام انحراف باید در حد مطلوب انتخاب شده باشد، چرا که کنترل کننده تحت تأثیر نویز اندازه گیری شده قرار نمی گیرد و تغییرات قابل اندازه گیر و چشم گیری در خروجی آرایه فتوولتائیک ایجاد می گردد [۱۲و۱۳].



شکل ۱: فلوچارت الگوریتم P&O [۵].

۲-۲- الگوریتم هدایت افزایشی (IC)

هدف از ارائه این الگوریتم، غلبه بر محدودیت های الگوریتم P&O بود. الگوریتم هدایت افزایشی (IC) در شکل (۲) نشان داده شده است. این الگوریتم با مقایسه افزایش توان نسبت به افزایش ولتاژ (یا جریان) بین دو نمونه متوالی، تغییر در ولتاژ را جهت دست یابی به MPP تعیین می کند. الگوریتم IC بسیار پیچیده تر از روش P&O است. مزیت این تکنیک این است که دارای قابلیت مشخص کردن "فاصله" نسبی جهت رسیدن به نقطه توان ماکزیمم (MPP) می باشد؛ بنابراین می توان مشخص کرد که چه موقع MPP به دست می آید. همچنین این الگوریتم قابلیت ردیابی MPP با دقت زیادی را در شرایط آب و هوایی بسیار متغیر دارا است [۱۴] و حول MPP نوسانات کمتری را حتی نسبت به P&O بهینه شده دارد [۱۵]. با این حال الگوریتم IC دارای ایراد ناپایداری می باشد که می تواند ناشی از استفاده از عمل مشتق در الگوریتم باشد. علاوه بر این تحت سطوح کم تابش، فرآیند مشتق گیری مشکل و تأثیر نویز بیش تر می گردد [۱۶].

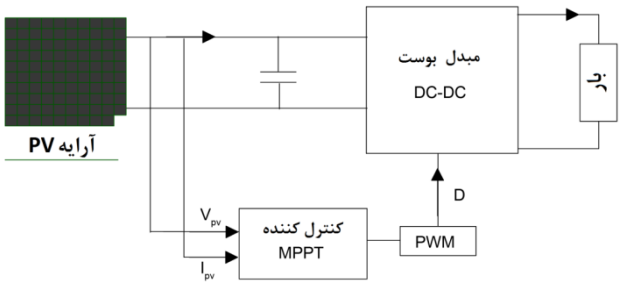


شکل ۲: فلوچارت الگوریتم IC [۱۶].

به طور کلی، روش های ردیابی مبتنی بر الگوریتم IC از گام تکرار با اندازه ثابت استفاده می کنند. میزان اندازه گام بستگی به دقت و سرعت ردیابی دارد. ممکن است جهت افزایش بهبود سرعت ردیابی اندازه گام افزایش و یا جهت افزایش دقت، اندازه گام کاهش یابد. لازم به ذکر است که اگر جهت افزایش دقت، اندازه گام کاهش یابد، سرعت همگرایی الگوریتم از دست می رود [۵]. جهت حل این مشکل پژوهشگرانی در مرجع [۱۷] یک تکنیک IC با اندازه گام متغیر را ارائه کردند. این تکنیک به طور خودکار اندازه گام را برای نقطه کار آرایه خورشیدی تنظیم می کند. زمانی که تشخیص داده شود نقطه کار از MPP دور شده است، الگوریتم اندازه گام را جهت هر چه زودتر رسیدن به MPP افزایش می دهد. زمانی که نقطه کار نزدیک MPP باشد، اندازه گام کاهش می یابد. از طریق تغییر اندازه گام، هم سرعت و هم دقت الگوریتم افزایش می یابد. نتایج عملی ای که توسط مرجع مذکور روی سیستم PV با مبدل موازی باک صورت گرفت، حاکی از مؤثر بودن این الگوریتم است. از این گذشته، مدل سازی سیگنال کوچک مهر تأییدی بر پایداری سیستم تقریباً در تمامی موارد است [۱۷].

۳- بررسی و آنالیز دقیق الگوریتم های صنعتی P&O و IC

همان گونه که متذکر شدیم، مزایای دو الگوریتم P&O و IC موجب صنعتی تر شدن آن ها شده است. در این بخش به شبیه سازی و آنالیز این دو روش پرداخته می شود. جهت شبیه سازی از یک سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه استفاده شده که دیاگرام آن در شکل (۳) نشان داده شده است. این سیستم در MATLAB/Simulink مدل سازی شده است. در این سیستم به طور فرضی از یک مبدل بوست به عنوان واسط بین بار مقاومتی و آرایه PV بهره گرفته شده است اندوکتانس مبدل بوست 2mH، خازن ورودی 9.4 μF و خازن خروجی 144 μF است. جهت بررسی عمل ردیابی نقطه توان ماکزیمم، هر دو الگوریتم P&O و IC را با شرایط یکسان مد نظر قرار می دهیم. توسط شبیه سازی در شرایط یکسان، عملکرد نسبی هر دو الگوریتم به طور صحیحی مشخص خواهد شد. هدف اصلی ما بیش تر مشخص کردن عملکرد دینامیکی هر دو الگوریتم بر حسب سرعت همگرایی سیستم روی نقطه توان ماکزیمم و نوسانات حول MPP در حالت ماندگار است.



شکل ۳: بلوک دیاگرام سیستم PV مستقل از شبکه.

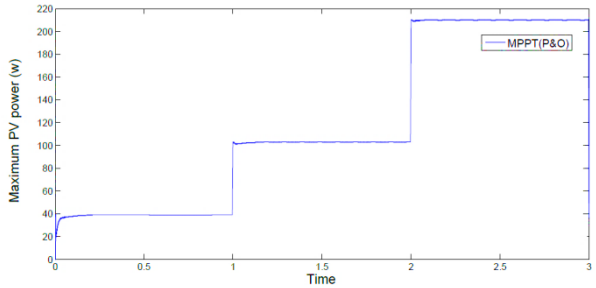
پنل های PV طبق مدل های صنعتی انتخاب شده اند که مشخصات آن ها در جدول (۱) بیان شده است. توان خروجی آرایه خورشیدی متأثر از دمای محیط و تابش است اما به طور معمول تغییرات در دما آرام تر و آهسته تر از تغییرات در تابش است؛ به همین دلیل دما تأثیر کمتری روی پاسخ دینامیکی سیستم خواهد داشت. به همین علت در شبیه سازی دمای کار آرایه خورشیدی روی ۲۵ سانتی گراد ثابت بوده و تأثیرات تابش به طور جزئی مد نظر قرار گرفته اند. در عمل، حرکت سریع و تناوبی ابرها منجر به تغییرات ناگهانی توان خروجی آرایه می گردد. بنابراین، الگوریتم ها باید تحت سطوح تابش متفاوتی جهت بررسی عملکرد دینامیکی MPPT مورد آزمایش واقع شوند.

جدول (۱): اطلاعات اصلی مدل فتوولتائیک KD50SE-1P و مدل فتوولتائیک HIP-210NH1-BO-1

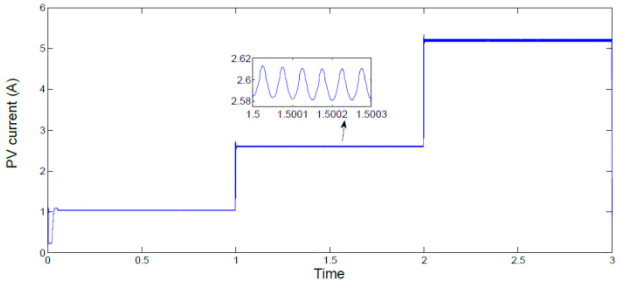
مدل PV	HIP-210NH1-	KD50SE-1P

	BO-1	
شرایط آب و هوایی	G=1000 w/m^2, T = 25˚C	G=1000 w/m^2, T = 25˚C
توان ماکزیمم	210 (W)	50 (W)
جریان اتصال کوتاه	5.57 (A)	3.07 (A)
ولتاژ مدار باز	50.9 (V)	22.1 (V)
جریان در توان ماکزیمم	5.09 (A)	2.8 (A)
ولتاژ در توان ماکزیمم	41.3 (V)	17.9 (V)

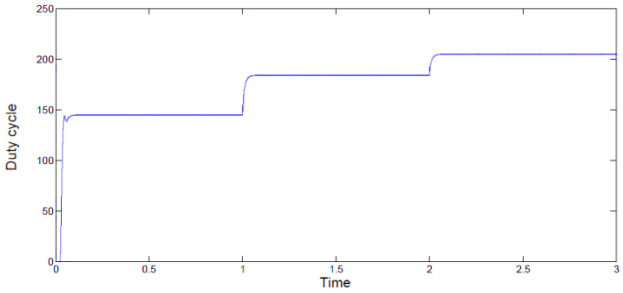
اشکال (۴) تا (۹) نتایج شبیه سازی را نشان می دهند. در آزمایش ها، تابش به طور ناگهانی از 200 w/m^2 به 500 w/m^2 در طی ۱ ثانیه افزایش و سپس مجدداً به 1000 w/m^2 در طی ۲ ثانیه ارتقاء یافته است. عملکرد و کارائی هر دو الگوریتم P&O و IC با اندازه گام ثابت ۰٫۰۳ و شرایط مشابه مورد بررسی قرار گرفته است. به ازای تغییرات تابش، هر دو الگوریتم اقدام به تنظیم دیوتی سایکل اعمال شده به مبدل بوست جهت ردیابی MPP جدید می نمایند.



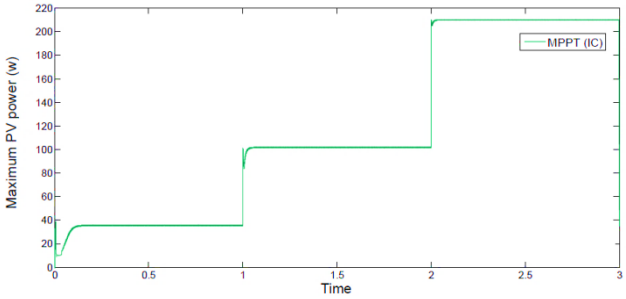
شکل ۴: توان خروجی ۲۱۰ وات ماژول PV با استفاده از الگوریتم P&O.



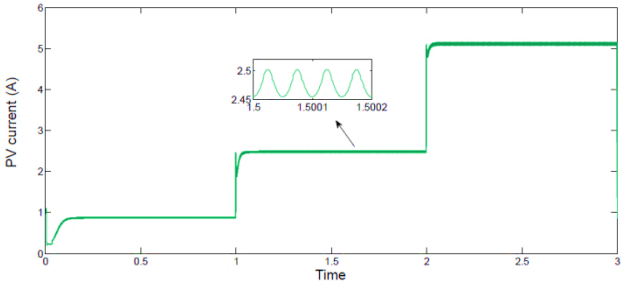
شکل ۵: جریان خروجی ۵٫۰۹ آمپر ماژول PV با استفاده از الگوریتم P&O.



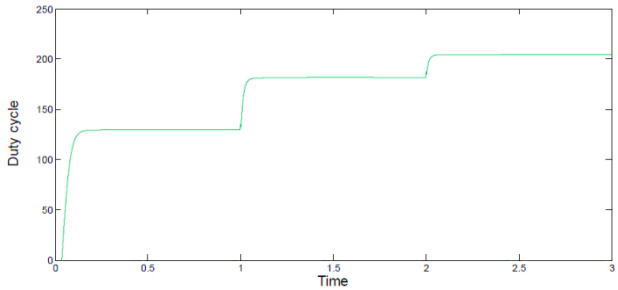
شکل ۶: سیگنال دیوتی سایکل سوئیچ با بهره گیری از الگوریتم P&O.



شکل ۷: توان خروجی ۲۱۰ وات ماژول PV با استفاده از الگوریتم IC.



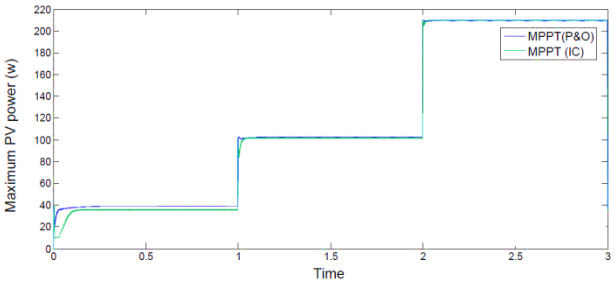
شکل ۸: جریان خروجی ۵٫۰۹ آمپر ماژول PV با استفاده از الگوریتم IC.



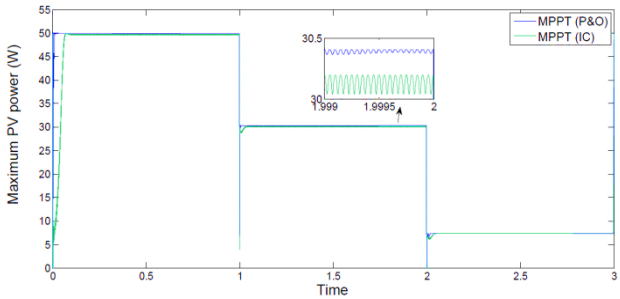
شکل ۹: سیگنال دیوتی سایکل سوئیچ با بهره گیری از الگوریتم IC.

در اکثر کاربردهای عملی و صنعتی، بار متصل شده به سیستم PV مرتباً تغییر می کند. بسته به این که بار با چه ظرفیتی به سیستم اعمال شود، ممکن است عملکرد MPPT تغییر یابد. به همین علت نیاز است تا آنالیزی از تغییر بارها با شرایط تابش متغیر نیز انجام گیرد. اشکال (۱۰) تا (۱۲) این آنالیز را نشان می دهند. همان طور که مشاهده می گردد نتایج حاکی از آن است که هر دو الگوریتم دارای پاسخ سریعی هستند

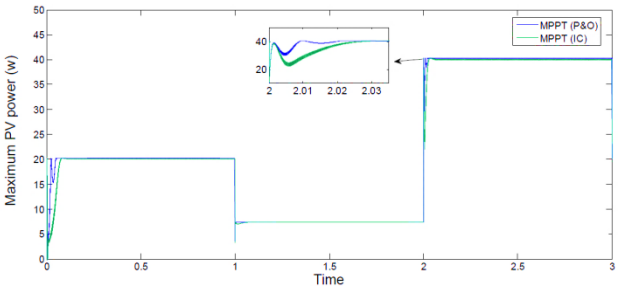
اما اگر به دقت بنگریم متوجه خواهیم شد که الگوریتم P&O دارای پاسخی سریعتر و نوسانات کمتر پس از رسیدن به حالت ماندگار است.



شکل ۱۰: توان خروجی ۲۱۰ وات ماژول PV با بار ۱۹۵ اهمی: مقایسه P&O با IC تحت شرایط افزایش تابش.



شکل ۱۱: توان خروجی ۵۰ وات ماژول PV با بار ۱۰۰ اهمی: مقایسه P&O با IC تحت شرایط کاهش تابش.



شکل ۱۲: توان خروجی ۵۰ وات ماژول PV با بار ۱۰۰ اهمی: مقایسه P&O با IC تحت شرایط کاهش و افزایش تابش.

همان گونه که مشاهده گردید الگوریتم P&O دارای عملکرد دینامیکی سریعتری بوده و در حالت ماندگار نیز تحت شرایط تغییرات تابش و بار، بهتر از الگوریتم هدایت افزایشی عمل می کند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری از روش های MPPT متعارف به عمل آمد و به طور کامل به مزایا و معایب هر یک پرداخته شد. در میان روش های MPPT مختلف دو روش P&O و IC صنعتی تر می باشند؛ لذا آنالیزهای دقیقی از آن ها انجام گرفت. در طی تغییرات لحظه ای تابش، الگوریتم IC در MPP نوسانات کمتری داشت. جهت آنالیز های بیش تر هر دو روش تحت شرایط تغییرات بار مورد بررسی قرار گرفتند؛ نتایج حاکی از آن است که هر دو الگوریتم دارای پاسخ سریعی هستند اما اگر به دقت بنگریم متوجه خواهیم شد که الگوریتم P&O دارای پاسخی سریعتر و نوسانات کمتر پس از رسیدن به حالت ماندگار است. بنابراین برای کاربردهلی صنعتی این روش می تواند در شرایط نرمال، اولویت را بخود اختصاص دهد.

مراجع

[1] M. B. HASHIM, "OPTIMIZATION OF STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM BY IMPLEMENTING FUZZY LOGIC MPPT CONTROLLER", MSc Thesis, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia,JULY, 2013.

[2] Femia, N., Lisi, G., Petrone, G., Spagnuolo, G. and Vitelli, M. "Distributed Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays: Novel Approach and System Analysis." IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55, 2610- 2621.

[3] Ali, A.N.A., Saied, M.H., Mostafa, M.Z. and Abdel-Moneim, T.M. "A Survey of Maximum PPT Techniques of PV Systems." 2012 IEEE Energytech, Cleveland, 29-31 May 2012, 1-17.

[4] T. Esram, P.L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, June 2007.

[5] S. E. Babaa, M. Armstrong, V. Pickert, "Overview of Maximum Power Point Tracking Control Methods for PV Systems" Journal of Power and Energy Engineering, 2014, 2, 59-72.

[۶] اسلامیان کوپائی.مهدی، مظلوم.سید ضیاء، ادبی اردکانی.داود، سلیمی.محسن، "کنترل فازی هوشمند جهت ردیابی نقطه توان ماکزیمم ماژول های فتوولتائیک"، دومین همایش ملی فناوری‌های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، ۳ مهر ۱۳۹۳.

[7] Faranda, R. and Leva, S., "Energy Comparison of MPPT Techniques for PV Systems." WSEAS Transactions on Power Systems, 3,2008, 447-455.

[8] Sera, D., Kerekes, T., Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., "Improved MPPT Method for Rapidly Changing Environmental Conditions." 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2,2006, 1420-1425.

[9] Narendiran, S., "Grid Tie Inverter and MPPT—A Review". 2013 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 20-21 March 2013, 564-567.

[10] Barakati, M., Kazerani, M. and Aplevich, D. "Maximum Power Tracking Control for a Wind Turbine System Including a

Matrix Converter". IEEE Power & Energy Society General Meeting, 24,2009, 705-713.

[11] Chen, L.R., Tsai, C.H., Lin, Y.L. and Lai, Y.S. " A Biological Swarm Chasing Algorithm for Tracking the PV Maximum Power Point." IEEE Transactions on Energy Conversion, 25,2010, 484-493.

[12] Elgendy, M.A., Zahawi, B. and Atkinson, D.J. ,"Assessment of Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation Techniques for PV Pumping Applications." IEEE Transactions on Sustainable Energy, 3,2012, 21-33.

[13] Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G. and Vitelli, M. "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method." IEEE Transactions on Power Electronics, 20,2005, 963-973.

[14] Dorofte, C., Borup, U. and Blaabjerg, F. "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.2005.219714

[15] Salas, V., Olias, E., Barrado, A. and Lazaro, A.,"Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-Alone Photovoltaic Systems.", Solar Energy Materials and Solar Cells, 90, 1555-1578, 2006.

[16] Liu, C., Wu, B. and Cheung, R. "Advanced Algorithm for MPPT Control of Photovoltaic Systems." Canadian Solar Buildings Conference, Montreal, 20-24 August 2004.

[17] Lee, J.H., Bae, H. and Cho, B.H. ," Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size." 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2006, Portoroz, 30 August-1 September 2006, 603-607.