

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

ردیابی بیشینه توان سیستم فتوولتائیک یک طبقه متصل به شبکه تکفاز به روش کنترل فازی

جلال شرافتی^۱، احمد حاجی پور^۲^۱دانشگاه حکیم سبزواری، sherafatypee@gmail.com^۲دانشگاه حکیم سبزواری، a.hajipour@hsu.ac.ir

چکیده - این مقاله با حذف مبدل بوست (DC/DC) در سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه روش جدیدی را برای ماکزیمم کردن توان خروجی PV ارائه می دهد. در این روش با تغییر زاویه ولتاژ خروجی اینورتر و تنظیم توان تزریقی به شبکه تک فاز، توان خروجی PV را در مقدار ماکزیمم آن نگه می دارد. روش کنترل برپایه وجود رابطه بین شدت تابش خورشید و فاز ولتاژ نقطه حداکثر توان است. با داشتن این رابطه در هر لحظه با اندازه گیری شدت تابش، فاز نقطه حداکثر توان بدست می آید. این رابطه با استفاده از تقریبگر فازی در چند دوره آموزش بدست می آید. از ویژگی های این روش: در این نوع سیستم PV وابستگی نقطه حداکثر توان به دمای محیط به شدت کاهش یافته علاوه بر آن با حذف مبدل DC/DC هزینه اولیه نصب را کاهش داده و همچنین قابلیت اطمینان سیستم افزایش می یابد. کلید واژه- ردیابی بیشینه توان، سیستم فتوولتائیک، شبکه تکفاز، کنترل فازی

۱- مقدمه

نیاز غیر قابل انکار و رو به افزایش بشر به انرژی الکتریکی از یک سو و کاهش منابع انرژیهای تجدیدناپذیر و آلودگی های زیست محیطی از سوی دیگر؛ پژوهشگران را بر آن داشت تا به سوی بهره برداری از منابع لایزال و دوستدار محیط زیست گام بردارند. از انرژی های تجدید پذیر می توان به انرژی حاصل از نور خورشید اشاره نمود. [۱]

انرژی فتوولتائیک (PV) یکی از منابع تولید پراکنده می باشد و از منابعی است که در حال حاضر و در آینده بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز بشر را تأمین می کند. بیشترین سهم استفاده از این نوع انرژی در آینده به صورت سیستمهای متصل به شبکه خواهد بود. در حال حاضر کشورهای اروپایی با اتخاذ سیاستهای حمایتی باعث گسترش سیستم های متصل به شبکه در کشور خود شده اند. [۲].

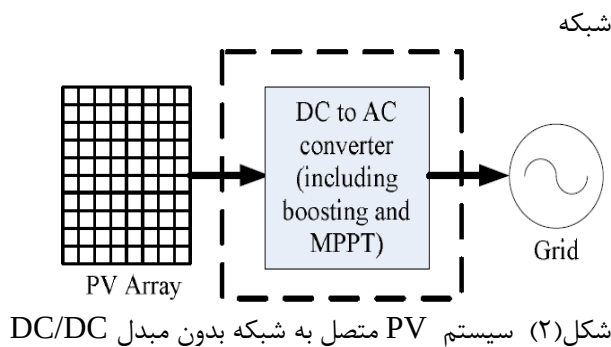
همزمان با گسترش استفاده از انرژی خورشیدی، فناوری های متفاوتی نیز برای اتصال این سیستم به شبکه توسعه یافته است. سیستم های PV را می توان به دو دسته طبقه بندی کرد: ۱- سیستم های PV مستقل از شبکه (Stand alone) ۲- سیستم های PV متصل به شبکه (Grid Connected) که سیستم های PV متصل به شبکه به دلیل کاربرد بیشتر مورد توجه و تمرکز اکثر محققین قرار گرفته است. ساختار اتصال PV به شبکه نیز دوتنوع است:

۱- سیستم فتوولتائیک با استفاده از مبدل DC/DC و یک مبدل DC/AC به شبکه متصل می شود در این ساختار، اینورتر نیازمندی های مربوط به اتصال به شبکه را تأمین می نماید و مبدل بوست زمینه استخراج حداکثر توان، به وسیله کنترل باس DC در خروجی ارایه را فراهم می کند. این ساختار دارای دو مبدل می باشد که باعث افزایش قیمت و کاهش بازده و کارایی سیستم میشود. (شکل ۱)

۲- در این نوع با حذف مبدل DC/DC، فقط اینورتر (DC/AC) واسط شبکه و PV خواهد بود شکل (۲). کنترل کننده بیشینه توان روی متغیرهای قابل تنظیم اینورتر اعمال می شود. به دلیل کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان سیستم این ساختار بهتر و به صرفه تر است. [۳-۷]

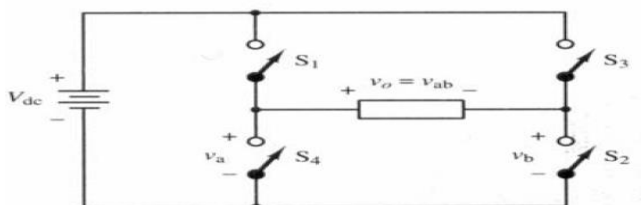
در کارهای گذشته از ساختار PV نوع اول، (استفاده از دومبدل به عنوان واسط) استفاده شده است که باعث افزایش قیمت سیستم می شود و از نظر اقتصادی به صرفه نخواهد بود علاوه بر آن قابلیت اطمینان سیستم کاهش می یابد. و همچنین از نوع یک طبقه با اینورتر منبع امپدانس تک فاز استفاده شده است که در این حالت نیز هارمونیک زیادی را به شبکه تحمیل می کند. در این مقاله نوع Single Stage و اینورتر تک فاز با کنترل SPWM برای اتصال PV به شبکه پیشنهاد شده است.

برای حداکثر کردن توان تولیدی سیستم فتوولتائیک مشکلاتی وجود دارد و آن غیر خطی بودن مشخصه



۳- اینورتر تکفاز جریان تمام پل

برای اینکه بتوان ولتاژ DC سمت PV را به شبکه سراسری متصل کرد از اینورتر تکفاز استفاده شده است. شکل مدار این اینورتر در شکل (۵-الف) نشان داده شده است برای تولید جریان سینوسی در خروجی اینورتر از روش کلید زنی SPWM استفاده شده است. در این روش با مقایسه یک سیگنال سینوسی با یک موج مثلثی به عنوان موج کریر، سیگنال های سوئیچینگ کلیدهای S_1 - S_2 همانند شکل (۳-ب) تولید می شود. مدار معادل اینورتر متصل به شبکه در شکل (۴) نشان داده شده است. E ولتاژ خروجی اینورتر و ولتاژ شبکه را نشان می دهد. X_s معادل اندوکتانس نشی ترانس واسط شبکه و اینورتر و اندوکتانس فیلتر LC است که به صورت سری در نظر گرفته می شود. برای توضیح بیشتر شکل (۵) فاز دیگرام هارمونیک های اول سیستم را نشان می دهد. ϕ زاویه بین ولتاژ و جریان خروجی اینورتر است. باتوجه به فاز دیگرام میتوان روابط (۱) تا (۳) را استحصال کرد.



شکل (۳-الف) اینورتر تک فاز

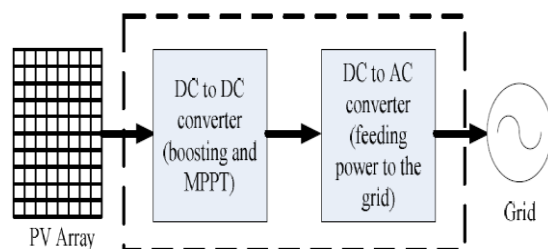
باتوجه به رابطه (۳) اگر ولتاژ شبکه (U) و اندوکتانس X_s را ثابت در نظر بگیریم، توان تزریقی PV به شبکه، به ولتاژ اینورتر (E) و زاویه δ بستگی دارد. این پارامترها توسط اینورتر قابل تنظیم هستند. زاویه δ با تغییر در زاویه موج سینوسی پایه و ولتاژ E باندیس مدولاسیون m_a تنظیم می شود. [۱۰-۱۲]

خروجی سلول خورشیدی و همچنین تغییر پذیر بودن این مشخصه نسبت به تابش نور و حتی دمای سلول می باشد. از این رو باید سیستمی برای کنترل سلول های خورشیدی در نظر گرفته که علاوه بر قرار دادن سلول خورشیدی در بهترین نقطه کار، در صورت تغییر این نقطه به واسطه شرایط آب و هوایی بتواند به طور مستمر نقطه حداکثر توان انتقالی سیستم را به سرعت ردیابی کند و سلول خورشیدی را در نقطه بهینه قرار دهد. این نوع یافتن و ردیابی مستمر را "ردیابی حداکثر توان انتقالی MPPT" می نامند.

۲- تکنیک های ردیابی توان ماکزیمم

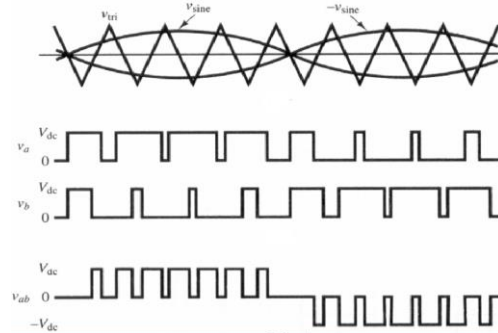
تاکنون تکنیکهای مختلفی برای ردیابی حداکثر توان ارائه و اجرا گردیده است. اصول کلی روشها را می توان به چهار دسته تقسیم کرد: دسته اول روش های هستند که یک الگوریتم پایه ای را دنبال می کنند. از این نوع روش ها می توان به روش آشوب و مشاهده P&O همچنین صعود تپه و رسانایی افزایشی INC نام برد. دسته دوم روش های مبتنی بر مدل سازی سلول خورشیدی هستند. دسته سوم روش های مبتنی بر رابطه موجود بین نقطه کار و پارامترهای سلول خورشیدی است. دسته چهارم روش های کنترل هوشمند است. در این نوع روش ها کنترل منطق فازی یا منطق فازی و شبکه های عصبی مصنوعی به کار رفته است [۸-۹]

به طور کل، نمی توان هیچ روشی را مطلقاً بهترین روش قلمداد کرد، درحالی که برای انتخاب سیستم ردیابی حداکثر توان ملاک های متفاوتی از قبیل هزینه ساخت، سرعت ردیابی، دقت نقطه یافت شده، سادگی پیاده سازی، عمومیت داشتن و... وجود دارد که هر روشی را در توان های مختلف می توان بهتر و مؤثرتر قلمداد کرد.

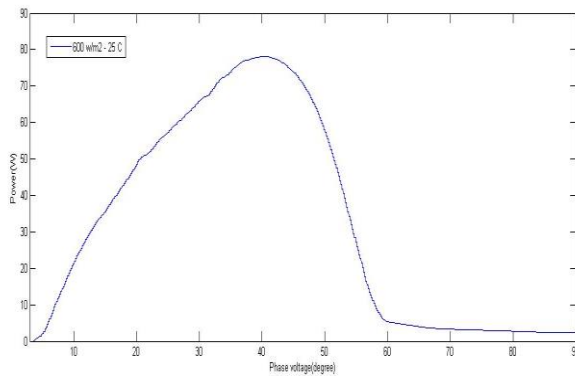


شکل (۱) استفاده از مبدل بوست و اینورتر برای اتصال PV به

سلول است و به ازای دما و تابش ثابت در یک نقطه از منحنی مشخصه توان ماکزیمم می باشد و هدف رسیدن به این نقطه ماکزیمم است. تا بدین وسیله بازده سیستم حداکثر شده و از سیستم استفاده بهتری شود. همان طور که در قسمت قبل بیان شد توان خروجی از اینورتر با اختلاف زاویه ولتاژ اینورتر با شبکه رابطه مستقیم دارد. شکل (۶). یعنی می توان بجای تنظیم ولتاژ خروجی PV، فاز ولتاژ خروجی اینورتر را طوری تنظیم نمود که توان خروجی PV ماکزیمم شود. بلوک دیگرام مدار پیشنهادی به صورت شکل (۷) است. در این روش بر اساس شدت تابش خورشید، فاز ولتاژ خروجی اینورتر

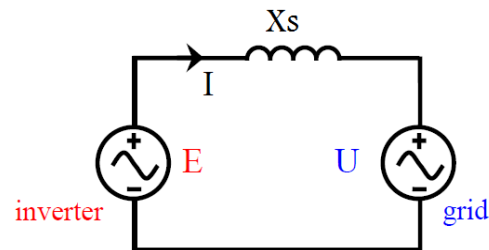


شکل (۳- ب) کلید زنی اینورتر به روش SPWM



شکل (۶) منحنی توان خروجی بر حسب فاز ولتاژ اینورتر

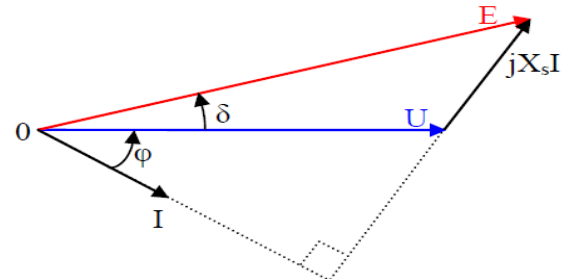
مشخص خواهد شد تا توان دریافتی از PV ماکزیمم شود. توان ماکزیمم PV با شدت تابش خورشید رابطه دارد از طرفی فاز ولتاژ اینورتر تعیین کننده توان تزریقی به شبکه است. بنابراین به ازای هر مقداری از تابش خورشید زاویه ی ولتاژ وجود دارد که به ازای آن توان PV ماکزیمم می شود که می توان آن را به صورت رابطه $\alpha_m = F(I)$ بیان کرد که I شدت تابش خورشید و α_m فازی است که در آن توان ماکزیمم است. برای بدست آوردن α_m باید تابع $F(I)$ را برای سیستم خورشیدی بدست آورد. در این مقاله با استفاده از سیستم فازی به عنوان تقریبگر فازی به ازای تعدادی از زوج مرتب ها، این تابع محاسبه می گردد. برای بدست آوردن تابع $F(I)$ باید تعداد مناسبی زوج مرتب های فاز نقطه کار با شدت تابش (α_{mi}, I_i) را در اختیار داشت. در این مقاله این تعداد ۲۴ در نظر گرفته شده است. (بدیهی است که افزایش تعداد نقاط، محاسبات را طولانی تر و دقت را بالاتر می برد و در روش اصلی تغییری ایجاد نمی کند). برای این منظور



شکل (۴) مدار معادل اینورتر متصل به شبکه

۴- روش پیشنهادی کنترل حداکثر توان

توان تولیدی آرایه PV وابسته به میزان تابش خورشید و دمای سلول است و به ازای دما و تابش ثابت در یک نقطه از منحنی مشخصه توان ماکزیمم می باشد و هدف رسیدن به این نقطه ماکزیمم است. تا بدین وسیله بازده سیستم حداکثر شده و از سیستم استفاده بهتری شود.



شکل (۵): فاز دیگرام ولتاژ شبکه (U) و زاویه بار (δ)

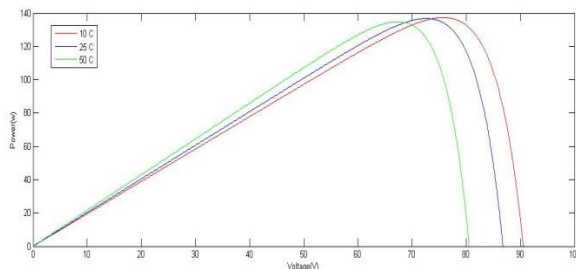
$$\dot{E} = \dot{U} + jX_s \dot{I} \quad (1)$$

$$E \sin(\delta) = X_s I \cos(\phi) \quad (2)$$

$$P = UI \cos(\phi) = \frac{U}{X_s} \sin(\delta) \quad (3)$$

توان تولیدی آرایه PV وابسته به میزان تابش خورشید و دمای

قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. اما ماکزیمم توان با افزایش دما تغییر محسوسی نداشته است. در نتیجه توان ماکزیمم بیشتر به سطح تابش بستگی دارد و وابستگی ولتاژتوان ماکزیمم (V_{MPP}) به دما بیشتر است. در روشی که در این مقاله ارائه شده با حذف مبدل بوست نیازی به تغییر ولتاژ خروجی PV برای رسیدن به نقطه MPP نیست. و این دلیل محکمی است که از تغییرات دما صرف نظر کنیم و فقط تابش خورشید ورودی کنترلر فازی باشد. برای اینکه شبیه سازی به واقعیت نزدیکتر باشد از اطلاعات هواشناسی برای میزان تابش و دما در یک روز استفاده شده است. ۲۴ نمونه بین حداقل و حداکثر تابش خورشید

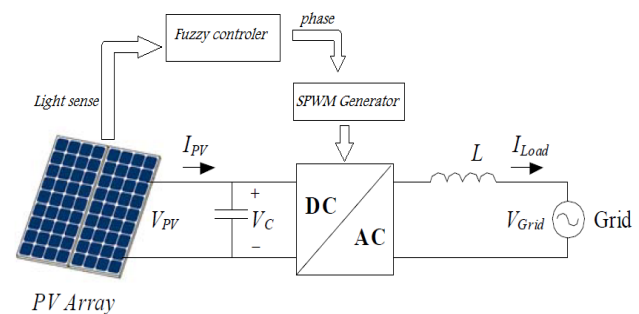


شکل (۹): تاثیر تغییرات دما بر منحنی مشخصه PV

انتخاب شده است. منظور از شرایط واقعی این است که با افزایش تابش خورشید طبق اطلاعات هواشناسی، دما نیز افزایش یافته است. شکل (۱۰) ردیابی حداکثر توان سیستم خورشیدی را به روش فازی در دما 25°C و تابش 800 W/m^2 نشان می دهد. همانطور ملاحظه می شود سیستم پیشنهادی به خوبی توانسته است به حداکثر توان PV در زمان کوتاه برسد و همچنین حول نقطه MPP نوسان کمتری دارد.

اما ممکن است همیشه شرایطی که به سیستم آموزش داده شده اتفاق نیافتد یعنی ممکن است دمای محیط بالا باشد اما بدلیل ایجاد سایه جزئی روی صفحه خورشیدی تابش خورشید کم باشد و بالعکس. به همین دلیل در شکل (۱۱) سیستم در هر دو حالت نرمال و غیر نرمال تست و باهم مقایسه شده است. در شرایط نرمال سیستم در تابش خورشید 400 W/m^2 و دمای 21°C کار کرده سپس تابش خورشید به 1000 W/m^2 و دمای 31°C تغییر کرده و در نهایت تابش خورشید به 600 W/m^2 و دمای 25°C کاهش یافته است. در شرایط غیر نرمال فرض شده تابش خورشید مانند حالت نرمال باشد با این تفاوت که در هر شرایط

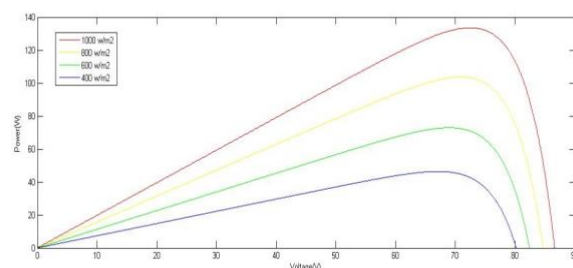
باید α_m را در شدت تابش متناظر اندازه گیری و بدست آورد. برای یافتن α_m در تابش مورد نظر لازم است فاز ولتاژ خروجی اینورتر (از صفر تا 90° درجه) تغییر کند سپس فاز مورد نظر که در آن توان ماکزیمم می شود یافت شود. فاز یافت شده و شدت تابش، زوج مرتبی را بدست می دهد که در جدولی، برای استفاده در تقریب زدن فازی تابع $F(I)$ ذخیره می شود. هرچند که هرچه زوج مرتب ها زیاد باشد بازهم تمام شدت تابش ها را پوشش نمی دهند. برای این منظور تابع تقریب فازی برای $F(I)$ را بدست می آوریم و با توجه به اندازه گیری شدت تابش و قرار دادن آن در تابع تقریب فازی به وجود آمده، فاز نقطه کار سیستم یا همان α_m را بدست می آوریم و هر لحظه با اندازه گیری شدت تابش این عمل تکرار می شود.



شکل (۷): بلوک دیاگرام مدار پیشنهادی

۵- شبیه سازی

در ابتدا منحنی مشخصه خروجی سلول خورشیدی رسم شده است و تاثیر تغییرات تابش مطابق شکل (۸) و تغییرات دما مطابق شکل (۹) در منحنی توان - ولتاژ خروجی نمایش داده شده است.



شکل (۸): تاثیر تغییرات تابش بر منحنی مشخصه PV

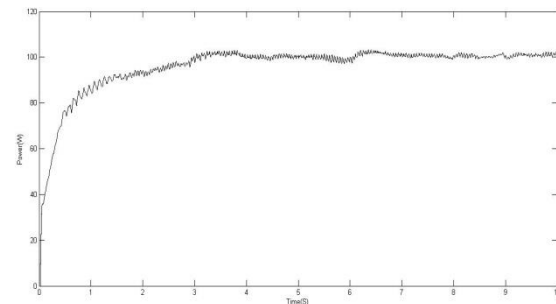
شکل (۹) تاثیر دما را بر منحنی مشخصه خروجی PV نشان میدهد. با افزایش دما ولتاژی که توان ماکزیمم می شود به طور

پیشنهادی است. به منظور صحه گذاری روش پیشنهادی، نتایج شبیه سازی ارائه شده است و چگونگی ردگیری نقطه حداکثر توان بررسی شد. نتایج شبیه سازی دقت و سرعت روش پیشنهادی را نشان می دهد.

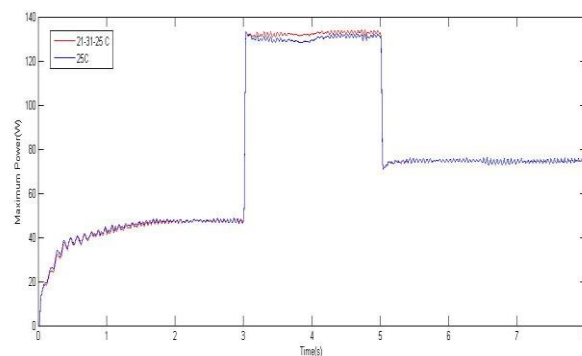
مراجع

- [۱] K. Kobayashi, I. Takano, Y. Sawada, "A study on a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions", in IEEE Power Eng. Soc. Gen.Meet., pp. 2612.2617, 2003.
- [۲] H. Watanable, T. Shimizu, G. Kimura, "A novel utility interactive photovoltaic inverter with generation control circuit" IEEE Industrial Electronics Society, Vol. 3, pp. 721-725, sep.1998.
- [۳] J. M. Kwon and K. H. Nam, "Photovoltaic Power Conditioning System With Line Connection", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 53, pp. 1048-1054, August 2006.
- [۴] Y. K. Lo, et al., "Grid-Connected Photovoltaic System With Power Factor Correction", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, pp. 2224-2227, May 2008.
- [۵] C. Liu, et al., "Advanced Algorithm for MPPT Control of Photovoltaic Systems", Canadian Solar Building Conference, Montreal, August 2004.
- [۶] D. Swetha, T. Rajani, "Simulation of MPPT Algorithm for a Grid-Connected Photovoltaic Power System", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT, Vol. 1 Issue 7, Sept 2012).
- [۷] Slamet Riyadi, "Single-Phase Single-Stage PV-Grid System Using VSI Based on Simple Control Circuit", Departement of Electrical Engineering, Soegijapranata Catholic University (Jan 13, 2013)
- [۸] Kuei-Hsiang Chao & Meng-Huei Wang & Yu-Hsu Lee, "an extension neural network based incremental mppt method for a pv system", International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guilin, 10-13 July, 2011
- [۹] S. Lalounia & D. Rekiouaa & T. Rekiouaa & E. Matagne, "Fuzzy logic control of standalone photovoltaic system with battery storage", Journal of Power Sources, Vol. 193, pp.899-907, 2009
- [۱۰] Tran Cong Binh, Mai Tuan Dat, Ngo Manh Dung, Phan Quang An, Pham Dinh Truc, Nguyen Huu Phuc, "Active and Reactive Power Controller for Single-Phase Grid Connected Photovoltaic Systems", Industry Applications (INDUSCON), 9th IEEE/IAS International Conference on, 8-10 Nov. 2010

تابشی در 25°C بوده و تغییر نکند. قابل ذکر است احتمال اینکه این نوع اغتشاشات در حالت واقعی اتفاق بیافتد بسیار کم است و آوردن این اغتشاشات با چنین سرعتی فقط جنبه بررسی و چگونگی ردیابی سیستم MPPT در بدترین شرایط را دارد.



شکل (۱۰): ردگیری توان ماکزیمم به روش فازی در دما و تابش ثابت



شکل (۱۱): ردگیری توان ماکزیمم به روش فازی و مقایسه آن در شرایط نرمال و غیر نرمال

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، روشی به منظور ردیابی حداکثر توان در صفحات خورشیدی بر پایه منطق فازی ارائه شده است. اساس روش پیشنهاد شده در این مقاله بر پایه وجود رابطه بین شدت تابش و فاز ولتاژ خروجی اینورتر در نقطه حداکثر توان است. با داشتن این رابطه، در هر لحظه با اندازه گیری شدت تابش، فاز ولتاژ نقطه حداکثر توان اینورتر قابل محاسبه خواهد بود.

با استفاده از روش تقریبگر تابع فازی بدون نیاز به داشتن مدل سلول خورشیدی در چند دوره آموزش به دست می آید. بی نیاز بودن از مدل صفحه خورشید، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه ها با حذف مبدل بوست از ویژگی های روش

[۱۱] Mohamed Louzazni, Elhassan Aroudum, " Intelligent PID-Fuzzy Logic Control for Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic Inverter", Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA-14), 9th International Conference on, 7-8 May 2014

[1۲] C. Jena, Amruta Das, C.K. Panigrahi, M. Basu, "Modelling and Simulation of Photovoltaic Module with Buck-Boost Converter", International Journal of Advanced Engineering and Nano Technology (IJAENT), ISSN: 2347-6389, Volume-1, Issue-3, February 2014

[1۳] Tran Cong Binh, Mai Tuan Dat, Ngo Manh Dung, Phan Quang An, Pham Dinh Truc and Nguyen Huu Phuc, "Active and Reactive Power Controller for Single-Phase Grid- Connected Photovoltaic Systems ", Industry Applications (INDUSCON), 9th IEEE/IAS International Conference on, 8-10 Nov. 2010

[1۴] Riad KADRI, Jean-Paul GAUBERT, Gérard CHAMPENOIS, Mohamed MOSTEFA, "Design of a Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic System Based on Deadbeat Current Control with LCL Filter ", 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2010

[1۵] Yan Xu, Sarina Adhikari, D. Tom Rizy, Fangxing Li, Philip Irminger, "Real and Reactive Power Control of a Three-Phase Single-Stage PV System and PV Voltage Stability " IEEE Transactions, 2012

[1۶] Richard A. Nelson, Simon Y. Foo, Indranil Bhattacharya, "Simplified Modeling of Photo voltaic Maximum Power Point Tracking using MATLAB", India Conference (INDICON), 7-9 Dec. 2012

[۱۷] ح. ایجادي، ا. حاجي زاده، ردیابی حداکثر توان در سیستم تولید توان خورشیدی بر پایه تقریبگر فازی تابع ولتاژ نقطه کار با شدت تابش، سیستم های هوشمند در مهندسی برق، سال سوم، شماره دوم، تابستان ۹۱.

[۱۸] ر. قره خانی، م. محمدیان، ع. یزدیان ورجانی، م. حسین پور، سیستم فتولتائیک متصل به شبکه سه فاز بر اساس اینورتر منبع امپدانس با جبران سازی توان راکتیو، بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، ۲۰۰۳.