

بهبود عملکرد سیستم‌های خورشیدی با استفاده از یک روش ترکیبی بر پایه الگوریتم مشاهده - دنبال و منطق فازی

نوع مطالعه: پژوهشی

محمد عابدینی*^۱، یوسف منصوری^۲

۱-استادیار دانشکده فنی مهندسی، گروه برق، دانشگاه آیت اله بروجردی، بروجرد، ایران*

m.abedini@abru.ac.ir

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی-غیر دولتی آفرینش علم گستر بروجرد، بروجرد،

ایران

yousef_mansuri@yahoo.com

چکیده: به علت هزینه زیاد سوخت‌های فسیلی و نیز تأثیر آن‌ها روی محیط‌زیست، استفاده از منابع انرژی جایگزین در دهه اخیر افزایش یافته است که در بین منابع انرژی جایگزین، انرژی خورشیدی گزینه‌ای مطلوب برای کاربردهای مختلف می‌باشد. در این مقاله از یک روش ترکیبی شامل مشاهده و دنبال و نیز منطق فازی به منظور افزایش توان تولیدی در پنل‌های خورشیدی استفاده شده است. از آنجا ای که دما و تابش در پنل‌های خورشیدی متغیر می‌باشند الگوریتم فازی جهت دنبال کردن این تغییرات بجای کنترل‌کننده‌های مرسوم PID جایگزین گردیده است به منظور نشان دادن عملکرد روش پیشنهادی نتایج با دو روش دیگر مقایسه شده که حاکی از رضایتمند بودن عملکرد روش پیشنهادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: روش مشاهده و دنبال کردن - روش منطق فازی - مبدل باک بوست

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

نام نویسنده‌ی مسئول: محمد عابدینی

نشانی نویسنده مسئول: دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق، دانشگاه آیت اله بروجردی، بروجرد، ایران

۱- مقدمه

به علت هزینه زیاد سوخت‌های فسیلی و نیز تأثیر آن‌ها روی محیط‌زیست، استفاده از منابع انرژی جایگزین در دهه اخیر افزایش یافته است. که در بین منابع انرژی جایگزین، انرژی خورشیدی گزینه‌ای مطلوب برای کاربردهای مختلف می‌باشد [۱، ۲]. از جمله کاربردهای آن، استفاده از پنل‌های خورشیدی است که مورد توجه زیادی قرار گرفته است. به منظور امتیاز فراوانی که سیستم‌های انرژی خورشیدی در دارند، سبب ایجاد رقابت میان طراحان این سیستم‌ها گردید. که نتیجه آن افزایش اطمینان و بازده انتقال انرژی این سیستم‌ها می‌باشد.

به منظور افزایش بازده، پنل‌های خورشیدی باید در نقطه حداکثر توانشان کار کنند. ردیابی نقطه حداکثر توان^۱ (MPPT) یکی از اهداف مهم و اساسی در سیستم پنل خورشیدی می‌باشد و تا کنون روش‌های زیادی جهت این کار ارائه شده است [۳]. روش‌های MPPT از نظر پیچیدگی، تعداد و نوع سنسورهای مورد نیاز، سرعت پاسخ، هزینه و سخت‌افزار پیاده‌سازی با یکدیگر متفاوت هستند. در حالت کلی روش‌های MPPT به دو گروه *offline* و *online* دسته‌بندی می‌شوند.

روش‌های *offline* بسیار متداول بوده و براساس داده‌های ورودی به پنل مانند دما و تابش کار می‌کنند. که در ادامه به برخی از این روش‌ها می‌پردازیم.

در روش ولتاژ مدار باز نسبت ولتاژ بی‌باری سلول‌ها به ولتاژ متناظر با نقطه حداکثر توان آن‌ها تقریباً ثابت (بین ۰.۷ تا ۰.۷۵) می‌باشد. لذا با اندازه‌گیری ولتاژ بی‌باری سلول و مقایسه آن با ولتاژ دو سر بار، فرمان لازم به سیستم کنترل سوچینگ تنظیم‌کننده ولتاژ داده می‌شود به طوری که همواره حداکثر توان ممکن به بار منتقل گردد [۴].

در روش جریان اتصال کوتاه نسبت جریان اتصال کوتاه سلول‌ها به جریان متناظر با نقطه حداکثر توان آن‌ها تقریباً ثابت (بین ۰.۸ تا ۰.۸۵) می‌باشد. با اندازه‌گیری جریان

اتصال کوتاه سلول و مقایسه آن با جریان بار، فرمان لازم به سیستم کنترل سوچینگ تنظیم‌کننده ولتاژ برای انتقال حداکثر توان ممکن ارائه می‌شود [۵]. این روش در مقایسه با روش ولتاژ مدار باز دقیق‌تر بوده اما هزینه پیاده‌سازی آن بیشتر خواهد بود.

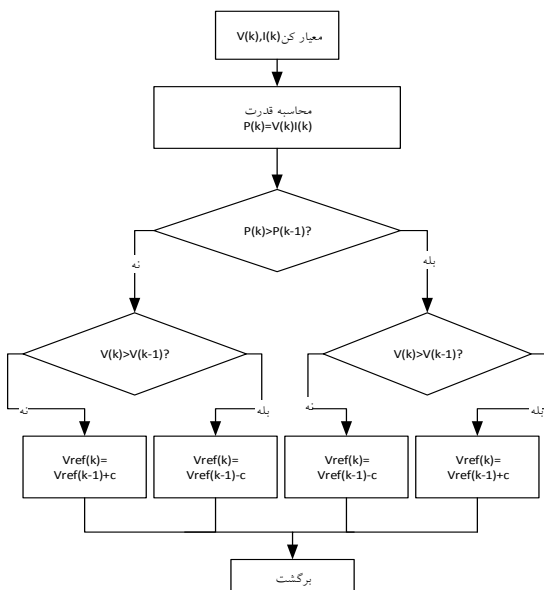
در روش‌های *online* مقادیر لحظه‌ای از جریان و ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دنبال تغییراتی که در پنل ایجاد می‌شود سیگنال جدیدی جهت کنترل سوچینگ‌ها تولید خواهد شد. که در ادامه به برخی از این روش‌ها می‌پردازیم.

روش هدایتی افزایشی^۲ (INC) بر اساس اینکه شیب منحنی توان منحنی آرایه خورشیدی در MPP برابر با صفر، در سمت چپ MPP مثبت و یا در سمت راست MPP منفی است، کار می‌کند. شکل (۱) این مسئله را نشان می‌دهد [۶].

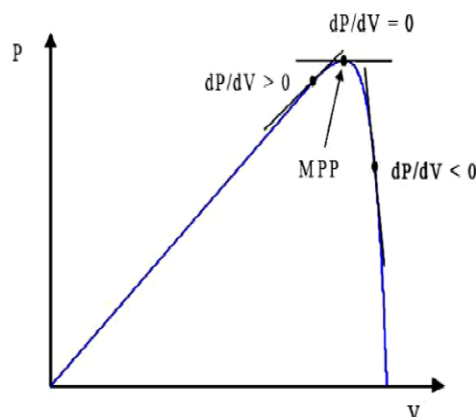
روش اغتشاش و مشاهده^۳ (P&O) بر اساس ایجاد یک اغتشاش در ولتاژ آرایه خورشیدی و اندازه‌گیری تغییرات توان آن می‌باشد. سپس بر اساس علامت تغییرات توان، جهت تغییرات ولتاژ تعیین می‌شود [۷ و ۱۰]. شکل (۲) فلوجارت روش P&O را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، این روش با نمونه‌گیری از ولتاژ و جریان، پنل خورشیدی در هر لحظه، توان لحظه‌ای خروجی آرایه خورشیدی را محاسبه می‌کند.

در مرجع [۸] برای کنترل و حداکثر یابی توان صفحات خورشیدی از روش کنترلی گام‌به‌گام استفاده شده است و مبدل مورد استفاده برای کنترل مبدل باک-بوست است، در انتها نتایج با روش‌های معمول همچون (P&O) مقایسه شده است. نتیجه آنکه میزان ریپل ولتاژ، آورشوت و سرعت پایداری حالت گذرا و ماندگار بهبود یافته است.

^۲ Incremental Conductance^۳ Perturb and observe^۱ Maximum Power Point Tracking



شکل ۲ - فلوچارت روش مشاهده و دنبال کردن [۷]



شکل ۱- علامت dp/dv در نقاط مختلف مشخصه توان-ولتاژ [۷]

در مرجع [۱۲] از یک کنترلر (PID)^۵ پسیو برای اتصال صفحات خورشیدی به شبکه قدرت و ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده شده است، در این مقاله از الگوریتم گرگ خاکستری برای بهبود نحوه کنترل بهره گرفته شده است. در این روش جدید تغییرات تابش مستقیم خورشیدی، تغییر دما، افت ولتاژ شبکه قدرت و عدم قطعیت را نیز بررسی کرده است. در مرجع [۱۳] از روش آشفتگی جریان (CPA)^۶ و الگوریتم جریان اتصال کوتاه جزئی (FSCC)^۷ برای ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده شده است الگوریتم پیشنهادی دارای پاسخ سریع‌تر بوده و نوسانات حالت پایدار را حذف کرده است عیب این روش را می‌توان در اغتشاش جریان در نظر گرفت که باعث اختلال در سیستم شده و احتمال خطا را بالا برده است.

در این مقاله روش ترکیبی online برای ردیابی حداکثر توان ارائه شده است. در این روش ابتدا به صورت online نقطه ماکزیمم توان به کمک روش مشاهده و دنبال محاسبه شده است و سپس به کمک الگوریتم فازی الگوریتم کلید

در مرجع [۹] از روش خطی سازی ورودی و خروجی برای کنترل و بهبود نقطه حداکثر توان در صفحات خورشیدی استفاده شده است؛ که برای انجام این روش مبدل پایه مبدل باک است الگوریتم موردنظر توانسته تا در برابر افت‌های ناگهانی درجه تابش و همچنین تغییرات ناگهانی نقطه کار به‌خوبی تغییرات را دنبال نماید. مبدل‌ها در حالت تابش مستقیم خوب عمل می‌کنند اما زمانی که تابش مستقیم نباشد عملکرد خوبی ندارند.

در برخی از مقالات نیز از روش‌های تکاملی جهت بهبود روش‌های offline و online استفاده شده است که در ادامه برخی از آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.

در مرجع [۱۱] از روش الگوریتم (PSO)^۴ برای کنترل و ردیابی نقطه حداکثر توان در صفحات خورشیدی استفاده شده است این روش می‌تواند نقطه حداکثر توان را در سایه‌های جزئی به‌خوبی دنبال نماید.

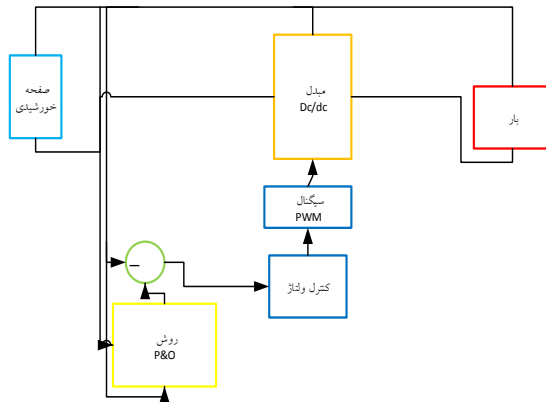
⁵ proportional-integral-derivative

⁶ current perturbation algorithm

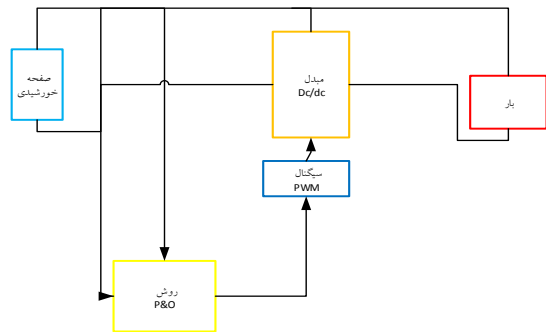
⁷ fractional short circuit current

⁴ Piratical Swarm Optimization

می‌دهد (V_{ref}) را پیدا می‌کند. سپس باید یک کنترل کننده به نحوی طراحی شود که زمان وظیفه را به نحوی تنظیم کند که ولتاژ صفحه V_{ref} را دنبال کند؛ که در شکل ۳(الف و ب) این دو روش قابل مشاهده است [۱۵].



شکل ۳ (الف) روش غیرمستقیم



شکل ۳ (ب) روش مستقیم

۳-۲- روش منطق فازی

کنترل کننده‌های فازی دارای این قابلیت می‌باشند؛ که با ورودی‌های غیردقیق و غیرخطی کار کنند؛ و به مدل ریاضی دقیق نیز نیازی ندارند. در شکل ۴ فلوجارت روش منطق فازی قابل مشاهده است. بلوک فازی وظیفه تبدیل داده‌های عددی به داده‌های فازی را به عهده دارد؛ و بلوک استنتاج، قاعده و داده‌های فازی را استنتاج می‌کند و بلوک غیر فازی نتیجه فازی را به صورت غیر فازی تبدیل می‌کند.

در این مقاله یک کنترل کننده فازی دارای دو ورودی و یک خروجی است. دو متغیر ورودی خطا (E) و تغییرات

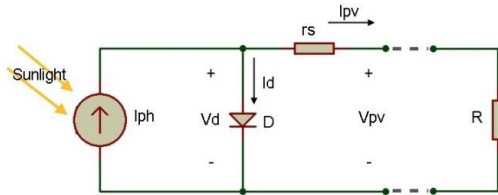
زدنی مناسب برای مبدل باک فراهم می‌گردد. الگوریتم پیشنهادی دارای پاسخ سریع می‌باشد و نوسانات حالت پایدار را حذف کرده است. ساختار مقاله در ادامه عبارت است از: در قسمت سوم، فرمول بندی مسئله ارائه می‌شود، در قسمت چهارم، طرح پیشنهادی معرفی می‌گردد، نتیجه شبیه سازی در قسمت پنجم نمایش داده شده است و در نهایت نتیجه گیری آورده شده است.

۳- فرمول بندی مسئله

۳-۱- الگوریتم مشاهده و دنبال

یکی از ساده ترین الگوریتم‌ها برای پیاده سازی MPPT، الگوریتم مشاهده و دنبال ($P&O$) است. مزیت اصلی این روش ساده بودن آن است؛ و همین امر موجب رایج شدن آن در دستگاه‌های کنترلی جدید شده است. علاوه بر این، در این الگوریتم نیازی به دانش قبلی از ویژگی‌های PV نمی‌باشد؛ یعنی ردیابی نقطه حداکثر توان صرف نظر از شدت تابش و دما انجام می‌شود. از طرفی زمانی که تابش خورشید خیلی سریع تغییر نمی‌کند، کارایی خوبی را از خود نشان خواهد داد. الگوریتم روش مشاهده و دنبال ($P&O$) یا افزایش یا کاهش ولتاژ یا جریان ترمینال آرایه خورشیدی را در فواصل زمانی معین و سپس مقایسه توان خروجی کنونی PV یا توان خروجی نمونه گیری شده قبلی، اقدام به ردیابی نقطه توان حداکثر می‌نماید. اگر ولتاژ کار آرایه PV تغییر یابد و توان نیز افزایش یابد، سیستم نقطه کار آرایه PV را در آن جهت تنظیم می‌کند؛ و در غیر این صورت نقطه کار به جهت مخالف حرکت می‌کند. به بیانی دیگر اگر $P(k)$ بزرگ تر از $P(k-1)$ باشد، آنگاه تغییر ولتاژ بعدی در همان جهت حفظ می‌گردد. در غیر این صورت به جهت مخالف تغییر وضعیت می‌دهد در هر نقطه انحراف، الگوریتم، جهت کار در همان نقطه ادامه می‌یابد. در حالت روش مشاهده و دنبال به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند مبدل مورد نظر خود را کنترل کند. در روش مستقیم ($P&O$) مستقیماً زمان وظیفه را به منظور انجام تطبیق امپدانس و در نتیجه انتقال حداکثر توان تنظیم می‌کند. در روش غیرمستقیم ($P&O$) ولتاژی که در آن حداکثر توان رخ

هر سلول خورشیدی را می‌توان با یک مدار معادل الکتریکی مدل نمود. مدل‌های مختلفی برای سلول خورشیدی بیان شده است که شکل (۵) یک نمونه از مدل‌های ارائه شده است.



شکل ۵ - مدل سلول خورشیدی

رابطه ولتاژ خروجی با پارامترهای دیگر برای مدل ارائه شده به شکل زیر است:

$$V_{PV} = \frac{T_{cell}}{q/nk} \times \ln \left(\frac{I_{ph} - I_{pv} + I_s}{I_s} \right) - r_s I_{pv} \quad (4)$$

معرفی پارامترها در جدول (۲) آمده است.

| معرفی | پارامتر |
|--------------------------|------------|
| ولتاژ خروجی سلول خورشیدی | V_{PV} |
| جریان خروجی سلول خورشیدی | I_{PV} |
| دمای سلول (کلوین) | T_{cell} |
| باریک الکترون | Q |
| ثابت بولتزمن | K |
| فاکتور انتشار | N |
| جریان اشباع معکوس | I_s |
| جریان وابسته به شدت تابش | I_{ph} |
| مقاومت سری سلول | r_s |

پارامتر I_{ph} ضریب از شدت تابش L است.

$$I_{ph} = \alpha_1 L \quad (5)$$

خطا (CE) در معادلات (۱) و (۲) نشان داده شده است. معادله (۳) خروجی روش فازی را نشان می‌دهد [۱۶]. در جدول (۱) پارامترهای روابط معرفی شده است.

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (1)$$

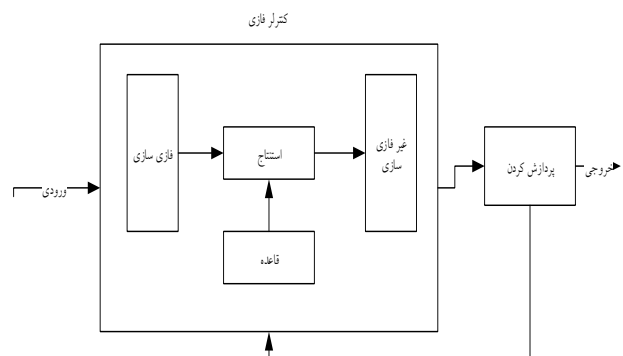
$$= \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \Delta E \quad (2)$$

$$D(k) = D(k-1) + \Delta D \quad (3)$$

جدول (۱) معرفی پارامترهای رابطه ۱، ۲ و ۳

| خطا | $E(k)$ |
|--------------------|------------|
| تغییرات خطا | $CE(k)$ |
| اختلاف توان | ΔP |
| اختلاف ولتاژ | ΔV |
| توان صفحه خورشیدی | $P(k)$ |
| توان مرحله $k-1$ | $P(k-1)$ |
| ولتاژ صفحه خورشیدی | $V(k)$ |
| ولتاژ $k-1$ | $V(k-1)$ |
| اختلاف خطا | ΔE |
| خطای قبلی | $E(k-1)$ |
| خروجی | $D(k)$ |
| خروجی قبلی | $D(k-1)$ |
| اختلاف خروجی | ΔD |



شکل ۴ فلوجارت روش منطق فازی

۳-۳. پنل خورشیدی

| جدول (۵) مقادیر مبدل باک بوست | |
|--|-------------------------|
| 5Ω | مقاومت (۲) |
| 20mH | سلف (L_2) |
| 0.5mH | سلف (L_1) |
| $1000\mu\text{f}$ | خازن (C_0) |
| 0.6Mf | خازن (C_1) |
| $140\mu\text{f}$ | خازن (C_2) |
| Ron= 0.001Ω (مقاومت) Lon= 0H (اندوکتانس) Vf= 0.8V (ولتاژ مستقیم) Ic= 0A (جریان اولیه) Rs= 100Ω (مقاومت استاتیکی) Cs= 50nf (خازن استاتیکی) | دیود (D_1) |
| Ron= 0.001Ω (مقاومت) Lon= 0H (اندوکتانس) Vf= 0.8V (ولتاژ مستقیم) Ic= 0A (جریان اولیه) Rs= 100Ω (مقاومت استاتیکی) Cs= 50nf (خازن استاتیکی) | دیود (D_2) |
| Ron= 0.6Ω Lon= 0H Rd= 0.01Ω Vf= 0V Ic= 0A خاموش Rs= $1e5\Omega$ Cs=inf | کلید تحریک (M_1) |
| Ron= 0.6Ω Lon= 0H Rd= 0.01Ω Vf= 0V Ic= 0A خاموش Rs= $1e5\Omega$ Cs=inf | کلید تحریک (M_2) |

در نتیجه، رابطه ولتاژ نقطه حداکثر توان خروجی را می‌توان تابعی از شدت تابش L و دمای سلول T_{cell} دانست

برای ولتاژ نقطه حداکثر توان V_{mpp} باید از توان خروجی P_O نسبت به ولتاژ مشتق و برابر با صفر در نظر گرفت، ولتاژ به دست آمده از این رابطه، ولتاژ حداکثر توان است.

$$\frac{\partial P_O}{\partial V_{PV}} = 0 \rightarrow \quad (6)$$

$$V_{PV\text{mpp}} = f_1(L, T_{\text{cell}})$$

[۳]. در جدول‌های (۳) و (۴) مقادیر پنل خورشیدی و مقادیر بار و ولتاژ موردنیاز در خروجی که در این مقاله استفاده شده، آورده شده است.

۴- طرح پیشنهادی

در این مقاله روش ترکیبی online برای ردیابی حداکثر توان ارائه شده است. در این روش ابتدا به صورت online نقطه ماکزیمم توان به کمک روش مشاهده و دنبال محاسبه شده است و سپس به کمک الگوریتم فازی الگوریتم کلید زدنی مناسب برای مبدل باک فراهم می‌گردد. روش مشاهده و دنبال به دلیل سادگی و این‌که نیازی به پنل خورشیدی واقعی ندارد، و نیز این‌که مقدار دنبال‌کنندگی بالایی را دارا است برای تحریک اول مبدل باک بوست انتخاب شده است؛ و روش منطق فازی به این دلیل که در مقابل تغییرات ناگهانی دما و تابش پایدارتر از روش مشاهده و دنبال است برای تحریک دوم مبدل باک بوست استفاده شده است.

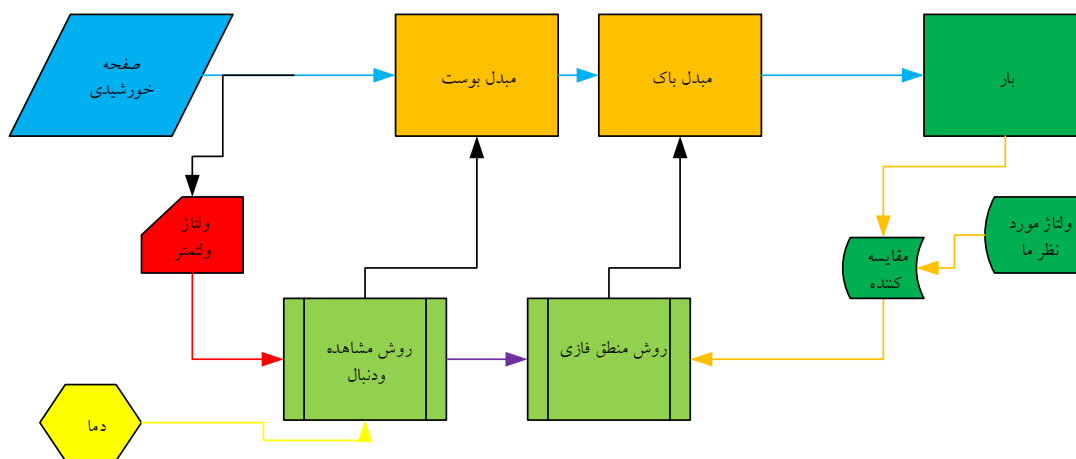
ورودی‌های روش مشاهده و دنبال را دما و ولتاژ صفحه خورشیدی در نظر گرفته شده، روش مشاهده و دنبال به دلیل این‌که خروجی عددی دارد و نیاز ما به تحریک مبدل، خروجی پالسی است به همین علت خروجی روش مشاهده و دنبال را به ورودی یک پالس ژنراتور انتقال داده و خروجی پالس ژنراتور را به تحریک اول مبدل باک بوست ارسال می‌کنیم. ورودی‌های روش منطق فازی، خروجی عددی روش مشاهده و دنبال به این‌علت از خروجی روش مشاهده و دنبال استفاده شده که روش منطق فازی بعد از روش مشاهده و دنبال عمل کند، و ورودی دیگر روش منطق فازی مقایسه خروجی بار با ولتاژ تعریف شده ما (۱۵ ولت) می‌باشد. خروجی روش منطق فازی به تحریک مبدل باک بوست ارسال می‌شود. نکته‌ای که باید در این مورد در نظر گرفت این است که خروجی روش منطق فازی پالسی است و نیازی به پالس ژنراتور مانند روش مشاهده و دنبال نمی‌باشد. مدار طرح پیشنهادی در شکل ۶ قابل مشاهده است.

| | |
|------------------------------|--|
| مدل صفحه خورشیدی | Jinzhou Jinmao Photovoltaic Technology JMPV-5M-36-85 |
| حداکثر توان | ۸۴.۹۴۴۶ وات |
| حداکثر ولتاژ | ۱۷.۶۶ ولت |
| حداکثر جریان | ۴.۸۱ آمپر |
| حداکثر ولتاژ مدارباز | ۲۲ ولت |
| حداکثر جریان اتصال کوتاه باز | ۵.۰۸ آمپر |

| | |
|--|-----------|
| مقدار بار | 5Ω |
| ولتاژ موردنیاز ما در خروجی (متناسب با نیاز قابل تغییر است) | ۱۵ ولت |

۴-۳- مبدل باک بوست

تبدیل ولتاژ مستقیم به یک ولتاژ مستقیم دیگر چاپر یا مبدل dc/dc می‌نامند. تحریک مبدل dc/dc یا از نوع GTO یا MOSFET یا BJT و یا ترستور با کموتاسیون اجباری هست. مبدل‌های dc/dc به صورت پله‌ای ولتاژ مستقیم را افزایش یا کاهش می‌دهند. مبدل باک بوست هم می‌توان خروجی بزرگ‌تر یا کمتر از ولتاژ ورودی داشته باشد؛ اما ترکیب دو مبدل باک و مبدل بوست باعث می‌شود تا ولتاژ خروجی در مبدل باک بوست بیشتر از ولتاژ ورودی آن بشود. به همین علت در این مقاله از مبدل باک بوست استفاده شده است که در جدول (۵) می‌توان مقادیر استفاده شده در این مقاله را مشاهده کرد.

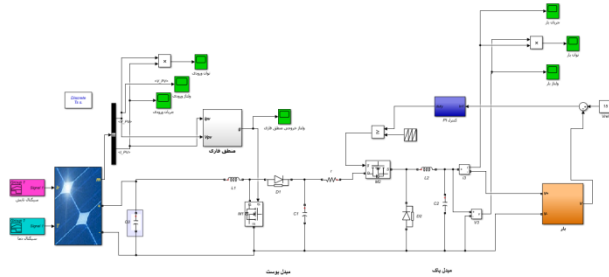


شکل ۶ مدار طرح پیشنهادی

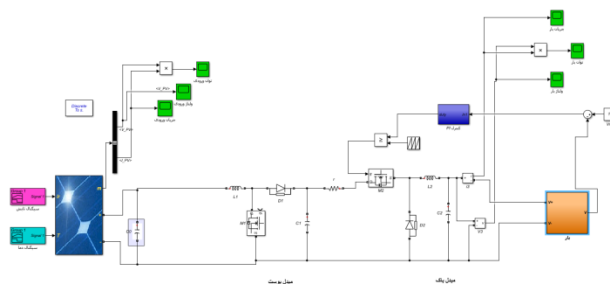
صفحه خورشیدی دارای دو سیگنال ورودی دما در بازه (۲۵ تا ۶۰ درجه) و تابش در بازه (۷۰۰ تا ۱۰۰۰) که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ قابل مشاهده است، در نظر گرفته شده است.

۵- نتایج شبیه‌سازی

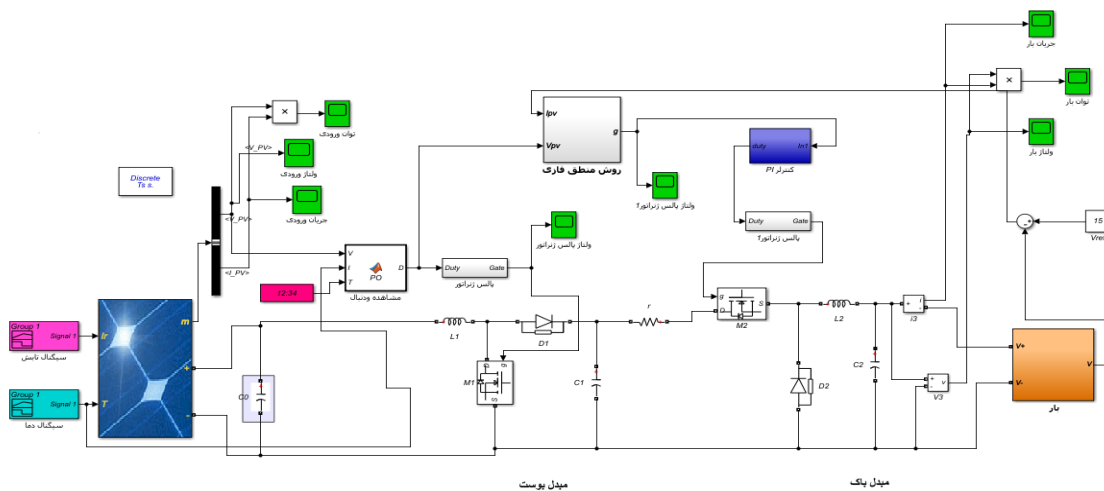
در این قسمت ساختار روش پیشنهادی ارائه شده است. روش پیشنهادی همراه با دو روش دیگر PI و منطق فازی در نرم‌افزار متلب که همان گون در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ نمایش داده شده، مقایسه شده است.



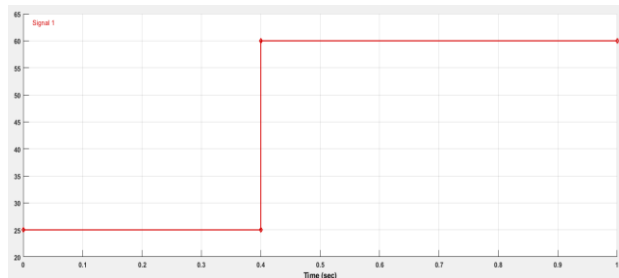
شکل ۹ مدار روش منطق فازی در نرم‌افزار متلب سیمولینک



شکل ۸ مدار روش PI در نرم‌افزار متلب سیمولینک



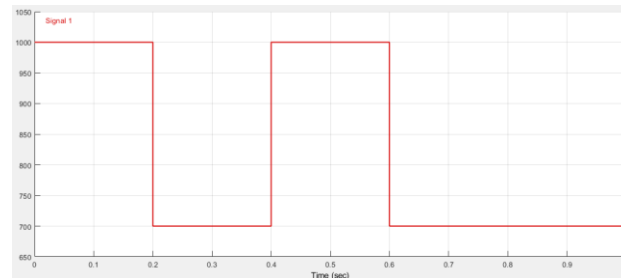
شکل ۷ مدار شبیه‌سازی شده طرح پیشنهادی در نرم‌افزار متلب



شکل ۱۱ سیگنال دما

می‌کند که با تغییر دما و تابش با تغییرات ناگهانی روی ۱۷ ولت ثابت شده است. در پارامترهای دیگر نیز به دلیل این که

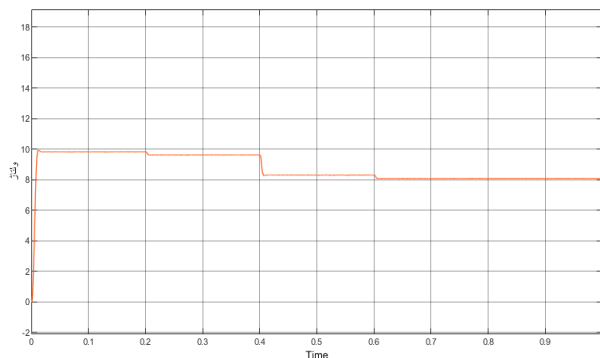
این روش کنترل دقیقی ندارد با تغییرات دما و تابش خیلی شدید تغییر می‌کند که در شکل ۱۲ به طور دقیق قابل مشاهده است. سناریو دوم: این روش برپایه منطق



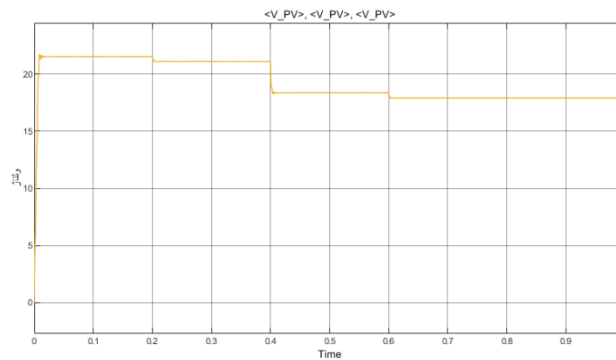
شکل ۱۰ سیگنال تابش

سناریو اول: این سناریو برپایه روش PI می‌باشد. این روش تحریک دوم مبدل را کنترل می‌کند در این روش تحریک اول مبدل اصلاً با هیچ روش تحریک نمی‌شود. مقادیر به دست آمده از این روش در جدول ۶ قابل مشاهده است. این روش به دلیل این که تحریک اول ندارد در اولین دنبال کنندگی فقط در ولتاژ ورودی مقدار ۲۲ ولت را دنبال

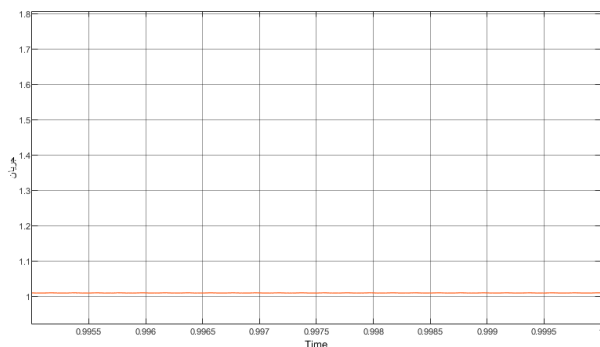
فازی است. نتایج آن در جدول ۷ قابل مشاهده است، در این روش نیز تحریک اول مبدل باک بوست توسط روش منطق



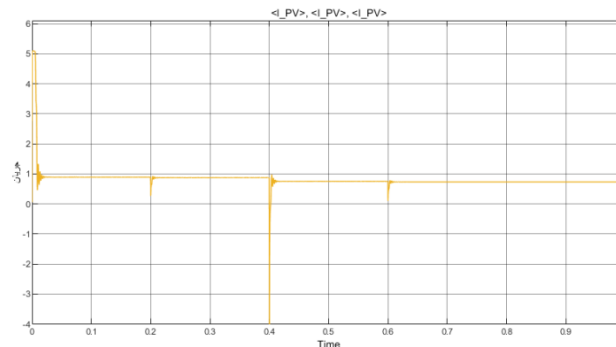
شکل ۱۲(ب) ولتاژ بار روش PI



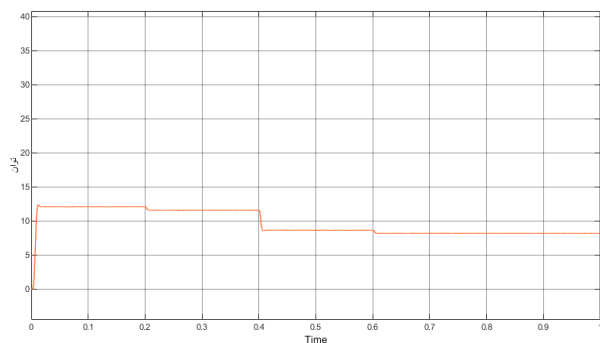
شکل ۱۲(الف) ولتاژ ورودی روش PI



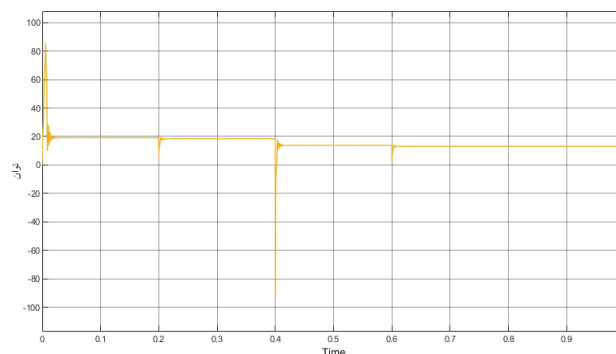
شکل ۱۲(ت) جریان بار روش PI



شکل ۱۲(پ) جریان ورودی روش PI



شکل ۱۲(ج) توان بار روش PI



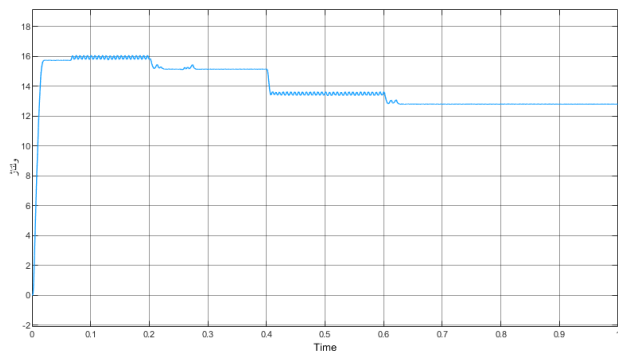
شکل ۱۲(ث) توان ورودی روش PI

منطق فازی حول نقطه MPPT نوسانات خیلی کمتری دارد و در تغییرات تابش و دما روش منطق فازی خیلی آرام تر تغییر و ثابت می شود؛ اما روش منطق فازی در تمام

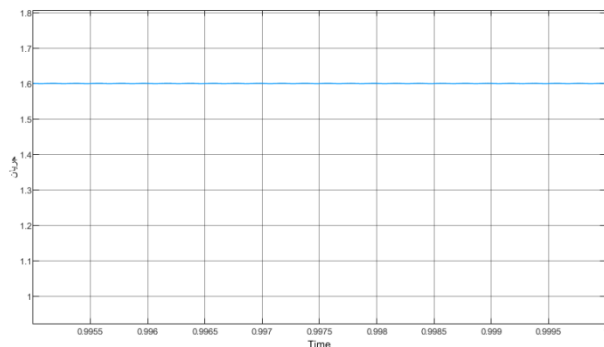
فازی انجام می شود و تحریک دوم مبدل از روش PI استفاده می شود. در روش منطق فازی با تغییر دما و تابش مقادیر پارامترها نیز تغییر می کنند؛ اما تغییرات در این روش به صورت ناگهانی و مانند روش PI نمی باشد؛ زیرا روش

PI در تغییرات دما و تابش مقادیر خود را ثابت می‌کند که در شکل ۱۴ به‌طور واضح قابل مشاهده می‌باشد.

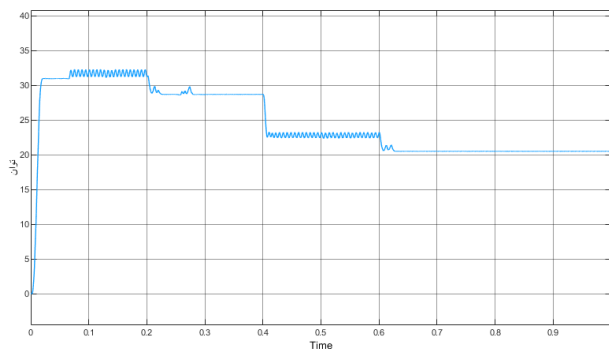
پارامترها ریپل شدیدی را دارا است که در شکل ۱۳ قابل مشاهده است. روش منطق فازی مقدار دنبال کنندگی بالاتر و دقیق‌تر از روش PI دارا می‌باشد؛ و این که روش منطق فازی همان‌گونه که بیان شد خیلی سریع‌تر از روش



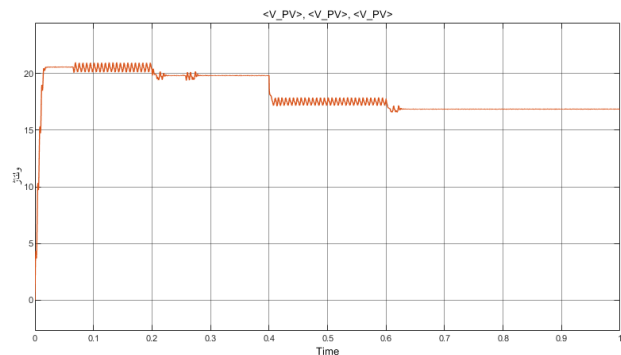
شکل ۱۳(ب) ولتاژ بار روش منطق فازی



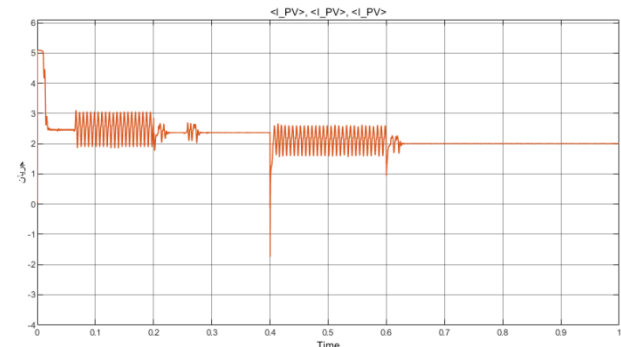
شکل ۱۳(ت) جریان بار روش منطق فازی



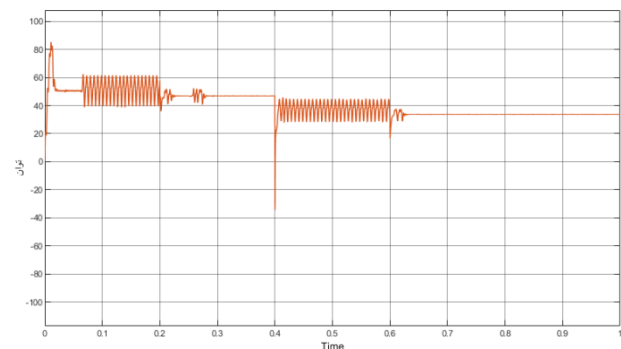
شکل ۱۳(ج) توان بار روش منطق فازی



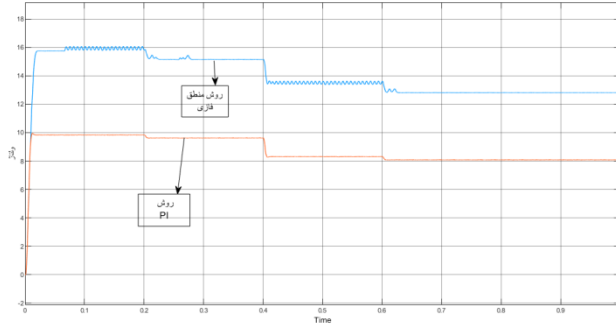
شکل ۱۳(الف) ولتاژ ورودی روش منطق فازی



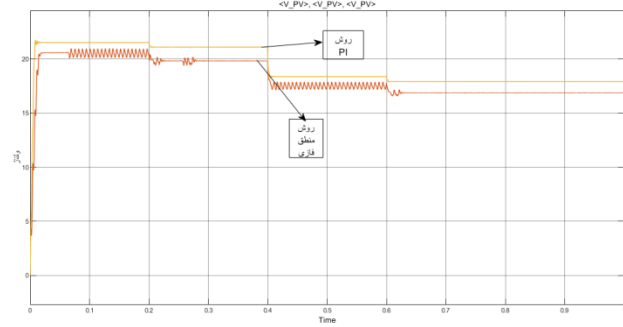
شکل ۱۳(پ) جریان ورودی روش منطق فازی



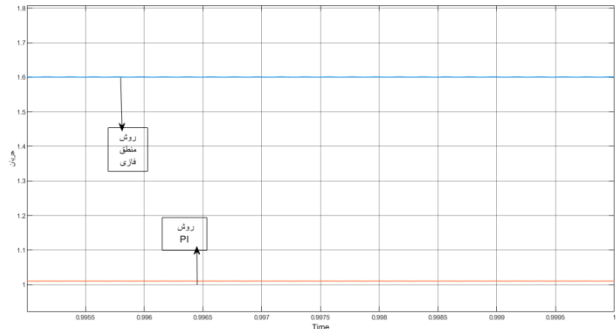
شکل ۱۳(ث) توان ورودی روش منطق فازی



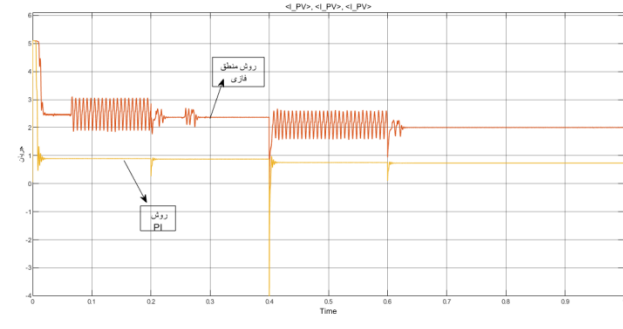
شکل ۱۴(ب) مقایسه ولتاژ بار روش منطق فازی و PI



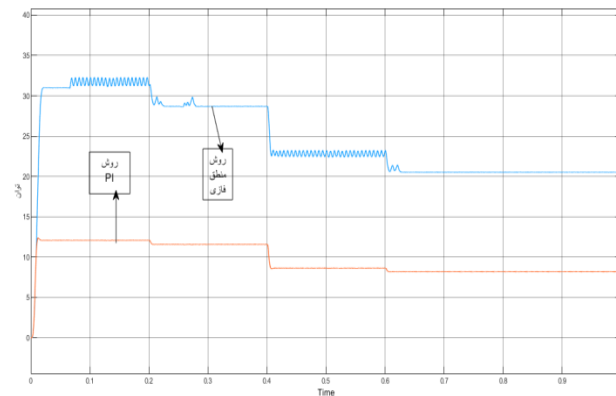
شکل ۱۴(الف) مقایسه ولتاژ ورودی روش منطق فازی و PI



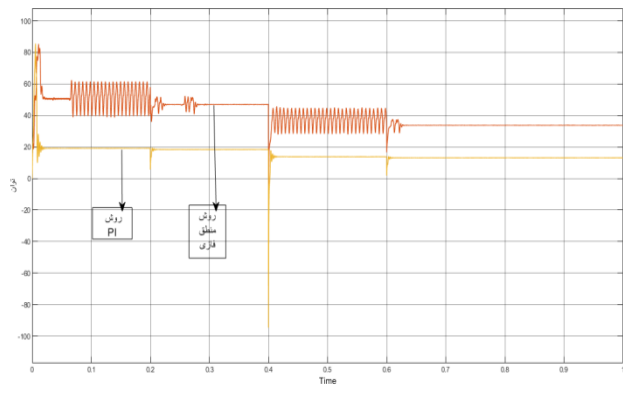
شکل ۱۴(ت) مقایسه جریان بار روش منطق فازی و PI



شکل ۱۴(پ) مقایسه جریان ورودی روش منطق فازی و PI



شکل ۱۴(ج) مقایسه توان بار روش منطق فازی و PI



شکل ۱۴(ث) مقایسه توان ورودی روش منطق فازی و PI

| | |
|------------|-------------------------------|
| توان ورودی | ۸۲ وات به سمت ۱۸ وات ثابت شده |
| توان خروجی | ۱۲ وات به سمت ۸ وات ثابت شده |

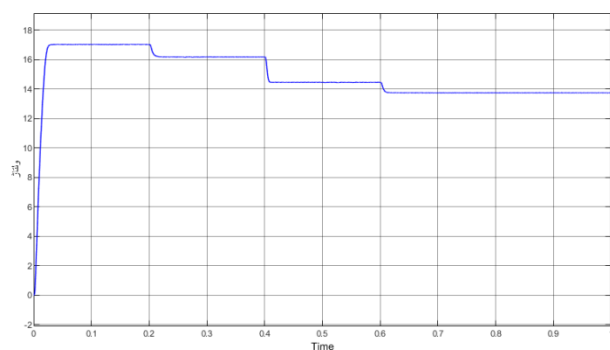
| جدول ۶ مقادیر به دست آمده روش PI | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| ولتاژ ورودی | ۲۲ ولت به سمت ۱۷ ولت ثابت شده |
| ولتاژ خروجی | ۱۰ ولت به سمت ۸.۱ ولت ثابت شده |
| جریان ورودی | ۵.۱ آمپر به سمت ۰.۹ آمپر ثابت شده |
| جریان خروجی | ۱.۱ آمپر ثابت شده |

سناریو سوم : همان گونه که بیان شده روش پیشنهادی این مقاله ترکیب روش مشاهده و دنبال با روش منطق فازی می باشد. مقادیر به دست آمده روش پیشنهادی در جدول ۸ آورده شده است. در روش پیشنهادی همان گونه که از جدول

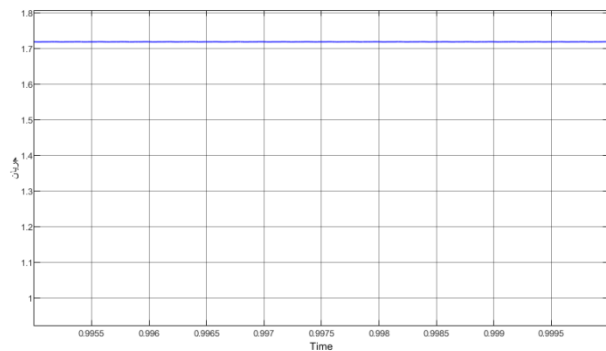
| | |
|------------|------------------------------------|
| توان خروجی | ۳۱ وات به سمت ۲۰.۵ وات ثابت شده |
|------------|------------------------------------|

| جدول ۷ مقادیر به دست آمده روش منطق فازی | |
|---|--------------------------------------|
| ولتاژ ورودی | ۲۱ ولت به سمت ۱۷.۵ ولت ثابت شده |
| ولتاژ خروجی | ۱۵.۸ ولت به سمت ۱۲.۵ ولت ثابت شده |
| جریان ورودی | ۵.۱ آمپر به سمت ۲ آمپر ثابت شده |
| جریان خروجی | ۱.۶ آمپر ثابت شده |
| توان ورودی | ۸۱ وات به سمت ۳۸ وات ثابت شده |

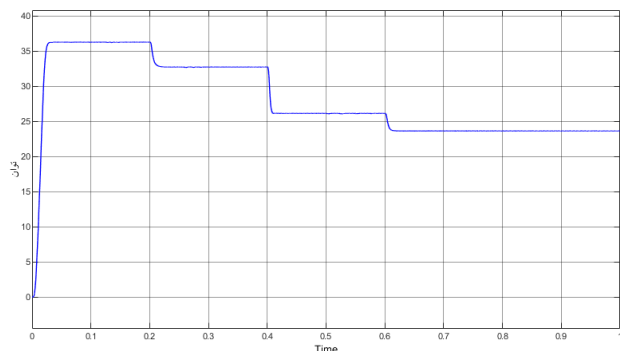
(۸) مشخص است مقادیر بالای را دنبال و انتقال داده است. این روش نه تنها به خاطر وجود روش مشاهده و دنبال، دنبال کنندگی بالای دارا است بلکه به خاطر وجود روش منطق فازی نیز در مقابل تغییرات دما و تابش خیلی سریع ثابت شده است.



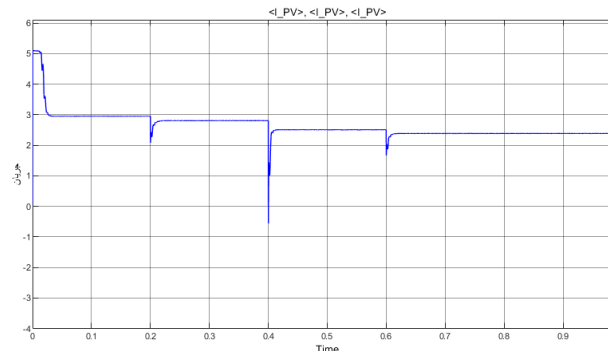
شکل ۱۵(ب) ولتاژ بار روش پیشنهادی



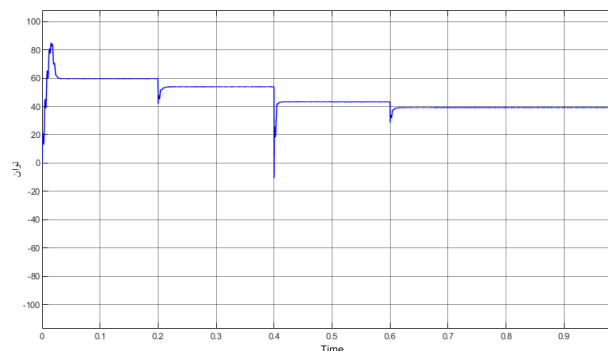
شکل ۱۵(ت) جریان بار روش پیشنهادی



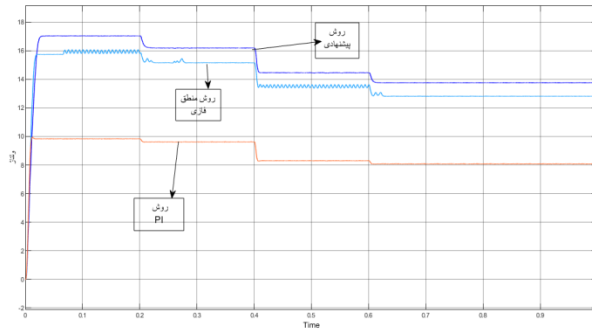
شکل ۱۵(الف) ولتاژ ورودی روش پیشنهادی



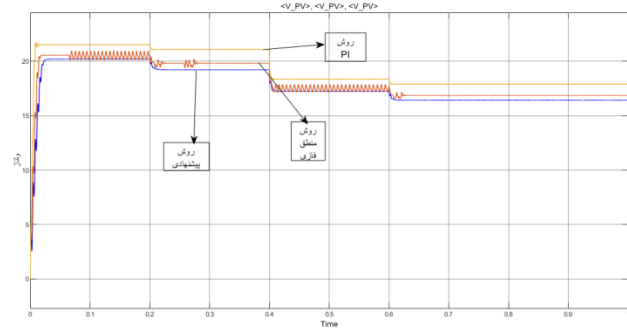
شکل ۱۵(پ) جریان ورودی روش پیشنهادی



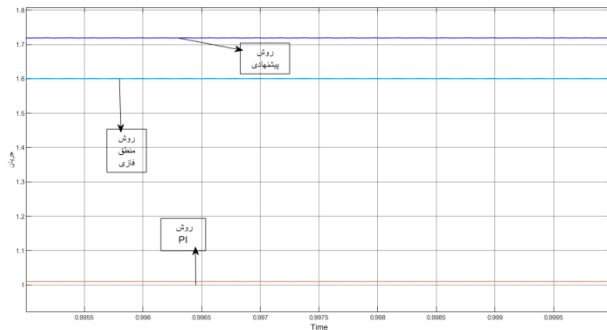
شکل ۱۵ (ج) توان بار روش پیشنهادی



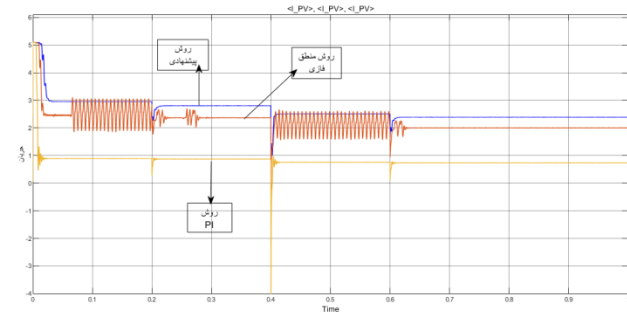
شکل ۱۵ (ث) توان ورودی روش پیشنهادی



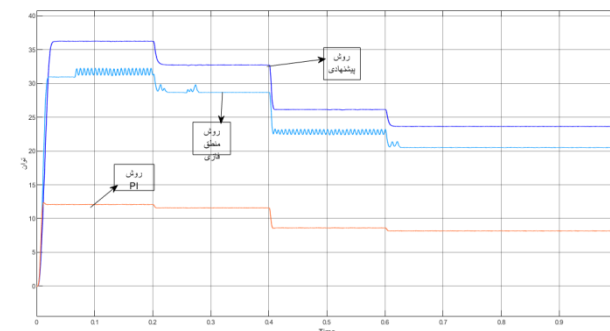
شکل ۱۶ (ب) مقایسه ولتاژ بار روش پیشنهادی با دو روش دیگر



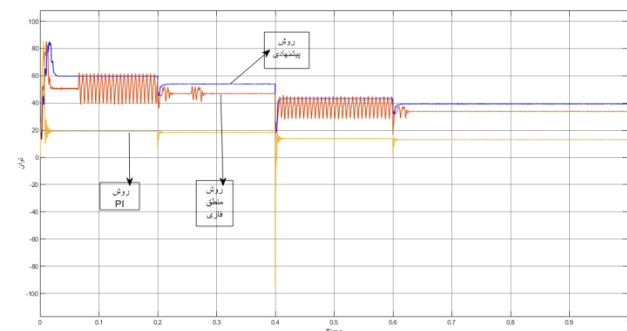
شکل ۱۶ (الف) مقایسه ولتاژ ورودی روش پیشنهادی با دو روش دیگر



شکل ۱۶ (ت) مقایسه جریان بار روش پیشنهادی با دو روش دیگر



شکل ۱۶ (پ) مقایسه جریان ورودی روش پیشنهادی با دو روش دیگر



شکل ۱۶ (ج) مقایسه توان بار روش پیشنهادی با دو روش دیگر

شکل ۱۶ (ث) مقایسه توان ورودی روش پیشنهادی با دو روش دیگر

تحریک مبدل باک بوست قابل کنترل است. در شکل ۱۵ نتایج به طور کامل قابل مشاهده است. نتایج روش پیشنهادی با دو روش دیگر در شکل ۱۶ مقایسه شده است. همان گونه که در شکل ۱۶ مشاهده می شود روش پیشنهادی مقدار دنبال کنندگی بالا و در خروجی خیلی نزدیک تر به ولتاژ تعریف شده ما می باشد. روش پیشنهادی بدون ریپل، بدون

و مشکل نوسان حول نقطه MPPT که در روش مشاهده و دنبال وجود دارد را حل کرده و نیز این که وجود روش مشاهده و دنبال ریپل هایی که روش منطق فازی در زمان ثابت بودن یا در زمان تغییرات دارا بود را به طور کامل از بین برده است؛ و نیز این که با روش پیشنهادی هر دو

این تحقیق توسط دانشگاه آیت ا... بروجردی حمایت شده است و دارای شماره گرنت ۱۶۸۱۴۵-۱۵۶۶۴ می باشد.

مراجع

[۱] مجید مرادی زیر کوهی، طراحی و پیاده‌سازی سیستم MPPT سلول خورشیدی با استفاده از میکرو کنترلر ARM. ۱۳۹۶، سیستم‌های هوشمند در مهندسی برق

[۲] سایت سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی برق ایران

[۳] حسن ایجاد و امین حاجی‌زاده، سیستم‌های هوشمند در مهندسی برق، سال سوم شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱، ردیابی حداکثر توان در سیستم تولید توان خورشیدی بر پایه تقریب گر فازی تابع ولتاژ نقطه کار با شدت تابش، دانشکده برق رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

[۴] J. J. Schoeman and J. D. Van Wyk, "A simplified maximal power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays," in *Proc. 13th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, pp. 361-367, Jun. 1982.

[۵] T. Noguchi, S. Togashi, and R. Nakamoto, "Short-current pulsebased maximum-power-point tracking method for multiple photovoltaic-and-converter module system," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 49, no. 1, pp. 217-223, Feb. 2002.

[۶] Q. Mei, M. Shan, L. Liu, and J. M. Guerrero, "A novel improved variable step-size incremental-resistance MPPT method for PV systems," *IEEE Trans. on Ind. Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2427-2434, Jun. 2011.

[۷] Arsalan, M., Iftikhar, R., Ahmad, I., Hasan, A., Sabahat, K. and Javeria, A., 2018. MPPT for photovoltaic system using nonlinear backstepping controller with integral action. *Solar Energy*, 170, pp.192-200.

[۸] Femia Nicola, Petrone Giovanni, Spagnuolo Giovanni. "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method". *IEEE Trans PowerElectron* 2005;20(4):963-73.

[۹] Espinoza-Trejo, D.R., Bárcenas-Bárcenas, E., Campos-Delgado, D.U. and De Angelo, C.H., 2015. Voltage-oriented input-output linearization controller as maximum power point tracking technique for photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(6), pp.3499-3507

[۱۰] Pradhan, R. and Subudhi, B., 2016. Double Integral Sliding Mode MPPT Control of a Photovoltaic System. *IEEE Trans. Contr. Sys. Techn.*, 24(1), pp.285-292.

[۱۱] Renaudineau, H., Donatantonio, F., Fontchastagner, J., Petrone, G., Spagnuolo, G., Martin, J.P. and

نویز، تغییرات حول نقطه MPPT را ندارد، خیلی آرام‌تر در تغییرات دما و تابش مقادیرش را ثابت می‌کند.

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| ولتاژ ورودی | ۲۰.۵ ولت به سمت ۱۷ ولت ثابت شده |
| ولتاژ خروجی | ۱۷ ولت به سمت ۱۳.۵ ولت ثابت شده |
| جریان ورودی | ۵.۱ آمپر به سمت ۲.۵ آمپر ثابت شده |
| جریان خروجی | ۱.۸ آمپر ثابت شده |
| توان ورودی | ۸۰ وات به سمت ۴۰ وات ثابت شده |
| توان خروجی | ۳۶ وات به سمت ۲۴ وات ثابت شده |

۶- نتیجه گیری

در این مقاله روش ترکیبی online برای ردیابی حداکثر توان ارائه شده است. در این روش ابتدا به صورت online

نقطه ماکزیمم توان به کمک روش مشاهده و دنبال محاسبه شده است و سپس به کمک الگوریتم فازی الگوریتم کلید زدن مناسب برای مبدل باک فراهم میگردد. الگوریتم پیشنهادی دارای پاسخ سریع می‌باشد و نوسانات حالت پایدار را حذف کرده است.

. نتایج روش پیشنهادی با روش PI، روش منطق فازی و روش مشاهده دنبال مقایسه گردید و نتایج روش پیشنهادی نشان داد که نسبت به روش‌های دیگر دنبال کنندگی بالاتر، دقت بیشتر، بدون ریپل و صاف سیگنال خرجی، نداشتن نوسان حول نقطه MPPT، در مقابل تغییرات دما و تابش مقادیرش ثابت می‌شود.

سپاسگذاری

نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران سال دهم شماره ۱ شماره پیاپی ۲۲ بهار ۱۴۰۰

- Pierfederici, S., 2015. A PSO-based global MPPT technique for distributed PV power generation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(2), pp.1047-1058.
- [۱۲] Yang, B., Yu, T., Shu, H., Zhu, D., An, N., Sang, Y. and Jiang, L., 2018. Energy reshaping based passive fractional-order PID control design and implementation of a grid-connected PV inverter for MPPT using grouped grey wolf optimizer. *Solar Energy*, 170, pp.31-46.
- [۱۳] Bounechba, H., Bouzid, A., Snani, H. and Lashab, A., 2016. Real time simulation of MPPT algorithms for PV energy system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 83, pp.67-78.
- [۱۴] Elmetennani, S., Laleg-Kirati, T.M., Djemai, M. and Tadjine, M., 2016. New MPPT algorithm for PV applications based on hybrid dynamical approach. *Journal of Process Control*, 48, pp.14-24.
- [۱۵] 22-Nyberg, F.; Pershagen, G. Epidemiologic Studies on the Health Effects of Ambient Particulate Air Pollution; *Scand. J. Work Environ. Health* 2000, 26, 49-89.
- [۱۶] Robles Algarín, C., Taborda Giraldo, J., & Rodríguez Álvarez, O. (2017). Fuzzy logic based MPPT controller for a PV system. *Energies*, 10(12), 2036.