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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]

[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

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 به‌منظور افزایش توان تولیدی در پنل های خورشیدی استفاده شده است. ازآنجا ای که دما و تابش در پنل های خورشیدی متغیر می‌باشند الگوریتم فازی جهت دنبال کردن این تغییرات بجای کنترل‌کننده‌های مرسوم PID جایگزین گردیده است به‌منظور نشان دادن عملکرد روش پیشنهادی نتایج با دو روش دیگر مقایسه شده که حاکی از رضایتمند بودند 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 افزایش‌یافته است. که در بین منابع انرژی جایگزین، انرژی خورشیدی گزینه‌ای مطلوب برای کاربردهای مختلف می‌باشد [۱, ۲]. ازجمله کاربردهای آن، استفاده از پنل های خورشیدی است که موردتوجه 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.

به‌منظور افزایش بازده، پنل های خورشیدی باید در نقطه حداکثر توانشان کار کنند .ردیابی نقطه حداکثر توان (MPPT)[1] 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 ازنظر پیچیدگی، تعداد و نوع سنسورهای موردنیاز، 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 مدارباز 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 سربار، فرمان لازم به سیستم کنترل سویچینگ تنظیم‌کننده ولتاژ داده می‌شود به طوری‌که 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 سویچینگ 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 سویچینگ ها تولید خواهد شد. که در ادامه به برخی از این روش‌ها می‌پردازیم.

روش هدایتی افزایشی[2] (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[3] (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 [۱۰و۷]. شکل (2) فلوچارت روش P&O را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، این روش با نمونه‌گیری از ولتاژ و جریان ، پنل خورشیدی در هرلحظه، 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 مورداستفاده 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 بهبودیافته است.

[1] Maximum Power Point Tracking

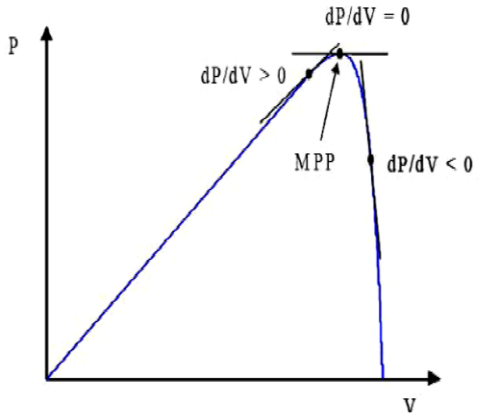
[2] Incremental Conductance

[3] Perturb and observe

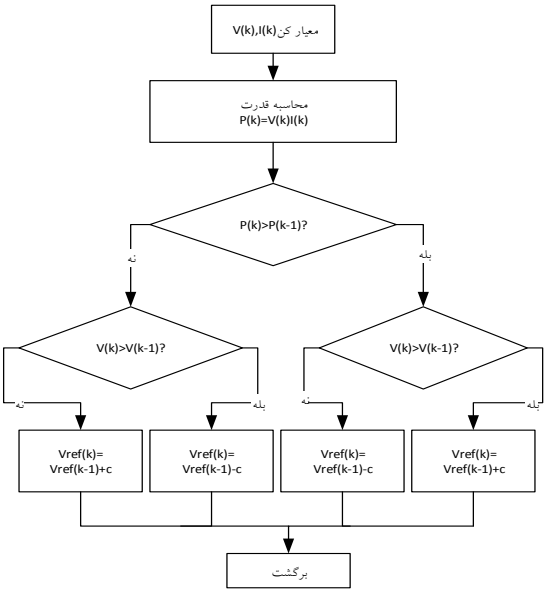
[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]

[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]



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



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

در مرجع [۹] از روش خطی سازی ورودی و خروجی برای کنترل و بهبود نقطه حداکثر توان در صفحات خورشیدی استفاده‌شده 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 استفاده‌شده است این روش می‌تواند نقطه حداکثر توان را در سایه‌های جزئی به‌خوبی دنبال نماید.

در مرجع [۱۲] از یک کنترلر (PID)[۵] پسیو برای اتصال صفحات خورشیدی به شبکه قدرت و ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده‌شده است، در این مقاله از الگوریتم گرگ خاکستری برای بهبود نحوه کنترل بهره گرفته‌شده 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 استفاده‌شده 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 بالابرده 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

[4] Piratical Swarm Optimization

[5] proportional-integral-derivative
[6] current perturbation algorithm
[7] fractional short circuit current

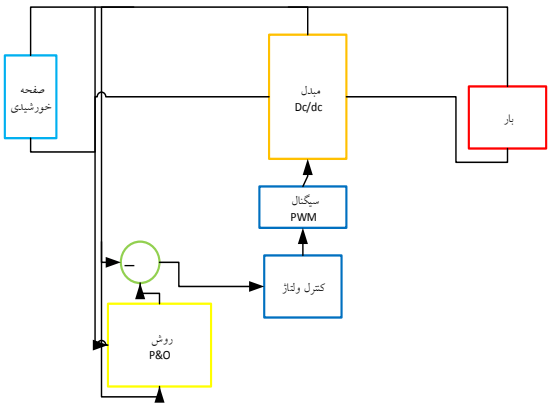
[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

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، فرمول‌بندی مسئله ارائه می‌شود، در قسمت چهارم، طرح پیشنهادی معرفی می‌گردد، نتیجه شبیه‌سازی در قسمت پنجم نمایش داده شده است و درنهایت نتیجه گیری آورده شده است.

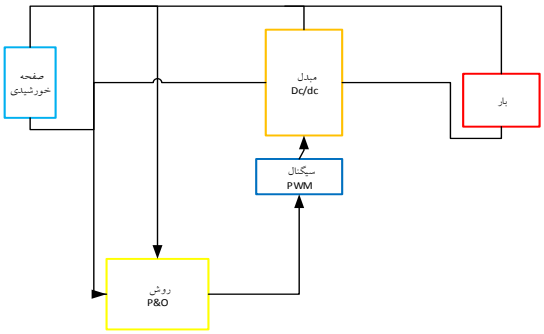
3- فرمول‌بندی مسئله

۳-۱- الگوریتم مشاهده و دنبال

یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌ها برای پیاده‌سازی 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 صرف‌نظر 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 نمونه‌گیری 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) بزرگ‌تر 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 موردنظر خود را کنترل کند. درروش مستقیم (P&O) مستقیماً زمان وظیفه را به‌منظور انجام تطبیق امپدانس و درنتیجه انتقال حداکثر توان تنظیم می‌کند. درروش غیرمستقیم (P&O) ولتاژی که در آن حداکثر توان رخ می‌دهد (Vref) را پیدا می‌کند. سپس باید یک کنترل‌کننده به نحوی طراحی شود که زمان وظیفه را به نحوی تنظیم کند که ولتاژ صفحه Vref را دنبال کند؛ که در شکل ۳(الف و ب) این دو روش قابل‌مشاهده است [۱۵].



شکل ۳ (الف) روش غیرمستقیم



شکل ۳ (ب) روش مستقیم

۳-۲- روش منطق فازی

کنترل‌کننده‌های فازی دارای این قابلیت می‌باشند؛ که با ورودی‌های غیردقیق و غیرخطی کار کنند؛ و به مدل ریاضی دقیق نیز نیازی ندارند. در شکل ۴ فلوچارت روش منطق فازی قابل‌مشاهده 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 به‌صورت غیر فازی تبدیل می‌کند.

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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

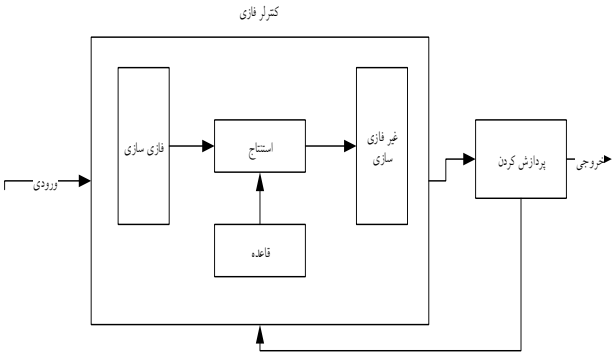
خطا (CE) در معادلات (۱) و (۲) نشان داده‌شده است. معادله (۳) خروجی روش فازی را نشان می‌دهد [۱۶]. در جدول (۱) پارامترهای روابط معرفی‌شده است.

$$E(k)=\frac{P(k)-P(k-1)}{V(k)-V(k-1)}=\frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (۱)$$

$$CE(k)=E(k)-E(k-1)\Delta E \quad (۲)$$

$$D(k)=D(k-1)+\Delta D \quad (۳)$$

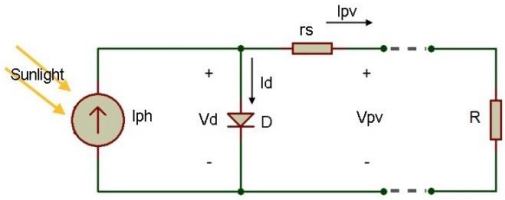
جدول (۱) معرفی پارامترهای رابطه ۱،۲ و ۳	
خطا	E(k)
تغییرات خطا	CE(k)
اختلاف توان	ΔP
اختلاف ولتاژ	ΔV
توان صفحه خورشیدی	P(k)
توان مرحله k-۱	P(k-1)
ولتاژ صفحه خورشیدی	V(k)
ولتاژ k-۱	V(k-1)
اختلاف خطا	ΔE
خطای قبلی	E(k-1)
خروجی	D(k)
خروجی قبلی	D(k-1)
اختلاف خروجی	ΔD



شکل ۴ فلوچارت روش منطق فازی

۳-۳. پنل خورشیدی

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



شکل ۵ - مدل سلول خورشیدی

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

$$V_{PV}=\frac{Tcell}{q/nk}\times Ln\left(\frac{Iph-Ipv+Is}{Is}\right)-rsIpv \quad (۴)$$

معرفی پارامترها در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲) معرفی پارامترهای رابطه ۴	
پارامتر	معرفی
V_{PV}	ولتاژ خروجی سلول خورشیدی
I_{PV}	جریان خروجی سلول خورشیدی
T_{cell}	دمای سلول (کلوین)
Q	باریک الکترون
K	ثابت بولتزمن
N	فاکتور انتشار
I_S	جریان اشباع معکوس
I_{ph}	جریان وابسته به‌شدت تابش
r_s	مقاومت سری سلول

پارامتر Iph ضریب از شدت تابش L است.

$$I_{ph}=\alpha_1 L \quad (۵)$$

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

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 به‌دست‌آمده از این رابطه، ولتاژ حداکثر توان است.

$$\frac{\partial Po}{\partial Vpv} = 0 \longrightarrow V_{PVmpp}=f_1(L, Tcell) \quad (۶)$$

جدول (۵) مقادیر مبدل باک بوست

مقاومت (r)	۵Ω
سلف (L_2)	۲۰mH
سلف (L_1)	۰.۵mH
خازن (C_0)	۱۰۰۰μf
خازن (C_1)	۰.۶Mf
خازن (C_2)	۱۴۰μf
دیود (D_1)	Ron= ۰.۰۰۱ Ω (مقاومت) Lon =۰H (اندوکتانس) Vf=۰.۸V (ولتاژ مستقیم) Ic=۰A خاموش (جریان اولیه) Rs= ۱۰۰ Ω (مقاومت استاتیکی) Cs=۵۰۰nf (خازن استاتیکی)
دیود (D_2)	Ron= ۰.۰۰۱ Ω (مقاومت) Lon =۰H (اندوکتانس) Vf=۰.۸V (ولتاژ مستقیم) Ic=۰A خاموش (جریان اولیه) Rs= ۱۰۰ Ω (مقاومت استاتیکی) Cs=۵۰۰nf (خازن استاتیکی)
کلید تحریک (M_1)	Ron=۰.۶Ω Lon=۰H Rd=Ω ۰.۰۱ V_f= ۰V Ic=۰A خاموش Rs=۱e۵ Ω Cs=inf f
کلید تحریک (M_2)	Ron=۰.۶Ω Lon=۰H Rd=Ω ۰.۰۱ V_f= ۰V Ic=۰A خاموش Rs=۱e۵ Ω Cs=inf f

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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]

[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

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

جدول (۳) مقادیر صفحه خورشیدی	
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

جدول (۴) مقادیر بار و ولتاژ موردنیاز	
مقدار بار	۵Ω
ولتاژ موردنیاز ما در خروجی (متناسب با نیاز قابل‌تغییر است)	۱۵ ولت

۴-۳- مبدل باک بوست

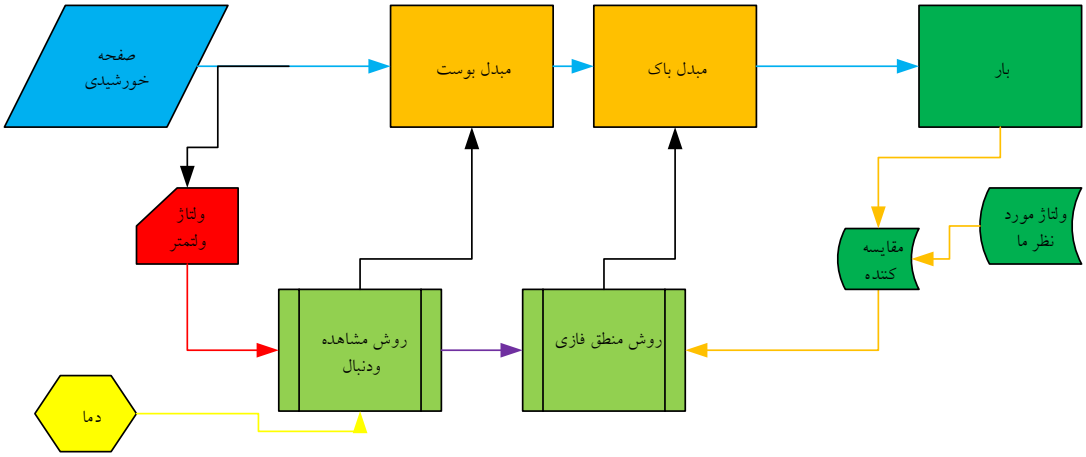
تبدیل ولتاژ مستقیم به یک ولتاژ مستقیم دیگر چاپر یا مبدل dc/dc می‌نامند. تحریک مبدل dc/dc یا از نوع GTO یا MOSFET یا BJT و یا تریستور با کموتاسیون اجباری هست. مبدل‌های dc/dc به‌صورت پله‌ای ولتاژ مستقیم را افزایش یا کاهش می‌دهند. مبدل باک بوست هم می‌توان خروجی بزرگ‌تر یا کمتر از ولتاژ ورودی داشته باشد؛ 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 استفاده‌شده است که در جدول (۵) می‌توان مقادیر استفاده‌شده در این مقاله را مشاهده کرد.

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 دنبال کنندگی بالایی را دارا است برای تحریک اول مبدل باک بوست انتخاب‌شده 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 استفاده‌شده است.

ورودی‌های روش مشاهده و دنبال را دما و ولتاژ صفحه خورشیدی در نظر گرفته‌شده، 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 به‌این‌علت از خروجی روش مشاهده و دنبال استفاده‌شده که روش منطق فازی بعد از روش مشاهده و دنبال عمل کند، و ورودی دیگر روش منطق فازی مقایسه خروجی بار با ولتاژ تعریف‌شده 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 قابل‌مشاهده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]



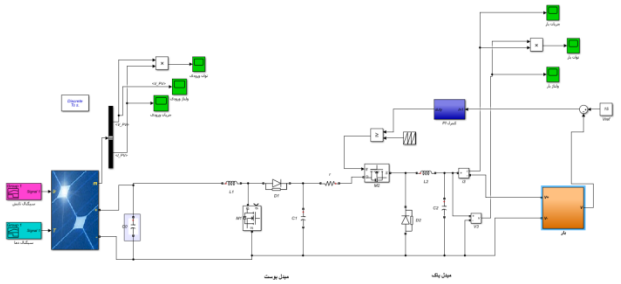
شکل ۶ مدار طرح پیشنهادی

۵-نتایج شبیه‌سازی

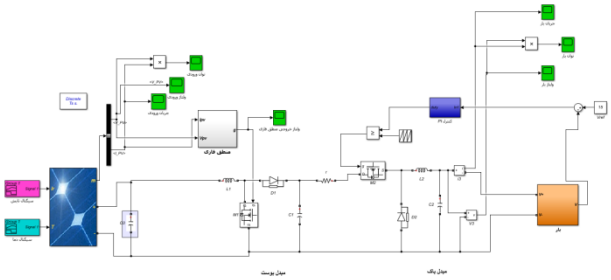
در این قسمت ساختار روش پیشنهادی ارائه شده است. روش پیشنهادی همراه با دو روش دیگر PI و منطق فازی در نرم‌افزار متلب که همان گون در شکل‌های ۷ ، ۸ و۹ نمایش داده شده، مقایسه شده است.

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 قابل‌مشاهده است، در نظر گرفته‌شده است.

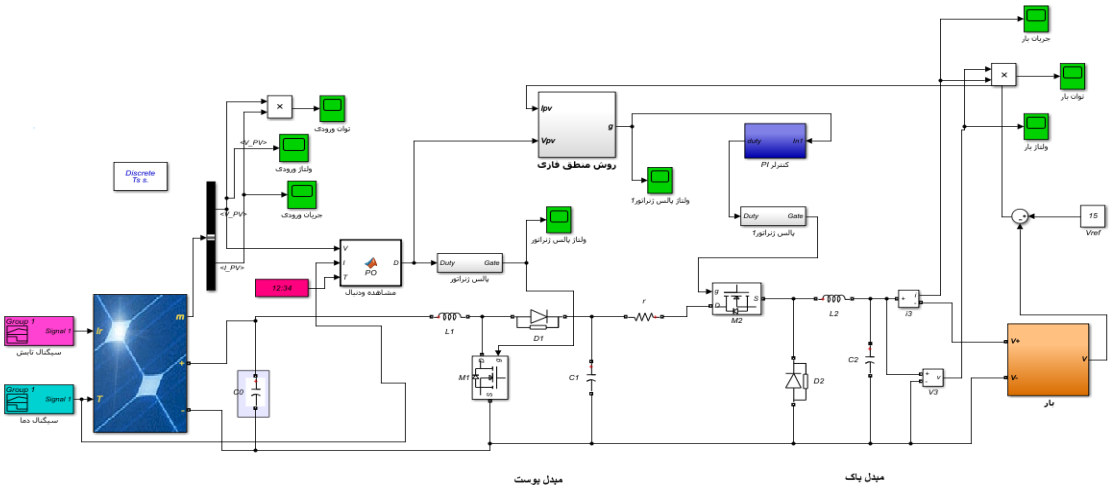
[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]



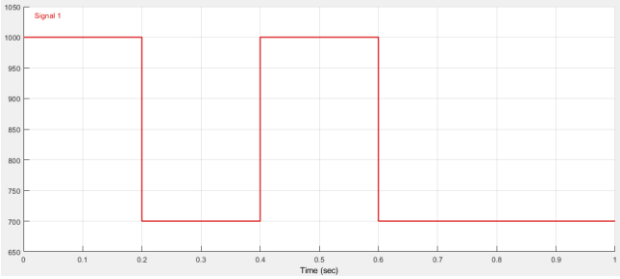
شکل ۸ مدار روش PI در نرم‌افزار متلب سیمولینک



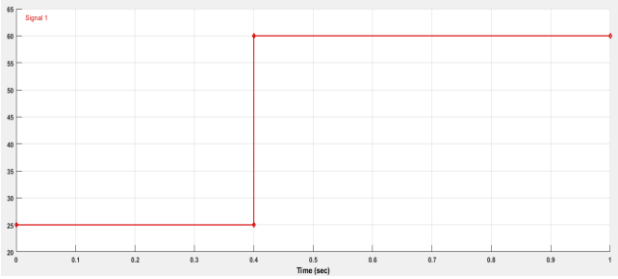
شکل ۹ مدار روش منطق فازی در نرم‌افزار متلب سیمولینک



شکل ۷ مدار شبیه‌سازی‌شده طرح پیشنهادی در نرم‌افزار متلب



شکل ۱۰ سیگنال تابش

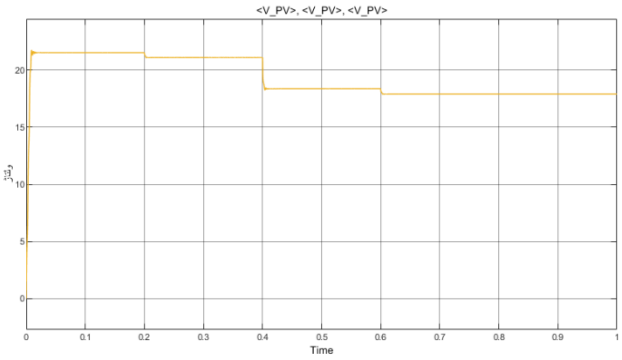


شکل ۱۱ سیگنال دما

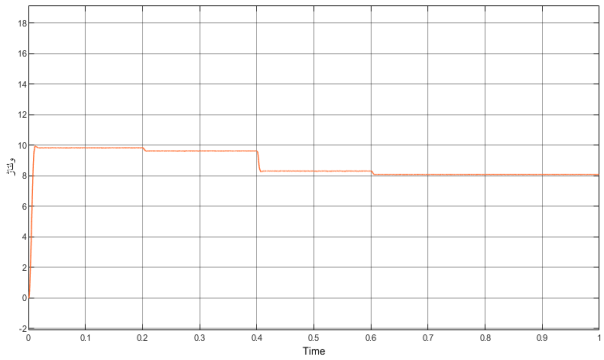
سناریو اول : این سناریو برپایه روش PI می‌باشد. این روش تحریک دوم مبدل را کنترل می‌کند در این روش تحریک اول مبدل اصلاً با هیچ روش تحریک نمی‌شود. مقادیر به‌دست‌آمده از این روش در جدول ۶ قابل‌مشاهده است. این روش به دلیل این‌که تحریک اول ندارد در اولین دنبال کنندگی فقط در ولتاژ ورودی مقدار ۲۲ ولت را دنبال می‌کند که با تغییر دما و تابش با تغییرات ناگهانی روی ۱۷ ولت ثابت‌شده است. در پارامترهای دیگر نیز به دلیل این‌که این روش کنترل دقیقی ندارد با تغییرات دما و تابش خیلی شدید تغییر می‌کند که در شکل ۱۲ به‌طور دقیق قابل‌مشاهده است. سناریو دوم : این روش برپایه منطق

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

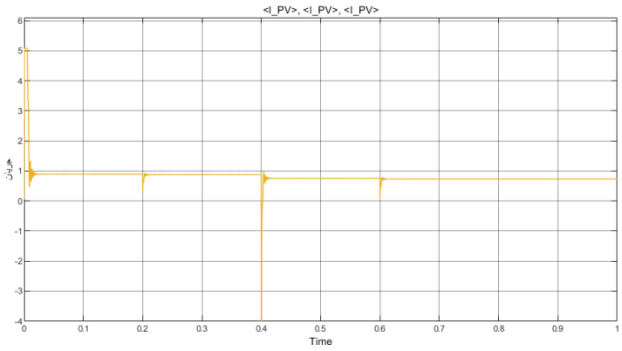
فازی است . نتایج آن در جدول ۷ قابل‌مشاهده است، در این روش نیز تحریک اول مبدل باک بوست توسط روش منطق



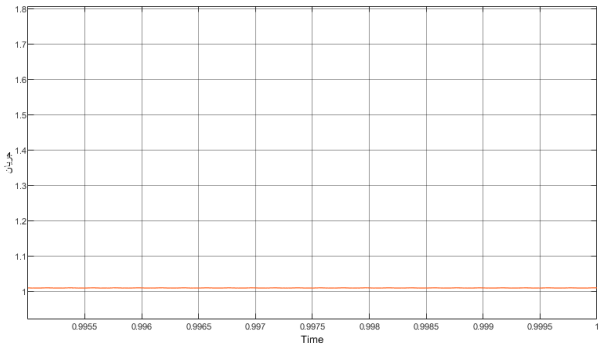
شکل ۱۲(الف) ولتاژ ورودی روش PI



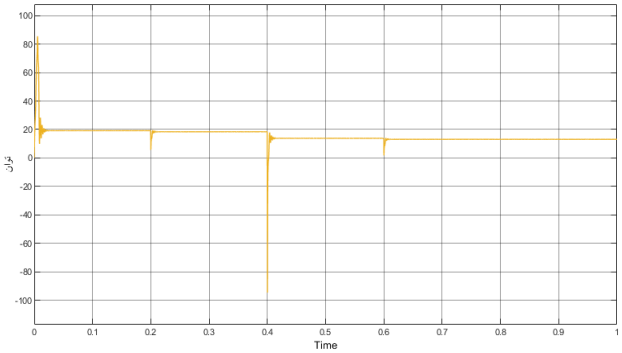
شکل ۱۲(ب) ولتاژ بار روش PI



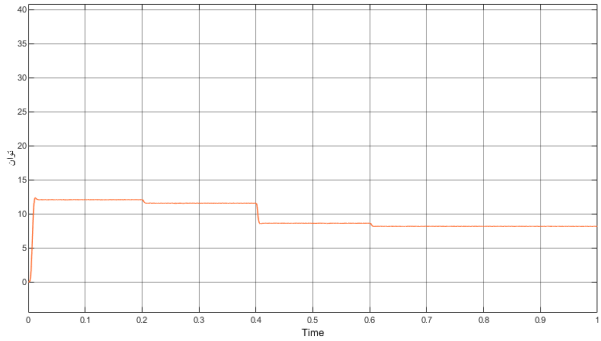
شکل ۱۲(پ) جریان ورودی روش PI



شکل ۱۲(ت) جریان بار روش PI



شکل ۱۲(ث) توان ورودی روش PI

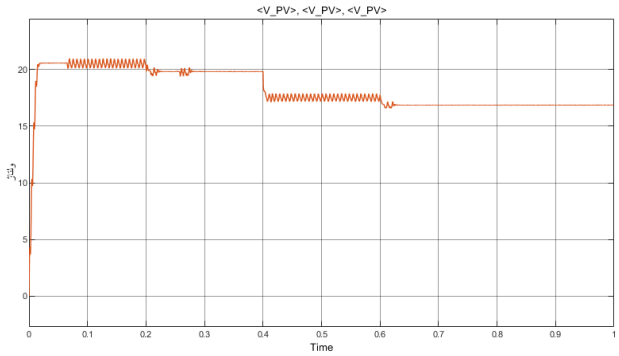


شکل ۱۲(ج) توان بار روش PI

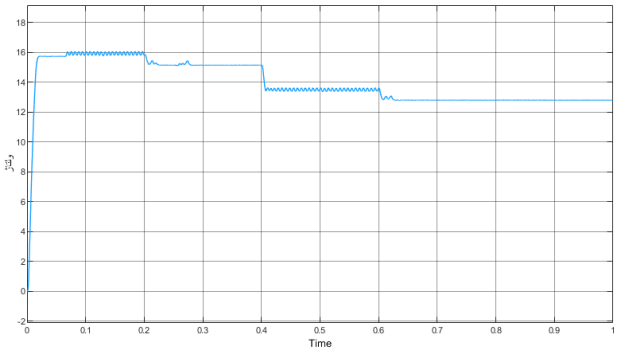
فازی انجام می‌شود و تحریک دوم مبدل از روش PI استفاده می‌شود. درروش منطق فازی با تغییر دما و تابش مقادیر پارامترها نیز تغییر می‌کنند؛ اما تغییرات در این روش به‌صورت ناگهانی و مانند روش PI نمی‌باشد؛ زیرا روش منطق فازی حول نقطه MPPT نوسانات خیلی کمتری دارد و در تغییرات تابش و دما روش منطق فازی خیلی آرام‌تر تغییر و ثابت می‌شود؛ اما روش منطق فازی در تمام

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

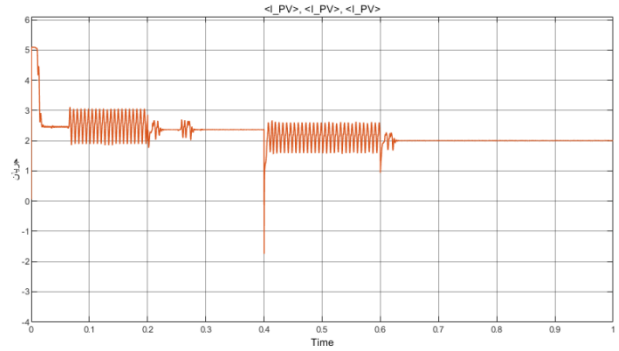
پارامترها ریپل شدیدی را دارا است که در شکل ۱۳ قابل‌مشاهده است. روش منطق فازی مقدار دنبال کنندگی بالاتر و دقیق‌تر از روش PI دارا می‌باشد؛ و این‌که روش منطق فازی همان‌گونه که بیان شد خیلی سریع‌تر از روش PI در تغییرات دما و تابش مقادیر خود را ثابت می‌کند که در شکل ۱۴ به‌طور وضوح قابل‌مشاهده می‌باشد.



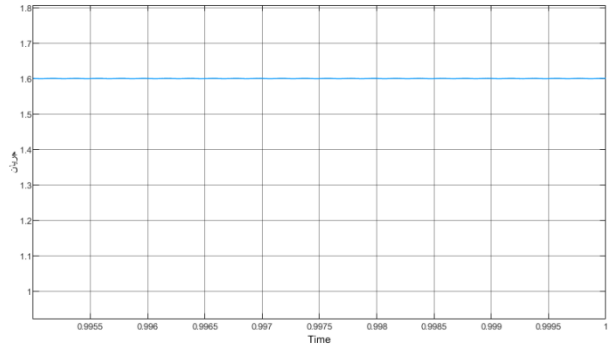
شکل ۱۳(الف) ولتاژ ورودی روش منطق فازی



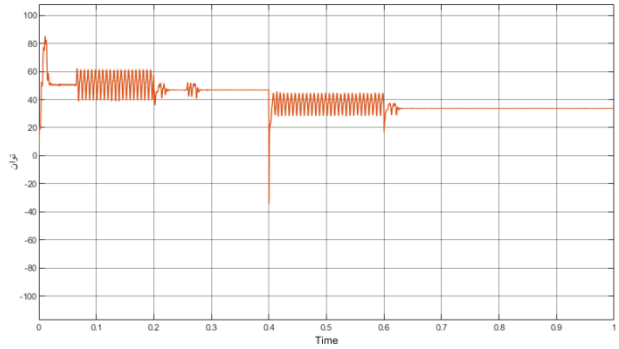
شکل ۱۳(ب) ولتاژ بار روش منطق فازی



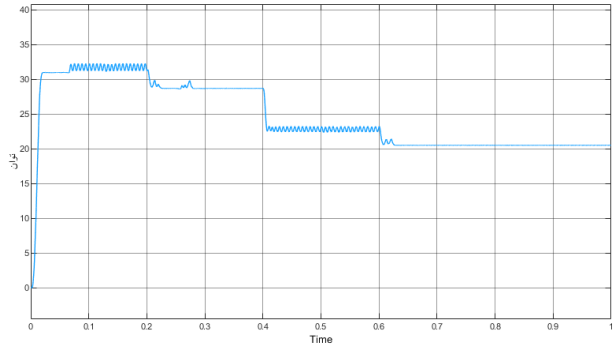
شکل ۱۳(پ) جریان ورودی روش منطق فازی



شکل ۱۳(ت) جریان بار روش منطق فازی



شکل ۱۳(ث) توان ورودی روش منطق فازی

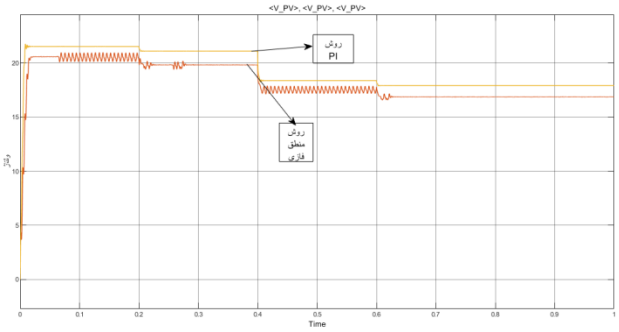


شکل ۱۳(ج) توان بار روش منطق فازی

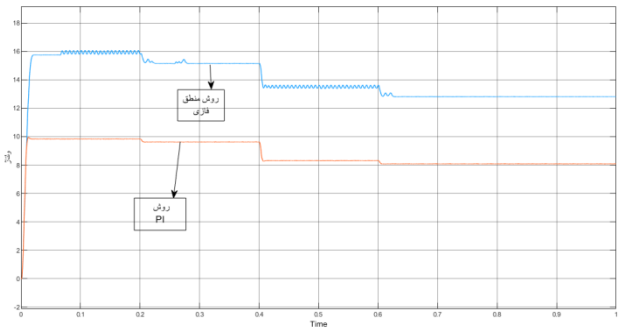
[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]

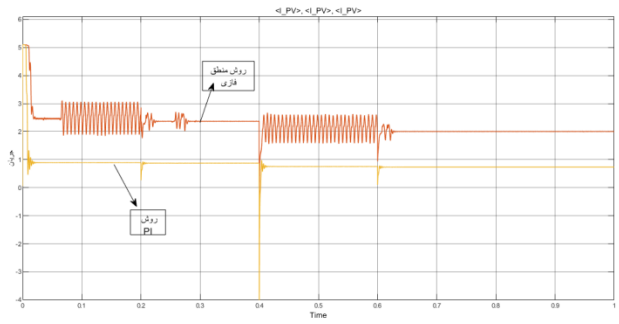
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]



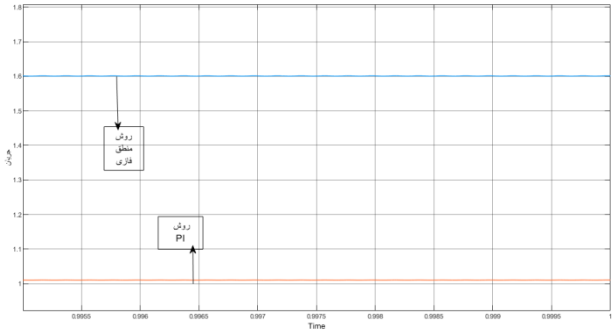
شکل ۱۴(الف) مقایسه ولتاژ ورودی روش منطق فازی و PI



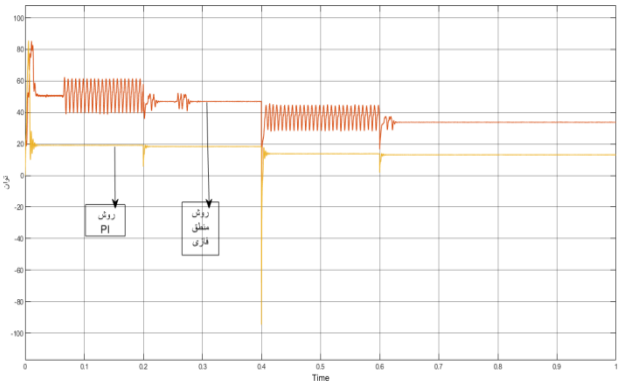
شکل ۱۴(ب) مقایسه ولتاژ بار روش منطق فازی و PI



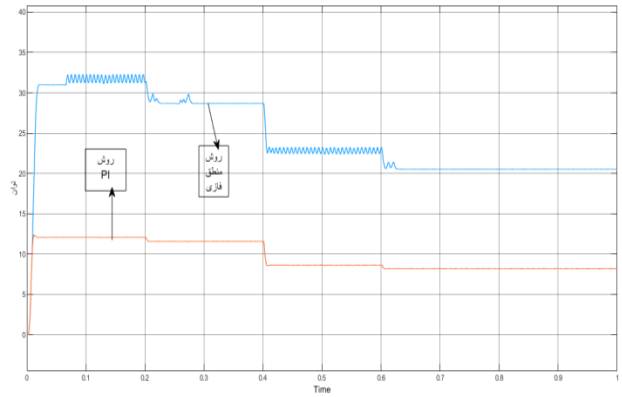
شکل ۱۴(پ) مقایسه جریان ورودی روش منطق فازی و PI



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



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



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

جدول ۶ مقادیر به‌دست‌آمده روش PI	
ولتاژ ورودی	۲۲ ولت به سمت ۱۷ ولت ثابت‌شده
ولتاژ خروجی	۱۰ ولت به سمت ۸.۱ ولت ثابت‌شده
جریان ورودی	۵.۱ آمپر به سمت ۰.۹ آمپر ثابت‌شده
جریان خروجی	۱.۱ آمپر ثابت‌شده

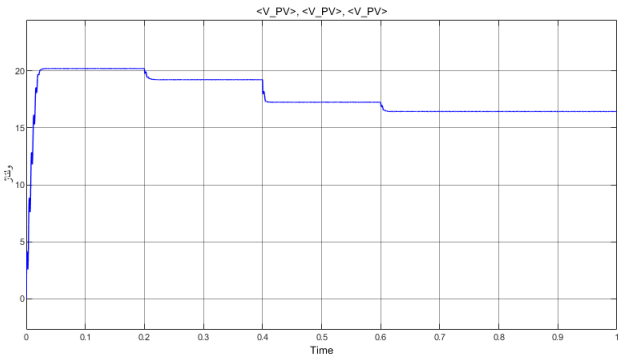
توان ورودی	۸۲ وات به سمت ۱۸ وات ثابت‌شده
توان خروجی	۱۲ وات به سمت ۸ وات ثابت‌شده

سناریو سوم : همان‌گونه که بیان‌شده روش پیشنهادی این مقاله ترکیب روش مشاهده و دنبال با روش منطق فازی می‌باشد. مقادیر به‌دست‌آمده روش پیشنهادی در جدول ۸ آورده شده است. درروش پیشنهادی همان‌گونه که از جدول

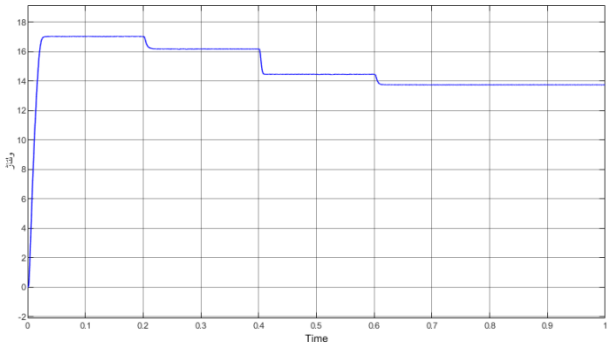
[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

جدول ۷ مقادیر به‌دست‌آمده روش منطق فازی	
ولتاژ ورودی	۲۱ ولت به سمت ۱۷.۵ ولت ثابت‌شده
ولتاژ خروجی	۱۵.۸ ولت به سمت ۱۲.۵ ولت ثابت‌شده
جریان ورودی	۵.۱ آمپر به سمت ۲ آمپر ثابت‌شده
جریان خروجی	۱.۶ آمپر ثابت‌شده
توان ورودی	۸۱ وات به سمت ۳۸ وات ثابت‌شده
توان خروجی	۳۱ وات به سمت ۲۰.۵ وات ثابت‌شده

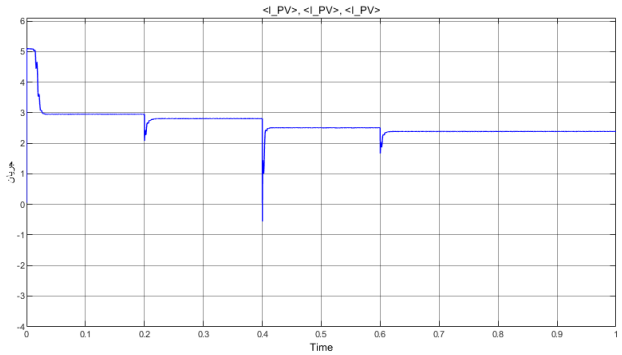
(۸) مشخص است مقادیر بالای را دنبال و انتقال داده است. این روش نه‌تنها به خاطر وجود روش مشاهده و دنبال، دنبال کنندگی بالای دارا است بلکه به خاطر وجود روش منطق فازی نیز در مقابل تغییرات دما و تابش خیلی سریع ثابت شده است.



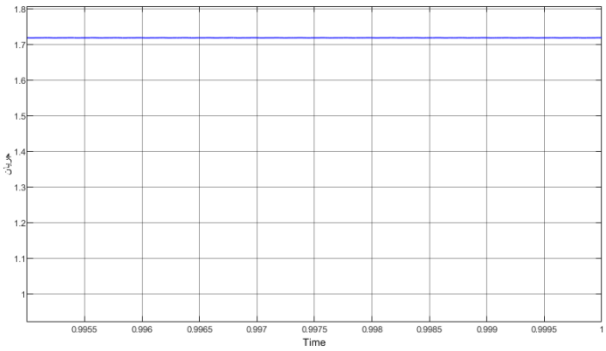
شکل ۱۵(الف) ولتاژ ورودی روش پیشنهادی



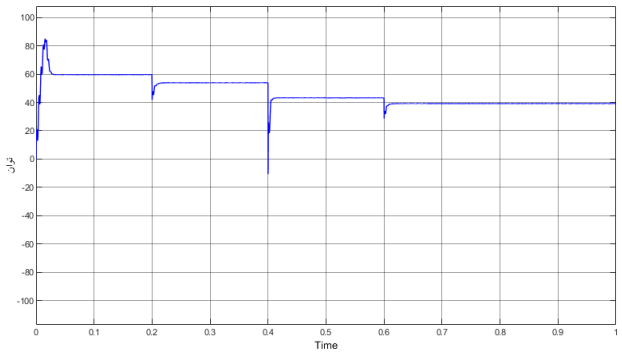
شکل ۱۵(ب) ولتاژ بار روش پیشنهادی

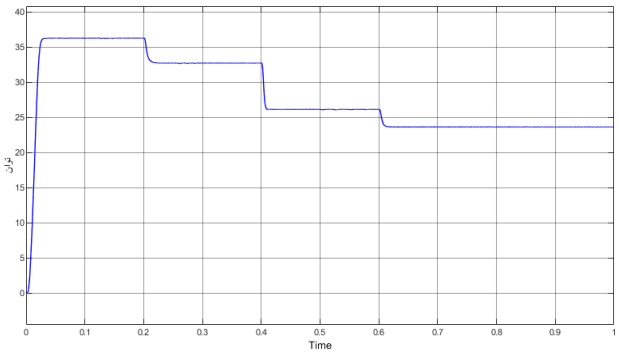


شکل ۱۵(پ) جریان ورودی روش پیشنهادی



شکل ۱۵(ت) جریان بار روش پیشنهادی





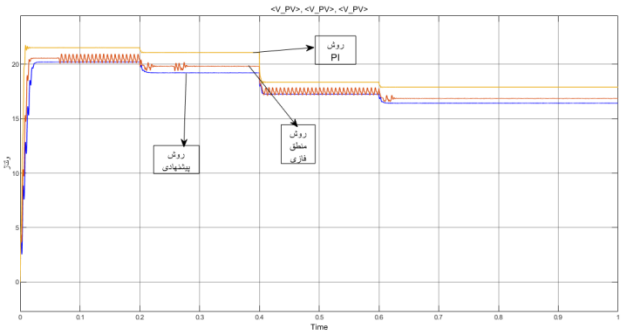
[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]
[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]

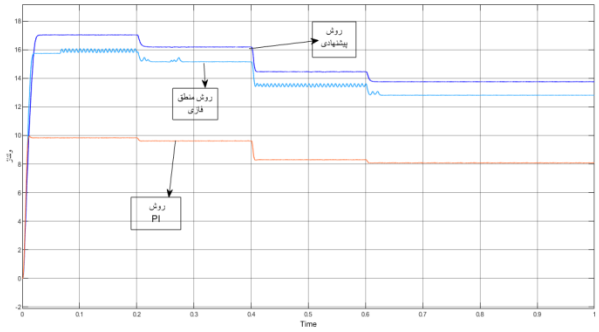
[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]

[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

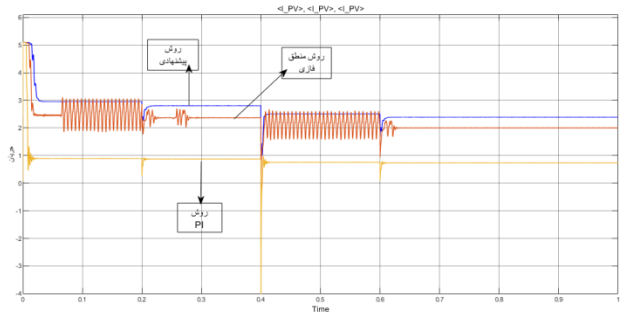
شکل ۱۵(ث) توان ورودی روش پیشنهادی



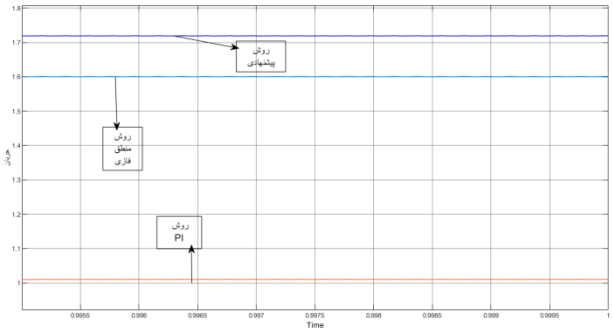
شکل ۱۵(ج) توان بار روش پیشنهادی



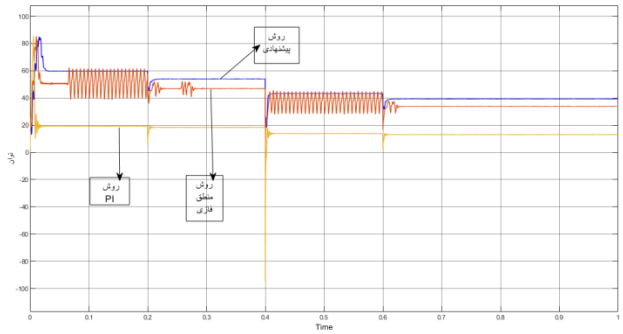
شکل ۱۶(الف) مقایسه ولتاژ ورودی روش پیشنهادی با دو روش دیگر



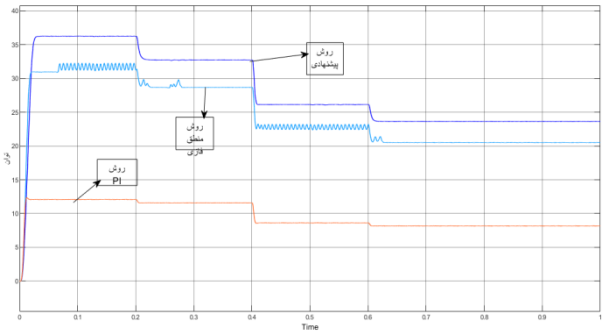
شکل ۱۶(ب) مقایسه ولتاژ بار روش پیشنهادی با دو روش دیگر



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



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



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

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

و مشکل نوسان حول نقطه MPPT که درروش مشاهده و دنبال وجود دارد را حل کرده و نیز این‌که وجود روش مشاهده و دنبال ریپل‌هایی که روش منطق فازی در زمان ثابت بودن یا در زمان تغییرات دارا بود را به‌طور کامل از بین برده است؛ و نیز این‌که با روش پیشنهادی هر دو تحریک مبدل باک بوست قابل‌کنترل است. در شکل ۱۵ نتایج به‌طور کامل قابل‌مشاهده است. نتایج روش پیشنهادی با دو روش دیگر در شکل ۱۶ مقایسه شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود روش پیشنهادی مقدار دنبال کنندگی بالا و در خروجی خیلی نزدیک‌تر به ولتاژ تعریف‌شده ما می‌باشد. روش پیشنهادی بدون ریپل، بدون

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

جدول ۸ مقادیر به‌دست‌آمده روش پیشنهادی	
ولتاژ ورودی	۲۰.۵ ولت به سمت ۱۷ ولت ثابت‌شده
ولتاژ خروجی	۱۷ ولت به سمت ۱۳.۵ ولت ثابت‌شده
جریان ورودی	۵.۱ آمپر به سمت ۲.۵ آمپر ثابت‌شده
جریان خروجی	۱.۸ آمپر ثابت‌شده
توان ورودی	۸۰ وات به سمت ۴۰ وات ثابت‌شده
توان خروجی	۳۶ وات به سمت ۲۴ وات ثابت‌شده

۶- نتیجه‌گیری

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. 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

این تحقیق توسط دانشگاه آیت ا... بروجردی حمایت شده است و دارای شماره گرنت گرنت۱۶۸۱۴۵- 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 ایجادی 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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]

[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]

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.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1400.10.1.2.7]

[DOI: 10.52547/ieijqp.10.1.1]