بکارگیری الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی کنترل‌کننده فازی به منظور دستیابی به نقطه بیشینه توان مولد فتوولتاییک

علیرضا رضائی[۱]، سید اصغر غلامیان [۲]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۲/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۲/۰۸/۱۲

چکیده:

افزایش قیمت و محدودیت‌های منابع انرژی فسیلی ، توجه محققین را به سمت انرژی‌های نو بویژه انرژی خورشیدی فتوولتاییک معطوف کرده است. یکی از موضوعات مهم دهه اخیر در خصوص بکارگیری ماژول‌های فتوولتاییک، تکنیک ردیابی نقطه بیشینه توان است. این تکنیک در سیستم‌های فتوولتاییک روشی موثر برای دریافت بیشترین توان ممکن از ماژول فتوولتاییک است. در این مقاله ابتدا یک روش متداول کنترل نقطه بیشینه توان توسط منطق فازی معرفی شده و سپس کنترل‌کننده فازی جدیدی ارائه می‌گردد که پارامترهای آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور دستیابی به بیشینه توان خروجی ماژول فتوولتاییک، بهینه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بکارگیری کنترل‌کننده فازی بهینه شده، منجر به کاهش نوسانات توان و بهبود آن تحت شرایط متفاوت محیطی خواهد شد.

کلمات کلیدی:
منطق فازی، الگوریتم ژنتیک، نقطه بیشینه توان فتوولتاییک

۱) کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل a.rezaie@stu.nit.ac.ir
۲) استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل(نویسنده مسئول) gholamian@nit.ac.ir

مقدمه

در جهان معاصر، انرژی خورشیدی یکی از گزینه‌های امیدبخش پیش روی بشر در مقابل بحران انرژی است. انرژی خورشیدی یک انرژی پاک، رایگان و بی‌پایان می‌باشد که تقریبا در تمام نقاط جهان قابل استحصال است. سیستم‌های فتوولتاییک در بین سایر سیستم‌های خورشیدی پس از نصب دارای کمترین هزینه تعمیر و نگهداری هستند. همین امر محققین را بر آن داشته است که فعالیت‌های خود را در زمینه این انرژی پاک گسترش دهند. علیرغم مزیت‌های فراوان سیستم‌های فتوولتاییک، این سیستم‌ها دارای معایبی نیز هستند، از جمله اینکه بازده سیستم‌های فتوولتاییک نسبتاً پایین است [۲۰]. برای غلبه بر این مشکل، تکنیک ردیابی نقطه بیشنه توان پیشنهاد گردیده است [۲۴،۲۵].

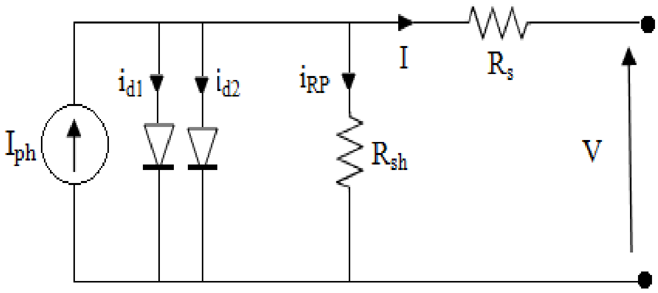
با توجه به اینکه شدت تابش خورشید متغیر است، نقطه بیشینه توان بسرعت از یک منحنی به منحنی دیگری منتقل می‌شود. بنابراین، کنترل‌کننده نقطه بیشینه توان به منظور کاهش نوسانات و اتلاف توان می‌بایست قادر باشد هرچه سریع‌تر به این نقطه برسد [۲]. در میان روش‌های پیشنهاد شده، استفاده از روش‌های هوشمند قابل توجه است. این روش‌ها در سال‌های اخیر بهبود یافته و جایگزین روش‌های متداول نظیر آشفتن و مشاهده کردن، هدایت افزایشی و غیره شده است [۴، ۲۱ و ۱۰]. با توجه به طبیعت اکتشافی، تأثیرگذاری و سادگی، روش‌های کنترل فازی در سیستم های خطی و غیرخطی نقش برجسته‌ای در ردیابی نقطه بیشینه توان در سیستم‌های فتوولتاییک دارند [۲۱]. برای مثال، در [۱۶] کنترل ردیابی نقطه بیشینه توان به روش فازی انجام شده که سرعت رسیدن به نقطه بهینه هشت برابر بیشتر از روش آشفتن و مشاهده کردن است.

با وجود قابلیت بالای سیستم‌های فازی، اغلب آنها دارای یک ایراد آشکار هستند. در واقع، طراحی بیشتر کنترل‌کننده‌ها به روش سعی و خطا صورت پذیرفته است نه با استفاده از یک روش نظام‌مند [۲]. اما در این مقاله، روش ردیابی نقطه بیشینه توان با استفاده از کنترل‌کننده هوشمند فازی ارائه شده است. نکته جدید استفاده شده در کنترل‌کننده فازی، استفاده از سه ورودی به جای دو ورودی و بکارگیری روش هوشمند است. پارامترهای این کنترل‌کننده با استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت کاهش نوسانات توان حول نقطه بیشینه توان، بهینه شده‌اند. در نهایت، نتایج حاصل از شبیه‌سازی با یک کنترل‌کننده فازی متداول تحت شرایط متفاوت محیطی نظیر تغییر در شدت تابش و دما ارائه و مقایسه خواهند شد.

ماژول فتوولتاییک

برای دستیابی به مدل سلول فتوولتاییک، ابتدا باید مدار معادل آن تعیین شود. مدل‌های ریاضی مختلفی برای بهبود رفتار غیرخطی ناشی از پیوندهای نیمه هادی بررسی شده‌اند. در منابع مختلف، مدل‌های مختلفی از سلول فتوولتاییک با توجه به روند ساخت و پارامترهای دخیل در محاسبه ولتاژ و جریان سلول فتوولتاییک دیده می‌شود [۱۳].

مدل مورد بررسی در این مقاله با دو دیود در نظر گرفته شده است. این مدل در شکل (۱) نشان داده شده است که در آن منبع جریان (I_{ph}) تبدیل انرژی تابشی را به جریان الکتریکی مدل می‌کند [۱۵]. مقاومت موازی (R_{SH}) بیانگر نشتی حاصل از اثرات جانبی روی سلول فتوولتاییک، مقاومت سری (R_S) بیانگر مقاومت‌های متفاوت اتصالات و دیودهای موازی (D_1 و D_2) بیانگر مدل پیوند PN است [۱۳].



شکل ۱) مدل سلول فتوولتاییک

معادله جریان ماژول فتوولتاییک به صورت روابط (۱) و (۲) است:

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{RP} \quad (۱)$$

$$I = I_{ph} - I_{S1} \times (\exp\frac{q.(V + R_S.I)}{A_1.k.T} - 1) - I_{S2} \times (\exp\frac{q.(V + R_S.I)}{A_2.k.T} - 1) - \frac{V + R_S.I}{R_{Sh}} \quad (۲)$$

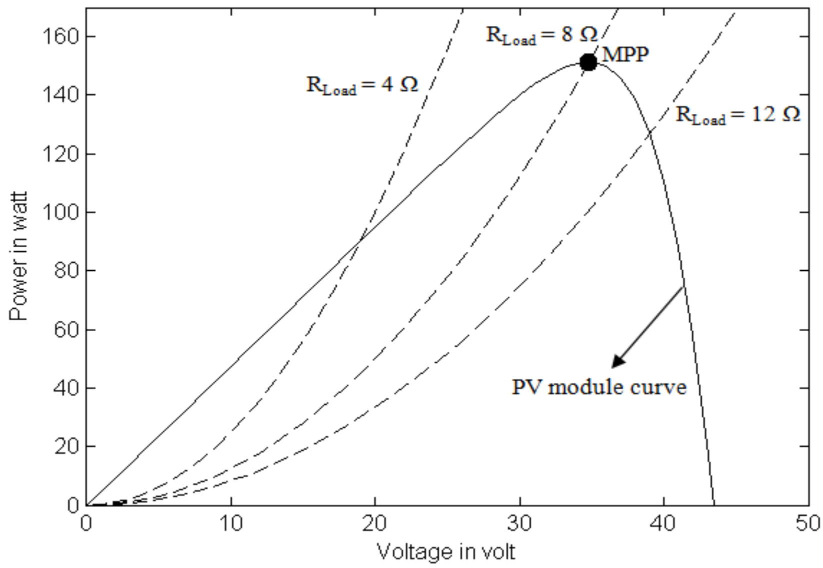
پارامترهای V و I ، ولتاژ و جریان خروجی ماژول فتوولتاییک هستند. q بار الکتریکی، $I_{S1,2}$ جریان اشباع دیودها، $A_{1,2}$ ضریب ایده‌آل پیوند دیودهای D_1 و D_2، K ثابت بولتزمن و T دمای سلول بر حسب درجه کلوین است.

با توجه به معادله بالا، واضح است که جریان خروجی ماژول فتوولتاییک به جریان تابشی وابسته می‌باشد که در واقع، جریان وابسته به تابش خورشید و دمای پیوند سلول‌هاست. به همین ترتیب، توانی که یک ماژول می‌تواند تولید کند، وابسته به تابش خورشید و دمای پیوند نیمه هادی است [۱۳، ۱۹].

ردیابی نقطه بیشینه توان

شکل (۲) مشخصه غیر خطی و نقطه بهینه عملکرد ماژول فتوولتاییک به همراه مشخصه بار الکتریکی را نشان می‌دهد. مطابق این مشخصه، تنها یک نقطه کار بهینه وجود دارد که می‌توان بیشترین توان را از ماژول دریافت نمود. اگر بار الکتریکی مستقیما به ماژول متصل شود، استحصال بیشینه توان در صورت برابر بودن مقاومت مصرف‌کننده الکتریکی با نسبت ولتاژ به جریان ماژول فتوولتاییک امکان‌پذیر خواهد شد [۱۲]. اما چنانچه بار الکتریکی غیر از آن به ماژول متصل شود، توان دریافتی بیشینه نخواهد بود. از طرفی، با تغییر شرایط محیطی مشخصه ولتاژ–توان ماژول تغییر نموده و به سبب آن نقطه کار بهینه از یک منحنی به منحنی دیگر منتقل می‌شود. لذا برای دریافت توان بیشینه مقاومت، مصرف‌کننده الکتریکی باید تغییر کند که این امر عملا امکان‌پذیر نمی‌باشد.

بنابراین، برای غلبه بر این مشکلات به یک بخش واسطه به نام ردیاب نقطه بیشینه توان نیاز است [۱]. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، دنبال‌کننده نقطه بیشینه توان یک مبدل DC/DC به همراه بخش کنترل است و غالبا در بین ماژول فتوولتاییک و مصرف‌کننده الکتریکی قرار می‌گیرد [۱۷].



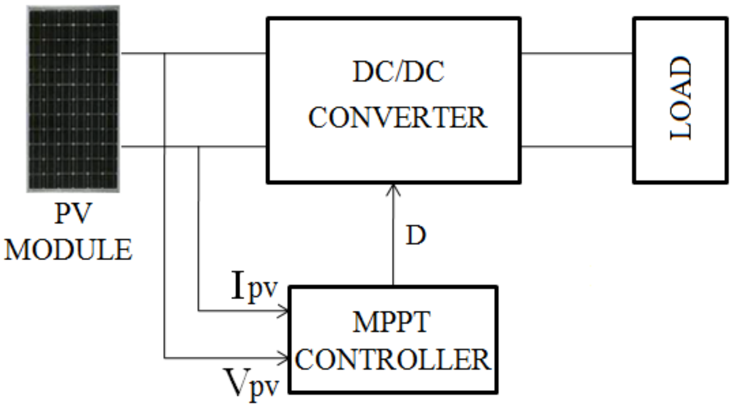
شکل ۲) مشخصه ماژول فتوولتاییک و بار الکتریکی

روش‌های مختلف ردیابی نقطه بیشینه توان نظیر روش Hill Climbing، آشفتن و مشاهده‌کردن و هدایت افزایشی وجود دارد [۳]. این روش‌های متداول دارای معایبی هستند که عبارتند از [۳]:

- به آهستگی به نقطه کار بهینه می رسند.

- در حالت پایداری، دامنه توان ماژول فتوولتاییک در نقطه حداکثر نوساناتی خواهد داشت که باعث اتلاف توان می‌شود.
- در روزهای ابری هنگامی که تابش نور خورشید بسرعت تغییر می‌کند، نقطه کار از نقطه بهینه فاصله می‌گیرد.

برای غلبه بر این معایب، تکنیک‌های جدیدتری نظیر کنترل فازی و عصبی و همچنین در سال‌های اخیر روش‌های کنترل هوشمند پیشنهاد شده‌است [۲۵، ۹ و ۸]. در ادامه، یک کنترل‌کننده فازی جدید پیشنهاد می‌شود که پارامترهای آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه خواهد شد.

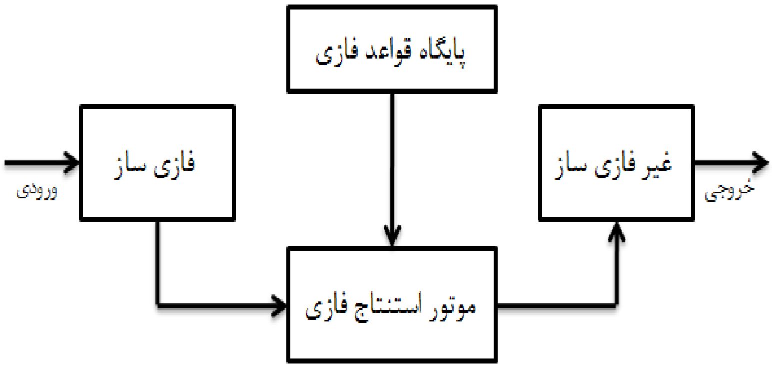


شکل۳) ساختار سیستم فتوولتاییک مستقل

- کنترل‌کننده فازی

همان طور که در بخش قبل اشاره گردید، معمولاروش‌های متداول ردیابی نقطه بیشینه توان در شرایط تغییرات ناگهانی دارای محدودیت هایی هستند. امروزه روش‌های نوین و هوشمندی از جمله کنترل فازی پیشنهاد شده است که بسیاری از محدودیت‌های قبلی را نداشته باشد.

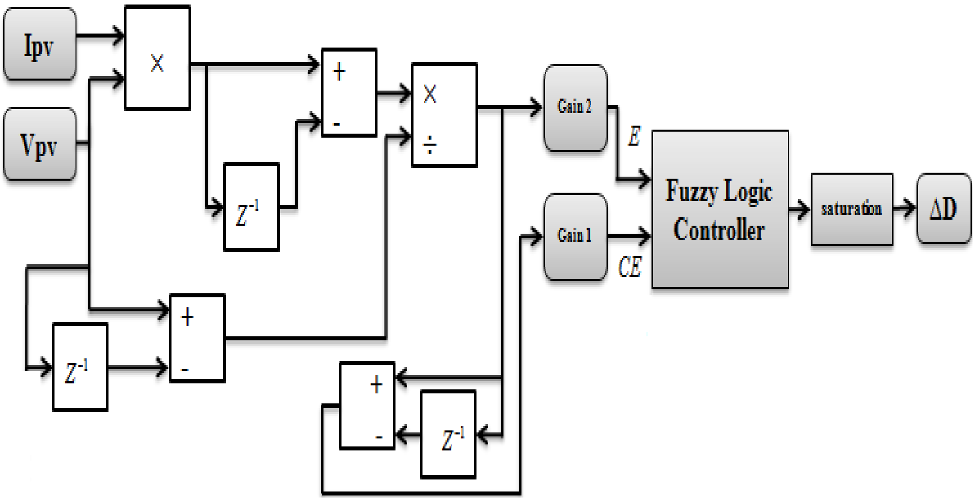
کنترل‌کننده فازی از سه بخش اصلی تشکیل شده که در شکل (۴) نشان داده شده است. بخش اول، بخش فازی‌ساز می‌باشد که متغیرهای ورودی را که متغیرهایی با مقادیر حقیقی هستند، به مجموعه فازی یا زبانی تبدیل می‌کند. بخش دوم، موتور استنتاج فازی است که قوانین اگر- آنگاه فازی در پایگاه قواعد فازی را بر اساس اصول منطق فازی ترکیب می‌کند و سرانجام، یک غیرفازی‌ساز یک مجموعه فازی را به متغیری با مقدار حقیقی برای یک سیستم مشخص در خروجی تبدیل می‌کند [۱۸].



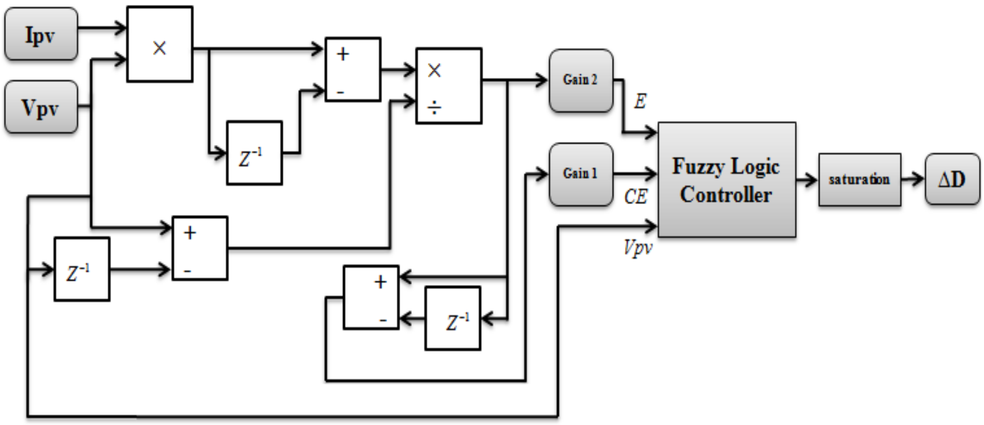
شکل٤) ساختار سیستم فازی

اغلب روش‌های ردیابی نقطه بیشینه توان بر پایه مشخصه ولتاژ- توان ماژول فتوولتاییک عمل می‌کنند [۷]. در کنترل‌کننده فازی معمولا ورودی‌های کنترل‌کننده فازی (E) همان تغییرات توان به تغییرات ولتاژ و تغییرات آن (CE) در زمان (t) هستند که در روابط (۳) و (۴) بیان شده‌اند. خروجی کنترل‌کننده فازی نیز سیکل کاری (ΔD) است.

در مدل پیشنهادی این مقاله، از ولتاژ خروجی ماژول به عنوان ورودی سوم به منظور افزایش توان خروجی ماژول فتوولتاییک استفاده شده است (رابطه ۵). ساختار یک کنترل‌کننده فازی متداول و همچنین کنترل‌کننده فازی پیشنهادی ردیابی نقطه بیشینه توان در شکل (۵) نشان داده شده است.



(۵- الف) [۸]



(۵- ب)

شکل ۵) ساختار کنترل‌کننده نقطه بیشنه توان الف) کنترل‌کننده فازی متداول ب) کنترل‌کننده فازی پیشنهادی

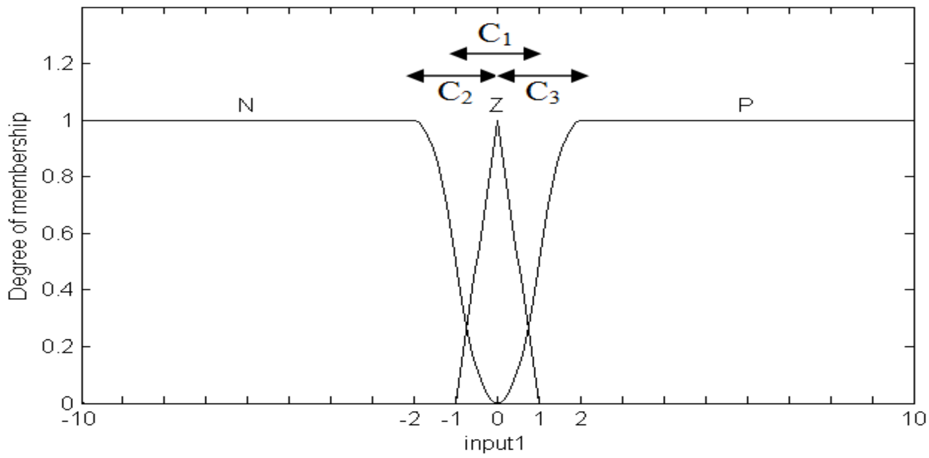
$$INPUT1: E(t)=\frac{P_{pv}(t)-P_{pv}(t-1)}{V_{pv}(t)-V_{pv}(t-1)} \qquad (۳)$$

$$INPUT2: CE(t)=E(t)-E(t-1) \qquad (۴)$$

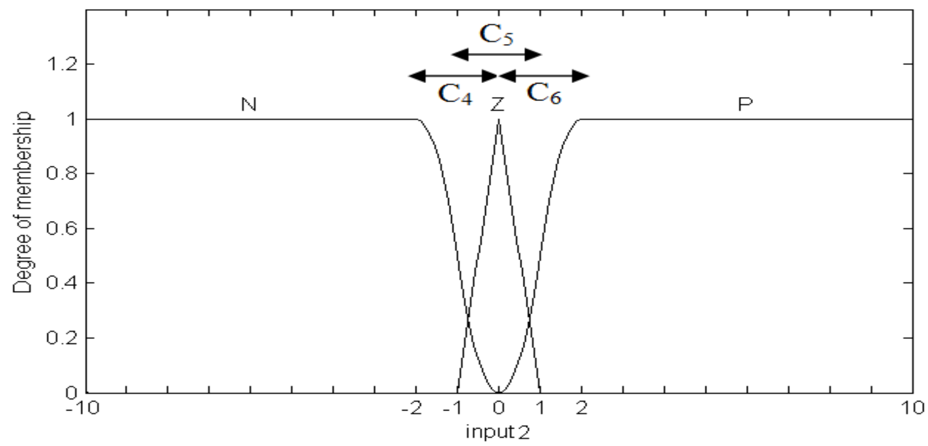
$$INPUT3: V(t) \qquad (۵)$$

در این سیستم، از موتور استنتاج ممدانی (Mamdani) و با توجه به رابطه (۶) از غیرفازی‌ساز میانگین مراکز استفاده شده است [۶]. در این رابطه، n تعداد مجموعه فازی، D_j درجه ارتفاع مجموعه فازی و $\bar{y}^j$ مرکز ثقل مجموعه فازی است. مطابق شکل (۶) ، توابع عضویت کنترل‌کننده فازی پیشنهادی برای ورودی اول، ورودی دوم که همان تغییرات ورودی اول است و همچنین ولتاژ ماژول به صورت منفی (N)، صفر (Z)، مثبت (P) و برای خروجی سیکل کاری از (mf۱) تا (mf۹) نام‌گذاری شده‌اند.

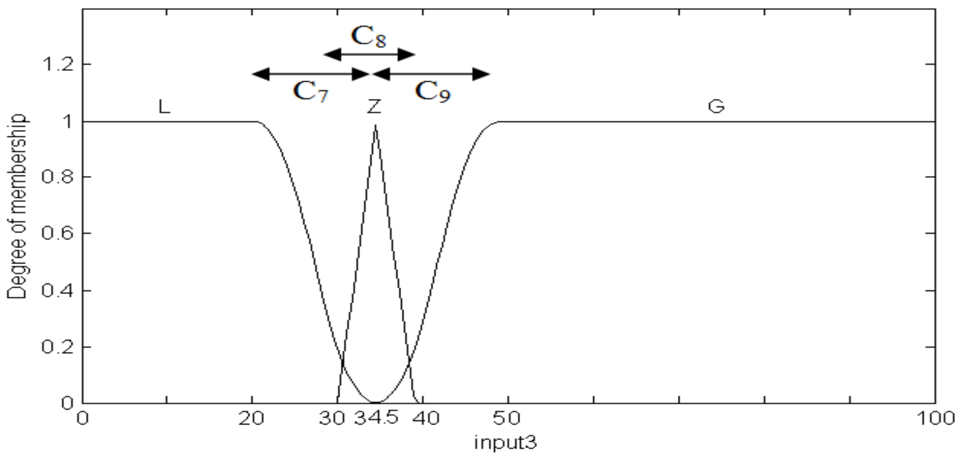
$$\Delta D=\frac{\sum_{j=1}^{n}\bar{y}D_j}{\sum_{j=1}^{n}D_j} \qquad (۶)$$


C1
C2
C3
N
Z
P
Degree of membership
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-10
-2
-1
0
1
2
10
input1

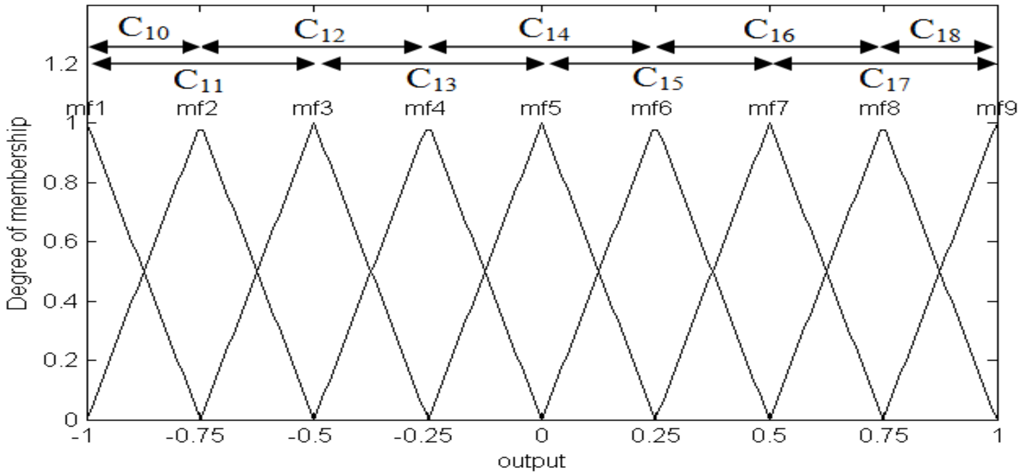
(٦- الف)


C5
C4
C6
N
Z
P
Degree of membership
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-10
-2
-1
0
1
2
10
input2

(٦- ب)


C8
C7
C9
L
Z
G
Degree of membership
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
20
30
34.5
40
50
100
input3

(٦- ج)



(٦- د)

شکل٦) توابع عضویت کنترل‌کننده فازی پیشنهادی برای
(الف) ورودی اول، (ب) ورودی دوم، (ج) ورودی سوم، (د) خروجی سیکل کاری

قوانین اگر-آنگاه فازی استفاده شده در کنترل‌کننده فازی مطابق جدول (۱) است. لازم به ذکر است که قوانین دارای تناقض حذف شده‌اند.

جدول۱) قوانین فازی به منظور بهینه‌سازی سیکل کاری

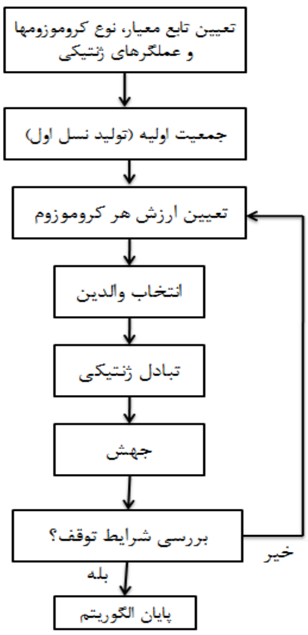
ورودی اول	ورودی دوم	ورودی سوم	خروجی
N	N	Z	Mf4
N	N	G	Mf1
N	Z	Z	Mf3
N	Z	G	Mf1
N	P	Z	Mf5
N	P	G	Mf4
Z	N	Z	Mf4
Z	N	G	Mf2
Z	Z	Z	Mf5
Z	P	L	Mf8
Z	P	Z	Mf6
Z	P	G	Mf4
P	N	L	Mf7
P	N	Z	Mf5
P	Z	L	Mf7
P	Z	Z	Mf6
P	P	L	Mf9
P	P	Z	Mf7

بهینه سازی کنترل‌کننده فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک با بهره‌گیری از نظریه تکامل، راه حل مناسب را برای حل مسأله انتخاب می‌کند [۱۱]. این الگوریتم به تعداد جمعیت اولیه پاسخ تصادفی برای مسأله تولید کرده و هر یک از این پاسخ‌ها در قالب یک کروموزوم کدگذاری می‌شوند. میزان برازندگی این کروموزوم‌ها بر حسب تابع معیار تعیین می‌شود. پس از تعیین میزان برازندگی هر کروموزوم، آنهایی که ارزش بالاتری داشته باشند، حفظ شده و بقیه به دور ریخته می‌شوند. غالبا دو کروموزومی که ارزش بیشتری دارند به عنوان والد انتخاب شده که با مبادله ژن‌های خود فرزندان را ایجاد می‌کنند. پس از تبادل ژنتیکی بین دو والد و عمل جهش، شرایط توقف بررسی شده و در صورت ارضای شرایط توقف، الگوریتم متوقف می‌شود. در غیر این صورت، الگوریتم به مرحله دوم باز می‌گردد و مراحل بعدی را تکرار می‌کند. شکل (۷) ساختار کلی الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد [۲۳].

انتخاب تابع معیار یا همان تابع برازندگی، گام مهمی در جهت بهبود روند الگوریتم ژنتیک است. برای هر کروموزوم در یک جمعیت مقدار تابع برازندگی اندازه‌گیری و صحت عملکرد کنترل کننده توسط برازندگی این تابع سنجیده می‌شود. در این مقاله، هدف کاهش نوسانات توان خروجی ماژول فتوولتاییک حول نقطه بهینه است.

بنابراین، تابع برازندگی به صورت انتگرال قدر مطلق خطا انتخاب می‌شود. منظور از خطا اختلاف بین توان لحظه‌ای و توان ماژول تحت شرایط استاندارد یعنی تابش ۱ کیلووات بر متر مربع و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. روابط (۷) و (۸) تابع برازندگی را بیان می‌دارد.



شکل۷) ساختار کلی الگوریتم ژنتیکی [۲۵]

$$fitness = \int | e(t) | \, dt \tag{۷}$$

$$e(t) = P(t)_{STC} - P(t)_{PV} \tag{۸}$$

جدول (۲) مقدار پارامترهای الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد.

جدول۲) تنظیمات الگوریتم ژنتیک

مقدار	پارامتر
۴۰	تعداد جمعیت
۱۰۰	تعداد تکرار
Roulette wheel	روش انتخاب
Top	سنجش برازندگی
۰/۸	درجه تبادل
گوسین	روش جهش

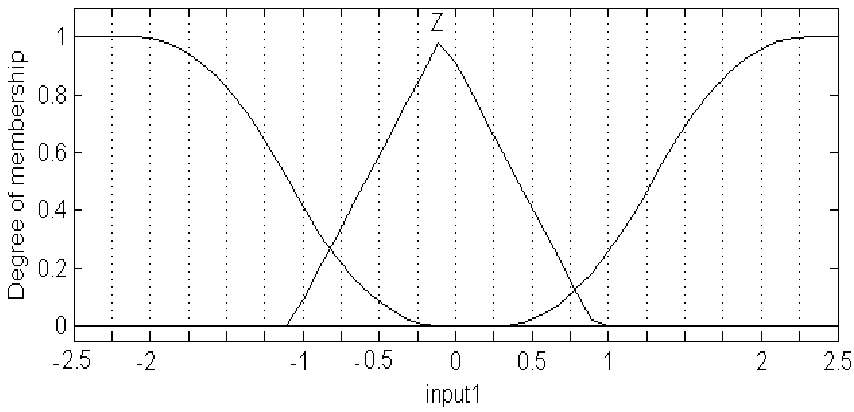
ژن‌های توابع عضویت مطابق جدول (۳) خواهند بود. پارامترهای C_1 تا C_{18} ژن‌ها را تشکیل می‌دهند که محدوده هر یک از آنها در شکل (۶) نشان داده شده است.

جدول۳) ژن‌های توابع عضویت

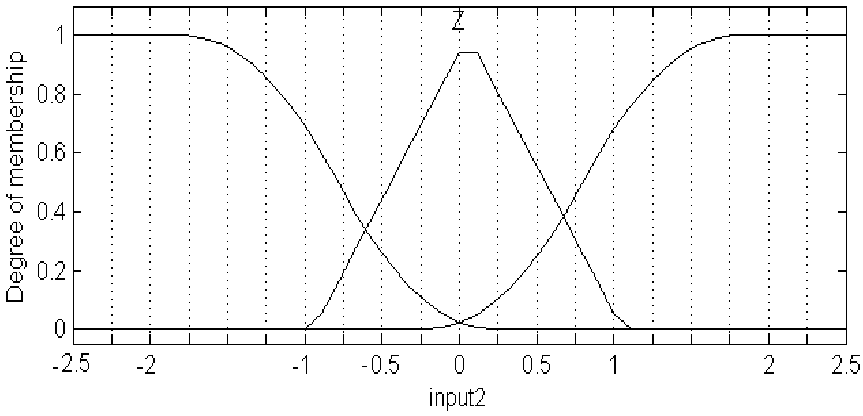
کروموزوم ۱		
C_1	C_2	C_3
کروموزوم ۲		
C_4	C_5	C_6
کروموزوم ۳		
C_7	C_8	C_9

کروموزوم ۴								
C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}

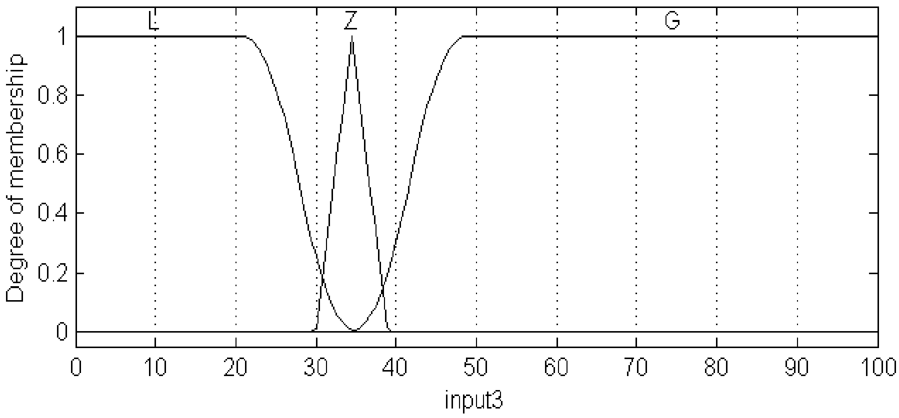
توابع عضویت بهینه شده نیز در شکل (۸) نشان داده شده است.



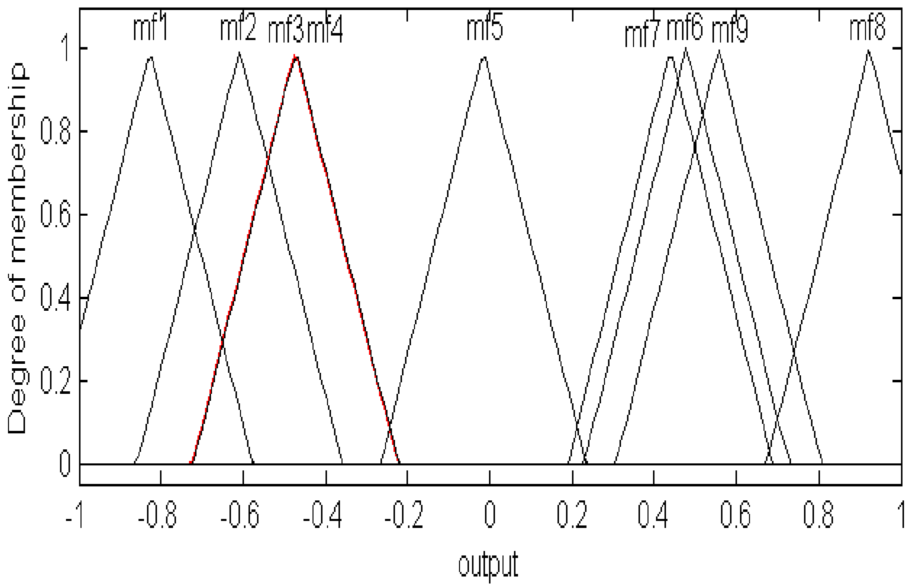
(۸- الف)



(۸- ب)



(۸- ج)



(۸- د)

شکل۸) توابع عضویت بهینه شده کنترل‌کننده فازی پیشنهادی برای (الف) ورودی اول، (ب) ورودی دوم، (ج) ورودی سوم، (د) خروجی سیکل کاری

با توجه به شکل (۸)، ملاحظه می‌شود که پس از بهینه‌سازی پارامترهای توابع عضویت به منظور کلیدزنی مطلوبتر تغییر یافته است.

شبیه‌سازی و نتایج

سیستم فتوولتاییک شامل ماژول فتوولتاییک، کنترل‌کننده نقطه بیشینه توان، مبدل DC/DC به همراه مصرف‌کننده اهمی و مدولاتور پهنای پالس است. از ماژول Solarex BP SX150 و نرم افزار MATLAB برای شبیه‌سازی استفاده شده است. جدول (۴) مشخصات ماژول فتوولتاییک و جدول (۵) پارامترهای مبدل DC/DC را نشان می‌دهد.

جدول ٤) مشخصات ماژول فتوولتائیک [۵]

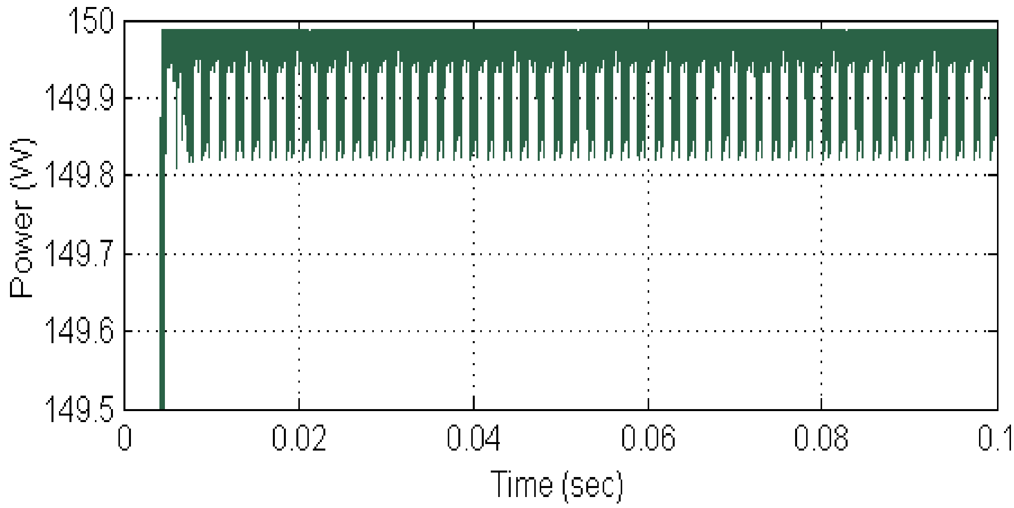
ماژول فتوولتائیک *SOLAREX BP SX 150*	
۱۵۰ وات	توان بیشینه
۳۴/۵ ولت	ولتاژ بیشینه
۴/۳۵ آمپر	جریان بیشینه
۴/۷۵ آمپر	جریان اتصال کوتاه
۴۳/۵ ولت	ولتاژ مدار باز
(۰/۰۶۵±۰/۰۱۵)٪/°C	ضریب دمایی جریان
-(۱۶۰±۲۰)mV/°C	ضریب دمایی ولتاژ
-(۰/۵±۰/۰۵)٪/°C	تأثیر دما بر توان
۴۷±۲°C	دمای نامی عملکرد سلول

جدول ۵) مشخصات مبدل افزاینده DC/DC

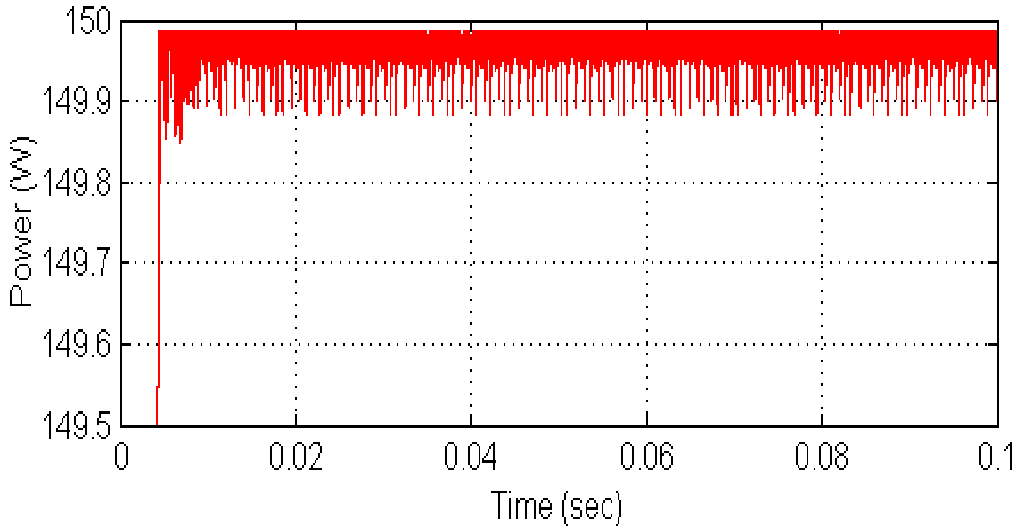
۱۶۸ میکرو هانری	اندوکتانس
۱۵ میکرو فاراد	خازن خروجی
۵۰۰ میکرو فاراد	خازن داخلی
۲۵ کیلو هرتز	فرکانس کلیدزنی

شبیه‌سازی تحت شرایط استاندارد

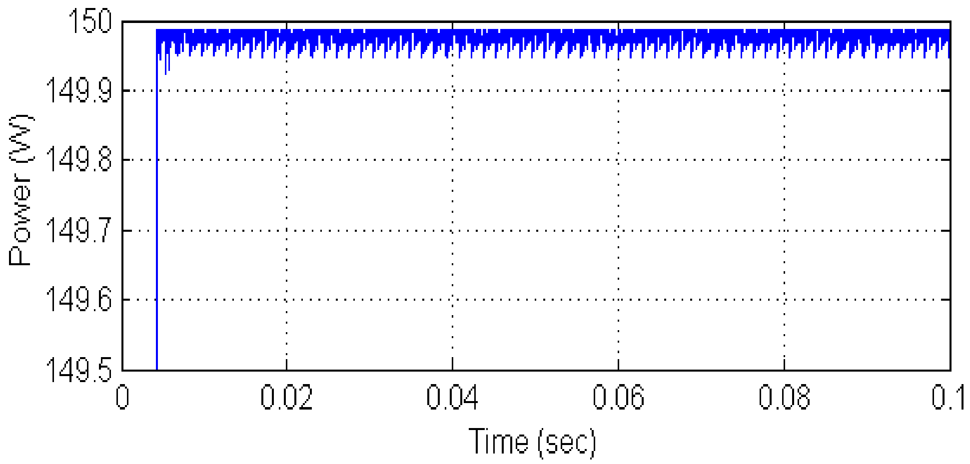
با لحاظ کردن شرایط استاندارد، شبیه‌سازی با استفاده از کنترل‌کننده‌های مختلف انجام شده است. همان طور که در شکل (۹) مشاهده می‌گردد، عملکرد کنترل‌کننده فازی پیشنهادی در بهبود توان خروجی ماژول فتوولتاییک بهتر از کنترل‌کننده فازی متداول بوده و منجر به کاهش دامنه نوسانات شده است. همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک، عملکرد سیستم پیشنهادی بهبود یافته است.



(۹- الف)



(۹- ب)

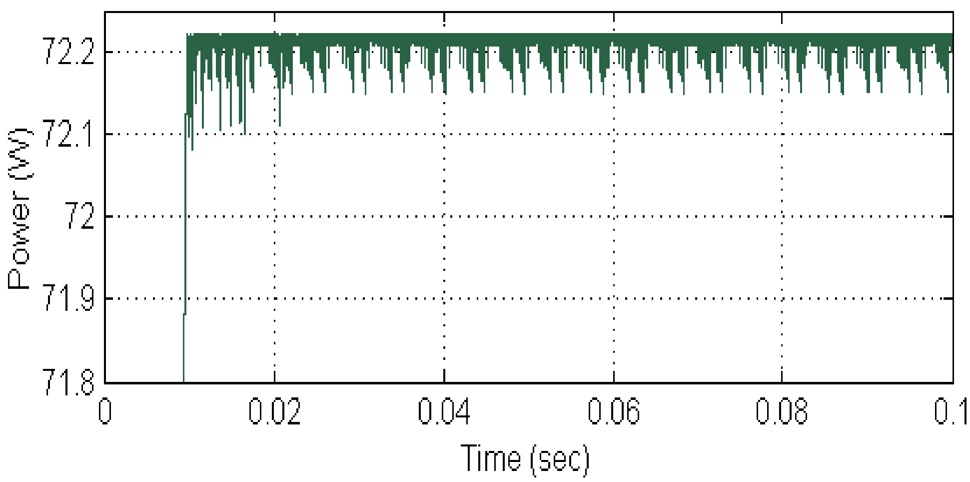


(۹- ج)

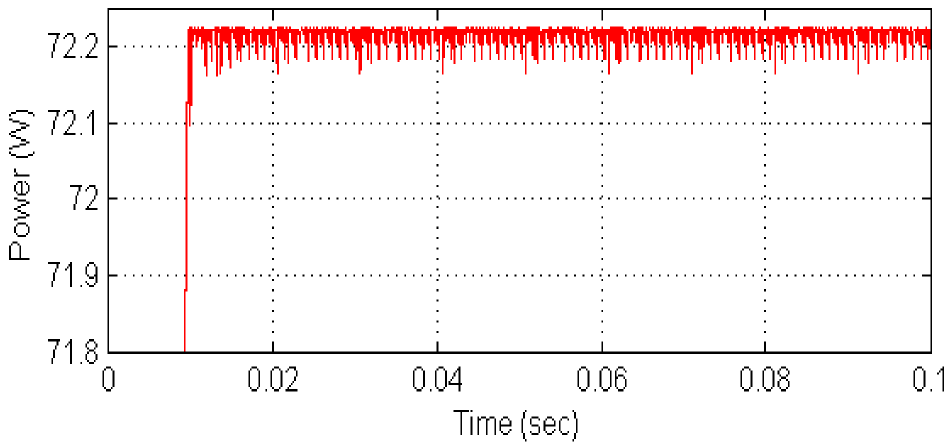
شکل ۹) توان خروجی ماژول فتوولتاییک در دمای ۲۵ °C و شدت تابش ۱۰۰۰ W/m^2 ، الف) کنترل‌کننده فازی متداول، ب) کنترل کننده فازی پیشنهادی، ج) کنترل‌کننده فازی پیشنهادی بهینه شده

شبیه‌سازی تحت شرایط متفاوت تابش و دما

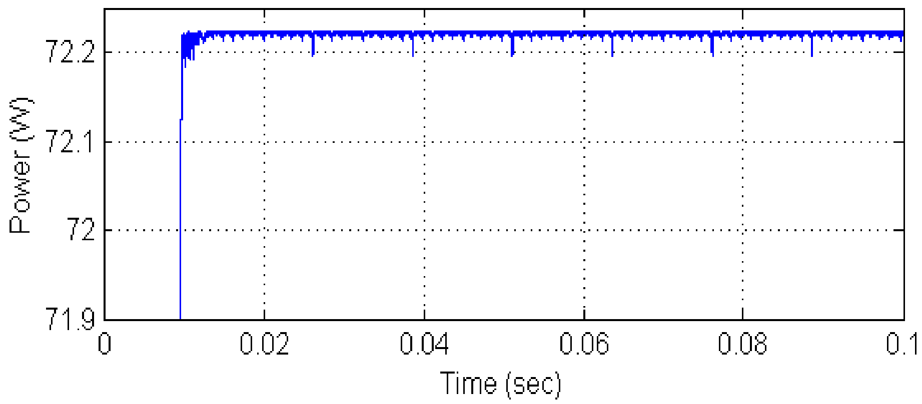
در شکل (۱۰) عملکرد کنترل‌کننده‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تابش ۵۰۰ وات بر متر مربع و همچنین در شکل (۱۱) توان خروجی ماژول فتوولتاییک در سطح تابش ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. در این شرایط نیز کنترل‌کننده فازی پیشنهادی بهتر عمل کرده و توسط الگوریتم ژنتیک بهبود یافته است.



(۱۰- الف)

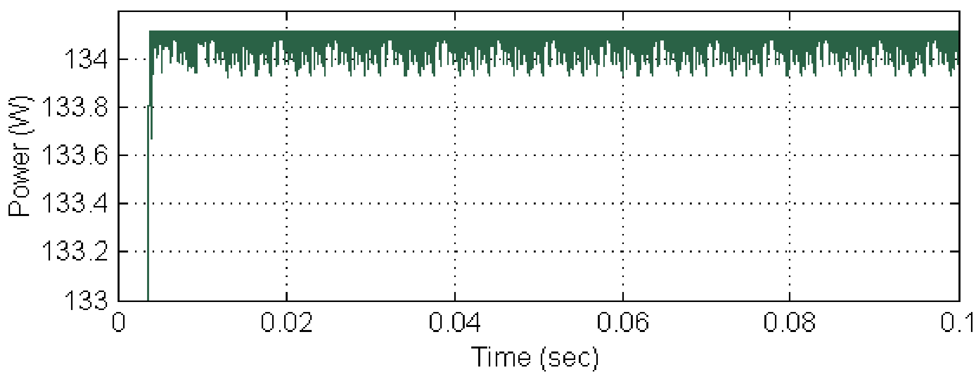


(۱۰- ب)

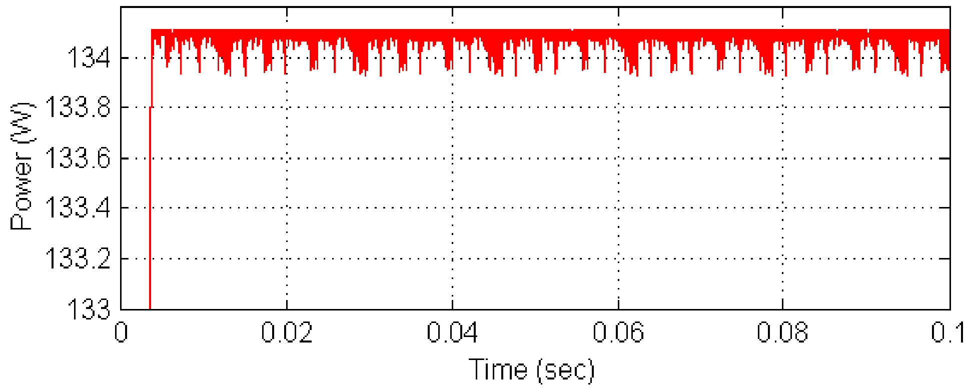


(۱۰- ج)

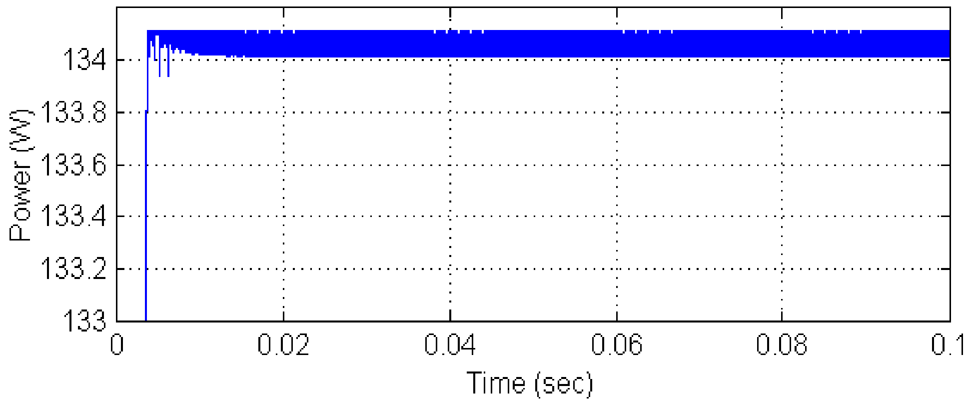
شکل ۱۰) توان خروجی ماژول فتوولتاییک در دمای ۲۵ °C و شدت تابش W/m^2 ۵۰۰ ، الف) کنترل‌کننده فازی متداول، ب) کنترل کننده فازی پیشنهادی، ج) کنترل‌کننده فازی پیشنهادی بهینه شده



(۱۱- الف)



(۱۱- ب)

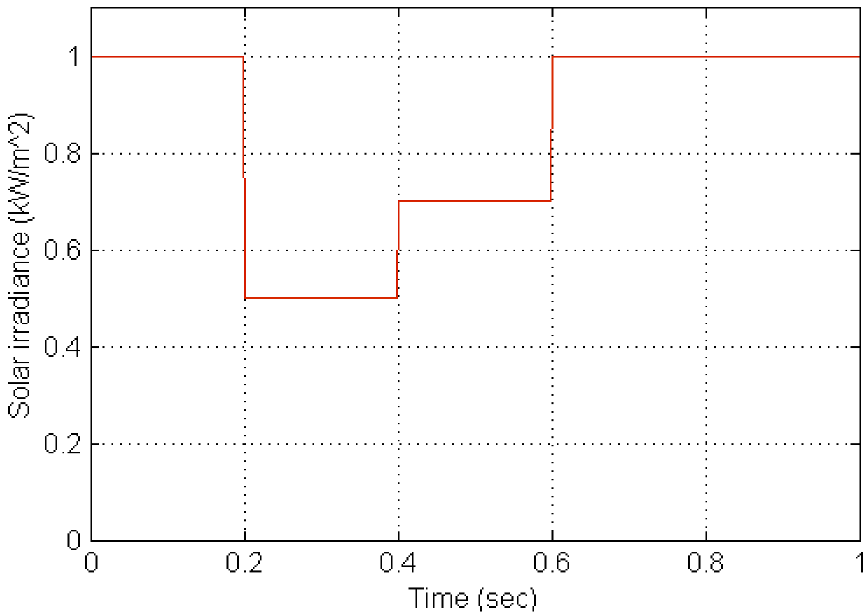


(۱۱- ج)

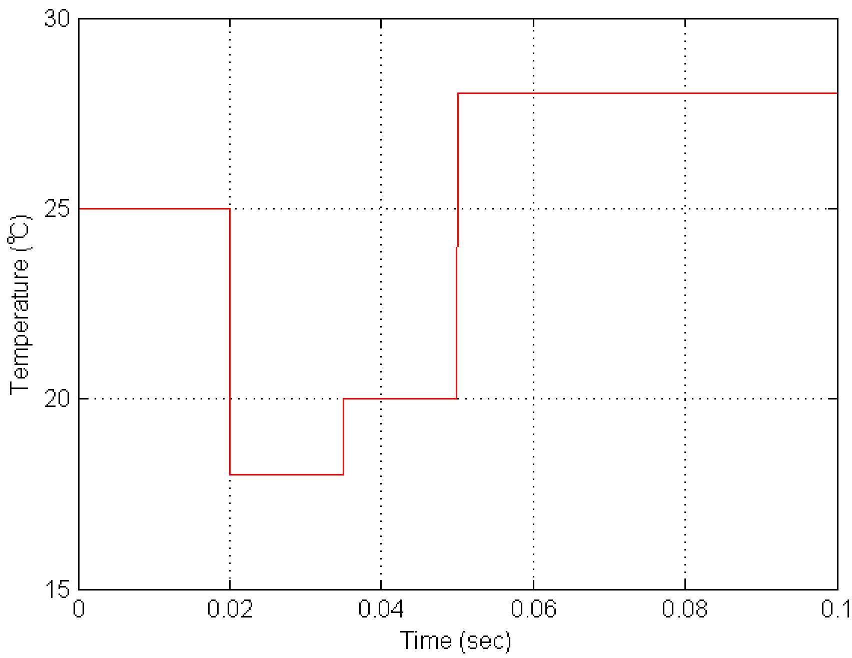
شکل ۱۱) توان خروجی ماژول فتوولتاییک در دمای °C ۵۰ و شدت تابش W/m2 ۱۰۰۰ ، الف) کنترل‌کننده فازی متداول، ب) کنترل کننده فازی پیشنهادی، ج) کنترل‌کننده فازی پیشنهادی بهینه شده

شبیه‌سازی تحت شرایط متغیر تابش و دما به صورت همزمان

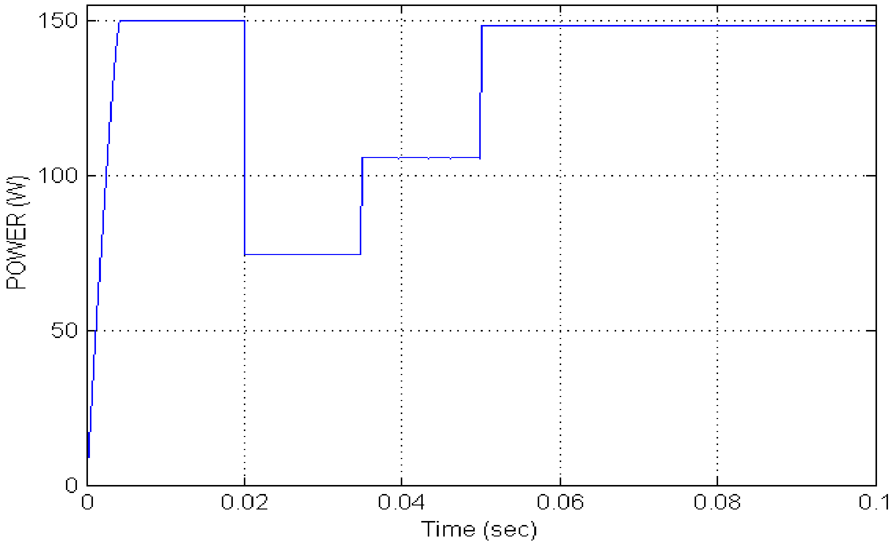
عملکرد کنترل‌کننده فازی پیشنهادی بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک برای شرایط متغیر سطح تابش و دما بررسی شده است. مطابق شکل (۱۲- الف و ب) فرض می‌شود که سطح تابش از ۱۰۰۰ به ۵۰۰ وات بر متر مربع و از ۵۰۰ به ۷۰۰ و در نهایت، به ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و به همین ترتیب دما نیز از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ۱۸ و سپس به ۲۰ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد تغییر وضعیت دهد. در این شرایط، توان خروجی، ولتاژ و جریان ماژول فتوولتاییک در شکل (۱۲- ج و د) نشان داده شده است.


Solar irradiance (kW/m^2)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
Time (sec)

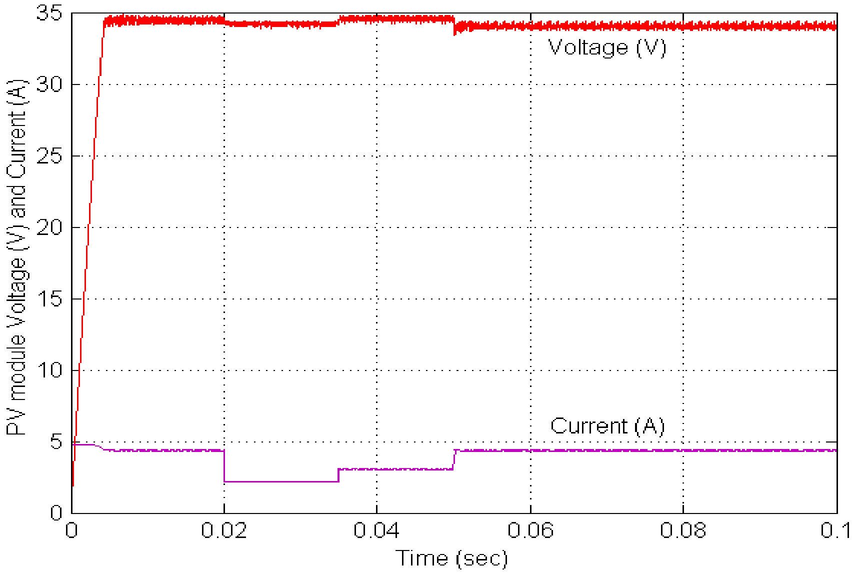
(۱۲- الف)


Temperature (ºC)
15
20
25
30
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1
Time (sec)

(۱۲- ب)



(۱۲- ج)



(۱۲- د)

شکل ۱۲) کنترل کننده فازی پیشنهادی بهینه شده، الف) تغییرات شدت تابش، ب) تغییرات دما ج) توان ماژول، د) ولتاژ و جریان ماژول

با توجه به شکل (۱۲)، تغییرات شدت تابش و دما به صورت همزمان به این سیستم اعمال شده است. با استفاده از کنترل‌کننده بهینه شده، ولتاژ و جریان ماژول فتوولتاییک به همراه توان خروجی در محدوده مقادیر بیشینه قرار گرفته‌اند.

نتیجه گیری

در این مقاله، تکنیک هوشمند کنترل نقطه بیشینه توان به منظور بهبود نوسانات توان و افزایش راندمان سیستم فتوولتاییک ارائه شده است. عملکرد کنترل‌کننده پیشنهادی فازی با سه ورودی و کنترل‌کننده فازی متداول و همچنین کنترل‌کننده بهینه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شرایط متفاوت تابش و دما با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که با استفاده از روش پیشنهادی، نوسانات توان در حالت پایداری نسبت به کنترل‌کننده فازی متداول با دو ورودی کاهش یافته است. همچنین عملکرد کنترل‌کننده فازی ژنتیکی نیز منجر به ردیابی مطلوب‌تر توان خروجی ماژول فتوولتاییک شده است. به منظور پیاده‌سازی و اجرایی نمودن تحقیقات انجام شده در این مقاله، می‌توان از FPGA و AVR نیز بهره گرفت.

منابع

[۱] روح الامینی، امین، فدایی‌نژاد، روح الله. (۱۳۹۰)، بهبود روش هدایت افزایشی به منظور دریافت بیشترین توان از مولدهای فتوولتائیک، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق (PSC).

[2] A. Messai, A. Mellit, A. Guessoum, S.A. Kalogirou. 2011. "*Maximum power point tracking using a GA optimized fuzzy logic controller and its FPGA implementation*", Solar Energy (85), 265–277.

[3] Bader N. Alajmi, Khaled H. Ahmed, Stephen J. Finney, Barry W. Williams. 2011. "*Fuzzy-Logic-Control Approach of a Modified Hill-Climbing Method for Maximum Power Point in Microgrid Standalone Photovoltaic System*" , IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 26, NO. 4.

[4] Bahgat, A.B.G., Helwa, N.H., Ahmad, G.E., El Shenawy, E.T. 2005. "*Maximum power point tracking controller for PV system using neural networks*", Renewable Energy 30, 1257–1268.

[5] BP SX150 – 150 watt multi crystalline photovoltaic module datasheet, 2001, (http://www.southwestpv.com/download.html).

[6] C.Ali. 2005. "*Étude de la Poursuite du Point de Fonctionnement Optimal du Générateur Photovoltaïque*", 3rd International Conference Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, TUNISIA, March 27-31.

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

[8] C. Larbes, S.M. Cheikh, T. Obeidi, A. Zerguerras. 2009. "*Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system*".

[9] Chokri Ben Salah, Mohamed Ouali. 2011. "*Comparison of fuzzy logic and neural network in maximum power point tracker for PV systems*", ELSEVIER Electric Power Systems Research (81), 43–50.

[10] Chu, C. Chen. 2009. “*Robust maximum power point tracking method for photovoltaic cells*”, a sliding mode control approach. Solar Energy 83 (8), 1370–1378.

[11] D.Goldberg. 1989. “*Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*”, Addision-Wesley.

[12] Emil Jimenez-Brea, Andres Salazar-Llinasy, Eduardo Ortiz-Riveraz, Jesus Gonzalez-LlorenteX. 2010. “*A Maximum Power Point Tracker Implementation for Photovoltaic Cells Using Dynamic Optimal Voltage Tracking*”, Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), PP. 2161 – 2165.

[13] Evagelia V., Paraskevadaki, Stavros A. Papathanassiou. 2011. “*Evaluation of MPP Voltage and Power of mc-Si PV Modules in Partial Shading Conditions*”, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 26, NO. 3, SEPTEMBER.

[14] F. Bouchafaa, I. Hamzaoui, A. Hadjammar. 2010. “*Fuzzy Logic Control for the tracking of maximum power point of a PV system*”. Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of [name organizer].

[15] German Solar Energy Society (DGS), 2008. *Planning and Installing PV system, A Guide for Installers, Architects and Engineers*, 2nd ed. U.K. Earthscan Publications Ltd.

[16] Khaehintung, Sirisuk. 2004. “*Implementation of maximum power point tracking using fuzzy logic controller for solar-powered lightflasher applications*”, The 47th IEEE International Midwest symposium on Circuits and Systems, Hiroshima, July 25–28, pp. 171–174.

[17] Kida, J., Tokuda, K., Ishihara, Y., Todaka, T. 1991. “*Analysis of DC–DC converter for the maximum power point control of photovoltaic*”, INTELEC’91, IEEE Proceedings, pp. 291–295.

[18] L.X.Wang. 1997. “*A Course in Fuzzy Systems and Control*”, International Edition.

[19] M. Azab. 2008. “*A New Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems*”, Procedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Volume 34 ISSN 2070-3740.

[20] Mei Shan Ngan, Chee Wei Tan. 2011. “*A Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-alone Photovoltaic Systems*”, IEEE applied powet electronics colloquium.

[21] Mellit, A. Kalogirou, S.A. 2008. “*Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications*”, a review Progress in Energy and Combustion Science 34, 574–632.

[22] Mellit, A. Mekki, H. Messai, A. Salhi. 2010. “*FPGA-based implementation of an intelligent simulator for stand-alone photovoltaic system*”, Expert Systems with Applications 37, 6036–6051.

[23] R.L.Haupt, S.E Haupt, “*Practical Genetic Algorithm*”, Secend Edition.

[24] Vora B., Chen J.Q., Bozzano A., Glover B. and Barger P. 2009. "Various Routes to Methane Utilization—SAPO-34 Catalysis Offers the Best Option", Catalysis Today, Vol. 141, PP. 77–83.

[25] Wilamowski BM, Li X. 2002. “*Fuzzy system based maximum power point tracking for PV system*”, 28th Annual Conf of the IEEE Ind. Electron. Society; pp. 3280–84.