

ردیابی نقطه حداکثر توان در ریزشبه جزیره‌ای مبتنی بر سیستم فتولتائیک توسط روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی بر کنترل فازی بهینه چندهدفه

علی درویش فالچی

گروه برق، واحد شادگان، دانشگاه آزاد اسلامی، شادگان، ایران، a_darvishfalehi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷

چکیده: در حال حاضر نیروگاه‌های برق تجدید پذیر مبتنی بر مزارع فتولتائیک به عنوان منابع اساسی تولید انرژی بسیار مورد توجه بوده که سرعت زیادی در حال رشد می‌باشند. با این وجود، تغییرات شرایط آب و هوایی یکی از مسائل پیش روی این سیستم تبدیل انرژی می‌باشد جهت ارائه توان مورد نیاز به مصرف‌کننده می‌باشد. یک کنترل‌کننده کارآمد می‌تواند پشتیبانی مطلوبی از سیستم فتولتائیک و بهبود عملکرد دینامیکی ریزشبه جزیره‌ای مبتنی بر سیستم فتولتائیک داشته باشد. در این مقاله یک روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی بر کنترل فازی بهینه برای تأمین انرژی مورد نیاز میکرو شبکه ارائه می‌شود. در این راستا، تغییرات جزئی در ثابت تناسبی و انتگرالگیر در هنگام تغییرات آب و هوایی جهت اطمینان از همگرایی در نقطه مطلوب محاسبه می‌شود جهت یافتن پارامترهای مطلوب توابع عضویت سیستم فازی از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب استفاده می‌شود. سپس، سیگنال بهینه چرخه کار به کانورتر بوست تزریق می‌شود. برای ارزیابی و به اثبات رساندن کارایی کنترل‌کننده پیشنهادی، مقایسه‌ای نیز با استراتژی مشاهده و اغتشاش مرسوم انجام می‌شود. همچنین، وضعیت‌های تابشی متفاوت برای سیستم فتولتائیک تحت مطالعه در نظر گرفته می‌شود. مدلسازی سیستم فتولتائیک و سیستم کنترل پیشنهادی توسط نرم‌افزار MATLAB/Simulink صورت گرفته است. در پایان، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که سرعت و دقت ردیابی نقطه حداکثر توان توسط سیستم کنترل پیشنهادی بهبود چشمگیری داشته است.

واژه های کلیدی: ردیابی نقطه حداکثر توان، کنترل فازی بهینه، فتولتائیک، ریزشبه جزیره‌ای، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب.

۱- مقدمه

با توجه به انرژی بی‌حد خورشید به‌مراه پاک، ارزانی و تعمیر و نگهداری پایین، منابع فتولتائیک از تمامی منابع انرژی تجدید پذیر بیشترین توجه را به خود اختصاص داده است. استفاده از این منابع بعنوان یک راه حل مؤثر جهت کاهش بهره‌گیری از منابع و سوخت‌های فسیلی بیان می‌شود. منبع خورشیدی دارای انرژی پتانسیلی است که می‌توان جهت تبدیل به دیگر انواع انرژی آن را ذخیره‌سازی کرد [1-3]. همچنین، با توجه به توسعه جوامع و کشورها نیاز به انرژی بیشتر شده که منجر به بودجه‌های هنگفت جهت تهیه مولدهای انرژی شده و باعث شده است که دولت‌ها چاره‌ای جز استفاده از منابع تجدیدپذیر نداشته باشند. از اینرو، محققین و دانشمندان بر آن شده‌اند که با تولید سیستم تبدیل انرژی کارآمدی از سیستم‌های فتولتائیک ترغیب بیشتری جهت استفاده از منابع بوجود آورند [4, 5].

بایستی در نظر داشت که تغییرات غیرخطی ولتاژ و جریان خروجی ماژول‌های فتولتائیک موجب کاهش بازده آن شده و توان کمی در اختیار مصرف‌کننده در ریزشبه جزیره‌ای قرار گیرد [6-8]. با توجه به عدم اتصال این بارها به شبکه سراسری، دریافت حادتر توان در این سیستم‌ها در شرایط آب و هوایی مختلف بسیار ضرورت دارد. در حقیقت غیرخطی بودن ولتاژ و جریان منابع فتولتائیک متأثر از میزان تابش و دما در شرایط مختلف جوی و جریان بار می‌باشد [9]. روش‌های ردیابی نقطه توان حداکثر بعنوان راهکار اساسی در این خصوص معرفی می‌گردد [10-12]. ردیاب حداکثر توان بیشینه توان ماژول فتولتائیک را استخراج کرده و آن را به بار تحویل می‌دهد که در برای این منظور از یک کانورتر DC/DC استفاده می‌شود. مبدل DC/DC واسط میان بار و ماژول فتولتائیک با تغییرات دیوتی سایکل، امپدانس بار تغییر داده شده و منطبق بر نقطه توان بیشینه شده و به بار منتقل می‌شود [13, 14].

شکل (۱) مدار الکتریکی معادل یک سلول فتوولتائیک متصل به بار

اتصال p-n سلول فتوولتائیک با یک دیود معادل شده شده است. مقاومت ورق سطح نیمه هادی با یک مقاومت سری معادل شده است. جریان نشی به زمین در هنگام بایاس معکوس دیود معکوس با مقاومت شنت معادل می شود. با استفاده از قانون Kirchhoff در مدار الکتریکی معادل همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، جریان ترمینال ماژول فتوولتائیک می تواند به صورت زیر بیان شود [20, 21]:

$$I_{PV} = I_L - I_D \quad (1)$$

جاییکه I_{PV} ، I_L و I_D به ترتیب جریان ترمینال ماژول فتوولتائیک، جریان تولید شده توسط سلول فتوولتائیک و جریان دیود هستند. جریان فتوولتائیک می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$I_L = (I_{L,ref} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_{n,ref}} \quad (2)$$

جاییکه $I_{L,ref}$ ، K_i ، G ، ΔT و $G_{n,ref}$ جریان مرجع تولید شده توسط تابش خورشید در شرایط نامی، ضریب دمایی حداکثر جریان سلول فتوولتائیک ($A/^\circ K$)، اختلاف بین دمایی واقعی و دمایی نامی، تابش بر روی سطح ماژول فتوولتائیک و تابش نامی ($1000 W/m^2$) است. معادله جریان دیود را نیز می توان بصورت زیر ارائه داد:

$$I_D = I_0 \left[e^{\left(\frac{V + R_s I}{\alpha V_t} \right)} - 1 \right] \quad (3)$$

جاییکه I_0 و V_t به ترتیب جریان اشباع دیود در غیاب تابش خورشید و ولتاژ حرارتی سلول فتوولتائیک هستند. ولتاژ حرارتی سلول فتوولتائیک نیز به صورت زیر بیان می شود:

$$V_t = \frac{N_s K T}{q} \quad (4)$$

جاییکه N_s تعداد سلول های سری فتوولتائیک، K ثابت بولتزمن (10^{-23} J/K)، q شارژ الکترون، T دمایی واقعی برحسب کلوین و α ثابت ایده آل بودن دیود ($1 < \alpha < 5$) می باشد.

لازم به ذکر است که، میزان اشباع دیود به دما بستگی دارد و به صورت زیر بیان می شود:

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_{n,ref}}{T} \right)^3 e^{\left[\frac{q E_g}{\alpha K} \left(\frac{1}{T_{n,ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]} \quad (5)$$

جاییکه $T_{n,ref}$ بیانگر دمایی نامی (۲۵ درجه سانتیگراد)، $I_{0,ref}$ بیانگر جریان اشباع دیود در شرایط نامی و E_g نیز بیانگر انرژی شکاف باند می باشد.

جریان اشباع دیود را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$I_{0,ref} = \frac{I_{sc,ref}}{\left(e^{\left(\frac{V_{oc,ref}}{\alpha V_{t,ref}} \right)} - 1 \right)} \quad (6)$$

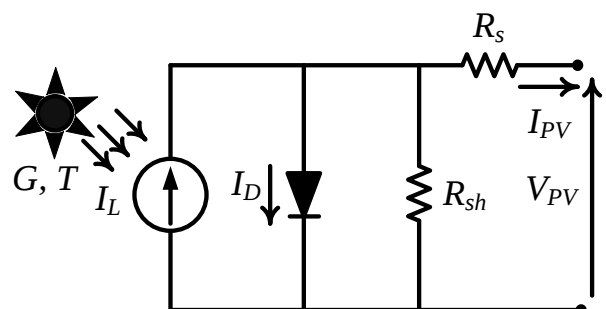
از آنجاییکه توان تولیدی منابع تجدید پذیر انرژی به تغییر آب و هوا بستگی دارد ممکن است شرایطی بوجود آید که منابع تجدید پذیر نتوانند به طور کامل تقاضای بار را برآورده سازند. مشکل فوق را می توان با تلفیق منابع انرژی تجدیدپذیر در یک ساختار ترکیبی ریز شبکه حل کرد، چرا که به طور بالقوه قابلیت اطمینان انرژی بهبود می یابد. رویکردهای مختلفی برای ادغام منابع تجدید پذیر انرژی وجود دارد که تشکیل یک ریز شبکه دهند و برای استحصال و اطمینان از بالاترین میزان انرژی، روش های ردیابی حداکثر توان متفاوتی استفاده می شوند که هر روش سعی داشته که بر معایب خاص سیستم های فتوولتائیک فایده آید [15-17]. در این مقاله سیستم ردیابی نقطه حداکثر توان اغتشاش و مشاهده اطلاعی مبتنی بر فازی بهینه ارائه می شود.

با توجه به میزان کم اینرسی بسیار در سیستم ریز شبکه جزیره ای، برای هر گونه عدم تطابق توان در حالت گذرا، یک سیستم ذخیره انرژی با ظرفیت توان کافی مورد نیاز است که باتری ذخیره ساز انرژی جهت ذخیره انرژی الکتریکی با چگالی توان مناسب در این شرایط مناسب می باشد [18, 19]. به دلیل عدم قطعیت بالای این سیستم و نیز تغییر تصادفی پارامترها کنترل کننده فازی برای مقابله با آنها بسیار مناسب است. همچنین، جهت اطمینان از کارکرد دقیق این کنترل کننده استفاده از یک روش بهینه سازی برای استخراج پارامترهای بهینه بسیار مؤثر است.

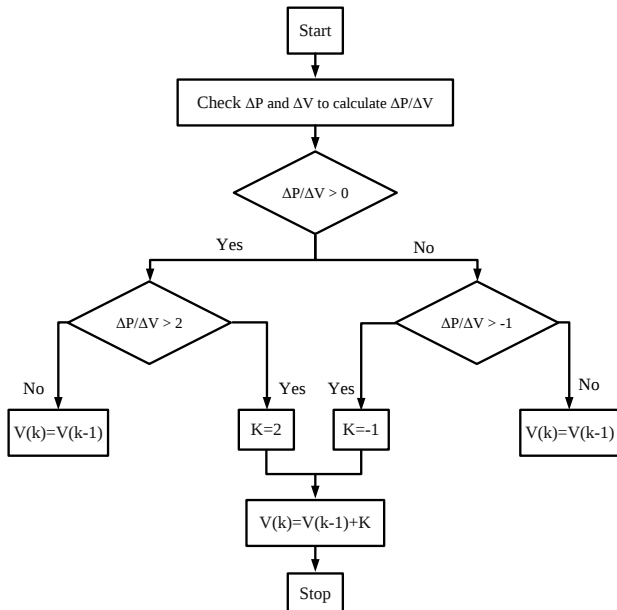
با توجه به ماهیت چندهدفگی مسئله، از الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب جهت افزایش دقت ردیابی نقطه حداکثر توان توسط کنترل کننده پیشنهادی استفاده می شود. برای ارزیابی و به اثبات رساندن کارایی کنترل کننده پیشنهادی، مقایسه ای نیز با استراتژی مشاهده و اغتشاش مرسوم انجام می شود. همچنین، وضعیت های تابشی متفاوت برای سیستم فتوولتائیک تحت مطالعه در نظر گرفته می شود. مدلسازی سیستم فتوولتائیک و سیستم کنترل پیشنهادی توسط نرم افزار MATLAB / Simulink صورت گرفته است. در پایان، نتایج بدست آمده نشان داده است که سرعت و دقت ردیابی نقطه حداکثر توان توسط سیستم کنترل پیشنهادی بهبود قابل توجهی داشته است.

۲- مدلسازی سیستم فتوولتائیک

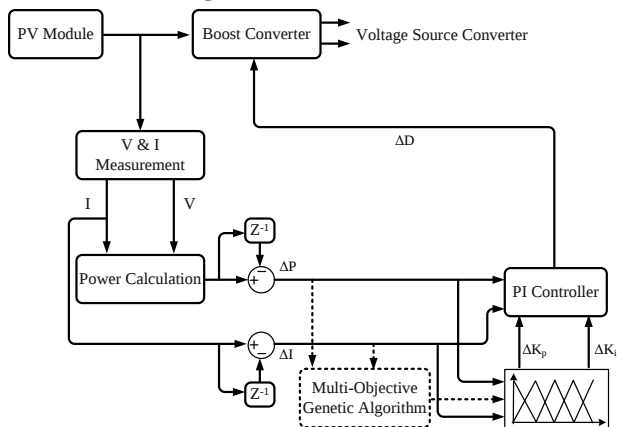
فرض شکل (۱) یک مدار الکتریکی معادل یک سلول فتوولتائیک را نشان می دهد. توان تولیدی در سلول فتوولتائیک به دلیل قرار گرفتن محل اتصال p-n به تابش خورشید در اینجا با یک منبع جریان غیر خطی DC مدل می شود.



پارامترهای مطلوب توابع عضویت سیستم فازی از الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب استفاده می شود. در نهایت سیگنال بهینه چرخه کار به کانورتر بوس تزریق می شود.



شکل (۲) فلوچارت روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی



شکل (۳). سیستم کنترل پیشنهادی اغتشاش و مشاهده مبتنی بر فازی بهینه

۴- الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی تصادفی جهت استخراج راه حل بهینه در رابطه با مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک یکی از انواع الگوریتم های تکاملی است که روش های زیست شناسی مثل وراثت و جهش را بکار می برد. این الگوریتم مبتنی بر تئوری تکاملی داروین بوده و جواب های حاصل از این الگوریتم در هر مرحله یا تولید نسل بهبود می یابد. شروع این الگوریتم با یک مجموعه ای از جواب ها که کروموزومها هستند است و آن را جمعیت اولیه نامگذاری می کنند. جواب های بدست آمده از یک جمعیت جهت تولید جمعیت بعدی بکارگیری می شوند. این فرآیند با استفاده از عملگرها به دنبال بهبود جواب ها در جمعیت بعدی هستیم. انتخاب تعدادی جواب از بین کل جواب ها بر اساس مقدار Offspring برای ایجاد جواب های جدید یا همان فرزندان Parent جوابها والدین مطلوب آنها می باشد. بدیهی

جاییکه $V_{t,ref}$ ، $I_{sc,ref}$ و $V_{oc,ref}$ در آن ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه و ولتاژ حرارتی نامی ماژول فتوولتائیک هستند. پارامترهای ذکر شده در تابش و دمای نامی برای یک سلول فتوولتائیک است. از این رو، برای بدست آوردن مقادیر پارامتر برای کل ماژول فتوولتائیک، این مقیاس بندی می شود:

$$I_{L,Total} = N_P * I_L \quad (7)$$

$$I_{0,Total} = N_P * I_0 \quad (8)$$

$$R_{S,Total} = \frac{N_S}{N_P} R_S \quad (9)$$

N_P و N_S به ترتیب تعداد سلولهای سری و موازی فتوولتائیک هستند. لازم به ذکر است که سلولها به ترتیب سری و موازی در ولتاژ خروجی و جریان خروجی نقش دارند. بنابراین:

$$I_{Total} = N_P * I \quad (10)$$

$$V_{Total} = N_S * V \quad (11)$$

۳- ساختار و کنترل ریزشبه جزیره ای

رویکرد کنترلی ریزشبه جزیره ای بصورت حلقه بسته و جداگانه برای هر مبدل بوس و کانورتر منبع جریان انجام می شود. یک مبدل بوس که برای آرایه فتوولتائیک استفاده می شود توسط کنترل کننده فازی بهینه پیشنهادی تنظیم می شود تا حداکثر نقطه توان بر اساس روش P&O اصلاحی ردیابی کند. به طور همزمان، کانورتر منبع جریان های تداخلی توسط کنترل کننده فازی ژنتیک تنظیم می شوند تا از تقسیم بهینه انرژی بر اساس دروپ امپدانس مجازی اطمینان حاصل کنند. استراتژی ردیابی نقطه حداکثر توان متعارف مبتنی بر روش اغتشاش و مشاهده برای اینکه به تعداد کمتری از پارامترهای ورودی و اجرای ساده نیاز دارد به طور گسترده ای استفاده می شود. عملکرد اساسی تکنیک اصلاحی در شکل (۲) نشان داده شده است. در سمت راست نقطه حداکثر توان مشاهده می شود که به دلیل اغتشاش کوچک ولتاژ (ΔV)، تغییر توان (ΔP) بیشتر از سمت چپ نقطه حداکثر توان است. در نتیجه، برای غلبه بر این مسئله که یک اشکال اساسی این روش است، اندازه گام (K) باید در روش اصلاحی P&O بایستی مقداردهی اولیه بهینه ای انجام شود.

این روش که در بلوک دیاگرام شکل (۳) آورده شده است، برای حل مسئله مربوط به مقداردهی اولیه اندازه گام (K) در روش متداول P&O ارائه شده است. در این روش بهینه سازی چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب برای کمینه کردن خطای مطلق انتگرال (IAE) پارامترهای ΔK_p و ΔK_i استفاده می شود. با توجه به شکل، پارامترهای ورودی برای کنترل فازی ΔP و ΔI اندازه گیری و محاسبه می شوند و پارامترهای خروجی ΔK_p و ΔK_i به عنوان خروجی های کنترل فازی بهینه تغییرات جزئی در ثابت تناسبی و انتگرالگیر در هنگام تغییرات آب و هوایی جهت اطمینان از همگرایی در نقطه مطلوب محاسبه می شود. پارامترهای ورودی و خروجی فازی شامل پنج زیر مجموعه فازی و بیست و پنج قانون کنترلی می باشد که جهت یافتن

۳-۴- استراتژی بهینه‌سازی چند هدفه

این الگوریتم بر اساس یک ناحیه از تصمیم‌گیری با چند معیار عمل می‌کند که مربوط به یکی از مسائل مهم در بهینه‌سازی ریاضی می‌باشد. این الگوریتم‌ها شامل بیش از یک تابع هدف هستند که به طور همزمان بهینه می‌شوند [47]. برای یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه غیر مستقیم، هیچ راه حل واحدی وجود ندارد که همزمان هر هدف را بهینه کند. در آن صورت، گفته می‌شود که توابع هدف متناقض هستند و تعداد و احتمالاً بی‌نهایت راه حل‌های بهینه پارتو وجود دارد. اگر هیچ یک از عملکردهای هدف بدون از دست دادن برخی از بهینگی‌های هدف دیگر قابل بهبود نباشد، به یک راه حل نامغلوب یا پارتو بهینه گفته می‌شود. بدون اطلاعات ارجحیت ذهنی اضافی، همه راه حل‌های بهینه پارتو به همان اندازه ارزیابی می‌شوند. مسئله بهینگی چندهدفه را می‌توان بصورت معادله ریاضی زیر ارائه داد [25]:

جستجوی بهینگی: X

$$f(X) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X)] \quad (20)$$

با شرط:

$$g_i(x) \leq 0; i = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

$$h_j(x) = 0; j = 1, 2, \dots, p \quad (22)$$

در صورتیکه $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T$ برداری از متغیرهای تصمیم‌گیری بوده، f_i توابع هزینه را نشان می‌دهند و g_i محدودیت مسئله می‌باشند، h_j ، $i = 1, 2, \dots, m$ ، $j = 1, 2, \dots, p$ تعاریفی اساسی زیر برای درک بیشتر از مسئله بهینگی پارتو ارائه می‌شوند:

تعریف ۱. ایجاد دو بردار $X, Y \in \mathcal{R}^n$ ، به $X \leq Y$ که اگر $X_i \leq Y_i$ و $X \neq Y$ آنگاه $X \prec Y$ $i = 1, 2, \dots, k$ بر Y چیره می‌شود و اگر

تعریف ۲. متغیرهای برداری $X \in \mathcal{X} \subset \mathcal{R}^n$ با توجه به χ بر آن مغلوب نشود و هیچ $X' \in \mathcal{X}$ برای ارائه به $f(X') \prec f(X)$ وجود ندارد.

تعریف ۳. یک برداری از متغیرهای بهینه پارتو تعریف می‌شود بعنوان بهینگی غالب با توجه F .

تعریف ۴. مجموعه بهینه پارتو P^* را می‌توان بصورت زیر ارائه داد:

$$P^* = \{X \in F \mid X \text{ is Pareto optimal}\} \quad (23)$$

تعریف ۵. منحنی پارتو PF^* را نیز می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

$$PF^* = \{f(X) \in \mathcal{R}^k \mid X \in P^*\} \quad (25)$$

۵- مسأله بهینه‌سازی P&O اصلاحی مبتنی بر

کنترل فازی

بهینه‌سازی توسط الگوریتم چندهدفه ژنتیک در راستای به حداقل رساندن خطای مطلق انتگرال (IAE) پارامترهای ΔK_p و ΔK_i است. در

است که جواب‌های بهتر احتمال بیشتری جهت دوباره تولید شدن را دارند. این فرآیند تا جایی ادامه می‌یابد که شرط تعیین شده توقف ارضا شود [22, 23]. دو عملگر اصلی برای این الگوریتم وجود دارد (تقاطع و جهش) که به شرح زیر توضیح داده می‌شوند:

۱-۴- تقاطع یا کراسینگ اور

این عملگر یک روش بازآفرینی است که با ترکیب دو کروموزوم والدین دو کروموزوم بچه ایجاد می‌کند. با توجه به انتخاب طبیعی، احتمال تقاطع معمولاً بیشتر از جهش است. این عملگر می‌تواند به طور موثری الگوریتم ژنتیک را که به صورت زیر فرموله شده است، بهبود دهد [24]:

$$a_{1,k} = \frac{[(1-\gamma_k)p_{1,k} + (1+\gamma_k)p_{2,k}]}{2} \quad (12)$$

$$a_{2,k} = \frac{[(1+\gamma_k)p_{1,k} + (1-\gamma_k)p_{2,k}]}{2} \quad (13)$$

که در آن $a_{i,k}$ نشان دهنده i th بچه با k th مینمولفه است، $p_{i,k}$ نشان دهنده والد منصوب است، و همچنین γ_k نشان دهنده نمونه تولید شده تصادفی است که با نمونه تصادفی یکنواخت u بین (۰، ۱) حاصل می‌شود که در زیر فرمول‌بندی شده‌اند [46]:

$$p(\gamma) = \frac{[(\varepsilon_c + 1)\gamma^{\varepsilon_c}]}{2} \quad \text{if } 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (14)$$

$$p(\gamma) = \frac{[(\varepsilon_c + 1)\left(\frac{1}{\gamma^{\varepsilon_c + 2}}\right)]}{2} \quad \text{if } \gamma > 1 \quad (15)$$

$$\gamma(u) = \frac{1}{(2u)^{\varepsilon_c + 1}} \quad (16)$$

$$\gamma(u) = \frac{1}{(2(1-u))^{\varepsilon_c + 1}} \quad (17)$$

در صورتیکه ε_c عامل توزیع تقاطع را نشان می‌دهد.

۲-۴- جهش

جهش معمولاً به عنوان یک عملگر پشتیبان شناخته می‌شود که تضمین می‌کند احتمال جستجو هرگز صفر نمی‌شود. از همگرایی با بهینه‌های محلی به جای بهینه اصلی جلوگیری می‌کند. جهش چند جمله‌ای را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد [46]:

$$c_k = p_k + (p_k^u - p_k^l)\Delta_k \quad (17)$$

جاییکه c_k و p_k به ترتیب نشانگر بچه و والدین هستند و همچنین p_{ku} و p_{kl} به ترتیب کران‌های بالا و پایین والد را نشان می‌دهند.

Δ_k یک انحراف کوچک را نشان می‌دهد [46]:

$$\Delta_k = \frac{1}{(2r_n)^{\varepsilon_m + 1}} - 1 \quad \text{if } r_n < 0.5 \quad (18)$$

$$\Delta_k = 1 - \frac{1}{(2(1-r_n))^{\varepsilon_m + 1}} - 1 \quad \text{if } r_n \geq 0.5 \quad (19)$$

که در آن r_n یک عدد تصادفی یکنواخت بین (۰، ۱) می‌باشد. همچنین، ε_m ضریب توزیع جهش می‌باشد.

اینجا پارامترهای ورودی برای کنترل فازی ΔP و ΔI است که به صورت زیر بیان می شود:

$$\Delta P = P(k) - P(k-1) \quad (26)$$

$$\Delta I = I(k) - I(k-1) \quad (27)$$

خروجی های فازی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\Delta K_P = K_P(k) - K_P(k-1) \quad (28)$$

$$\Delta K_I = K_I(k) - K_I(k-1) \quad (29)$$

جاییکه در معادلات (۲۶) و (۲۷) پارامترهای ورودی کنترل فازی ΔP و ΔI و به ترتیب تغییر کوچک در توان و جریان مازول فتوولتائیک دارند و در معادلات (۲۶) و (۲۷) پارامترهای خروجی ΔK_P و ΔK_I به ترتیب تغییر جزئی در ثابت تناسبی و انتگرالگیر دارند. در هنگام تغییر در شرایط آب و هوایی، برای اطمینان از همگرایی در نقطه مطلوب، به هنگام تغییر در شرایط آب و هوایی، ΔP برای تغییر جهت خود از یک کنترل کننده افزایش عبور می کند. در اینجا پارامترهای ورودی و خروجی فازی به پنج زیر مجموعه فازی تفکیک می شوند و بیست و پنج قانون کنترل را ارائه می دهند، که الگوریتم مورد استفاده در تکنیک ردیابی حداکثر توان را کاملاً تکرار می کنند.

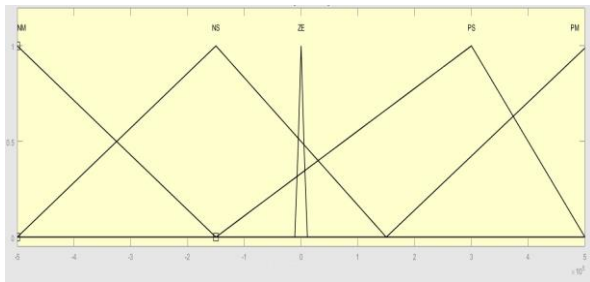
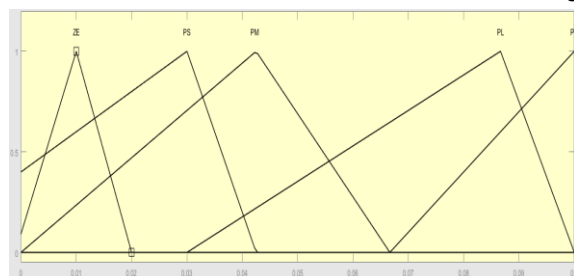
جدول (۱) قوانین فازی را نشان می دهد. در این طرح کنترل از روش ممدانی به عنوان یک سیستم تداخل فازی با توجه به عملکرد عضویت مثلثی استفاده می شود. ورودی های فازی برای ایجاد قوانین تغذیه می شوند. در اینجا عبارات "Fuzzy IF" و "then" به طور منطقی از طریق عملگر "AND" ترکیب می شوند. طرح پیشنهادی از مرکز منطقه برای اجرای خروجی های غیر فازی، ثابت تناسبی (K_P) و ثابت انتگرالگیر (K_I) استفاده می کند.

جدول (۱) قوانین فازی

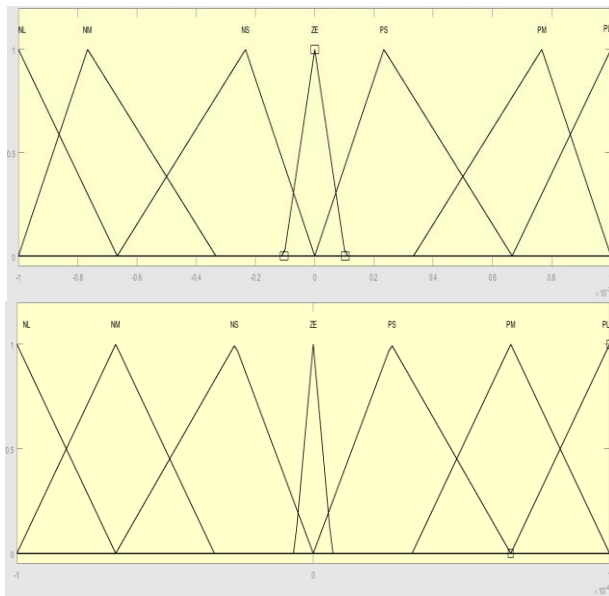
K_p/K_i		ΔP				
		NM	NS	ZE	PS	PM
$I\Delta$	NM	PL	PM	ZE	NM	NL
	NS	PM	PS	ZE	NS	NM
	ZE	NL	NS	ZE	PS	PS
	PS	NM	NM	ZE	PS	PM
	PM	NS	NM	ZE	PM	PL

جاییکه، NM: منفی میانه؛ NS: منفی کوچک؛ ZE: صفر؛ PS: مثبت کوچک؛ PM: مثبت میانه هستند.

در این سیستم کنترل پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب برای یافتن پارامترهای تابع عضویت مطلوب برای منطق فازی برای محاسبه پارامترهای کنترل کننده PI اعمال شده است. توابع عضویت ورودی و خروجی پس از بهینه سازی به ترتیب در شکل های (۴) و (۵) نشان داده شده اند.



شکل (۴) توابع عضویت بهینه ورودی های ΔP و ΔI



شکل (۵) توابع عضویت بهینه خروجی های ΔK_P و ΔK_I

۶- نتایج و تحلیل شبیه سازی

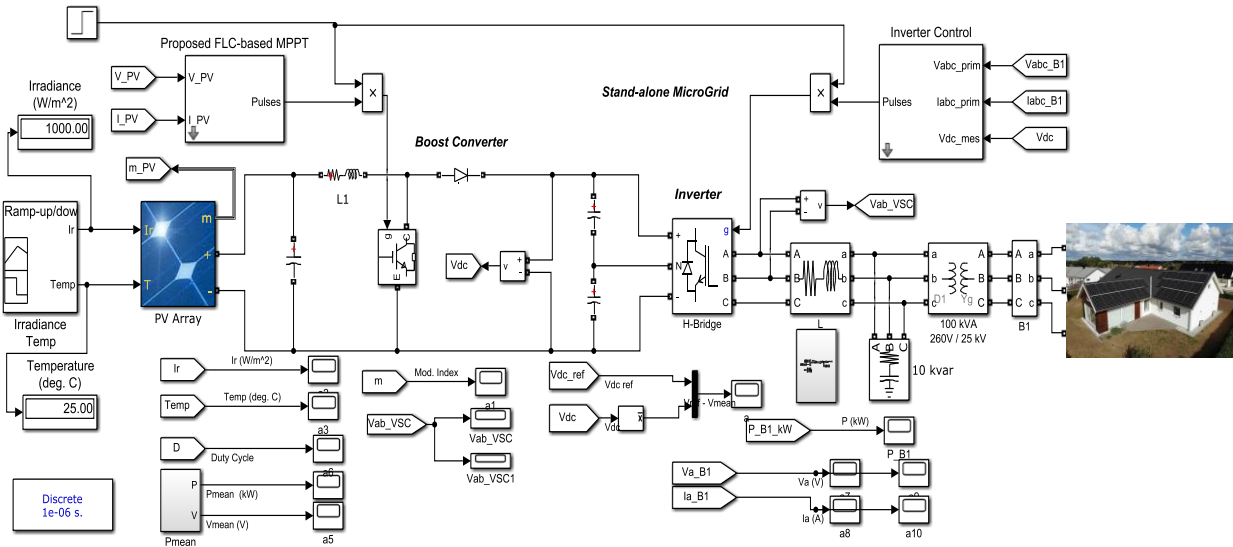
این ریزشکه شامل یک آرایه فتوولتائیک است که از طریق یک کانورتر بوست به کانورتر منبع ولتاژ برای تولید ولتاژ شبه سینوسی پنج سطحی فاز به فاز متصل می شود. بعد از فیلترسازی از طریق ترانسفورماتور D/Yg به شبکه متصل می شود. سیستم ریزشکه جزیره ای مبتنی بر سیستم فتوولتائیک مجهز به کنترل کننده فازی بهینه توسط MATLAB/SIMULINK شبیه سازی شده است که در شکل (۶) نشان داده شده است. به همراه آن، شبیه سازی سیستم فتوولتائیک اعمالی در سیستم ریزشکه جزیره ای در شکل (۷) ارائه شده است. همچنین، شبیه سازی سیستم روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی بر کنترل فازی بهینه نیز در شکل (۸) نشان داده شده است. از آنجاییکه کنترل کننده پیشنهادی بایستی کارائی کافی در ردیابی حداکثر توان در شرایط آب و هوایی متغیر را داشته باشد، چند نمونه مدل تغییرات تابش و دما را برای این تحلیل در نظر گرفته شده است.

۱-۶- مدل تابش خورشید پله ای

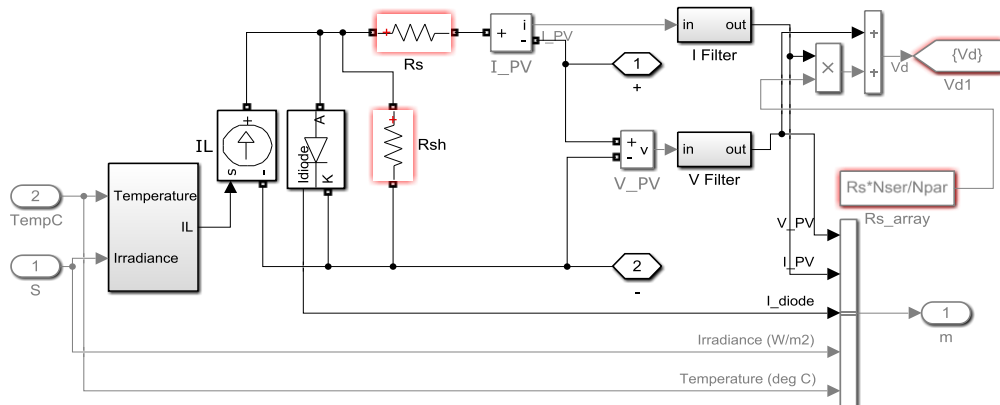
فرض می شود تابش خورشید در $t=0.5s$ از $1000W/m^2$ به

کنترل کننده معمولی شده است تا عملکرد سیستم کنترل پیشنهادی بهتر مشخص شود. نتایج حاکی از آن است که سیستم کنترل ریداب پیشنهادی توانسته با دقت قابل توجهی این تغییرات را دنبال کند.

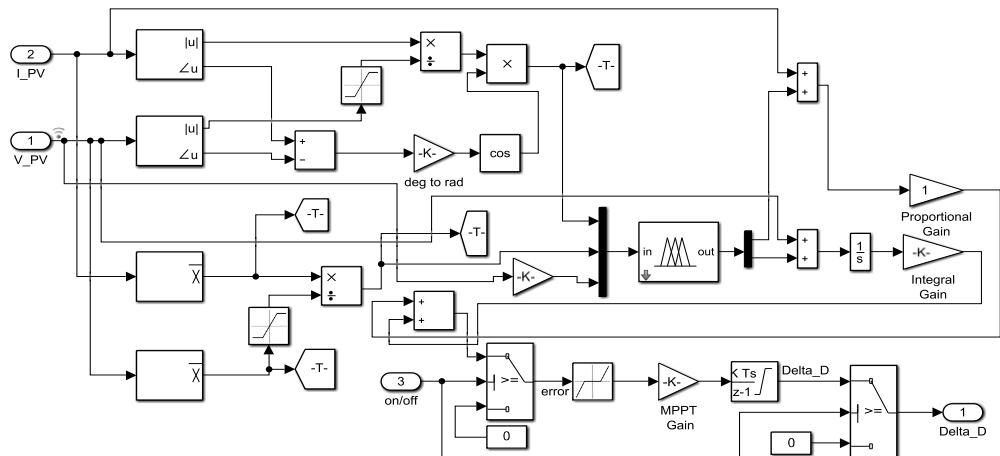
۱۰۰W/m² به مقدار نامی خود در $t=1s$ به مقدار نامی خود ۱۰۰W/m² برمی گردد. این مدل تغییرات تابش در شکل (۹) قابل مشاهده است. نتایج حاصل از شبیه سازی ها در شکل های (۱۰) تا (۱۲) نشان داده شده اند. همانطوریکه در این شکل ها مشخص است مقایسه ای نیز با یک



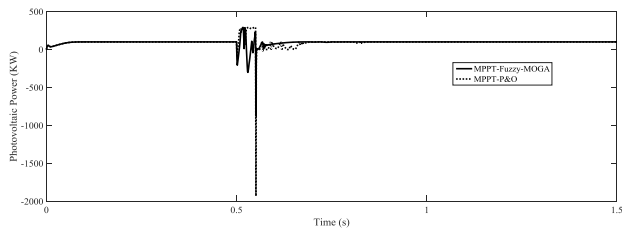
شکل (۶) شبیه سازی سیستم ریزشبه جزیره ای مبتنی بر سیستم فتولتائیک مجهز به کنترل کننده فازی بهینه



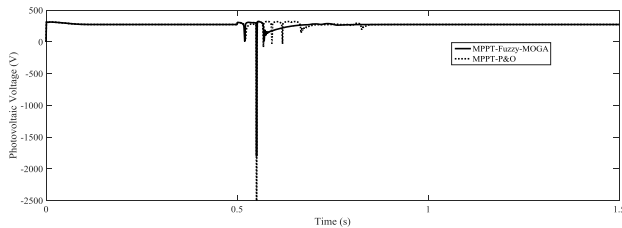
شکل (۷) شبیه سازی سیستم فتولتائیک اعمالی در سیستم ریزشبه جزیره ای



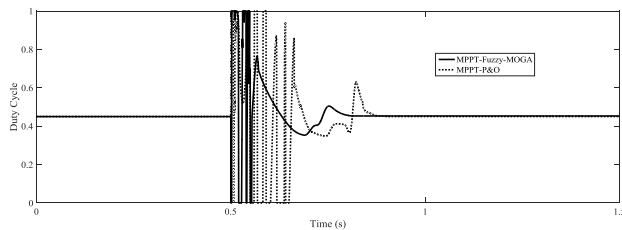
شکل (۸) شبیه سازی سیستم روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی بر کنترل فازی بهینه



شکل (۱۴) توان خروجی منبع فتوولتائیک به ازای تغییرات ضربه تابش نور خورشید



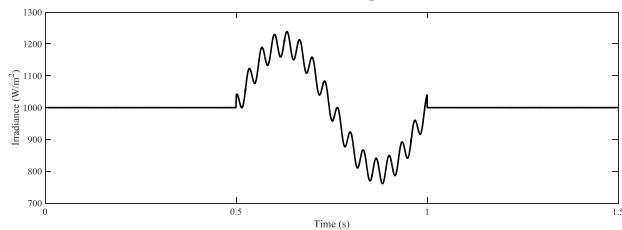
شکل (۱۵) ولتاژ خروجی آرایه فتوولتائیک به ازای تغییرات ضربه تابش نور خورشید



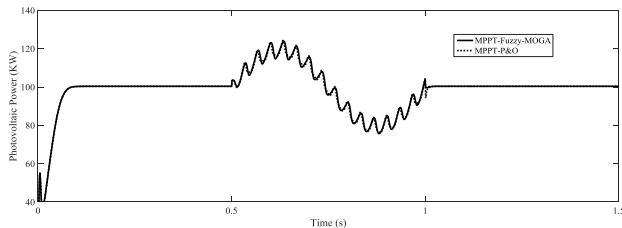
شکل (۱۶) تغییرات دیوتی سایکل به ازای تغییرات ضربه تابش نور خورشید

۳-۶- مدل تابش خورشید سینوسی

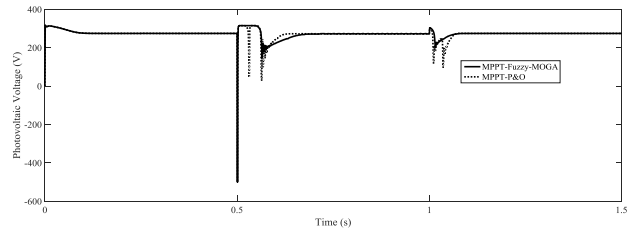
در این مدل تابش خورشید بصورت متناوب سینوسی بین مقادیر 800W/m^2 و 1000W/m^2 در حال تغییر است. این مدل تغییرات تابش در شکل (۱۵) قابل مشاهده است. شکل‌های (۱۸) تا (۲۰) نتایج شبیه‌سازی بدست‌آمده از این را نشان می‌دهد. به ازای این مدل تابش خورشید ردیابی حداکثر توان با سیستم کنترل پیشنهادی بصورت دقیقی انجام شد. با در نظر گرفتن سه مورد تابش ورودی منبع فتوولتائیک جواب دقیقی این سیستم کنترل مبتنی بر فازی بهینه ارائه داد و نتیجتاً کارایی آن به اثبات رسید.



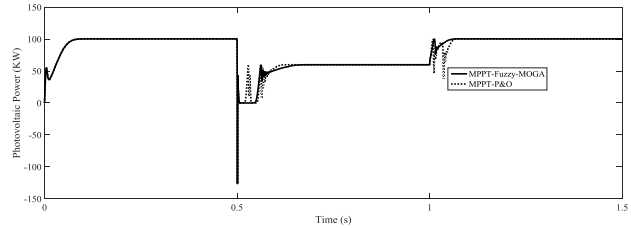
شکل (۱۷) مدل تغییرات تابش خورشید سینوسی



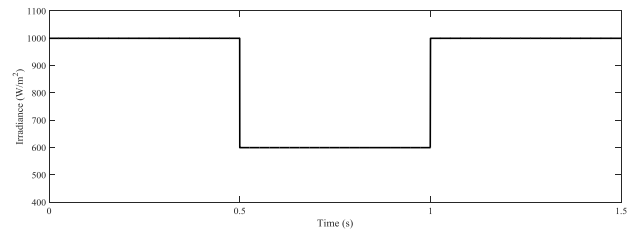
شکل (۱۸) توان خروجی منبع فتوولتائیک به ازای تغییرات سینوسی تابش نور خورشید



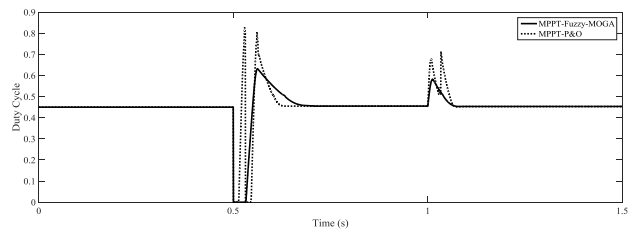
شکل (۹) مدل تغییرات تابش خورشید پله‌ای



شکل (۱۰) توان خروجی منبع فتوولتائیک به ازای تغییرات پله‌ای تابش نور خورشید



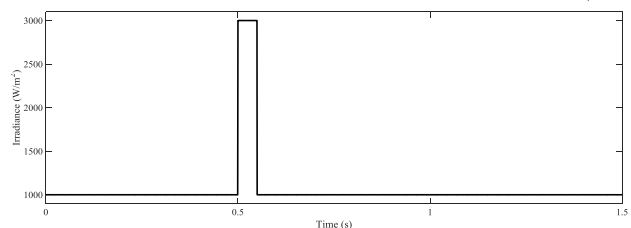
شکل (۱۱) ولتاژ خروجی آرایه فتوولتائیک به ازای تغییرات پله‌ای تابش نور خورشید



شکل (۱۲) تغییرات دیوتی سایکل به ازای تغییرات پله‌ای تابش نور خورشید

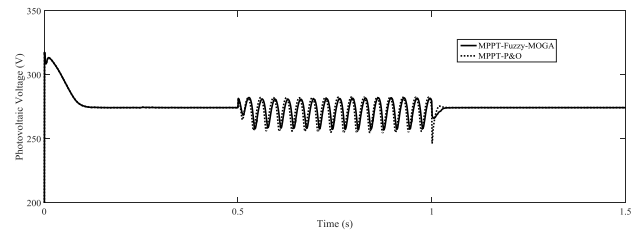
۲-۶- مدل تابش خورشید ضربه

در این مدل تابش خورشید در $t=0.5\text{s}$ از مقدار 100W/m^2 به صورت یک ضربه به مقدار 3000W/m^2 می‌رسد. مدت زمان این تغییرات 0.05s می‌باشد. این مدل تغییرات تابش در شکل (۱۳) قابل مشاهده است. نتایج حاصل از این تغییرات در شکل‌های (۱۴) تا (۱۸) ارائه شده‌اند. همانطوریکه قابل انتظار بود کنترل‌کننده پیشنهادی به ازای تغییرات نیز توانسته که ردیابی نقطه حداکثر توان را بصورت دقیقی انجام دهد.

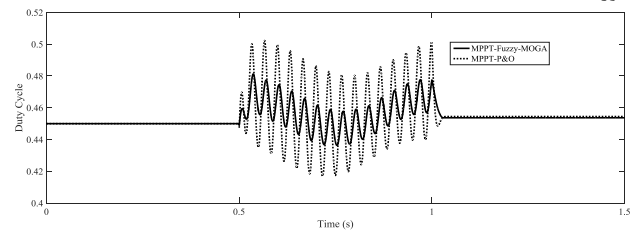


شکل (۱۳) مدل تغییرات تابش خورشید ضربه‌ای

- system", Renewable Energy Focus, Vol. 21, 2017, pp. 33-53.
- [7] R. Kumar, H. O. Bansal, "Investigations on shunt active power filter in a PV-wind-FC based hybrid renewable energy system to improve power quality using hardware-in-the-loop testing platform", Electric Power Systems Research, Vol. 177, 2019, pp. 105957.
- [8] M. S. Mikhailov, N. S. Gudim, E. A. Knyazeva, E. Tanaka, L. Zhang, L. V. Mikhilchenko, N. Robertson, O. A. Rakitin, "9-(p-Tolyl)-2,3,4,4a,9,9a-hexahydro-1H-carbazole—A new donor building-block in the design of sensitizers for dye-sensitized solar cells", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 391, 2020, pp. 112333.
- [9] R. Rajesh, M. C. Mabel, "Efficiency analysis of a multi-fuzzy logic controller for the determination of operating points in a PV system", Solar Energy, Vol. 99, 2014, pp. 77-87.
- [10] R. Ahmad, A. F. Murtaza, H. A. Sher, "Power tracking techniques for efficient operation of photovoltaic array in solar applications – A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 101, 2019, pp. 82-102.
- [11] L. Mitra, U. K. Rout, "Performance analysis of a new high gain dc-dc converter interfaced with solar photovoltaic module", Renewable Energy Focus, Vol. 19–20, June 2017, Pages 63-74.
- [12] M. A. Eltawil, Z. Zhao, "MPPT techniques for photovoltaic applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, 2013, pp. 793-813.
- [13] S. Belhimer, M. Haddadi, A. Mellit, "A novel hybrid boost converter with extended duty cycles range for tracking the maximum power point in photovoltaic system applications", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 43, 2018, pp. 6887-6898.
- [14] M. H. Moradi, S. M. Reza Tousi, M. Nemati, N. S. Basir, N. Shalavi, "A robust hybrid method for maximum power point tracking in photovoltaic systems", Solar Energy, Vol. 94, 2013, pp. 266-276.
- [15] M. K. Behera, I. Majumder, N. Nayak, "Solar photovoltaic power forecasting using optimized modified extreme learning machine technique", Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 21, 2018, pp. 428-438.
- [16] R. Sathishkumar, V. Malathi, E. Sakthivel, "Real Time Implementation of Quazi Z-Source Inverter Incorporated with Renewable Energy Source", Energy Procedia, Vol. 117, 2017, pp. 927-934.
- [17] M. Seyedmehmoudian, B. Horan, T. K. Soon, R. Rahmani, A. M. T. Oo, S. Mekhilef, A. Stojcevski, "State of the art artificial intelligence-based MPPT techniques for mitigating partial shading effects on PV systems – A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 64, 2016, pp. 435-455.
- [18] K. S. Ratnam, K. Palanisamy, G. Yang, "Future low-inertia power systems: Requirements, issues, and solutions - A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 124, 2020, pp. 109773.
- [19] M. R. Aghamohammadi, H. Abdolahinia, "A new approach for optimal sizing of battery energy storage system for primary frequency control of islanded Microgrid", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 54, 2014, pp. 325-333.
- [20] R. Hussein, D. Borchert, G. Grabosch, W. R. Fahrner, "Dark IeVeT measurements and characteristics of (n) a-



شکل (۱۹) ولتاژ خروجی آرایه فتوولتائیک به ازای تغییرات سینوسی تابش نور خورشید



شکل (۲۰) تغییرات دیوتی سائیکل به ازای تغییرات سینوسی تابش نور خورشید

۷- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش ردیابی نقطه حداکثر توان در ریزشبه جزیره‌ای مبتنی بر سیستم فتوولتائیک توسط روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی بر کنترل فازی بهینه چندهدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب ارائه شده است. در این راستا ریزشبه جزیره‌ای مبتنی بر منابع فتوولتائیک توسط نرم‌افزار MATLAB/Simulink شبیه‌سازی شده است. برای اثبات کارایی این سیستم کنترل پیشنهادی شرایط متفاوتی از تابش نور خورشید در نظر گرفته شد. همچنین این سیستم کنترل با یک کنترل کننده مرسوم مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. در نهایت، نتایج شبیه‌سازی در تمامی حالات آزمایش، دقت بالای روش پیشنهادی را به اثبات رسانید.

مراجع

- [1] J. Iqbal, Z. H. Khan, "The potential role of renewable energy sources in robot's power system: A case study of Pakistan", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 75, 2017, pp. 106-122.
- [2] Md. F. Hossain, "Green science: Independent building technology to mitigate energy, environment, and climate change", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 73, 2017, pp. 695-705.
- [3] A. R. Bhatti, Z. Salam, "A rule-based energy management scheme for uninterrupted electric vehicles charging at constant price using photovoltaic-grid system", Renewable Energy, Vol. 125, 2018, pp. 384-400.
- [4] S. A. Ates, "Energy efficiency and CO2 mitigation potential of the Turkish iron and steel industry using the LEAP (long-range energy alternatives planning) system", Energy, Vol. 90, 2015, pp. 417-428.
- [5] P. K. Wesseh Jr., B. Lin, "Energy consumption, fuel substitution, technical change, and economic growth: Implications for CO2 mitigation in Egypt", Energy Policy, Vol. 117, 2018, pp. 340-347.
- [6] P. Satapathy, S. Dhar, P. K. Dash, "An evolutionary online sequential extreme learning machine for maximum power point tracking and control in multi-photovoltaic microgrid

- Si/(p) c-Si heterojunction solar cells”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 69, 2001, pp. 123-129.
- [21] E. Radziemska, “Dark IeUeT measurements of single crystalline silicon solar cells”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 46, 2005, pp. 1485-1494.
- [22] R. Wang, G. Li, M. Ming, G. Wu, L. Wang, “An efficient multi-objective model and algorithm for sizing a stand-alone hybrid renewable energy system”, *Energy*, Vol. 141, 2017, pp. 2288-2299.
- [23] A. Lizarraga, J. H. Callej, G. V. Guerrero, “A multi-objective optimization of a Resonant Boost – Half – Bridge Converter aimed at solar residential air conditioning considering site climatic factors”, *Solar Energy*, Vol. 157, 2017, pp. 934-947.
- [24] A. D. Falehi, “Optimal Design of Fuzzy-AGC Based on PSO & RCGA to Improve Dynamic Stability of Interconnected Multi-area Power Systems”, *International Journal of Automation and Computing*, Vol. 17, 2020, pp. 599-609.
- [25] A. D. Falehi, M. Rafiee, “Optimal control of novel fuel cell-based DVR using ANFISC-MOSSA to increase FRT capability of DFIG-wind turbine”, *Soft Computing*, Vol. 23, 2019, pp. 6633–6655.

Maximum power point tracking in photovoltaic-based island microgrid by improved perturbation and observation based on multi-objective optimal fuzzy control

Ali Darvish Falehi

Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Shadegan Branch, Islamic Azad University, Shadegan, Iran, a_darvishfalehi@sbu.ac.ir

Abstract: Currently, renewable power plants based on photovoltaic farms are considered as main sources of energy production which have been rapidly growing. However, changes in weather conditions are one of the issues facing this energy conversion system to provide the required power for the consumer. An efficient controller can appropriately control and improve the dynamic performance of the island microgrid based on the photovoltaic system. In this paper, a perturbation and observation method based on optimal fuzzy control is proposed to provide the required energy for the microgrid. In this regard, partial changes in the proportional and integral constants during the climate changes are calculated to ensure the convergence at the desired point. In order to find the desired parameters of the fuzzy system membership functions, a non-dominated sorting genetic algorithm is used. Then, the optimal duty cycle signal is injected into the boost converter. To verify and validate the performance of the proposed controller, a comparison is also made with the conventional observation and perturbation strategy. Also, different radiation conditions are considered for the under study photovoltaic system. Modeling of photovoltaic system and proposed control system has been performed by MATLAB / Simulink software. Finally, the simulation results show that the speed and accuracy of the maximum power point tracking by the proposed control system has been significantly improved.

Keywords: maximum power point tracking, optimal fuzzy control, photovoltaic system, island microgrid, non-dominated sorting genetic algorithm