ردیابی نقطه حداکثر توان در ریزشبکه جزیره‌ای مبتنی‌بر سیستم فتولتائیک توسط روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی‌بر کنترل فازی بهینه چندهدفه

علی درویش فالحی

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 مبتنی‌بر مزارع فتوولتائیک 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 فتوولتائیک و بهبود عملکرد دینامیکی ریزشبکه جزیره‌ای مبتنی‌بر سیستم فتولتائیک داشته باشد. در این مقاله یک روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی‌بر کنترل فازی بهینه برای تأمین انرژی مورد نیاز میکرو شبکه ارئه 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 فتوولتائیک تحت مطالعه درنظر گرفته می‌شود. مدلسازی سیستم فتوولتائیک 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 حدکثر توان، کنترل فازی بهینه، فتوولتائیک، ریزشبکه جزیره‌ای، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب.

۱- مقدمه

با توجه به انرژی بی‌حد خورشید بهمراه پاکی، ارزانی و تعمیر و نگهداری پایین، منابع فتوولتائیک 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 فتوولتائیک ترغیب بیشتری جهت استفاده از منابع بوجود آورند [4, 5].

بایستی درنظر داشت که تغییرات غیرخطی ولتاژ و جریان خروجی ماژول های فتوولتائیک موجب کاهش بازده آن شده و توان کمی در اختیار مصرف‌کننده در ریزشبکه جزیره‌ای قرار گیرد [6-8]. با توجه به عدم اتصال این بارها به شبکه سراسری، دریافت حداثر توان در این سیستم‌ها در شرایط آب و هوایی مختلف بسیار ضرورت دارد. در حقیقت غیرخطی بودن ولتاژ و جریان منابع فتوولتائیک 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 فتوولتائیک 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 فتوولتائیک با تغییرات دیوتی سایکل، امپدانس بار تغییر داده شده و منطبق بر نقطه توان بیشینه شده و به بار منتقل می‌شود[13, 14].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- Autumn 2021

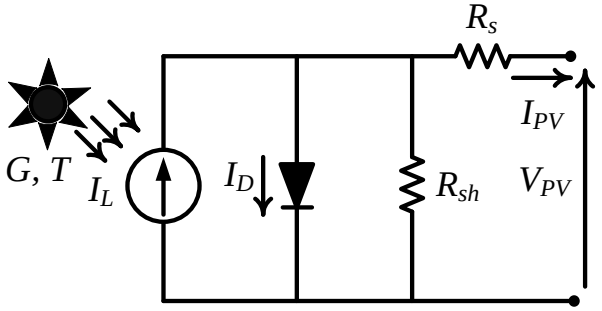
از آنجاییکه توان تولیدی منابع تجدید پذیر انرژی به تغییر آب و هوا بستگی دارد ممکن است شرایطی بوجود آید که منابع تجدید پذیر نتوانند به طور کامل تقاضای بار را برآورده سازند. مشکل فوق را می‌توان با تلفیق منابع انرژی تجدیدپذیر در یک ساختار ترکیبی ریز شبکه حل کرد ، چرا که به طور بالقوه قابلیت اطمینان انرژی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

با توجه به میزان کم اینرسی بسیار در سیستم ریزشبکه جزیره‌ای، برای هرگونه عدم تطابق توان در حالت گذرا ، یک سیستم ذخیره انرژی با ظرفیت توان کافی مورد نیاز است که باتری ذخیره‌ساز انرژی جهت ذخیره انرژی الکتریکی با چگالی توان مناسب در این شرایط مناسب می‌باشد[19 ,18]. 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 کنترل‌کننده استفاده از یک روش بهینه‌سازی برای استخراج پارامترهای بهینه بسیار مؤثر است.

با توجه به ماهیت چندهدفگی مسئله، از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب جهت افزایش دقت ردیابی نقطه حداکثر توان توسط کنترل-کننده پیشنهادی استفاده 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 فتوولتائیک تحت مطالعه درنظر گرفته می‌شود. مدلسازی سیستم فتوولتائیک و سیستم کنترل پیشنهادی توسط نرم‌افزار **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 می‌شود.



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

اتصال p-n سلول فتوولتائیک با یک دیود معادل شده است. مقاومت ورق سطح نیمه هادی با یک مقاومت سری معادل شده است. جریان نشتی به زمین در هنگام بایاس معکوس دیود معکوس با مقاومت شنت معادل می‌شود. 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[21 ,20]:

$$I_{PV} = I_L - I_D \qquad (۱)$$

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 می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$I_L = \left(I_{L,ref} + K_i \Delta T\right) \frac{G}{G_{n,ref}} \qquad (۲)$$

جاییکه$I_{L,ref}$ ، K_i، ΔT، G و $G_{n,ref}$ جریان مرجع تولید شده توسط تابش خورشید در شرایط نامی ، ضریب دمای حداکثر جریان سلول فتوولتائیک (A/°K) ، اختلاف بین دمای واقعی و دمای نامی ، تابش بر روی سطح ماژول فتوولتائیک و تابش نامی ($1000w/m^2$) .

معادله جریان دیود را نیز می‌توان بصورت زر ارائه داد:

$$I_D = I_0 \left[e^{\left(\frac{V + R_s I}{\alpha V_t}\right)} - 1 \right] \qquad (۳)$$

جاییکه I_0 و V_tبه 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:

$$V_t = \frac{N_s K T}{q} \qquad (۴)$$

جاییکه Ns تعداد سلول‌های سری فتوولتائیک، Kثابت بولتزمن (10^{-23}* ۱,۳۸۰۶J/K)، q شارژ الکترون، Tدمای واعی برحسب کلوین و α ثابت ایده‌آل بودن دیود(α>۱<۱,۵) می‌باشد.

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

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_{n,ref}}{T}\right)^3 e^{\left[\frac{qE_g}{\alpha K}\left(\frac{1}{T_{n,ref}} - \frac{1}{T}\right)\right]} \qquad (۵)$$

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

جریان اشباع دیود را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$I_{0,ref} = \frac{I_{sc,ref}}{\left(e^{\left(\frac{V_{oc,ref}}{\alpha V_{t,ref}}\right)} - 1 \right)} \qquad (۶)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Autumn 2021

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 می‌شود:

$$I_{L,Total} = N_P * I_L \quad (۷)$$

$$I_{0,Total} = N_P * I_0 \quad (۸)$$

$$R_{S,Total} = {}^{N_S}\!/_{N_P}\, R_S \quad (۹)$$

N_S و N_Pبه 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:

$$I_{Total} = N_P * I \quad (۱۰)$$

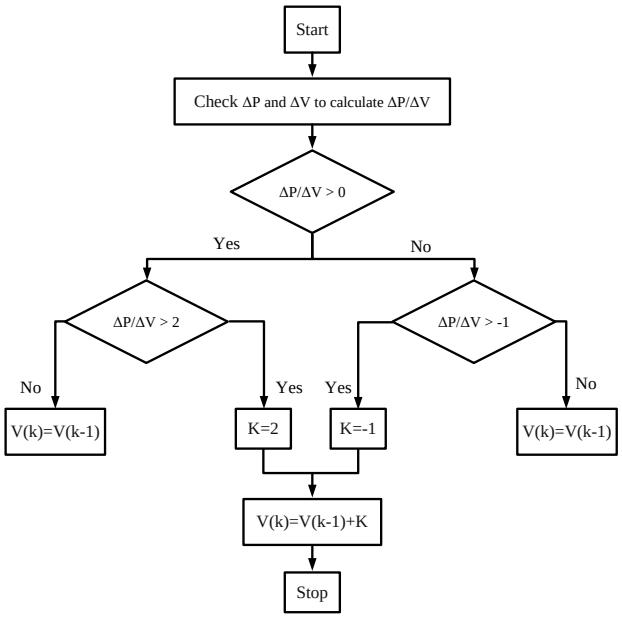
$$V_{Total} = N_S * V \quad (۱۱)$$

۳- ساختار و کنترل ریزشبکه جزیره‌ای

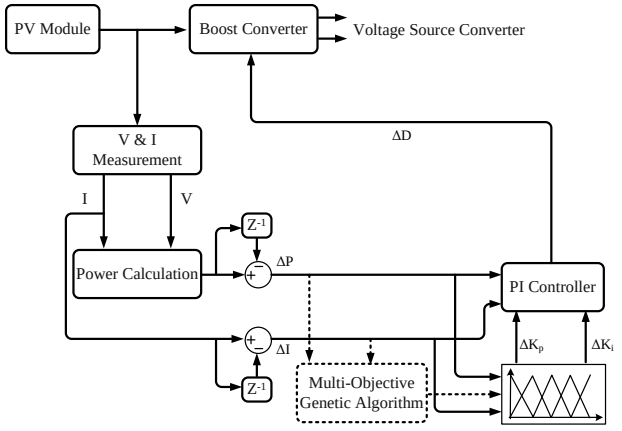
رویکرد کنترلی ریزشبکه جزیره‌ای بصورت حلقه بسته و جداگانه برای هر مبدل بوست و کانورتر منبع جریان انجام می‌شود. یک مبدل بوست که برای آرایه فتوولتائیک استفاده می شود توسط کنترل کننده فازی بهینه پیشنهادی تنظیم می‌شود تا حداکثر نقطه توان بر اساس روش P&Oاصلاحی ردیابی کند. به طور همزمان ، کانورتر منبع جریان‌های تداخلی توسط کنترل کننده فازی-ژنتیک تنظیم می‌شوند تا از تقسیم بهینه انرژی بر اساس دروپ امپدانس مجازی اطمینان حاصل کنند.

استراتژی ردیابی نقطه حداکثر توان متعارف مبتنی‌بر روش اغتشاش و مشاهده برای اینکه به تعداد کمتری از پارامترهای ورودی و اجرای ساده نیاز دارد به طور گسترده ای استفاده می‌شود. عملکرد اساسی تکنیک اصلاحی درشکل (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 بهینه‌ای 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 بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی‌بر الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برای کمینه‌کردن خطای مطلق انتگرال (IAE) پارامترهای ΔK_p و ΔK_i استفاده می‌شود. با توجه به شکل، پارامترهای ورودی برای کنترل فازی ΔP و ΔI اندازه‌گیری و محاسبه می‌شوند و پارامترهای خروجی ΔK_p و ΔK_i به عنوان خروجی‌های کنترل فازی بهینه تغییرات جزئی در ثابت تناسبی و انتگرالگیر در هنگام تغییرات آب و هوایی جهت اطمینان از همگرایی در نقطه مطلوب محاسبه می‌شود. پارامترهای ورودی و خروجی فازی شامل پنج زیر مجموعه فازی و بیست و پنج قانون کنترلی می‌باشد که جهت یافتن پارامترهای مطلوب توابع عضویت سیستم فازی از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب استفاده می‌شود. در نهایت سیگنال بهینه چرخه کار به کانورتر بوست تزریق می‌شود.



شکل (۲) فلوچارت روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی



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

۴- الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب

لگوریتم ژنتیک یک روش جستجویی تصادفی جهت استخراج راه‌حل بهینه در رابطه با مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی است که روش‌های زیست‌شناسی مثل وراثت و جهش را بکار می‌برد. این الگوریتم مبتنی‌بر تئوری تکاملی داروین بوده و جواب‌های حاصل از این الگوریتم در هر مرحله یا تولید نسل بهبود می‌یابد. شروع این الگوریتم با یک مجموعه‌ای از جواب‌ها که کرموزومها هستند است و آن را جمعیت اولیه نامگذرای می‌کنند. جوابهای بدست آمده از یک جمعیت جهت تولید جمعیت بعدی بکارگیری می‌شوند. این فرآیند با استفاده از عملگرها به دنبال بهبود جواب‌ها در جمعیت بعدی هستیم. انتخاب تعدادی جواب از بین کل جواب‌ها بر اساس مقدار Offspring برای ایجاد جواب‌های جدید یا همان فرزندان Parent جوابها والدین مطلوب آنها می‌باشد. بدیهی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- Autumn 2021

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[23 ,22]. دو عملگر اصلی برای این الگوریتم وجود دارد (تقاطع و جهش) که به شرح زیر توضیح داده می شوند:

۴-۱- 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]:

$$a_{1,k} = \frac{\lfloor (1-\gamma_k)p_{1,k} + (1+\gamma_k)p_{2,k} \rfloor}{2} \quad (۱۲)$$

$$a_{2,k} = \frac{\lfloor (1+\gamma_k)p_{1,k} + (1-\gamma_k)p_{2,k} \rfloor}{2} \quad (۱۳)$$

که در آن $a_{i,k}$، نشان دهنده ith بچه با kthامینمولفه 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 می شود که در زیر فرمول‌بندی شده‌اند[46]:

$$p(\gamma) = \frac{\lfloor (\varepsilon_c+1)\gamma^{\varepsilon_c} \rfloor}{2} \quad if \quad 0 \le \gamma \le 1 \quad (۱۴)$$

$$p(\gamma) = \frac{\left\lfloor (\varepsilon_c+1)\left(1/\gamma^{\varepsilon_c+2}\right) \right\rfloor}{2} \quad if \quad \gamma > 1 \quad (۱۵)$$

$$\gamma(u) = (2u)^{\frac{1}{\varepsilon_c+1}} \quad (۱۶)$$

$$\gamma(u) = \frac{1}{(2(1-u))^{\frac{1}{\varepsilon_c+1}}} \quad (۱۷)$$

در صورتیکه ، ε_c عامل توزیع تقاطع را نشان می‌دهد.

۴-۲- جهش

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

$$c_k = p_k + \left(p_k^u - p_k^l\right)\Delta_k \quad (۱۷)$$

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.

Δk یک انحراف کوچک را نشان می دهد[46]:

$$\Delta_k = (2r_n)^{\frac{1}{\varepsilon_m+1}} - 1 \quad if \quad r_n < 0.5 \quad (۱۸)$$

$$\Delta_k = 1-(2(1-r_n))^{\frac{1}{\varepsilon_m+1}} - 1 \quad if \quad r_n \ge 0.5 \quad (۱۹)$$

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

۴-۳- استراتژی بهینه‌سازی چند هدفه

این الگوریتم بر اساس یک ناحیه از تصمیم گیری 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 بهینه سازی چند هدفه غیر مستقیم ، هیچ راه حل واحدی وجود ندارد که همزمان هر هدف را بهینه کند. در آن صورت ، گفته می شود که توابع هدف متناقض هستند و تعداد و احتمالاً بی نهایت راه حل های بهینه پارتو وجود دارد. اگر هیچ یک از عملکردهای هدف بدون از دست دادن برخی از بهینگی-های هدف دیگر قابل بهبود نباشد ، به یک راه حل نامغلوب یا پارتو بهینه گفته می شود. بدون اطلاعات ارجحیت ذهنی اضافی ، همه راه حل های بهینه پارتو به همان اندازه ارزیابی می شوند.

مسئله بهینگی چندهدفه را می‌توان بصورت معادله ریاضی زیر ارادئه داد[25]:

جستجوی بهینگی $\mathbf{X}$:

$$f(X)=[f_1(X),f_2(X),\ldots,f_k(X)] \quad (۲۰)$$

با شرط:

$$g_i(x) \le 0 \; ; \; i = 1, 2,\ldots,m \quad (۲۱)$$

$$h_j(x) = 0 \; ; \; j = 1, 2,\ldots,p \quad (۲۲)$$

درصورتیکه $X=[X_1, X_2,\ldots,X_n]^T$ برداری از متغیرهای تصمیم-گیری بوده، f_i ، $i = 1, 2,\ldots,k$ توابع هزینه را نشان می‌دهند و g_i , h_j , $i = 1, 2,\ldots,m$, $j = 1, 2,\ldots,p$ محدودیت مسئله می‌باشند. ، تعاریفی اساسی زیر برای درک بیشتر از مسئله بهینگی پارتو ارائه می-شوند:

تعریف ۱. ایجاد دو بردار $X,Y \in \Re^n$ ، به $X \le Y$ که اگر $x_i \le y_i$ و X $i = 1, 2,\ldots,k$ بر Y چیره می‌شود و اگر $X \prec Y$ آنگاه $X \ne Y$

تعریف ۲. متغیرهای برداری $X \in \chi \subset \Re^n$ با توجه به χ بر آن مغلوب نشود و هیچ $X' \in \chi$ 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:

$$P^* = \{X \in F \mid X \; is \; Pareto \; optimal\} \quad (۲۳)$$

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

$$PF^* = \{f(X) \in \Re^k \mid X \in P^*\} \quad (۲۵)$$

۵- مسأله بهینه‌سازی P&O اصلاحی مبتنی‌بر کنترل فازی

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

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Autumn 2021

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

$$\Delta P = P(k) - P(k-1) \quad (۲۶)$$

$$\Delta I = I(k) - I(k-1) \quad (۲۷)$$

خروجی های فازی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\Delta K_P = K_P(k) - K_P(k-1) \quad (۲۸)$$

$$\Delta K_I = K_I(k) - K_I(k-1) \quad (۲۹)$$

جاییکه در معادلات (۲۶)و (۲۷) پارامترهای ورودی کنترل فازی ΔP و ΔI و به ترتیب تغییر کوچک در توان و جریان ماژول 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 می‌کند. 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.

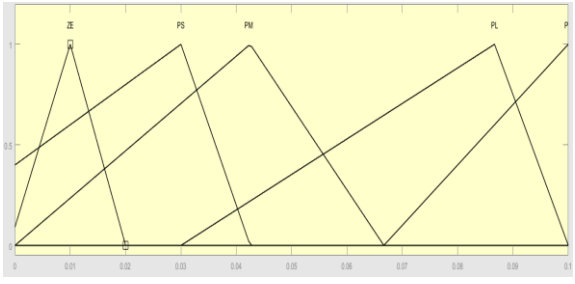
جدول (۱) قوانین فازی را نشان می دهد. در این طرح کنترل از روش ممدانی به عنوان یک سیستم تداخل فازی با توجه به عملکرد عضویت مثلثی استفاده می شود. ورودی های فازی برای ایجاد قوانین تغذیه می شوند. در اینجا عبارات "IF Fuzzy" و "then" به طور منطقی از طریق عملگر "AND" ترکیب می شوند. طرح پیشنهادی از مرکز منطقه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

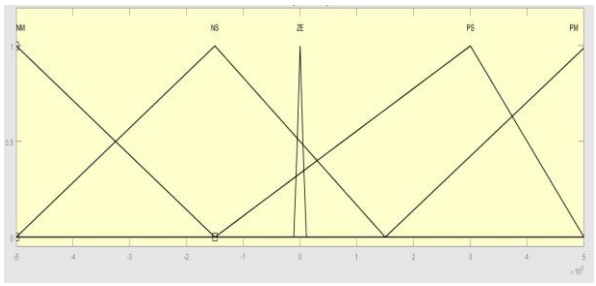
جدول (۱) قوانین فازی

K_p/K_i		ΔP				
		NM	NS	ZE	PS	PM
IΔ	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

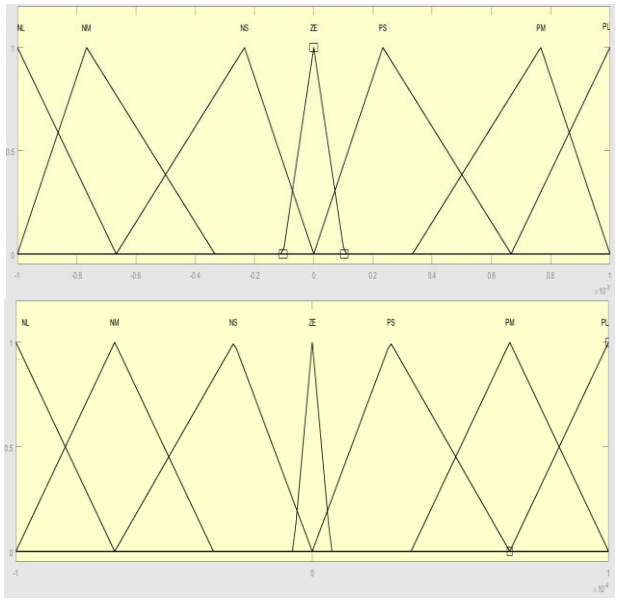
جاییکه، NM: منفی میانه؛ NS: منفی کوچک؛ ZE: صفر؛ PS: مثبت کوچک ؛ PM: مثبت میانه هستند.

در این سیستم کنترل پیشنهادی ، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی 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 شکل‌های (۴)و (۵) نشان داده شده‌اند.





شکل (۴) توابع عضویت بهینه ورودی‌های ΔP و ΔI



شکل (۵) توابع عضویت بهینه خروجی‌های ΔK_p و ΔK_i

۶- نتایج و تحلیل شبیه‌سازی

این ریزشبکه شامل یک آرایه فتوولتائیک است که از طریق یک کانورتر بوست به کانورتر منبع ولتاژ برای تولید ولتاژ شبه‌سینوسی پنج سطحی فاز به فاز متصل می‌شود. بعد از فیلترسازی از طریق ترانسفورماتور D/Yg به شبکه متصل می‌شود. سیستم ریزشبکه جزیره‌ای مبتنی‌بر سیستم فتولتائیک مجهز به کنترل کننده فازی بهینه توسط MATLAB/SIMULINK شبیه‌سازی شده است که در شکل (۶) نشان داده شده است. بهمراه آن، شبیه‌سازی سیستم فتوولتائیک اعمالی در سیستم ریزشبکه جزیره‌ای در شکل (۷) ارائه شده است. همچنین، شبیه‌سازی سیستم روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی‌بر کنترل فازی بهینه نیز در شکل (۸) نشان داده شده است. از آنجاییکه کنترل‌کننده 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 درنظر گرفته شده است.

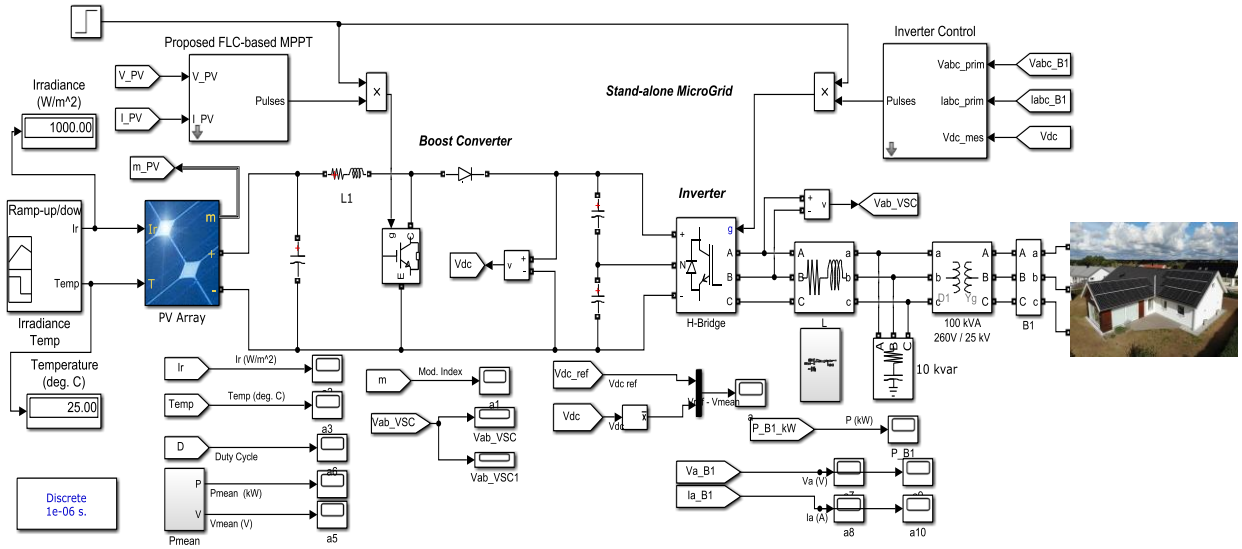
۶-۱- مدل تابش خورشید پله‌ای

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

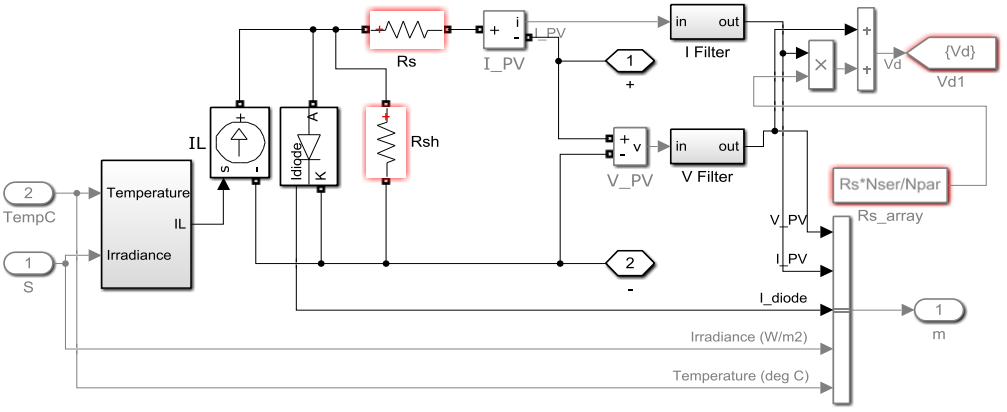
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- Autumn 2021

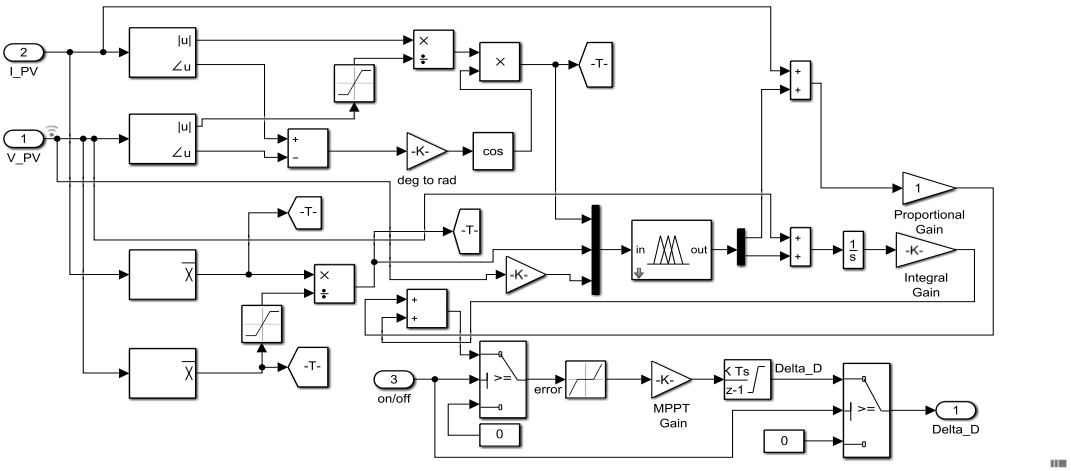
$600W/m^2$تغییر می‌کند و در t=1s به مقدار نامی خود$100W/m^2$ برمی‌گردد. این مدل تغییرات تابش در شکل (۹) قابل مشاهده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) نشان داده شده‌اند. همانطوریکه در این شکل‌ها مشخص است مقایسه‌ای نیز با یک کنترل‌کننده معمولی شده است تا عملکرد سیستم کنترل پیشنهادی بهتر مشخص شود.نتایج حاکی از آن است که سیستم کنترل ردیاب پیشنهادی توانسته با دقت قابل توجهی این تغییرات را دنبال کند.



شکل (۶) شبیه‌سازی سیستم ریزشبکه جزیره‌ای مبتنی‌بر سیستم فتولتائیک مجهز به کنترل کننده فازی بهینه



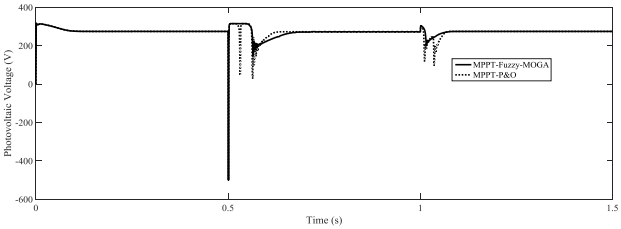
شکل (۷) شبیه‌سازی سیستم فتوولتائیک اعمالی در سیستم ریزشبکه جزیره‌ای



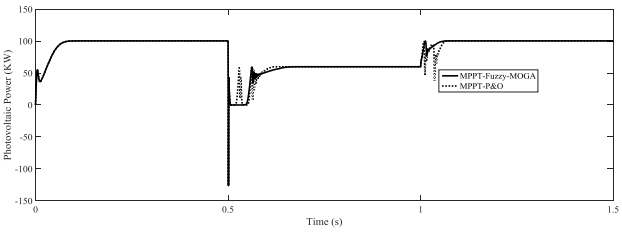
شکل (۸) شبیه‌سازی سیستم روش اغتشاش و مشاهده اصلاحی مبتنی‌بر کنترل فازی بهینه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

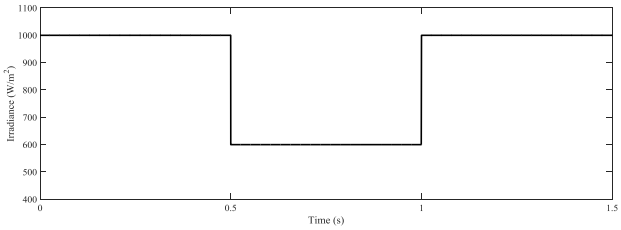
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Autumn 2021



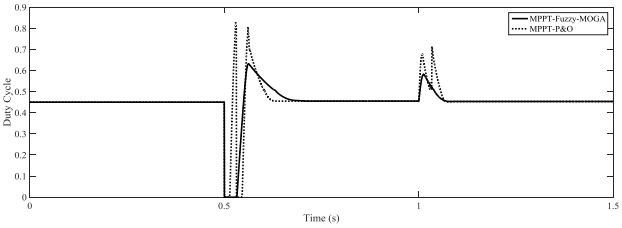
شکل (۹) مدل تغییرات تابش خورشید پله‌ای



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



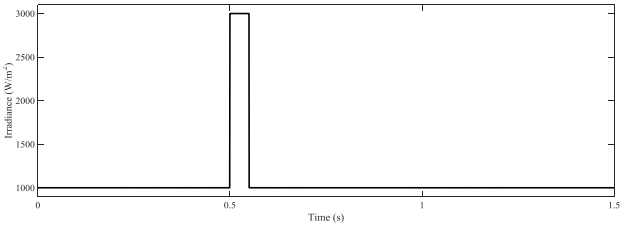
شکل (۱۱) ولتاژ خروجی آرایه فتوولتائیک به ازای تغییرات پله‌ای تابش نور خورشید



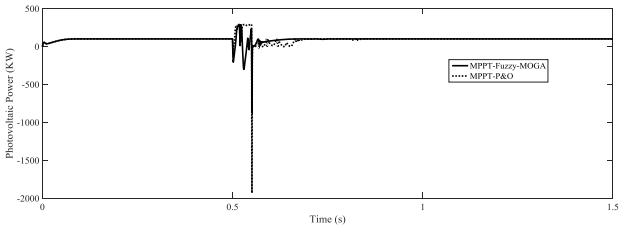
شکل (۱۲) تغییرات دیوتی سایکل به ازای تغییرات پله‌ای تابش نور خورشید

۲-۶- مدل تابش خورشید ضربه

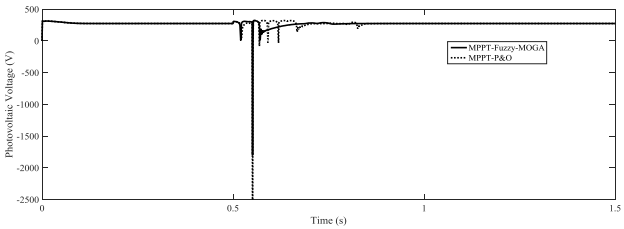
در این مدل تابش خورشید در t=0.5s از مقدار $100W/m^2$ به صورت یک ضربه به مقدار $3000W/m^2$ می‌رسد. مدت زمان این تغییرات 0.05s امی‌باشد. . این مدل تغییرات تابش در شکل (۱۳) قابل مشاهده است. نتایج حاصل از این تغییرات در شکل‌های (۱۴) تا (۱۸) ارائه شده‌اند. همانطوریکه قابل انتظار بود کنترل‌کننده پیشنهادی به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



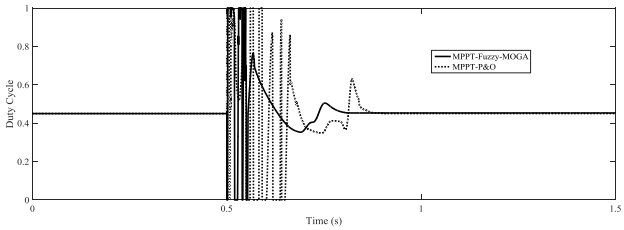
شکل (۱۳) مدل تغییرات تابش خورشید ضربه‌ای



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



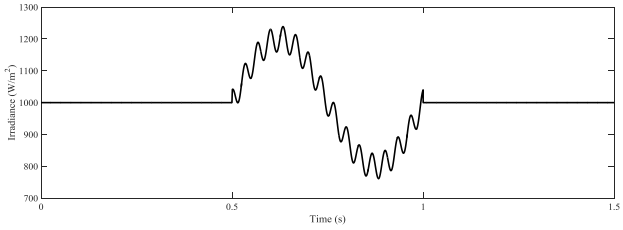
شکل (۱۵) ولتاژ خروجی آرایه فتوولتائیک به ازای تغییرات ضربه تابش نور خورشید



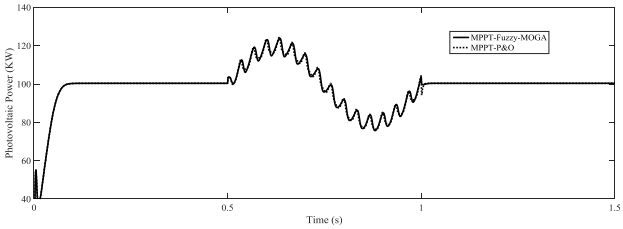
شکل (۱۶) تغییرات دیوتی سایکل به ازای تغییرات ضربه تابش نور خورشید

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 درنظر گرفتن سه مورد تابش ورودی منبع فتوولتائیک جواب دقیقی این سیستم کنترل مبتنی‌بر فازی بهینه ارائه داد و نتیجتاً کارائی آن به اثبات رسید.

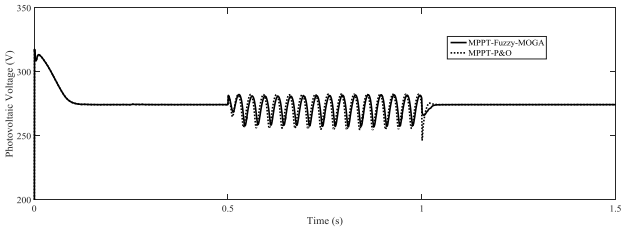


شکل (۱۷) مدل تغییرات تابش خورشید سینوسی

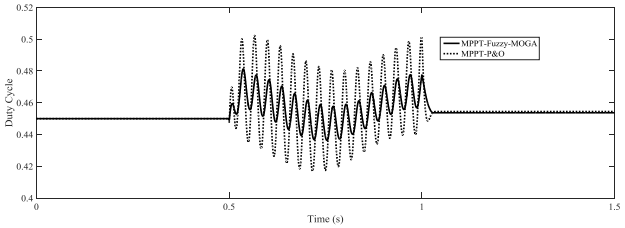


شکل (۱۸) توان خروجی منبع فتوولتائیک به ازای تغییرات سینوسی تابش نور خورشید

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



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



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

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش ردیابی نقطه حداکثر توان در ریزشبکه جزیـره‌ای مبتنی‌بر سیستم فتولتائیک توسط روش اغتشـاش و مشـاهده اصـلاحی مبتنی‌بر کنترل فازی بهینه چندهدفـه بـا اسـتفاده از الگـوریتم ژنتیـک مرتب‌سازی نامغلوب‌ارائه شده است. در ایـن راسـتا ریزشـبکه جزیـره‌ای مبتنی‌بر منـابع فتوولتائیـک توسـط نـرم‌افـزار MATLAB/Simulink شبیه‌سازی شده است. برای اثبات کارایی این سیستم کنترل پیشنهادی شرایط متفاوتی از تابش نور خورشید در نظر گرفته شد. همچنـین ایـن سیستم کنترل با یک کنترل‌کننده مرسوم مورد ارزیابی و مقایسـه قـرار گرفت. در نهایت، نتایج شبیه‌سـازی در تمـامی حـالات آزمـایش، دقـت 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. WessehJr., 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 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. Mikhalchenko, 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. Seyedmahmoudian, 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-

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

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.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

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

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.3.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Autumn 2021