

ردیابی نقطه حداکثر توان سیستم های فوتوولتاییک مبتنی بر روش اغتشاش و مشاهده

محمد قاسملو- علیرضا ریسی - عباس کتابی - مریم اخوان حجازی

شرکت توزیع برق استان همدان- محل گروه برق، دانشگاه بوعلی سینا، همدان- دانشکده مهندسی برق دانشگاه کاشان -
دانشکده مهندسی برق دانشگاه کاشان

Aketabi@kashanu.ac.ir - mohammadghasemloo@yahoo.com - ali_reza_reisi@yahoo.com
m.akhavanhejazi@gmail.com

چکیده

تابع ردیابی حداکثر توان این اجازه را می‌دهد که مقدار دقیق توان سیستم‌های فوتوولتاییک را در هر شرایط کاری استخراج کنیم. تکنیک اغتشاش و مشاهده یکی از الگوریتم‌های اصلی بدست آمده در این تابع است. کارکردهای الگوریتم‌های مبتنی بر اغتشاش و مشاهده وابسته به دو پارامتر مهم در طراحی، یکی دامنه و دیگری فرکانس اغتشاشات می‌باشد این اغتشاش به صورت پیوسته برای تعیین موقعیت نقطه حداکثر توان اعمال می‌شود. در این مقاله روشی برای بهبود ردیابی نقطه حداکثر توان ارائه خواهد شد که مبتنی بر روش اغتشاش و مشاهده است، این روش در دو گام نقطه حداکثر توان را تعیین می‌کند، نخست مقدار تقریبی این نقطه بر اساس روابط خطی تخمین زده می‌شود، سپس در مرحله بعد بر اساس روش اغتشاش و مشاهده مقدار دقیق محاسبه می‌شود. نتایج شبیه سازی‌ها موثر بودن روش را نشان می‌دهند.

کلید واژه

سیستم فوتوولتاییک - ردیابی نقطه حداکثر توان - روش اغتشاش و مشاهده

۱- مقدمه

ارائه شده است، برخی از این روش‌های بر اساس داده های اولیه و متغیرهای ورودی پنل خورشیدی همچون شدت نور، دما، ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه، سیگنال کنترلی را تخمین زده و در هنگام بهره برداری از سیستم، این سیگنال کنترلی برای کنترل توان خروجی پنل استفاده می‌شود. روش ولتاژ مدار باز [۲]، روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی [۳] از جمله این روش‌ها هستند. در دیگر روش‌های معمولاً مقادیر لحظه ای متغیر های پنل خورشیدی (ولتاژ و جریان) برای تولید سیگنال کنترلی استفاده می‌شود. در نتیجه سیگنال کنترلی این نوع روش‌های مقدار ثابتی نبوده و در حالت پایدار نیز اطراف مقدار بهینه خود در حال نوسان می‌باشد. روش اغتشاش و مشاهده، (P&O) [۴ و ۵]، روش کنترل ریپل های همگرا (RCC) [۶] و روش امپدانس افزایشی (IncCond) [۷]

توان خروجی بر اساس ولتاژ مشخصه آرایه خورشیدی (PV) یک ماکزیمم یکتا نشان می‌دهد که نقطه حداکثر توان (MPP) خوانده می‌شود. در شرایط تابشی و دمایی محیط یکنواختی کار می‌کند و ناهماهنگی پارامتری بین سلول‌ها در یک آرایه هم مهم نیست. چنین شرایطی در بسیاری موارد عملی اتفاق می‌افتند و بنابراین در این مقاله چنین فرض شده است که آن‌ها مهم نباشند [۱]. در نتیجه تغییرات سطح تابش و دما، موقعیت نقطه حداکثر توان هم متغیر خواهد بود. بنابراین ردیابی حداکثر توان به طور پیوسته به منظور استخراج حداکثر توان (MP) از منبع خورشیدی تحت هر شرایط ممکن اجباری خواهد بود. تا کنون روش‌های زیادی جهت ردیابی نقطه حداکثر توان

از جمله روش‌های online ردیابی حداکثر نقطه توان هستند که با استفاده از ولتاژ و جریان خروجی پنل خورشیدی سیگنال کنترلی مناسب را تولید می‌کنند.

رایج‌ترین روش ردیابی حداکثر توان روش اغتشاش و مشاهده می‌باشد که دارای الگوریتم ساده‌ای است که در سایر رقابت‌ها برای جستجوی حداکثر (یا حداقل) یک تابع نیز مورد استفاده قرار گرفته است. ساده‌ترین کاربرد اغتشاش و مشاهده زمانی حاصل خواهد شد که با اعمال تغییرات پله ای دامنه Δd به مقدار دوره کاری یک کانورتور dc/dc، اغتشاش در ولتاژ آرایه PV ایجاد می‌شود [۷]. اگر مقدار توان استخراج شده از منبع PV افزایش یابد، این نشان دهنده این است که نقطه کار PV به سمت MPP جابجا شده است، سپس اغتشاش بعدی در دوره کار با همان علامت و در همان جهت اعمال خواهد شد. در غیر این صورت جهت اغتشاش برعکس خواهد شد. کارایی ردیابی حداکثر توان الگوریتم P&O به طور چشمگیری با دو پارامتر تحت تأثیر قرار داده می‌شود: دامنه اغتشاش و فرکانس اغتشاش. همان طور که در [۸] نشان داده شده است برای داشتن بهترین کارایی هم در حالت دائمی و هم در تحت تابش‌های متغیر مقادیر این دو پارامتر باید به درستی طراحی شوند. در مقالات بعضی نویسندگان تکنیک‌هایی ارائه می‌کنند که هدف آن‌ها تطبیق دادن پارامترهای P&O به منظور بهبود کارایی MPPT در هنگام تغییرات در شرایط کاری آرایه PV است. شایان ذکر است که بیشتر این مقالات فقط بر بهینه سازی دامنه اغتشاش تمرکز دارند. این در زمینه سیستم‌های PV [۹-۱۴] و همچنین برای بهینه سازی کاربردهای انرژی بادی [۱۵] و برای سایر انرژی‌های تجدید پذیر [۱۶] اتفاق می‌افتد. بیشتر تمرکز محققین بر دامنه اغتشاش بوده است، تنها در [۱۷] روشی جهت بهینه سازی فرکانس اغتشاش ارائه شده است. به هر حال جهت بهینه سازی این دو پارامتر معمولاً از دیگر پارامترها مانند دما، شدت تابش و ... استفاده می‌شود.

در این مقاله روشی جدید برای ردیابی ماکزیمم توان ارائه می‌گردد در این روش، ابتدا نقطه ماکزیمم توان بر اساس روابط خطی تقریب زده می‌شود و سپس بر اساس روش اغتشاش و مشاهده مقدار دقیق حداکثر توان محاسبه می‌شود. روش پیشنهادی در عین سادگی قادر است به

خوبی ماکزیمم توان را دنبال کند. این مقاله شامل چهار بخش می‌باشد. مدل پنل خورشیدی در بخش ۲ ارائه می‌شود، در بخش ۳ روش جدیدی برای ردیابی حداکثر توان ارائه می‌شود و در بخش ۴ نتایج شبیه سازی بررسی می‌شود.

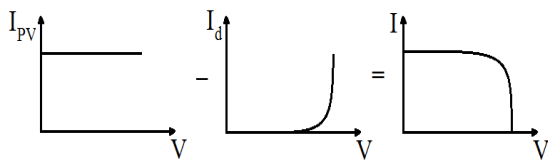
۲- مدل پنل خورشیدی

ساختار فیزیکی یک سلول خورشیدی مانند یک دیود است که پیوند p-n آن در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد. انرژی جذب شده حاصل از شدت نور در این ناحیه به تولید و انتقال حامل‌ها (الکترون‌ها و حفره‌ها) و جمع آوری آن‌ها در ترمینال خروجی منجر می‌شود. رابطه (۱) که اساس تئوری نیم هادی‌ها را بیان می‌کند مشخصه I-V یک سلول ایده آل را توصیف می‌کند [۱۸]

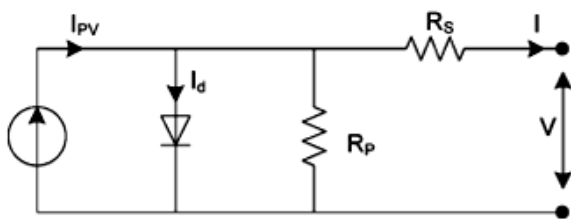
$$I = I_{pv, cell} - I_d \quad (1)$$

$$I_d = I_{o, cell} \left[\exp\left(\frac{qV}{aKT}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

که $I_{pv, cell}$ جریان تولید شده از نور تابشی، I_d جریان دیود طبق معادله‌ای دیودی شوکلی، $I_{o, cell}$ جریان اشباع معکوس یا جریان نشتی دیود، q بار الکترون، K ثابت بولتزمن، T دمای پیوند p-n و a ثابت ایده آلی دیود است. شکل (۱) منحنی مشخصه I-V یک سلول ایده آل را بر اساس رابطه (۱) نشان می‌دهد.



شکل ۱: منحنی مشخصه I-V جریان خالص سلول I، جریان دیود I_d و جریان فوتولتاییک I_{pv}



شکل ۲: مدار معادل پنل خورشیدی

شکل (۲) مدار معادل یک پنل خورشیدی را نشان می‌دهد.

مدل استخراج می‌شوند می‌توان جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز را در شرایط جوی مختلف محاسبه کرد.

$$I_{sc} = (I_{sc,n} + K_I \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (8)$$

$$V_{oc} = V_{oc,n} + K_V \Delta T \quad (9)$$

۳- روش پیشنهادی

الگوریتم روش پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل، الگوریتم از دو گام تشکیل شده است که در ابتدا مقادیر اولیه دریافت می‌شوند و سپس متغیرها اندازه گیری می‌شوند. در مرحله بعد متغیرها با مقادیر قبلی آنها مقایسه شده و با توجه به نتیجه این مقایسه یکی از دو گام تقریب زدن یا گام محاسبه دقیق انتخاب می‌شود. در ادامه به توضیح هر بلوک شکل (۳) می‌پردازیم.

متغیرهای اندازه گیری در روش پیشنهادی شامل متغیر شرایط جوی دما و متغیرهای سیستم جریان و ولتاژ می‌باشند. نخست برخی محاسبات انجام می‌شود و تغییرات متغیرها محاسبه می‌شود. سپس یکی از دو گام تقریب زدن و محاسبه دقیق اجرا می‌شود. انتخاب هر گام به عملکرد هر گام و شرایط سیستم (حالت پایدار یا گذرا) وابسته است. در الگوریتم روش پیشنهادی گام تقریب زدن زمانی اجرا می‌شود که تغییرات دما از حد معینی بزرگ‌تر باشد. در غیر این صورت گام محاسبه دقیق اجرا می‌گردد.

در گام تقریب زدن با استفاده از داده‌های اولیه و مقادیر اندازه گیری شده مقدار تقریبی ولتاژ نقطه حداکثر توان پنل خورشیدی محاسبه می‌شود. این کاربرد اساس دو رابطه خطی تعریف شده بین دما و ولتاژ انجام می‌پذیرد، به کمک رابطه (۱۰) ابتدا مقدار ولتاژ مدار باز محاسبه شده و سپس مقدار ولتاژ حداکثر توان با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. باید توجه شود که ولتاژ مدار باز و ولتاژ حداکثر توان با تغییر دما تغییر می‌کنند و با تغییر شدت نور تغییرات اندکی دارند پس این گام در صورت تغییر دما لازم اجرا می‌باشد.

$$V_{oc} = V_{oc,n} + K_V \Delta T \quad (10)$$

$$V_{MPP} = K_V V_{oc} = K_V V_{oc,n} + K K_V (T - T_n) \quad (11)$$

یک پنل خورشیدی از چندین سلول فوتوولتاییک که دارای اتصال بیرونی سری یا موازی و یا سری- موازی تشکیل شده است. با در نظر گرفتن پارامترهای شکل (۲) در رابطه (۱)، مشخصه پنل خورشیدی بدست می‌آید [۱۸].

$$I = I_{pv} - I_o \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{aV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (3)$$

که I_{pv} جریان فوتوولتاییک، I_o جریان اشباع معکوس، ولتاژ حرارتی، N_s تعداد سلول‌های سری شده، R_s و R_p مقاومت معادل‌های سری و موازی پنل خورشیدی می‌باشند. که I_{pv} و I_o با شدت نور و تغییر دما بصورت زیر مرتبط می‌باشند.

$$I_{pv} = (I_{pv,n} + K_I \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (4)$$

$$I_o = I_{o,n} \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_g}{aK} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (5)$$

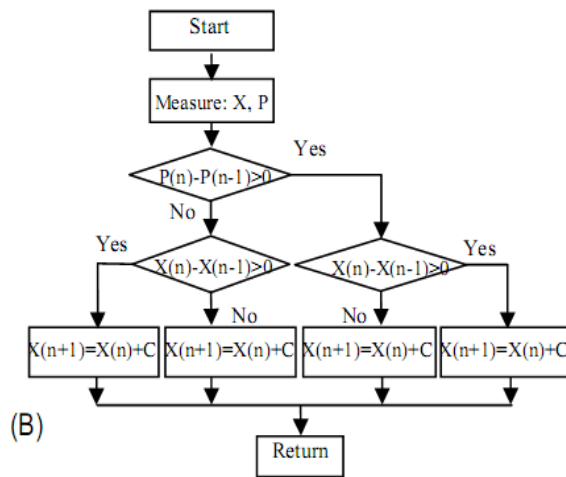
که $I_{pv,n}$ جریان فوتوولتاییک در شرایط استاندارد ($T_n = 25 \text{ C}$) و ($G_n = 1000 \text{ W/m}^2$)، K_I ضریب نسبت جریان اتصال کوتاه به دما میزان اختلاف دما با دمای استاندارد، G شدت نور و E_g فاصله نوارهای انرژی سیلیسیم بر حسب الکترون بر ولت می‌باشند. $I_{o,n}$ جریان اشباع معکوس می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I_{o,n} = \frac{I_{sc,n}}{\exp\left(\frac{V_{oc,n}}{aV_t}\right)} \quad (6)$$

که $I_{sc,n}$ و $V_{oc,n}$ به ترتیب جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز در شرایط استاندارد می‌باشند. انتخاب مقدار a که بین ۱ تا ۱/۵ می‌باشد به سایر پارامترهای مدل وابسته است [۱۹]. انتخاب صحیح آن افزایش دقت مدل را به همراه دارد. همچنین به جای رابطه (۵) استفاده از رابطه زیر که در آن K_V ضریب نسبت ولتاژ مدار باز به دما می‌باشد دقت مدل را افزایش می‌دهد [۱۸].

$$I_o = \frac{I_{sc,n} + K_I \Delta T}{\exp(V_{oc,n} + K_V \Delta T) / aV_t - 1} \quad (7)$$

ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه از نقاط مهم مشخصه $I-V$ پنل خورشیدی هستند. این نقاط با تغییر شرایط جوی تغییر می‌کنند. با استفاده از روابط (۸) و (۹) که از روابط



شکل ۳: (A) الگوریتم روش پیشنهادی و (B) روش P&O

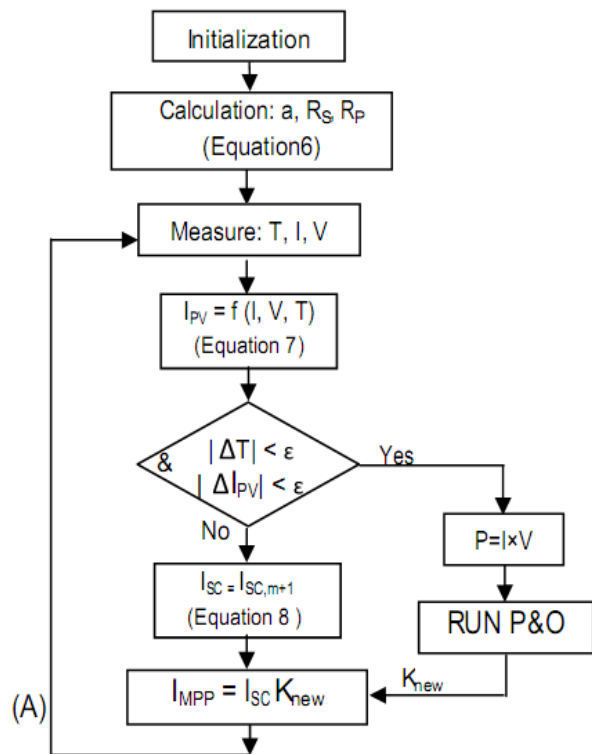
۴- شبیه سازی

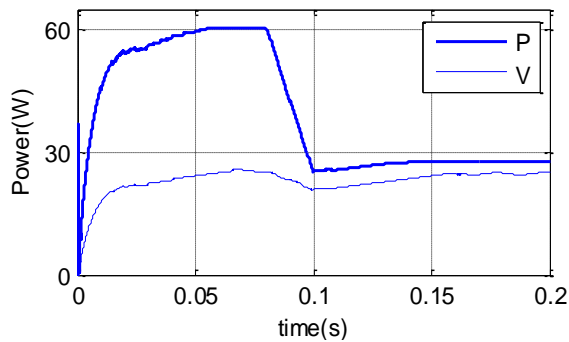
سیستم فوتوولتائیک شامل یک پنل خورشیدی ۶۰ وات، کانورتر ولتاژ بوست، یک باتری 36 V lead-acid که داری جریان حداکثر ۵ آمپر می باشد، با استفاده از نرم افزار متلب شبیه سازی شده است، جهت ردیاب حداکثر توان، روش پیشنهادی به کار رفته است. مطالعه پاسخ دینامیکی و حالت دائمی روش پیشنهادی اهداف این شبیه سازی است. در ادامه نتایج شبیه سازی در دو قسمت با عنوان های تقریب زدن و محاسبه دقیق ارائه خواهند شد.

۴-۱- تقریب زدن

پاسخ دینامیکی روش پیشنهادی به عملکرد گام نخست وابسته است، به عبارتی دقت و سرعت پاسخ دینامیکی روش پیشنهادی در ارتباط با عملکرد گام نخست روش است. این در حالی است که گام نخست بر اساس دو رابطه خطی تقریبی است و تعیین ضریب رابطه (۱۱) (مقدار K) که توسط اپراتور انجام می شود در عملکرد پاسخ دینامیکی سیستم خیلی موثر است. مقدار اولیه K، که در گام دوم توسط الگوریتم P&O اصلاح می شود، نسبت به توان پنل خورشیدی سه حالت را می تواند داشته باشد، شکل (۴)، قبل از حداکثر توان (K1)، حداکثر توان (K2) و بعد از حداکثر توان (K3).

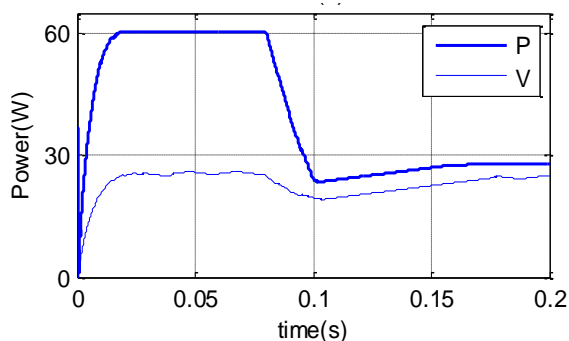
در گام محاسبه دقیق با استفاده از مقادیر اولیه، مقادیر اندازه گیری شده و رابطه (۱۱)، مقدار تقریبی ولتاژ حداکثر توان محاسبه شده در گام اول را به گونه ای تغییر می دهد که توان خروجی پنل خورشیدی در نقطه حداکثر توان قرار گیرد. گام دوم مبتنی بر روش P&O کلاسیک است. P&O با دریافت مقدار توان لحظه ای و مقدار سیگنال مرجع، که نسبت ولتاژ حداکثر توان به ولتاژ مدار باز (K) می باشد، مقدار K رابطه (۱۱) را به گونه ای تغییر می دهد تا مقدار ولتاژ محاسبه شده در رابطه (۱۱) برابر ولتاژ حداکثر توان شود یا به عبارتی مقدار توان دریافتی حداکثر تخمین زده شده است همگرایی سریع بوده و نیاز به استفاده از اغتشاش با دامنه بزرگ که باعث نوسانات در حالت پایدار می شود، نمی باشد.





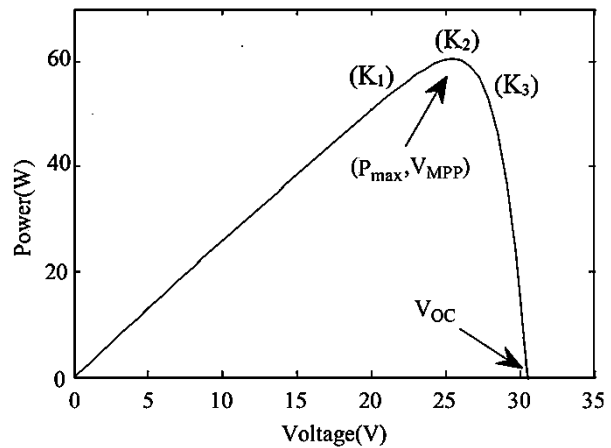
شکل ۶: عملکرد روش پیشنهادی در حالت $K=K1$

شکل (۷) عملکرد گام اول روش پیشنهادی را نشان می‌دهد که در آن مقدار اولیه K در حداکثر توان قرار گرفته است، چنان که مشاهده می‌شود در این حالت تقریب اولیه به خوبی و در حداکثر توان انجام شده است اما بعد از تغییرات شرایط جوی تقریب اولیه نامناسب انجام شده است و مقدار تقریب زده شده از نقطه حداکثر توان فاصله دارد با این حال در گام دوم و با اصلاح گام که سبب افزایش ولتاژ شده است مقدار دقیق حداکثر توان بدست آمده است.



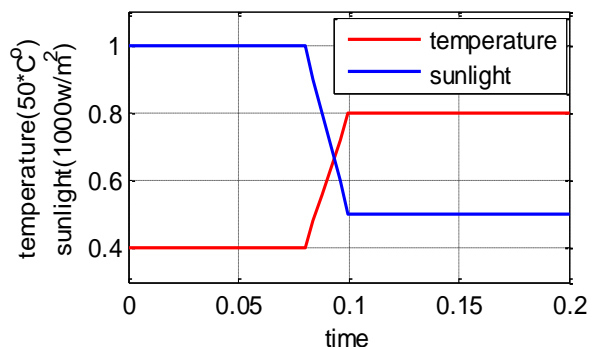
شکل ۷: عملکرد روش پیشنهادی در حالت $K=K2$

شکل (۸) عملکرد گام اول روش پیشنهادی را نشان می‌دهد که در آن مقدار اولیه K بعد از نقطه حداکثر توان تنظیم شده است، چنان که مشاهده می‌شود در این حالت تقریب اولیه بعد از حداکثر توان انجام شده است، اما بعد از تغییرات شرایط جوی در زمان یک دهم ثانیه تقریب قبل از حداکثر توان و تقریباً نزدیک حداکثر توان می‌باشد. چنان که مشاهده می‌شود، در گام دوم در حالت اول با کاهش ولتاژ و در حالت دوم با افزایش ولتاژ مقدار دقیق حداکثر توان بدست آمده است.



شکل ۴: منحنی توان-ولتاژ و مقادیر مختلف K نسبت به حداکثر توان

در ادامه نتایج شبیه سازی‌ها برای سه حالت فوق بررسی خواهد شد، در این شبیه سازی‌ها شدت نور و دما مانند شکل (۵) تغییر خواهند کرد.



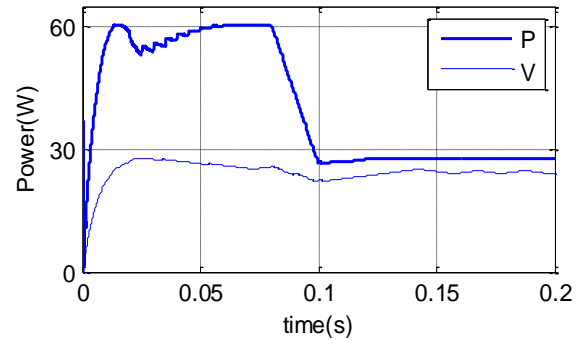
شکل ۵: تغییرات شدت نور و دما

شکل (۶) عملکرد گام اول روش پیشنهادی را نشان می‌دهد که در آن مقدار اولیه K قبل از نقطه حداکثر توان قرار گرفته است، چنان که مشاهده می‌شود در این حالت تقریب اولیه قبل از حداکثر توان انجام شده است، این امر همچنین بعد از تغییرات شرایط جوی در زمان یک دهم ثانیه نیز چنین بوده است. چنان که مشاهده می‌شود، در گام دوم و با اصلاح گام که سبب افزایش ولتاژ شده است مقدار دقیق حداکثر توان بدست آمده است.

مشاهده می‌شود نتایج آزمایشگاهی نتایج شبیه سازی را تایید می‌کند.

۵- نتیجه گیری

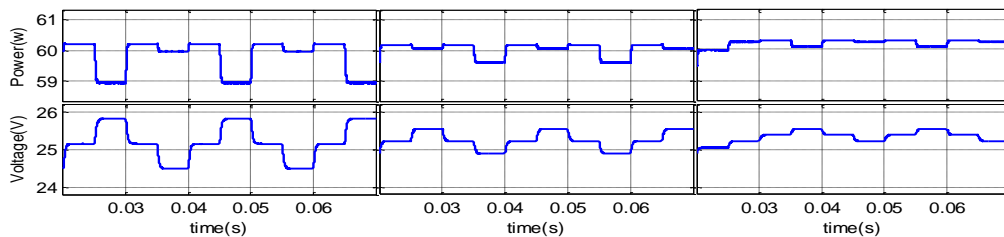
در این مقاله روشی برای بهبود ردیابی نقطه حداکثر توان ارائه خواهد شد که مبتنی بر روش اغتشاش و مشاهده است، کارکردهای الگوریتم‌های مبتنی بر اغتشاش و مشاهده وابسته به دو پارامتر مهم در طراحی، یکی دامنه و دیگری فرکانس اغتشاشات می‌باشد این اغتشاش به صورت پیوسته برای تعیین موقعیت نقطه حداکثر توان اعمال می‌شود. این روش در دو گام نقطه حداکثر توان را تعیین می‌کند، نخست مقدار تقریبی این نقطه بر اساس روابط خطی تخمین زده می‌شود، سپس در مرحله بعد بر اساس روش اغتشاش و مشاهده مقدار دقیق محاسبه می‌شود. روش پیشنهادی برای یک سیستم فوتوولتاییک در نرم افزار متلب شبیه سازی شد، و نتایج شبیه سازی برای دو گام تقریب زدن و محاسبه دقیق بررسی شد، نتایج شبیه سازی‌ها برای گام اول نشان می‌دهند که تنظیم مقدار پارامترهای رابطه خطی، در تخمین نقطه حداکثر توان موثر است همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای گام دوم که مبتنی بر روش P&O می‌باشد هر قدر دامنه اغتشاش کوچک‌تر باشد عملکرد روش بهتر است. روش پیشنهادی برای یک نمونه آزمایشگاهی پیاده سازی شد بررسی‌ها نشان داد که نتایج آزمایشگاهی نتایج شبیه سازی را تایید می‌کند.



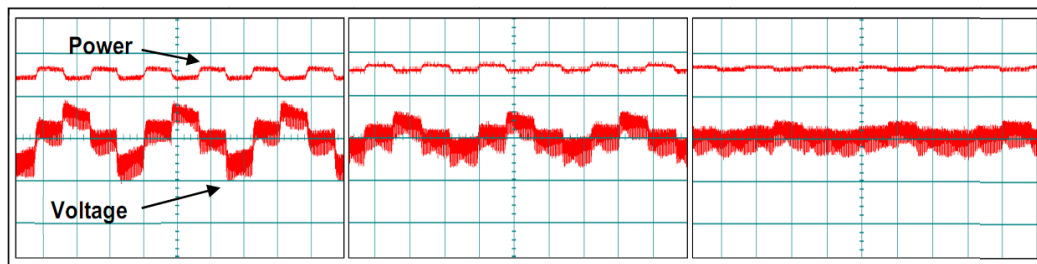
شکل ۸: عملکرد روش پیشنهادی در حالت $K=K3$

۴-۲- محاسبه دقیق:

شکل (۹) پاسخ حالت پایدار روش پیشنهادی را برای مقادیر دامنه های مختلف اغتشاش نشان می‌دهد، تغییرات دامنه در نوسانات ولتاژ مشخص است، این نوسانات بر توان نیز تأثیر گذار است، چنان که مشاهده می‌شود با کاهش دامنه اغتشاش مقدار دامنه نوسان توان نیز کاهش یافته است، بدیهی است که هر قدر که دامنه نوسانات بیشتر باشد راندمان روش کمتر خواهد بود. کاهش دامنه در روش P&O اگر چه سبب کاهش سرعت رسیدن به نقطه حداکثر توان می‌شود اما در اینجا با توجه به این که نقطه حداکثر توان توسط گام نخست تخمین زده می‌شود بهتر است که دامنه نوسانات در مقدار کوچک قرار داشته باشد تا راندمان روش در حالت پایدار تضمین شود. روش پیشنهادی برای یک نمونه آزمایشگاهی پیاده سازی شد و نتایج حالت پایدار آن برای دامنه اغتشاش‌های مختلف بررسی شد، این نتایج در شکل (۱۰) نشان داده شده است، چنان که



شکل ۹: پاسخ حالت پایدار روش پیشنهادی را برای مقادیر دامنه های مختلف اغتشاش



شکل ۱۰: نتایج آزمایشگاهی حالت پایدار روش پیشنهادی را برای مقادیر دامنه های مختلف اغتشاش

- [12] P. Kakosimos, A. Kladas and S. Manias "Fast photovoltaic-system voltage- or current-oriented MPPT employing a predictive digital current-controlled converter", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 12, pp.5673 -5685 2013
- [13] Y. Xia, K. Ahmed and B. Williams "Wind turbine power coefficient analysis of a new maximum power point tracking technique", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 3, pp.1122 -1132 2013
- [14] L. Belhadji, S. Bacha, I. Munteanu, A. Rumeau and D. Roze "Adaptive MPPT applied to variable-speed microhydropower plant", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 28, no. 1, pp.34 -43 2013
- [15] Y. Jiang, J. Qahouq and T. Haskew "Adaptive step size with adaptive-perturbation-frequency digital MPPT controller for a single-sensor photovoltaic solar system", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 7, pp.3195 -3205 2013
- [16] E. Monmasson "FPGAs in industrial control applications", *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 7, no. 2, pp.224 -243 2011
- [17] P. Manganiello, E. Monmasson, G. Petrone, M. Ricco and G. Spagnuolo "On-line optimization of the P&O MPPT method by means of the system identification", *Proc. IEEE IECON*, pp.1786 -1791 2013
- [18] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays " *IEEE Trans Power Electron*, pp. 1198 - 1208, vol.24, no.5, may 2009.
- [19] A. Safari and S. Mekhilef "Simulation and hardware implementation of incremental conductance MPPT with direct control method using Cuk converter", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp.1154 -1161 2011
- [1] E. Romero-Cadaval "Grid-connected photovoltaic generation plants: Components and operation", *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 7, no. 3, pp.6 -20 2013
- [2] J. H.R.Enslin, M.S.Wolf, D.B.Snyman and W. Swiegers, "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter," *IEEE Trans Ind Electron*, vol. 44, pp.769-773, Dec 1997.
- [3] T. Hiyama, S. Kouzuma, T. Imakubo, T.H. Ortmeier, "Evaluation of neural network based real-time maximum power tracking controller for PV system", *IEEE Trans Energy Convers*, vol.10, on.3, pp.543 -548, 1995.
- [4] C. Hua, J. Lin, C. Shen, "Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking," *IEEE Trans Ind Electron*, vol. 45, no.1, pp.99-107, Feb 1998.
- [5] Y.M. Chen, Y.C. Liu, F.Y. Wu, "Multi-input converter with power factor correction, maximum power point tracking, and ripple-free input currents," *IEEE Trans Power Electron*, vol. 19, pp. 631-639, May 2004.
- [6] P.Huynh, B.H.Cho, "Design and Analysis of a Microprocessor-Controlled Peak-Power-Tracking System", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.* vol.32, no.1 Jan 1996.
- [7] K.H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions," *IEE Proc.Gen. Transm. Distr*, vol.142, no.1, Jan 1995.
- [8] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli *Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems*, 2013 :CRC Press
- [9] L. Piegari and R. Rizzo "Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking", *IET Renew. Power Gener.*, vol. 4, no. 4, pp.317 -328 2010
- [10] F. Zhang, K. Thanapalan, A. Procter, S. Carr and J. Maddy "Adaptive hybrid maximum power point tracking method for a photovoltaic system", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 28, no. 2, pp.353 -360 2013
- [11] A. Al Nabulsi and R. Dhaouadi "Efficiency optimization of a DSP-based standalone PV system using fuzzy logic and dual-MPPT control", *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 8, no. 3, pp.573 -584 2012