

به کارگیری مبدل SEPIC و سیستم ردیاب حداکثر توان (MPPT) در

سیستم های خورشیدی منفصل از شبکه

محمد رضا شیرین آبادی^۱، علی ملکیان^۲، مهران معانی فر^۳

Applying SEPIC converter and Maximum Power Point Tracking(MPPT) in off grid solar systems

M.Shirinabay , A.malekian , M.maarifar

Email: m.shirinabady@gmail.com , malekianmst@gmail.com

چکیده

امروزه با توجه به فنا پذیری منابع سوخت فسیلی و مسایل آلودگی محیط زیست، تحقیق در مورد منابع انرژی جایگزین جهت تولید انرژی الکتریسیته بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از بهترین منابع انرژی جایگزین می توان به انرژی خورشیدی اشاره نمود که در کاربرد آن حداقل دو نوع مدار واسط مورد نیاز است. اولاً مداری که سلول خورشیدی را در نقطه کار توان ماکزیمم قرار دهد. ثانیاً مدار مبدل که بین سلول و بار قرار گرفته و جهت تبدیل سطح ولتاژ و تنظیم ولتاژ مطرح می شود. این مجموعه می تواند از نوع متصل به شبکه و یا منفصل از شبکه باشد. هدف اصلی در این بحث معرفی سلولهای خورشیدی و اتصال آنها به مبدل DC-DC افزایشده و استفاده از سیستم کنترلی بر مبنای الگوریتم P&O برای بهبود عملکرد سیستم و حصول حداکثر توان از پنل خورشیدی می باشد.

کلمات کلیدی

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی - مبدل DC/DC - الگوریتم P&O - ردیابی نقطه حداکثر توان

مقدمه

با توسعه صنعتی جهان و تقاضای روز افزون انرژی از یک سو و محدود بودن و لزوم حفظ منابع سوخت های فسیلی برای نسل های آینده و جلوگیری از خسارات زیست محیطی ناشی از سوختن آنها از دیگر سوی، راهی جز روی آوردن به استفاده از انرژی های تجدید پذیر را باقی نگذاشته است. در این زمینه در سالهای اخیر انرژی خورشیدی و سیستم های فتوولتائیک به عنوان منبع انرژی سبز، با توجه به سادگی نصب، عدم انتشار گازهای گلخانه ای و همچنین طول عمر نسبتاً بالای آنها(حدود ۲۰ - ۲۵ سال)بیشتر مورد توجه بوده اند.

بدلیل مشخصه ی غیر خطی توان - ولتاژ آرایه خورشیدی در ولتاژی خاص، می توان حداکثر توان را از آرایه دریافت کرد. با تغییر تابش و دمای سلول های ماژول PV، این منحنی ها نیز به تبع آن تغییر می کنند، یعنی انرژی خروجی ماژول PV، به ازای ولتاژ و جریان مختلف می تواند تغییر کند [1]، [2]. در عین حال فقط یک نقطه ی توان حداکثر (MPP) برای ماژول وجود دارد که در این نقطه حداکثر توان به بار تزریق می شود. بنابراین ضروری به نظر می رسد که برای افزایش کار آیی سیستم PV مربوطه، توان حصولی از ماژول PV در هر لحظه، در مقدار حداکثر خود باشد. این کار با استفاده از سیستم کنترلی ردیاب نقطه ی حداکثر توان (MPPT) انجام می گیرد [3]. دراین تحقیق

^۱سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور - مرکز شماره 3 استان آشنرقی

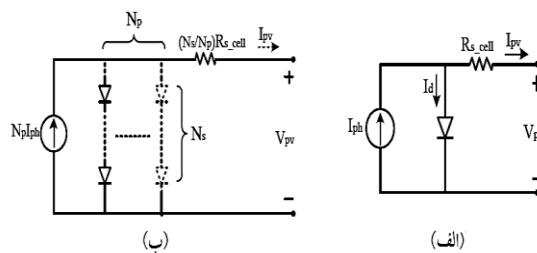
^۲ گروه ماشین سازی تبریز(MST)ودانشگاه جامع علمی کاربردی استان آشنرقی واحد ماشین سازی تبریز

^۳دانشگاه محقق اردبیلی-دانشکده برق

ابتدا یک سلول خورشیدی در نرم افزار متلب مدل سازی شده و پارامترهای تابش و دما به عنوان متغیرهای ورودی سلول خورشیدی در نظر گرفته می شود و سپس مبدل DC-DC افزایشدهنده - کاهنده SEPIC به منظور کاهش ریبیل جریان ورودی پیشنهاد خواهد شد. سیستم کنترلی بر مبنای الگوریتم P&O برای دست یابی به توان حداکثر پیشنهاد شده و مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱. مدل سازی ماژول فتوولتائیک

یکی از رایج ترین مدل هایی که برای ماژول فتوولتائیک مورد استفاده قرار می گیرد، [4]. مدار شکل (الف)، معادل با یک سلول خورشیدی می باشد. با توجه به اینکه در شبیه سازی ها و معادل سازی ها با ماژول PV که متشکل از چندین سلول سری (N_s) و موازی (N_p) است سروکار خواهیم داشت، بایستی معادلات ماژول PV را بدست آوریم. برای ماژول PV مدار معادل به صورت شکل (ب) خواهد بود.



شکل ۱ - (الف) سلول PV (ب) ماژول PV

لازم به ذکر است که اغلب تولید کنندگان ماژول PV، به دلیل جریان نسبتاً بالای تولیدی توسط هر سلول N_p را برابر ۱ در نظر گرفته و مقدار N_s را به صورت استاندارد ۳۶ یا ۷۲ در نظر می گیرند، یعنی تعداد ۳۶ یا ۷۲ سلول PV را بصورت سری به هم متصل کرده و ماژول مورد نظر را تولید می کنند. منبع جریان، جریان فتوکارنت $N_p I_{ph}$ را که معادل جریان تولیدی اثر فتوالکتریک بوده و با تابش خورشیدی، G رابطه مستقیم دارد، تولید می کند. طبق قانون جریان کیرشهف داریم:

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_d \quad (1)$$

جریان دیود برای یک سلول I_d برابر است با:

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_{s_cell} I_{pv})}{AKT}} - 1 \right) \quad (2)$$

با فرض:

$$R_{s_mod} = R_{s_cell} \frac{N_s}{N_p} \quad (3)$$

و با استفاده از (۲) و (۳) می توان نوشت:

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_{s_mod} I_{pv})}{N_s AKT}} - 1 \right) \quad (4)$$

در رابطه ی (۴) داریم:

I_{ph} بیانگر جریان فتوکارنت یعنی اثر برخورد فوتون ها به صفحه سلول بر حسب آمپر، I_0 جریان اشباع معکوس دیود q بار الکتریکی منفی با مقدار ثابت $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ، ثابت بولتزمن با مقدار ثابت $1.381 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$ ، ضریب ایده آلی دیود، T درجه ی حرارت اتصال ماژول بر حسب کلوین و V_{pv} و I_{pv} هم به ترتیب ولتاژ و جریان خروجی ماژول PV می باشند.

برای جریان I_{ph} می توان نوشت:

$$I_{ph} = \left[I_{scr_cell} + k_i (T - T_r) \right] \frac{G}{G_r} \quad (5)$$

در این رابطه، I_{scr_cell} جریان اتصال کوتاه سلول می باشد [5] و [6]. بنابراین برای پیدا کردن معادل آن برای یک ماژول PV از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$I_{scr_cell} = I_{scr_mod} \times \frac{1}{N_p} \quad (6)$$

مقدار جریان اتصال کوتاه ماژول، I_{scr_mod} به همراه ضریب حرارتی جریان اتصال کوتاه، $k_f \left(\frac{A}{^\circ C}\right)$ در کاتالوگ ماژول PV مورد نظر داده می شود. مقادیر **Tr** و **Gr** به ترتیب دما و تابش مرجع (معمولاً $Tr = 298k$ و $Gr = 1000 \frac{W}{m^2}$) بر حسب کلوین و $\frac{W}{m^2}$ می باشند.

دومین پارامتری که نیاز به محاسبه دارد جریان اشباع معکوس دیود در دمای دلخواه T یعنی I_0 می باشد:

$$I_0 = I_{rs} \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 e^{\frac{qE_g}{AK} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)} \quad (7)$$

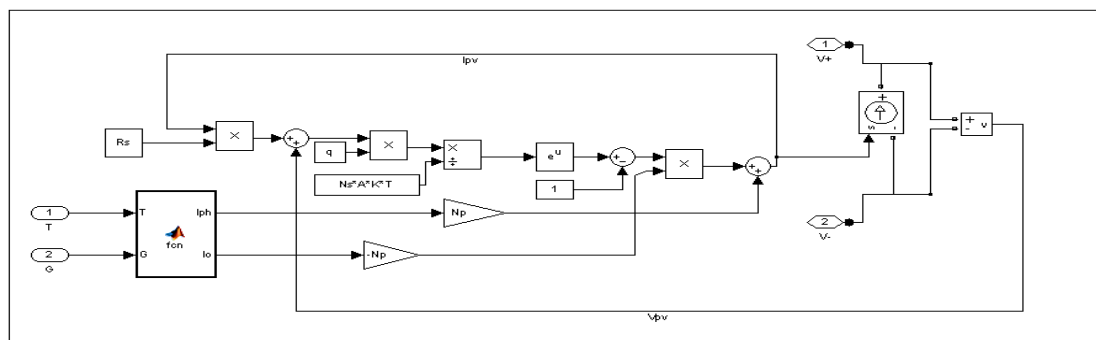
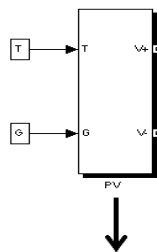
در رابطه ی (7)، E_g انرژی باند گپ برای سلول PV در دمای دلخواه T می باشد که از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$E_g = [1 - 0.0002677(T - T_r)] E_{gr} \quad (8)$$

مقدار E_{gr} برای سلول PV برابر $E_{gr} = 1.121 \text{ eV}$ می باشد [3] و [6] و [7] پارامتر مهم بعدی در رابطه ی (7) مقدار جریان I_{rs} بوده که از رابطه ی زیر قابل محاسبه می باشد:

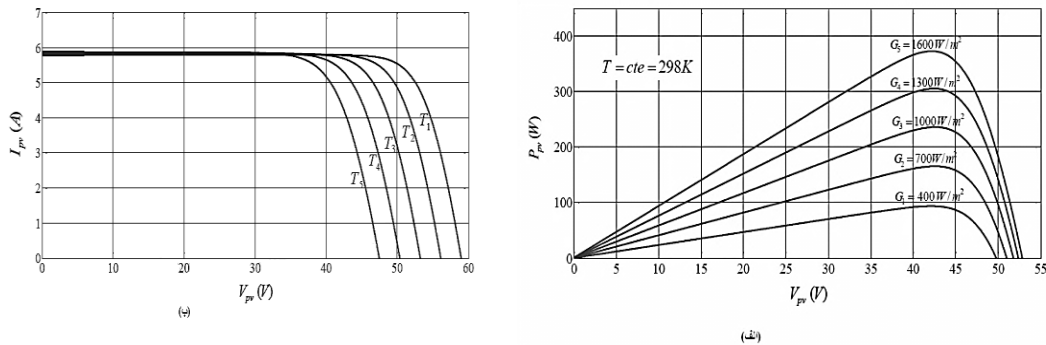
$$I_{rs} = \frac{I_{scr_mod}}{N_p \left(e^{N_s AKT} - 1 \right)} \quad (9)$$

ماژول PV انتخاب شده برای شبیه سازی مدل VBHN235SE10 شرکت پاناسونیک ساخت سال ۲۰۱۲ می باشد [8]، همانند آنچه در شکل ۲ ملاحظه می کنید، معادلات مربوط به جریان های فتوکارت و اشباع معکوس دیود در نرم افزار Matlab/SIMULINK نوشته شده و خروجی ماژول فتوولتائیک را دریافت شده است.



شکل ۲- مدل کامل ماژول PV

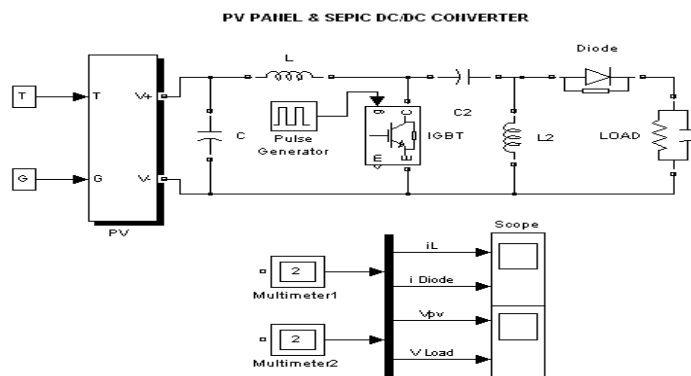
برای تست عملکرد ماژول PV پس از تعیین تابش و دمای اختیاری، یک منبع ولتاژ وابسته با شکل موج ورودی شیب، به دوسر $V_{pv} +$ و $V_{pv} -$ وصل شده و پس از اندازه‌گیری مقادیر جریان و ولتاژ ماژول PV، منحنی‌های مربوطه رسم شده‌اند (شکل شماره ۳).



شکل ۳- منحنی مشخصه‌های ماژول PV (الف) منحنی V-P به ازای تابش متغیر و دمای ثابت (ب) منحنی V-I به ازای تابش ثابت و دمای متغیر

۲. مبدل SEPIC متصل به پنل PV

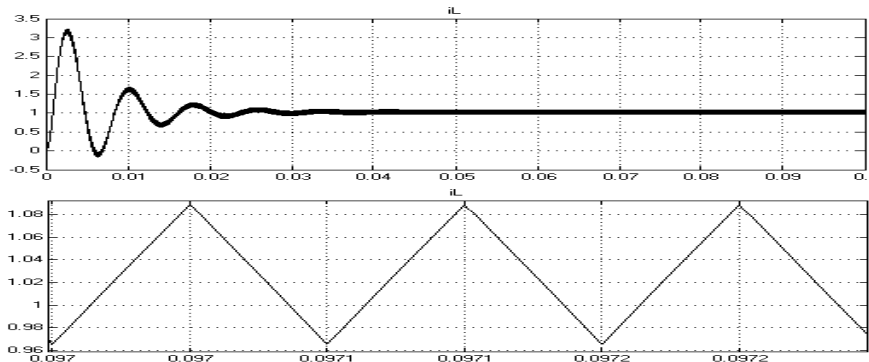
مبدل SEPIC یک مبدل DC-DC است که یک ولتاژ خروجی تثبیت شده مثبت را از ولتاژ ورودی تولید می‌کند که می‌تواند از یک مقدار حداقل تا یک مقدار حداکثر تغییر نماید. مبدل SEPIC در دو مد کاری مختلف می‌تواند کار کند: حالت هدایت پیوسته (CCM) و حالت هدایت گسسته (DCM). در این تحقیق مد کاری CCM مد نظر می‌باشد. خروجی رگولاتور SEPIC توسط کنترل سیکل کاری سوئیچ (D)، کنترل می‌شود که به راحتی از رابطه بدست می‌آید [9]. مدار پیشنهادی برای مبدل SEPIC در شکل شماره ۴ نشان داده شده است:

$$V_{out} = \frac{DV_{in}}{1-D}$$


شکل ۴- مبدل SEPIC متصل به ماژول PV

باتوجه به اینکه خروجی بلوک PV از منبع جریان کنترل شده گرفته شده است، لذا نمی‌تواند بصورت سری با سلف بلوک مبدل متصل گردد لذا برای حل این مشکل خازن C با ظرفیت بزرگ بصورت موازی با دو بلوک قرار گرفته است. برای فعال کردن سوئیچ مبدل SEPIC از یک پالس مربعی با فرکانس 10 KH و سیکل کاری $D = 0.5$ استفاده شده است. مقدار مقاومت بار برابر ۵۰ اهم و مقدار ظرفیت خازن موجود در بار مقدار ۲۵ میکرو فاراد انتخاب شده است.

شکل موج جریان ورودی برای حالتی که جریان بار پیوسته است در شکل شماره ۵ نشان داده شده است:



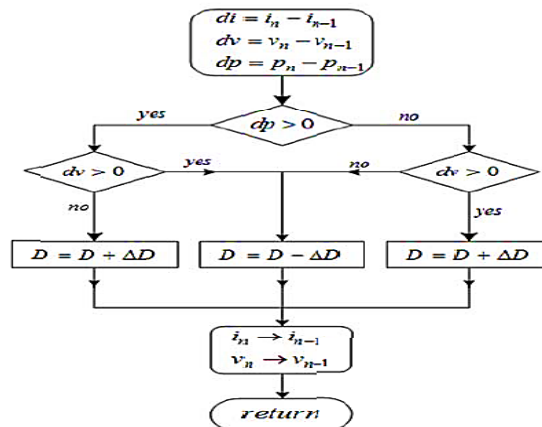
شکل ۵- شکل موج جریان ورودی مبدل SEPIC متصل به پنل PV

در کاربردهای PV برای ما مطلوب است که جریان سلف کمترین ریپل را داشته تا منحنی توان پنل خورشیدی در حداکثر مقدار خود قرار داشته باشد همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌نمایید جریان سلف در زمان t_1 از I_1 (مقدار اولیه) به I_2 (مقدار ثانویه) بصورت خطی افزایش می‌یابد و جریان سلف بصورت خطی در زمان t_2 از I_2 به I_1 نزول می‌کند که: $\Delta I = I_2 - I_1$ جریان ریپل پیک تا پیک سلف L می‌باشد [7] و [8]، که در این مبدل برابر است با: $\Delta I = 1.0891 - 0.985 = 0.1041$

به عنوان یک نتیجه می‌توان گفت که مبدل SEPIC پیشنهاد شده که در حقیقت از اضافه کردن یک شبکه LC به مبدل BOOST موجود آمده است که برای کاهش ریپل جریان ورودی می‌باشد. مبدل پیشنهادی، وظیفه‌ی ردیابی حداکثر توان قابل حصول از پنل PV و قفل بر روی آن را بر عهده خواهد داشت [8] و [9] و [10].

۳. الگوریتم ردیابی حداکثر توان P&O

اساس کار این الگوریتم بر مقایسه تغییرات توان و ولتاژ استوار است، [5]. در شکل شماره ۶ فلوجارت این الگوریتم آورده شده است:

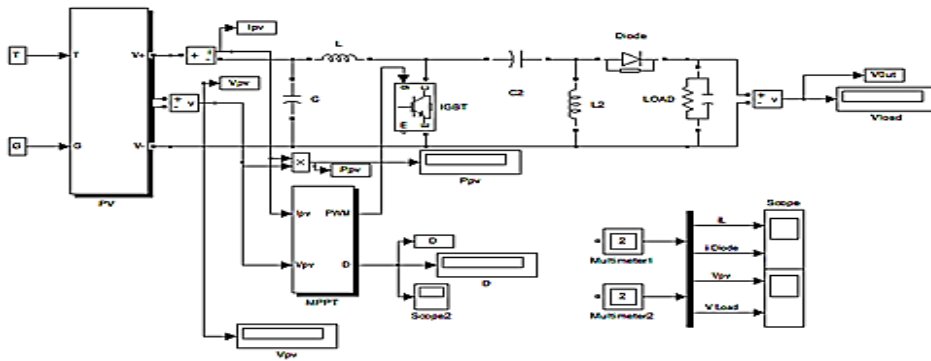


شکل ۶- فلوجارت الگوریتم P&O

در ساختار پیشنهادی برای کلید زنی سوئیچ مبدل DC-DC از روش مدولاسیون پهنای پالس (PWM) استفاده شده است، ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده از ماژول PV، به بلوک مربوط به الگوریتم ردیابی اعمال می‌شود. خروجی بلوک الگوریتم ردیابی مقدار Duty cycle (D) می‌باشد، که به عنوان سیکل کاری مبدل به بلوک PWM اعمال شده و در نهایت فرمان مناسب به سوئیچ مبدل اعمال می‌شود.



مدل نهایی ماژول PV متصل به مبدل DC-DC به همراه سیستم کنترلی به منظور دستیابی به حداکثر توان در شکل شماره ۷ نشان داده شده است:

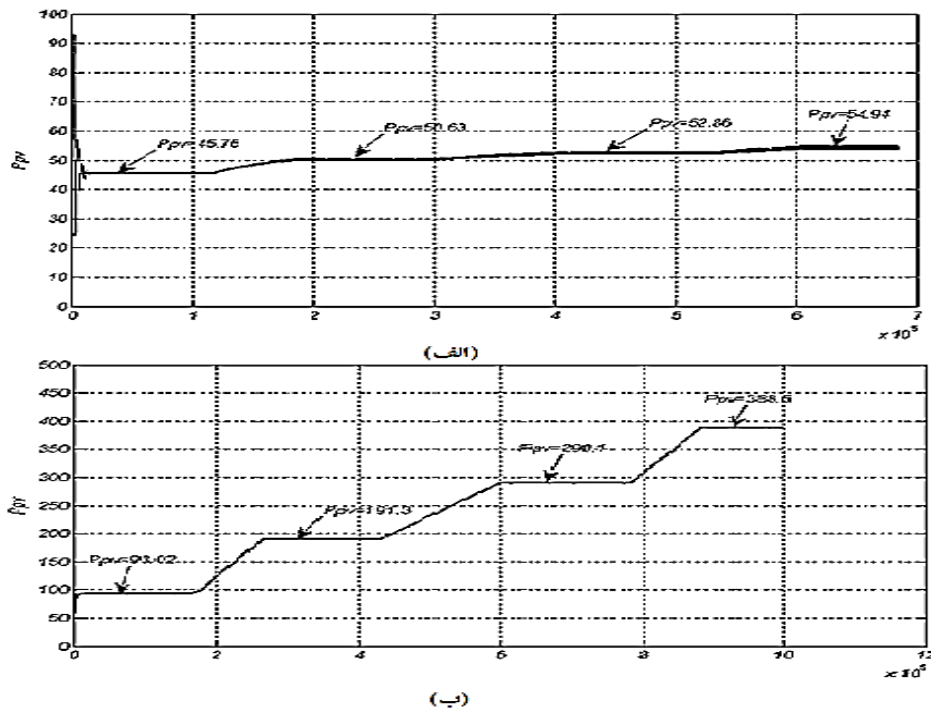


شکل ۷- ماژول PV متصل به مبدل DC-DC به همراه سیستم کنترلی MPPT

۱.۳ نتایج شبیه سازی سیستم کنترلی MPPT به ازای تابش متغیر و دمای ثابت

در این مرحله سیستم را تحت تابش های متغیر قرار می دهیم ، برای این منظور ابتدا بدون بلوک MPPT و فقط اتصال مستقیم پنل PV به مبدل DC-DC عملکرد توان (P_{pv}) و ولتاژ (V_{pv}) خروجی پنل PV تحت تابش $G = 1600 \frac{W}{m^2}$ و $1200 \frac{W}{m^2}$ و $800 \frac{W}{m^2}$ و $400 \frac{W}{m^2}$ در دمای $T=298K$ در نظر می گیریم و بار دیگر با اتصال بلوک MPPT نتایج را بدست می آوریم.

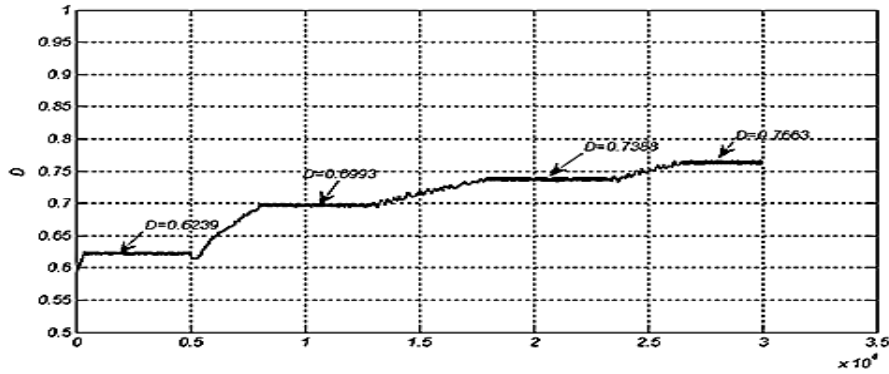
شکل موج های مربوط به توان و ولتاژ این سیستم در شکل شماره ۸ آورده شده است:



شکل ۸- (الف) توان خروجی ماژول PV متصل به مبدل DC-DC بدون بلوک MPPT (ب) توان خروجی ماژول PV متصل به مبدل DC-DC و بلوک MPPT



تغییرات سیکل کاری تولیدی توسط بلوک MPPT به منظور دستیابی به حداکثر توان در شکل شماره ۹ نشان داده شده است:

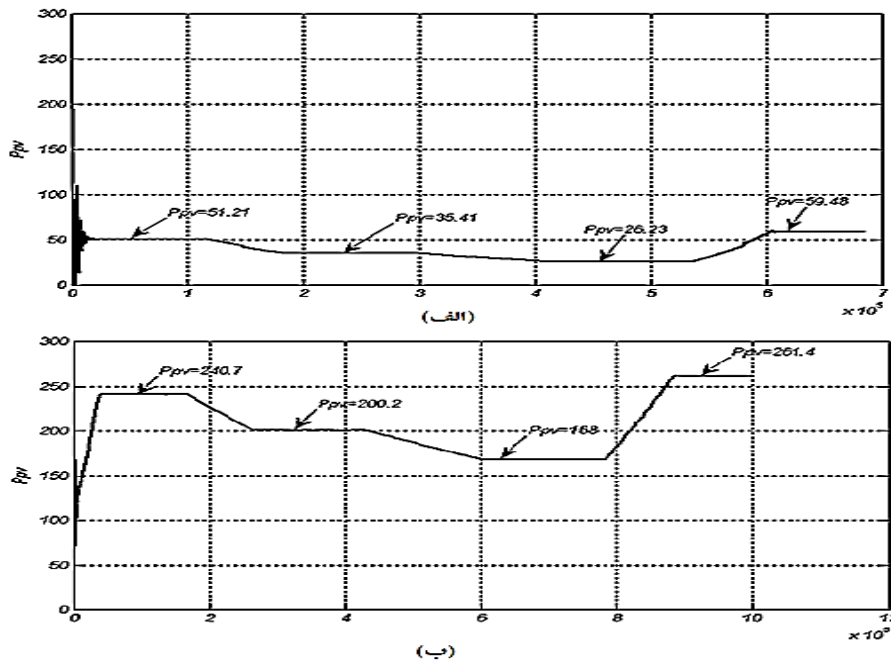


شکل ۹- تغییرات سیکل کاری تولیدی توسط بلوک MPPT به ازای تابش متغیر و دمای ثابت

۲.۳ نتایج شبیه سازی سیستم کنترلی MPPT به ازای دمای متغیر و تابش ثابت

شکل موج های خروجی پنل PV به ازای دما های متغیر و تابش ثابت $G=1000 \frac{W}{m^2}$ آورده شده است. برای این منظور ابتدا بدون بلوک MPPT و فقط اتصال مستقیم پنل PV به مبدل DC-DC عملکرد توان (P_{pv}) و ولتاژ خروجی پنل (V_{pv}) تحت دماهای $T=290K$ و $T=330K$ و $T=315K$ و $T=298K$ در نظر می گیریم و بار دیگر با اتصال بلوک MPPT نتایج را بدست می آوریم.

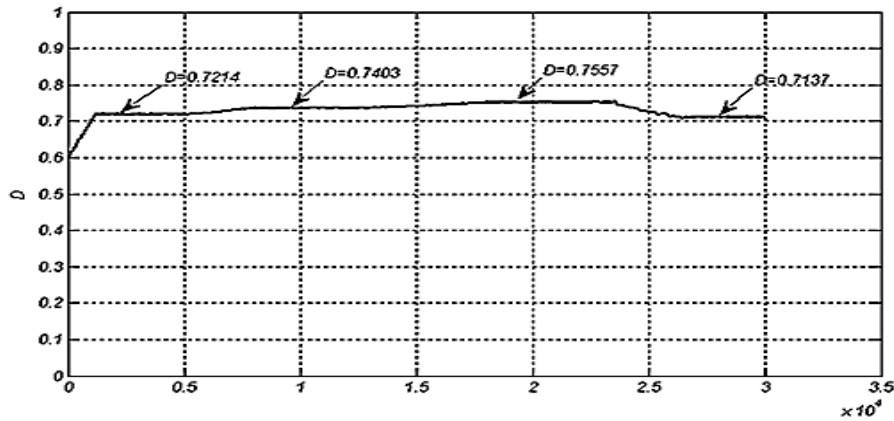
شکل موج های مربوط به توان و ولتاژ این سیستم در شکل شماره ۱۰ آورده شده است:



شکل ۱۰- (الف) توان خروجی ماژول PV متصل به مبدل DC-DC بدون بلوک MPPT (ب) توان خروجی ماژول PV متصل به مبدل DC-DC و بلوک MPPT



تغییرات سیکل کاری تولیدی توسط بلوک MPPT به منظور دستیابی به حداکثر توان در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است:



شکل ۱۱- تغییرات سیکل کاری تولیدی توسط بلوک MPPT به ازای دمای متغیر و تابش ثابت

نتیجه گیری

برای بکارگیری پنل خورشیدی بصورت منفصل از شبکه نیاز به دو مدار واسط وجود دارد: مبدل DC-DC و بلوک ردیاب حداکثر توان. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد مبدل SEPIC پیشنهادی دارای رپیل جریان ورودی پایین و بهره بالا می باشد. و سیستم کنترلی پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم P&O برای دو حالت تابش متغیر و دمای ثابت، و دمای متغیر و تابش ثابت، با تغییر سیکل کاری مبدل با سرعت و دقت بالایی عمل ردیابی حداکثر توان را انجام می دهد و بدین ترتیب حداکثر توان از پنل خورشیدی به بار منتقل می شود.

منابع و مراجع

- [1] D. Jc Mac Kay 2009, *Sustainable Energy with out the Hot Air*.UIT Cambridge ,England.
- [2] R.B.Darla 2007, *Development of maximum power point tracker for PV panel using SEPIC converter*, *Tele communications Energy Conference*, sept.30-oct.4.
- [3] T.Tafticht, K.Agbossou, M.L.Doumbia and A.Chériti 2008, *An Improved Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Systems*, *Renewable Energy*,1508-1516.
- [4] S.Poshtkouhi, V.Palaniappan and M.Fard, *O.Trescases 2012, IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 27, 4656-4666
- [5] G.Walker 2001, *Evaluating MPPT converter topologies using a matlab PV model*, *J. Elect. Electron. Eng.*, Vol. 21, 45-55.
- [6] W. DeSoto, S.A.Klein and W.A.Beckman 2006, *Improvement and Validation of a model for photovoltaic Array Performance*, *Elsevier Solar Energy*, Vol.80,No.1, 78-88.
- [7] . H.L. Tsai, Ci-Siang Tu and Yi-Jie Su 2008, *Development of Generalized Photovoltaic Model Using Matlab/Simulink*, *The World Congress on Engineering and Computer Science* ,USA , 22-24 October.
- [8] Panasonic 2012, *VBHN235SE10 specifications of photovoltaic module*, data released, Mar.9.
- [9] K.Singh, A.N.Tiwari and K.P.Singh 2012, *Performance Analysis of Modified SEPIC Converter with Low Input Voltage* ,*IJECT*, Vol.3,ISSUE1,ISSN: 2230-7109.
- [10] S.A.KH.MozaffariNiapoure, S.Danyali, M.B.B.Sharifian, M.R.Feyzi 2011, *Brushless DC Motor Drives Supplied by PV Power System Based on Z-Source Inverter and FL-IC MPPT Controller* ,*Energy Conversion and Management*, Vol.52, Issues8-9,Pages 3043-3059.