

بررسی تکنیک های تعقیب نقطه توان حداکثر (MPPT) در سلول های خورشیدی

احسان اکبری عسگرانی^۱، جواد کریمی قلعه شاهرخی^۲، منصور خالقیان^۳

^۱ هسا- صنایع اویونیک ایران و دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان - دانشکده برق ، e_akbari_66@yahoo.com

^۲ هسا- صنایع اویونیک ایران ، ja.karimi@ymail.com

^۳ هسا- صنایع اویونیک ایران ، mansour.khaleghian@yahoo.com

چکیده - از آنجایی که توان الکتریکی تامین شده توسط سیستم های خورشیدی به عایق بندی دما و میزان تابش بستگی دارد کنترل نقاط عملکردی برای نمایش ماکزیمم توان دستگاه خورشیدی، ضروری است. هدف از این مقاله بررسی الگوریتم های ردیابی ماکزیمم توان می باشد. تفاوت عمده شیوه ی به کار رفته در سیستم MPPT مطرح شده با دیگر تکنیک های به کار رفته در گذشته این است که از توان خروجی سلول خورشیدی مستقیما برای کنترل مبدل dc/dc استفاده می شود. و به همین علت پیچیدگی سیستم را کاهش می دهد. چنین سیستمی دارای بازدهی بالا و قیمت پایین می باشد.

کلید واژه- حداکثر سیستم های خورشیدی - مبدل های DC/DC - MPPT.

توان با استفاده از ترنند های سری و موازی کردن ، علاوه به رسیدن به توان قابل قبول هزینه ها را نیز کاهش داد .

انرژی خورشیدی می تواند به دو روش به کار رود : گرم کننده / خنک کننده خورشیدی و و برق خورشیدی . بعضی دستگاه ها در ولتاژ dc عمل می کنند . دستگاه های دیگر ممکن است برای تعدیل ولتاژ نیازمند آداپتور ولتاژ یا اینورتر برای افزایش ولتاژ و تغییر آن به ac باشند . دستگاه های خورشیدی برای ماهواره های قوی در برنامه های فضایی توسعه داده شده اند . با یک تکنیک ردیابی نقطه حداکثر توان (MPPT) بسیار ساده ، ولتاژ و یا جریان سلول خورشیدی با ولتاژ ثابت مبنا (یا جریان) در شرایط جوی خاص مقایسه می شود که با ولتاژ (یا جریان) سلول خورشیدی در نقطه توان حداکثر مطابقت دارد . مشخصه های غیر خطی $V-I$ (جریان _ ولتاژ) و $P-V$ (ولتاژ _ توان) آرایه های خورشیدی و وابستگی آنها به دما در شکل ۱ نشان داده شده است .

هنگامی که ماهواره به ناحیه خورشید گرفتگی وارد می شود ، خروجی آرایه ها کاملا صفر بوده و درست پس از خروج از این ناحیه شاهد افزایش ولتاژ آنها تا بیشترین حد آن خواهیم بود . در نتیجه ولتاژ متناظر با حداکثر قدرت با نوسانات دما در حال تغییر می باشد . لذا برای اینکه بهره برداری در راندمان بالاتر (و

۱- مقدمه

از آنجایی که مردم نگران پایان پذیری سوخت های فسیلی و مشکلات محیطی ایجاد شده در اثر مصرف انرژی متعارف هستند ، در حال حاضر استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر ، به خصوص پانل های خورشیدی گسترش یافته است ، همچنین انرژی خورشیدی یکی از مهمترین و پر کاربرد ترین منبع تامین توان ماهواره ها و فضاپیما ها نیز می باشد . باتریهای خورشیدی یا سلول های خورشیدی ابزارهای الکترونیکی هستند که با استفاده از پدیده فتوولتائیک ، نور یا فتون را مستقیما به جریان یا ولتاژ الکتریکی تبدیل می کنند . امروزه از سلول های خورشیدی در بسیاری از موارد استفاده می شود . از قبیل شارژ باتری ، پمپاژ آب ، تامین انرژی منازل سیستم های انرژی ماهواره ای و عدم نیاز به نگهداری و تعمیر و همچنین عدم ایجاد آلودگی از مزیت های این منابع می باشد ولی در برخی موارد کاربردی برای تغذیه بار ، نیازمند مبدل dc/dc یا dc/ac هستند . در سال های اخیر تکنولوژی ساخت نیمه هادی های انرژی ، باعث تبدیل آسان تر بین ac و dc شده است ولی از آنجایی که سلول های خورشیدی هنوز دارای بازده تبدیل نسبتا پایینی هستند می

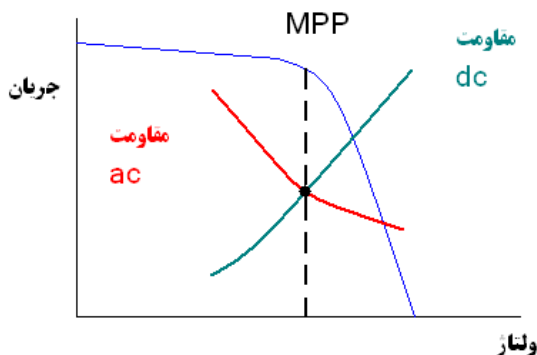
ولتاژ باتری در خلال فرآیند سوئیچینگ، نوسانات جریان نمایانگر نوسانات توان می باشند. لذا با مشخص کردن اینکه در چه زمانی نوسانات جریان حداکثر می شوند می توان نقطه حداکثر توان را پیش بینی نمود و نقطه کار ماهواره را همواره نزدیکی آن هدایت کرد.

روش پنجم: آرایه های خورشیدی بصورت مصنوعی بارگذاری و ولتاژ و جریان آنها بطور پیوسته اندازه گیری می شود. برای تعیین نقطه حداکثر توان، ضرایب ولتاژ و جریان اندازه گیری شده به مدار نمایانگر حداکثر توان ارسال می گردند.

روش ششم: همانطوری که در شکل ۲ نشان داده شده است امیدانسه های ac و dc آرایه های خورشیدی در نقطه حداکثر توان با یکدیگر برابر می شوند. در این روش یک جریان نوسانی به آرایه خورشیدی تزریق گردیده و تغییرات dv/di و v/i بطور پیوسته اندازه گیری می شوند. از این اطلاعات برای تخمین نقطه حداکثر توان آرایه های خورشیدی بهره برداری می گردد.

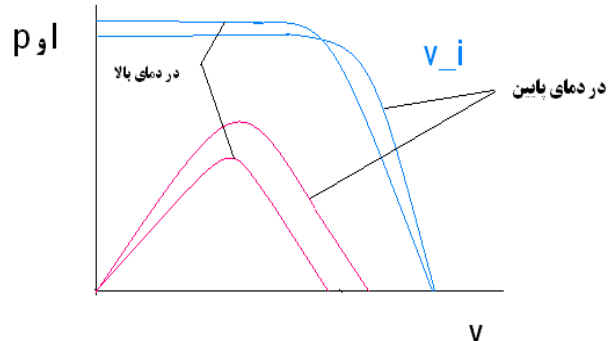
روش هفتم: وقتی که یک آرایه خورشیدی بارگذاری می شود، نرخ تغییرات قدرت خروجی نسبت به جریان تقریباً خط مستقیمی می شود که از نقطه حداکثر توان می گذرد لذا با تزریق یک سیگنال با فرکانس اغتشاش به آرایه خورشیدی، شرایط تغییرات توان در آرایه را فراهم می نمایند و سپس با اندازه گیری پیوسته dp/di توسط مدار کنترل، فرمان لازم جهت کار در نقطه حداکثر توان صادر می گردد.

به کمک هر یک از روشهای فوق می توان فرمان لازم جهت سوئیچینگ کلیدهای قدرت تنظیم کننده ولتاژ را صادر کرد و حداکثر توان ممکن را جهت تغذیه بارهای ماهواره از آرایه های خورشیدی دریافت نمود.



شکل ۲: امیدانسه های dc و ac آرایه های خورشیدی

با تعداد سلول های کمتری) انجام گیرد نیاز به استفاده از مدار دنبال کننده نقطه حداکثر توان می باشد.



شکل ۱: مشخصه $v-i$ و $p-v$ آرایه های خورشیدی در دماهای مختلف

۲- روش های جذب حداکثر توان سلول های خورشیدی

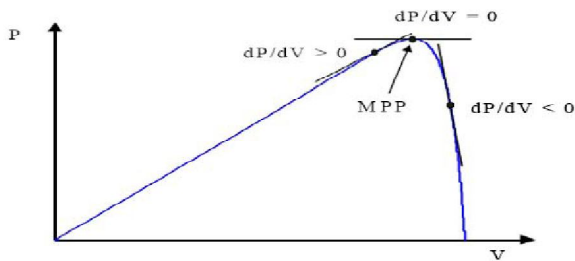
بعضی از روشهایی که خصوصاً جهت جذب حداکثر توان آرایه های خورشیدی برای تغذیه بار و شارژ باتری ها مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از:

روش اول: با توجه به مشخصه آرایه های خورشیدی می توان نشان داد که نسبت ولتاژ بی باری سلول ها به ولتاژ متناظر با نقطه حداکثر توان آنها تقریباً ثابت (بین 0.7 تا 0.75) می باشد. لذا با اندازه گیری ولتاژ بی باری سلول و مقایسه آن با ولتاژ دو سر بار، فرمان لازم به سیستم کنترل سوئیچینگ تنظیم کننده ولتاژ داده می شود بطوریکه همواره حداکثر توان ممکن به بار منتقل گردد.

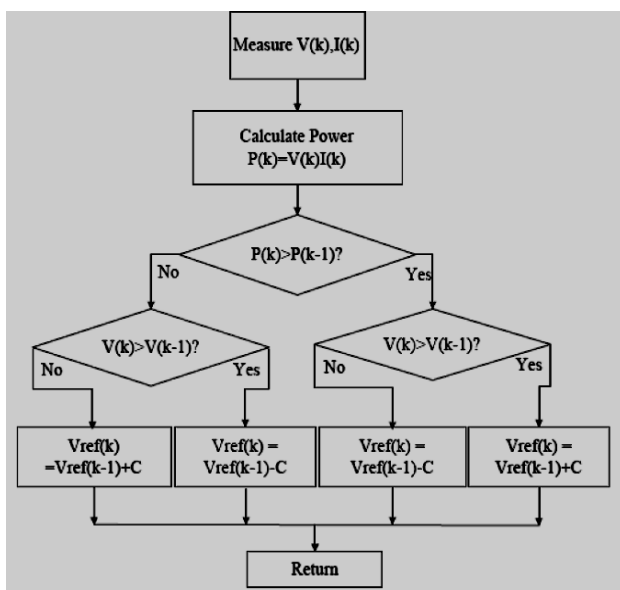
روش دوم: می توان نشان داد که نسبت جریان اتصال کوتاه سلول ها به جریان متناظر با نقطه حداکثر توان آنها تقریباً ثابت (بین 0.8 تا 0.85) می باشد. با اندازه گیری جریان اتصال کوتاه سلول و مقایسه آن با جریان بار، فرمان لازم به سیستم کنترل سوئیچینگ تنظیم کننده ولتاژ برای انتقال حداکثر توان ممکن ارائه می شود.

روش سوم: معمولاً در ماموریت های فضایی دما به عنوان فاکتور اصلی و تعیین نقطه حداکثر توان آرایه های خورشیدی مطرح می باشد. بنابراین دمای سلول ها اندازه گیری شده و برای کنترل نقطه کار ماهواره و هدایت آن بطرف نقطه توان حداکثر استفاده می شود. در برخی از ماهواره ها از مدارهای جبران ساز دما برای در نظر گرفتن تغییرات دمای سلولها استفاده می شود.

روش چهارم: اصولاً آرایه های خورشیدی توسط مدارهای سوئیچینگ به باتری ها متصل می شوند. با فرض ثابت بودن



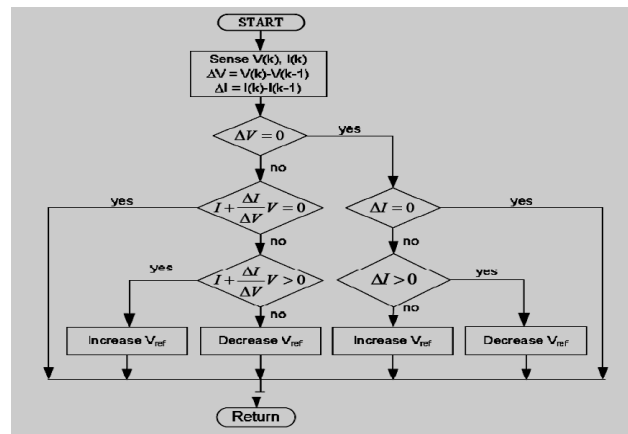
شکل ۴: علامت dp/dv در نقاط مختلف مشخصه توان - ولتاژ



شکل ۵: فلوجارت روش مشاهده و دنبال کردن

روش هشتم روش نمودی رسانایی: یکی دیگر از روشهایی که در زمینه دست یابی به نقطه حداکثر توان بسیار پر کاربرد و دقیق است و در سیستم هایی که نیاز به دقت بالایی دارند (مثل صنایع فضایی) مورد استفاده قرار می گیرد، روش نمودی رسانایی است. در روش نمودی رسانایی، از نمودی رسانایی di/dv برای بدست آوردن علامت dp/dv استفاده می شود.

می توان نشان داد که رسانایی ac و dc آرایه های خورشیدی در نقطه حداکثر توان با یکدیگر برابر می باشد. شکل ۳ فلوجارت روش نمودی رسانایی نشان داده شده است، در این فلوجارت نویز و خطای اندازه گیری مشکل ساز می شود. دیگر عیب این روش پیچیدگی آن نسبت به روش های دیگر می باشد، همین دلیل باعث افزایش زمان محاسبات می شود.



شکل ۳: فلوجارت روش نمودی رسانایی

روش نهم، روش مشاهده و دنبال کردن: روش دیگری که در سیستم های خورشیدی - فضایی از آن استفاده می شود، روش مشاهده و دنبال کردن است، این روش متداول ترین الگوریتم کنترل دنبال کننده نقطه حداکثر توان می باشد.

می توان نشان داد که در نقطه حداکثر توان dp/dv مساوی صفر می باشد و قبل از این نقطه این مقدار مثبت و بعد از آن منفی می شود. در این روش از این خاصیت استفاده می شود. شکل ۴ این مطلب را نشان می دهد.

شکل ۵ نیز فلوجارت روش مشاهده و دنبال کردن را نشان می دهد. در فلوجارت مذکور، اگر dp/dv مثبت باشد در همین جهت ادامه داده می شود تا به نقطه ای برسیم که در آن dp/dv صفر باشد. و اگر dp/dv منفی باشد باید در جهت عکس ادامه داده شود تا به نقطه مورد نظر برسیم.

۳- روش پیشنهادی

در شکل ۶ فلوجارت شکل قبل تکمیل شده و دقت آن نیز با اضافه شدن چند مورد بهبود داده شده است. همان طور که مشاهده می کنید فلوجارت به دو قسمت، حلقه تابش و حلقه دما تقسیم شده است. در ادامه هر یک از این حلقه ها توضیح داده خواهد شد.

حلقه تابش: با توجه به مشخصه آرایه های خورشیدی می توان نشان داد که با افزایش تابش، جریان اتصال کوتاه افزایش پیدا کرده و نقطه حداکثر توان به سمت ولتاژهای زیاد جا به جا می شود. در حلقه تابش، علاوه بر کنترل نقطه حداکثر توان، از آسیب دیدن سیستم در برابر مشخصه امپدانس منفی نیز جلوگیری می شود.

در شکل ۷ نمودار بازده مبدل کاهنده با مربع و نمودار بازده مبدل افزایشنده با دایره و نمودار بازده مبدل کاهنده - افزایشنده با مثلث نشان داده شده است. همان گونه که در شکل بالا مشاهده می شود، بازده مبدل کاهنده، از مبدل افزایشنده و کاهنده - افزایشنده بیشتر می باشد. پس به نظر می رسد انتخاب مبدل کاهنده، انتخاب مطلوبی باشد.

هم اکنون به طراحی مبدل می پردازیم، فرکانس سوئیچینگ ماسفت مبدل را ۵۰ کیلو هرتز در نظر می گیریم. ولتاژ ورودی مبدل ۱۷.۱ ولت و ولتاژ خروجی آن را ۱۴.۵ قرار می دهیم، در این صورت (duty cycle) d به صورت زیر می باشد:

$$d = 14.5 / 17.1 = 0.848 = 84\%$$

مقدار سلف نیز با انجام محاسبات زیر بدست می آید:

$$L_{min} = (1 - d) R / 2f$$

$$L_{min} = 25.84 \mu H$$

$$L = 0.26 mH$$

فرض می کنیم جریان خروجی آن 0.88 باشد، پس مقدار مقاومت به صورت زیر بدست می آید:

$$R = 14.5 / 0.88 = 16.48 \Omega$$

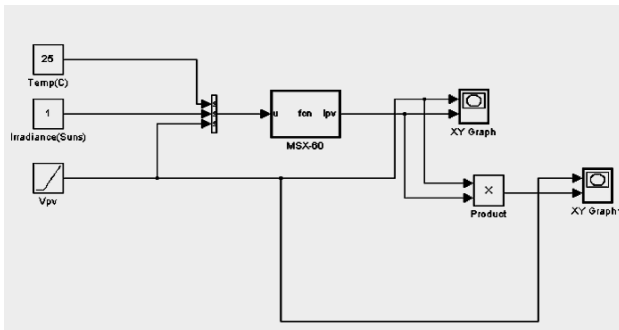
مقدار خازن با فرض $V_o / dV_o = 0.01$ ، از رابطه زیر حاصل می شود:

$$C = ((1 - d) V_o / dV_o) / 8Lf^2$$

$$C = 42.38 \mu F$$

۵- شبیه سازی سیستم

تمامی شبیه سازی ها در نرم افزار Matlab Simulink انجام شده است. شبیه سازی سلول خورشیدی بر اساس مدل BP MSX60 انجام شده است. در نهایت این شبیه سازی آرایه به صورت زیر می شود:

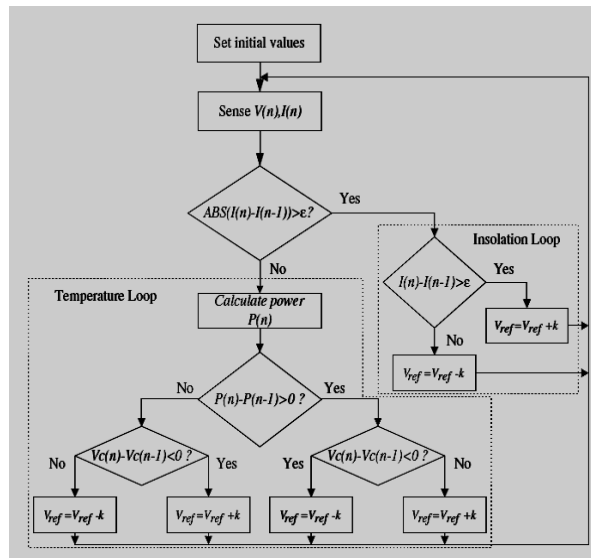


شکل ۸: شبیه سازی سلول خورشیدی

که در آن XY graph منحنی I-V و P-V را نشان می دهد؛ این منحنی ها در شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

حلقه دما: حلقه دما در واقع همان فلوجارت روش مشاهده و دنبال کردن می باشد. حلقه دما زمانی شروع به کار می کند که تغییرات تابش ناچیز باشد. با توجه به اینکه مشخصه آرایه خورشیدی با دما تغییر می کند، نقطه حداکثر توان نیز تغییر می کند که با استفاده از این حلقه می توان این نقطه را دنبال کرد.

در ادامه از این الگوریتم برای رسیدن به نقطه حداکثر توان در شبیه سازی استفاده می شود.

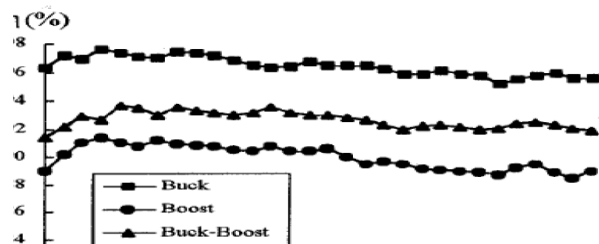


شکل ۶: فلوجارت تکمیل شده از فلوجارت روش مشاهده و دنبال کردن

۴- تحلیل مبدل ها

برای اینکه بتوان حداکثر توان را از سلول خورشیدی به بار انتقال داد، نیاز است که بهترین مبدل را انتخاب کرد. به همین دلیل بازده مبدل اهمیت زیادی پیدا می کند.

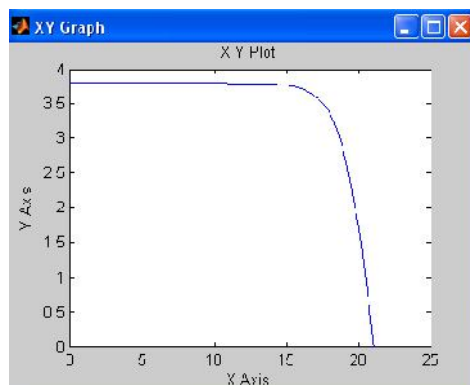
در شکل زیر مبدل های کاهنده، افزایشنده و کاهنده - افزایشنده از نظر بازده مورد بررسی قرار گرفته اند.



شکل ۷: بازده مبدل های کاهنده، افزایشنده و کاهنده - افزایشنده

جدول (۱): نتایج شبیه سازی توان

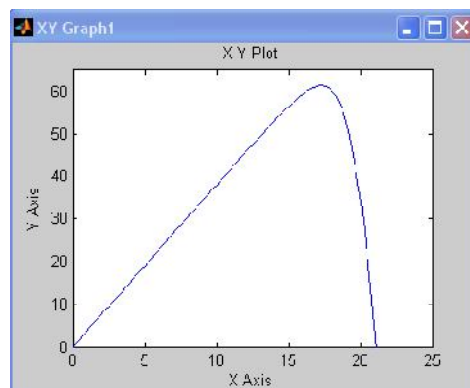
دما	توان خروجی	توان متناظر با نقطه پیک منحنی آرایه خورشیدی
۲۵	۵۶	۶۰
۵۰	۵۳	۵۸
۷۵	۴۹	۵۴



شکل ۹: منحنی I-V آرایه خورشیدی

جدول (۲): نتایج شبیه سازی بازده

دما	بازده
۲۵	۹۳
۵۰	۹۱
۷۵	۹۰



شکل ۱۰: منحنی P-V آرایه خورشیدی

۷- نتیجه گیری

همان طور که از نتایج شبیه سازی مشخص است ، دقت این روش بسیار مناسب و کاملا شهودی است . در بلوک دیاگرام این سیستم دیدیم برای ساخت آن به واحد های زیر نیازمندیم :

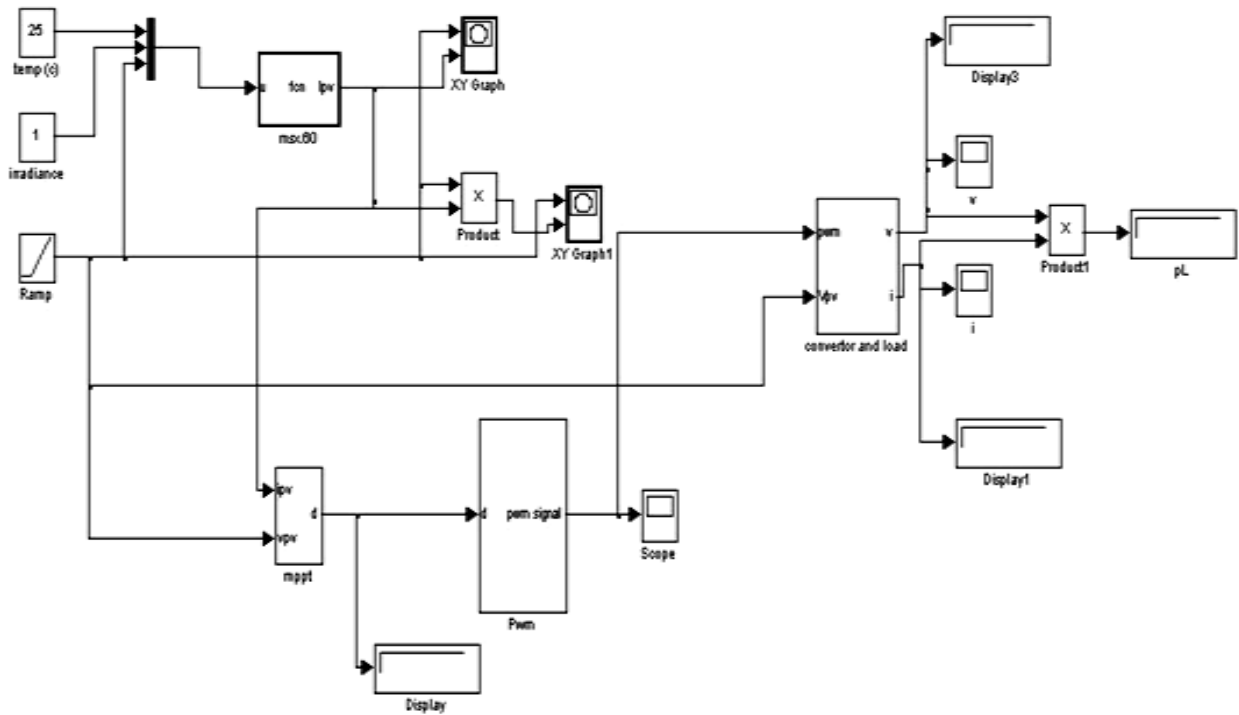
- ✓ واحد A / D
- ✓ واحد پردازش و کنترل
- ✓ واحد تولید پالس PWM

استفاده جداگانه از هر یک از واحد های بالا (به صورت سریال) باعث کاهش سرعت می شود . اما امروزه با پیشرفت فناوری میکروکنترلر ها ، تمام واحد های بالا در یک چیپ قرار دارد و سرعت بسیار بالایی هم دارا می باشد . میکروکنترلر های PIC , AVR , ARM از جمله این میکروکنترلرها هستند .

همان گونه که در این مدل نشان داده شده می توان در بلوک دما و تابش این مقادیر را تغییر داد و اثر آن را مشاهده کرد. حال با شبیه سازی کل سیستم ، مطابق با آن چه در فلوچارت بیان شد ، شماتیکی مطابق با شکل ۱۱ پدیدار می شود :

۶- نتیجه بدست آمده از پروژه

در جداول زیر نتایج بدست آمده از شبیه سازی آورده شده است. همان طور که در جداول ۱ و ۲ مشخص است نتایج بسیار دقیق و قابل استناد است و نسبت به روش هایی همچون INC و P&O ، از دقت بیشتری برخوردار است . دقت به این نکته نیز خالی از لطف نیست که در این شبیه سازی، مثل سایر روش ها با افزایش دما بازده سیستم کاهش پیدا می کند ولی در این روش ، این افت بازده نسبت به سایر روش های یاد شده بسیار ناچیز تر است .



شکل ۱۱: شبیه سازی کل سیستم

- converter topologies “ , ELSEVIER Solar Energy81 2007:31-38
- [4] M.A.S.Masoum , M . Sarvi “ Design , simulation and Construction of a new Fuzzy – Based Maximum power point tracker for photovoltaic applications “
- [5] Chen-chi chu , chieh –Li chen “ Robust maximum power point tracking method for photovoltaic cell : A sliding control approach “ ELSEVIER Solar Energy83 2009:1370-1378
- [6] Jancarle L. Santos , Fernando Antunes , Anis Chehab , Cicere Cruz “ A maximum power point tracker for PV systems using a high performance boost converter “ ELSEVIER Solar Energy80 2006:772-778
- [7] V.Salas , E .Olias , A.Lazaro , A.Barrado “ New algorithm only one variable measurement applied to a maximum power point tracker “ ELSEVIER Solar Energy Materials & solar cell87 2005:675-684
- [8] Frederick M.Ishengoma , Lars E.Norum “ Design and implementation of a digitally controlled stand – alone photovoltaic power supply “
- [9] R.bin roslan “ A MAXIMUM POWER POINT TRACKING CONVERTOR FOR PHOTOVOLTAIC “ 2009
- [10] Huan-Liang Tsai, Ci-siang Tu” Development of generalize photovoltaic model using Matlab / SIMULINK

سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می بینیم که از زحمات پدران، مادران و همسران خود تشکر فراوان به عمل بیاوریم.

همچنین از جناب آقای دکتر صدوقی و جناب آقای دکتر موسوی نیز بخاطر حمایت های بی دریغشان کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [1] GO OKADA , Katsuya HIRACHI , and Shigeyasu NAKAGAWA “ DEVELOPMENT OF A HIGH – SPEED SYSTEM MEASURING A MAXIMUM POWER OF PV MODULES “ . IEEE photovoltaic Energy conversion conference 2006;5:2262-2263 .
- [2] Chihchiang Hua , jongrong Lin “ A modified tracking algorithm for maximum power tracking of solar array “ . ELSEVIER Energy conversion and Management 2004:911-925
- [3] J.M.Enrique , E.Duran , M.sidrach – de – cardona , J.M.Andujar “ Theoretical of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different