

طراحی کنترل کننده فازی برای ردیابی توان ماکزیمم یک سلول خورشیدی در شرایط تغییر دمای محیط

آزیتا آذر فر^۱، امیر حسن نیا^۲، مهرداد حیرانی مقدم^۳

^۱ هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

^۲ هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی

^۳ کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش قدرت دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات تهران واحد شاهرود

چکیده

انرژی خورشیدی در سال‌های اخیر به‌عنوان یک منبع مطمئن، پاک و نامحدود مورد استفاده قرار گرفته است. سلول خورشیدی متشکل از یک پیوند P-N می‌باشد که در یک ماده‌ی نیمه‌رسانای چندلایه ایجاد شده است و مشخصه‌ی ولتاژ-جریان آن مشابه با مشخصه‌ی یک دیود می‌باشد. توان خروجی این ماژول‌ها علاوه بر شدت تابش خورشید، به دمای محیط، طول عمر، مشخصه بار و به‌خصوص ولتاژ خروجی آن وابسته است. بنابراین به ازای شرایط آب و هوایی مشخص تنها در یک نقطه حداکثر توان تحویل می‌گردد و از این رو در اغلب سیستم‌های فتوولتاییک جهت تطبیق بار با آرایه‌ی خورشیدی به‌منظور جذب حداکثر توان، یک مبدل سویچینگ میان آن دو قرار می‌گیرد. عمر کوتاه ماژول‌های خورشیدی و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه‌ی بالای آن‌ها اهمیت جذب حداکثر توان ممکن را دوچندان می‌کند. از آنجاکه مشخصه ولتاژ-جریان ماژول‌های خورشیدی غیرخطی می‌باشد و دمای محیط و شدت تابش خورشید نیز متغیر است لذا یک سیستم فتوولتاییک سیستمی غیرخطی و متغیر با زمان می‌باشد و در طراحی کنترل‌کننده‌ی آن این نکته حائز اهمیت است. در این مقاله از کنترل‌کننده فازی استفاده شده است.

کلمات کلیدی: نقطه حداکثر توان mpp، ردیابی نقطه حداکثر توان mppt، سلول فتوولتاییک pv، مبدل بوست، کنترلر فازی

مقدمه

استفاده از سلول های خورشیدی مزیت های عمده ای در پی دارد که از آن جمله می توان به فراوانی و همه جا در دسترس بودنش و نیز نداشتن آلودگی زیست محیطی اشاره نمود. آرایه فتوولتائیک متشکل از تعدادی سلول خورشیدی است که برای افزایش ولتاژ، جریان و در نهایت توان خروجی به صورت سری و موازی به یکدیگر متصل شده اند. امروزه بهره گیری از انرژی خورشیدی به عنوان یکی از منابع انرژی تجدید پذیر با نرخ قابل توجهی رو به افزایش است از آنجا که توان خروجی آرایه های خورشیدی وابسته به شدت تابش، دما و ولتاژ پایانه می باشد، کنترل نقطه کار آن به منظور جذب حداکثر توان از اهمیت زیادی برخوردار است.

هزینه بالای راه اندازی اولیه و نیز راندمان پایین تبدیل انرژی از جمله معایب استفاده از سیستم های فتوولتائیک می باشد. از آنجا که مشخصه ولتاژ به جریان ماژول های خورشیدی غیر خطی می باشد و تابع پارامتر های محیطی از جمله دما، شدت تابش خورشید و بار متصل به آن است، لذا یک سیستم فتوولتائیک سیستمی غیر خطی و متغیر با زمان بوده و لحاظ نمودن این ویژگی ها در طراحی کنترل کننده آن حائز اهمیت است. با تغییرات شرایط محیطی (تابش و دما) نقطه کار آرایه نیز تغییر پیدا خواهد کرد در نتیجه با استفاده از الگوریتم های ردیابی نقطه حداکثر توان می توان با تغییرات بار به میزان توان در یافتی از آرایه را همواره در مقدار حداکثر خود نگاه داشت. در این مقاله هدف از انجام تحقیق ردیابی توان ماکزیمم یک سلول خورشیدی در شرایط تغییر دمای محیط می باشد، در این پروژه از طراحی کنترل کننده فازی برای رسیدن به نقطه توان ماکزیمم یک سلول خورشیدی استفاده کردیم. در این مقاله ردیابی توان ماکزیمم یک سلول خورشیدی در شرایط تغییر دمای محیط توسط کنترل کننده فازی پیشنهاد داده می شود. در این تحقیق برای طراحی کنترل کننده فازی از نرم افزار سیمولینک متلب برای شبیه سازی استفاده شده است.

مبانی نظری**انواع سیستمهای فازی:**

۱- حلقه باز ۲- حلقه بسته

هنگامی که سیستم فازی به عنوان کنترل کننده حلقه باز استفاده می شود سیستم فازی معمولاً بعضی پارامترهای کنترل را معین کرده و آنگاه سیستم مطابق با این پارامترهای کنترل کار می کند. بسیاری از کاربردهای سیستمهای فازی در الکترونیک به این دسته تعلق دارند.

هنگامی که سیستم فازی بعنوان یک کنترل کننده حلقه بسته استفاده میشود در این حالت خروجی های فرایند را اندازه گیری کرده و بطور همزمان عملیات کنترل را انجام میدهد. کاربردهای سیستمهای فازی در فرایندهای صنعتی به این دسته تعلق دارند.

از جمله مهمترین کاربردهای سیستمهای فازی:

- ۱- ماشین شستشوی فازی ۲- تثبیت کننده تصویر دیجیتال ۳- سیستمهای فازی در اتومبیل ۴- کنترل فازی کوره سیمان
- ۵- کنترل فازی قطار زیرزمینی ۶- کنترل فرایندهای صنعتی ۷- ماکروویوها ۸- سیستمهای نظامی و ...

ریاضیات فازی:

ریاضیات فازی یک نقطه شروع و یک زبان اصلی را برای سیستمهای فازی فراهم می کند. ریاضیات فازی به تنهایی زمینه گسترده ای بوده که در آن اصول ریاضی با جایگزینی مجموعه های فازی به جای مجموعه های ریاضیات کلاسیک گسترش پیدا کرده است. در این راه تمامی شاخه های ریاضیات کلاسیک به شکل فازی تبدیل می گردد. شاخه هایی نظیر تئوری اندازه گیری فازی - جبر فازی - تجزیه و تحلیل فازی و ... البته فقط بخش کوچکی از ریاضیات فازی را می توان در کاربردهای مهندسی پیدا کرد.

سیستمهای فازی دارای چهار بخش است:

- (۱) پایگاه قواعد فازی (۲) موتور استنتاج فازی (۳) فازی سازها (۴) غیر فازی سازها.

کنترل فازی:

وقتی سیستمهای فازی به عنوان کنترل کننده مورد استفاده قرار گیرند به آن‌ها کنترل کننده های فازی اطلاق می گردد. اگر سیستمهای فازی به منظور مدل سازی فرایند و کنترل کننده ها بر پایه این مدل طراحی گردند آنگاه این کنترل کننده ها نیز به نام کنترل کننده های فازی تلقی می شوند؛ بنابراین کنترل کننده های فازی کنترل کننده های غیر خطی با یک ساختار خاص هستند. کنترل فازی کاربردهای موفقیت آمیزی از تئوری فازی را در مسائل عملی ارائه می نماید.

کنترل فازی به دو دسته تقسیم می شود:

۱- کنترل فازی غیر تطبیقی ۲- کنترل فازی تطبیقی

در کنترل فازی غیر تطبیقی ساختار و پارامترهای فازی ثابت بوده و در طی انجام عملیات زمان حقیقی عوض نخواهد شد. در حالیکه در کنترل فازی تطبیقی ساختار و پارامترهای کنترل کننده فازی بر حسب شرایط در طی اعمال زمان حقیقی تغییر می یابد. کنترل فازی غیر تطبیقی ساده تر از کنترل فازی تطبیقی بوده اما به اطلاعات بیشتری از مدل فرایند و قدامت هیروستیک نیاز دارد. از طرفی دیگر کنترل فازی تطبیقی جهت به اجرا در آمدن بر هزینه بوده ولی در عین حال به اطلاعات کمتری نیاز خواهد داشت و در نتیجه ممکن است بهتر و موثرتر به اجرا در آید.

کنترل فازی در مقایسه با کنترل کلاسیک:

شباهت ها:

* این دو سعی در حل نوع یکسانی از مسائل را دارند که همان مسائل کنترل می باشند؛ بنابراین باید به جنبه های یکسانی که در هر مسئله کنترل مشترک می باشد توجه داشته باشند. به عنوان مثال پایداری و عملکرد.
* ابزارهای ریاضی مورد استفاده جهت تحلیل سیستمهای کنترل طراحی شده مشابه می باشند چرا که به مطالعه جنبه های یکسانی (پایداری - همگرایی و غیره) برای یک سیستم می پردازند.

به هر حال یک تفاوت اساسی بین کنترل فازی و کنترل کلاسیک وجود خواهد داشت:

کنترل کلاسیک جهت طراحی کنترل کننده با یک مدل ریاضی از فرایند شروع می نماید و کنترل کننده ها برای مدل طراحی می گردند. در حالیکه کنترل فازی با استفاده از تجربیات شخص خیره (به صورت قواعد اگر - آنگاه فازی) شروع می گردد و کنترل کننده ها بوسیله ترکیب این قواعد طراحی می گردند. بدین معنی که اطلاعات لازم جهت ساخت این دو نوع کنترل کننده متفاوت است. همچنین کنترل کننده های فازی پیشرفته با استفاده از هر دو مدل ریاضی و هیروستیک ساخته می شوند.

برای بسیاری از مسائل کنترل عملی مشاهده یک مدل ریاضی ساده و در عین حال دقیق مشکل می باشد؛ اما می تواند آزمایشاتی توسط یک شخص ماهر و با تجربه فراهم شود که یک راهکار عملی و تجربی مفید را برای کنترل نمودن فرایند ارائه نماید. کنترل فازی برای این دو نوع میثائل بیش از هر راه دیگری مفید می باشد.

روش های طراحی کنترل کننده های فازی:**(۱) رهیافت سعی و خطا:**

در این روش با استفاده از دانشی که بر پایه آزمایشات و تجربیات به دست آمده و به صورت شفاهی قابل بیان است (مجموعه اعمال دستی و اپراتوری) و همچنین با سوال هایی که از خبرگان مربوطه صورت می گیرد پرسشنامه های دقیقی تنظیم می شود - مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی جمع آوری می گردد و آنگاه در ادامه کنترل کننده های فازی بر اساس این قواعد ساخته شده و در نهایت سیستم مورد آزمایش قرار می گیرد. حال اگر به کار گیری کنترل کننده فازی طراحی شده در عمل رضایت بخش نباید قواعد مجدداً به صورت مناسبی تغییر و تنظیم می گردند و یا دوباره از ابتدا ایجاد می گردند و این عمل آنقدر ادامه می یابد تا پس از چند چرخه سعی و خطا عملکرد نهایی رضایتبخش گردد.

(۲) روش تئوریک:

در این روش ساختار و پارامترهای کنترل‌کننده های فازی چنان طراحی می شوند که معیار عملکرد مشخصی (برای مثال - پایداری) تضمین گردد. البته بهتر است که در طراحی کنترل‌کننده های فازی برای سیستمهای عملی هر دو روش را ترکیب نماییم تا امکان دستیابی به بهترین کنترل‌کننده فازی فراهم آید.

کنترل فازی کوره سیمان:

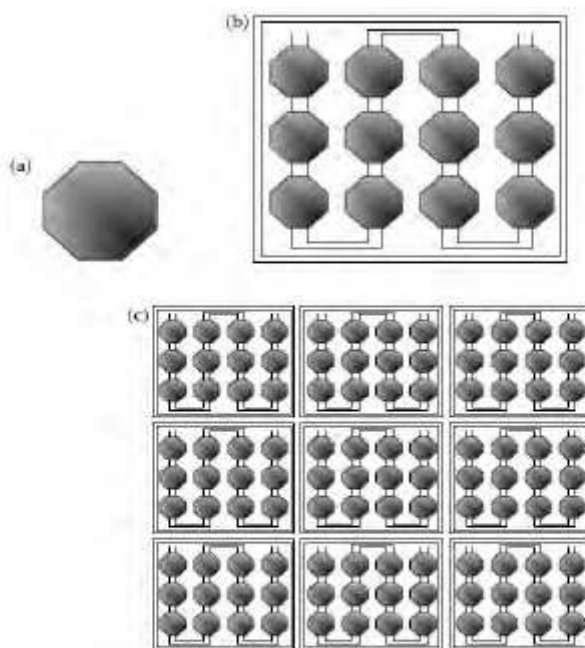
کنترل فازی کوره سیمان یکی از اولین کاربردهای موفقیت آمیز کنترل فازی سیستمهای صنعتی بوده است که نخستین بار در اواخر دهه ۷۰ بوسیله " هولمیلد و استرگارد " ارائه شده است.

کوره سیمان یک رفتار غیر خطی وابسته به زمان را نشان می دهد و آزمایشات دلالت بر آن دارد که مدلهای ریاضی معرفی شده برای سیستم یا خیلی ساده بوده و یا بسیار جامع و سخت می باشد. به هر حال افراد قادر هستند که در مورد کار با سیستم کوره تحت آموزش قرار گیرند و در یک مدت زمان مناسبی به اپراتورهای ماهر تبدیل شوند. لذا کوره سیمان یک سیستم بسیار مناسب برای کنترل شدن با کنترل فازی است.

سیستم فتوولتائیک:

یکی از اصلی ترین راه های استفاده از انرژی خورشید، استفاده از سیستم های فتوولتائیک (photovoltaic) یا به طور مختصر PV است. فتو به معنی نور وولتائیک به معنی الکتروسیته می باشد. همه این سلول ها در خود یک یا چند میدان الکتریکی دارند که باعث ایجاد ولتاژ می شوند. به پدیده ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم های محرک، الکتروسیته تولید می کند پدیده فتوولتائیک به ما این قابلیت را می دهد که محیط زیست پاکیزه ای داشته باشیم، چرا که سیستم تولید الکتروسیته فتوولتائیک اثرات جانبی بسیار ناچیزی بر طبیعت دارد و برخلاف سوخته های فسیلی که تجدید نا پذیرند و روزی به پایان می رسند، انرژی خورشیدی منبعی تجدید پذیر بشمار می آید که تا روزی که حیات در کره خاکی وجود دارد قابل استفاده و بهره برداری است. فتوولتائیک یکی از منابعی است که نقش قابل توجهی در سرمایه گذاری انرژی دارد و بزرگترین سهم را در تولید انرژی الکتریکی در بین تمام نامزد های انرژی تجدید پذیر بازی می کند. زیر این انرژی یکی از منابع تولید انرژی تجدیدپذیر، بدون الایندگی و قابلیت اطمینان بالا می باشد. سیستم منبع اتصال به شبکه PV، اخیرا به یکی از بخش های در حال رشد در کاربرد های مسکونی در اروپا و امریکا، ژاپن تبدیل شده است. سیستم PV می تواند در هر اب و هوایی کار کند درست است که در اب و هوای ابری ویا بارانی میزان تولید انرژی الکتروسیته کاهش پیدا می کند، ولی به هر حال این میزان هیچ وقت در هنگام روز از ۲۵ درصد میزان حداکثر ظرفیت تولید انرژی سیستم، کمتر نخواهد بود. این در حالی است که در شرایط معمولی تا ۸۰ درصد میزان تولید حداکثر سیستم، انرژی الکتروسیته تولید خواهد شد. یک سلول PV منحصر به فرد کوچک، نیرویی در حدود ۱ تا ۲ ولت تولید میکند. برای بالا بردن انرژی سلول PV بایستی آن ها را به هم وصل کرد تا واحد بزرگی که ما ژول می نامیم شکل بگیرد. متاسفانه ولتاژ خروجی ماژول های PV نسبتا پایین است. با اتصال ماژول ها به هم، واحد بزرگتری به نام ارایه تشکیل می شود که می تواند انرژی بیشتری تولید کند. برای دستیابی به ولتاژ بالا، پیکره بندی اتصال سری ماژول ها، راه حل متعاضی است. در سیستم شبکه خانگی، به منظور تامین ولتاژ ۲۲۰ ولت معمولا ارایه های PV را در پشت بام نصب می کنند. بنابر این نیروی تولید شده از ارایه های PV با ساختار سری، هنگامی که توسط سایه هایی همچون ابرها، درختان، خانه های و... پوشانده می شوند کاهش می یابد. در این وضعیت ساختار موازی ارایه های PV، به دلیل عملکرد آن ها، راندمان بالاتری نسبت به ساختار سری دارد. جریان خروجی می تواند به مقدار بالاتری با ساختار موازی ارایه های PV برسد، از طرف دیگر ولتاژ تولید

شده با ساختار موازی پایین است، بنابر این از این ساختار نیز به تنهایی نمی توان استفاده کرد. از سری و موازی کردن سلول های خورشیدی می توان به جریان ولتاژ قابل قبولی دست یافت.



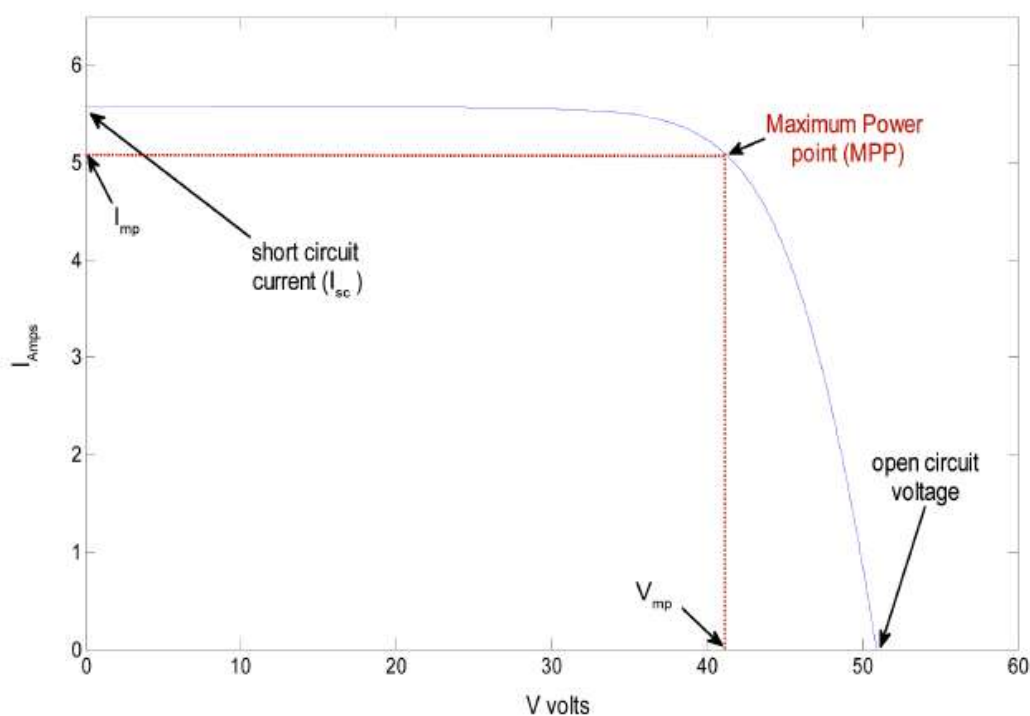
(a) سلول (b) PV ماژول (c) PV آرایه PV

شکل ۱- سلول خورشیدی

استفاده از مبدل (dc/dc) واسطه ای برای رسیدن به نقطه بیشینه توان:

شایان ذکر است که به ازای شرایط آب و هوایی مشخص، حداکثر توان تنها در یک نقطه کار از آرایه خورشیدی قابل دریافت است. حال از آنجا که نقطه بیشینه توان با تغییر شرایط محیطی تغییر می کند لازم است جهت دریافت بیشترین توان، بار متصل به سلول فتوولتاییک نیز متناسب با آن تغییر کند که این امر عملاً امکان پذیر نبوده و باری که قرار است توسط سلول فتوولتاییک تغذیه گردد ثابت است. از اینرو با انتخاب مناسب نقطه کار آرایه می توان حداکثر توان را از آن دریافت نمود. از طرفی با تغییرات شرایط محیطی (تابش و دما) نقطه کار آرایه نیز تغییر پیدا خواهد کرد، در نتیجه با استفاده از الگوریتم های ردیابی نقطه حداکثر توان می توان با تغییرات بار، میزان توان دریافتی از آرایه را همواره در مقدار حداکثر خود نگاه داشت. از اینرو در اغلب سیستم های فتوولتاییک جهت تطبیق بار با آرایه ی خورشیدی و به منظور جذب حداکثر توان، از یک مبدل (DC به DC) استفاده می شود. [۱]

مشخصه ی I-V یک پنل فتوولتاییک نمونه با کنترل ردیابی نقطه توان حداکثر در شکل ۲ آمده است



شکل ۲

انواع روش ها والگوریتم های رسیدن به نقطه بیشینه توان

روش های پیشنهادی دنبال کننده حداکثر توان را می توان در ۳ گروه زیر دسته بندی نمود: ۱- روش های مستقیم ۲- روش های هوشمند مصنوعی ۳- روش های غیر مستقیم.

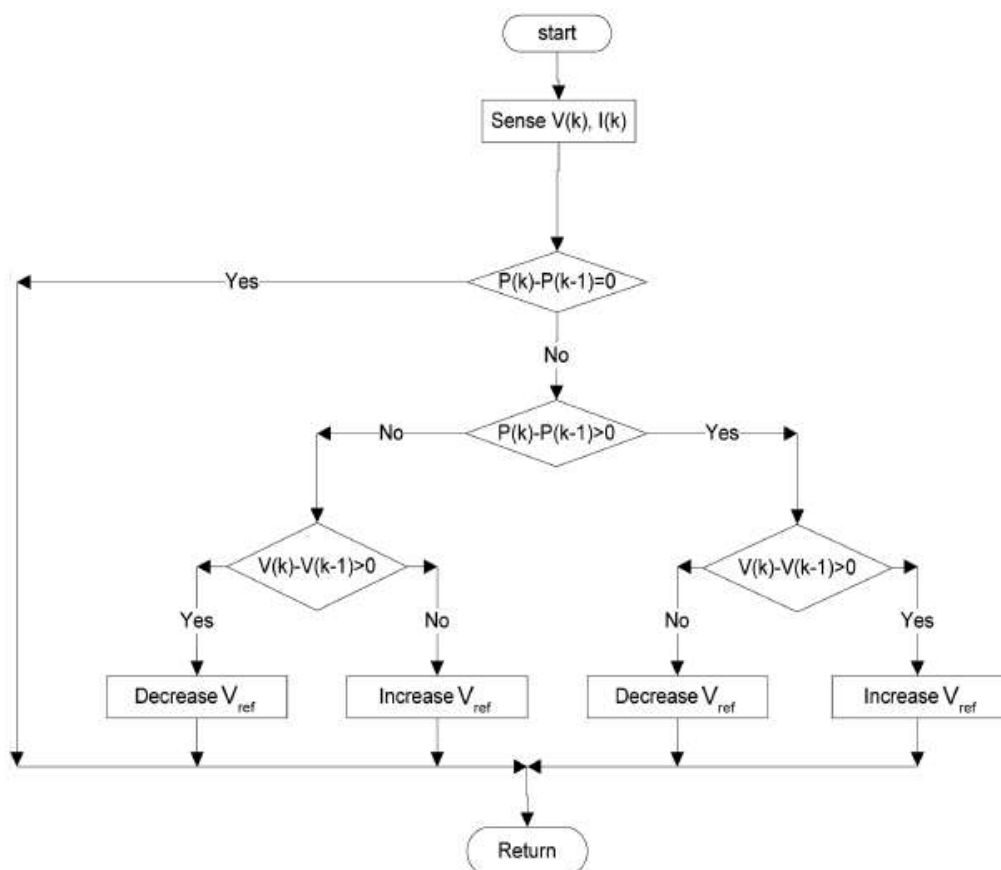
در گروه اول روشهایی همچون انحراف و مشاهده (P&O) [۳]، افزایش توده ای [۴] و ادمیتانس و کندوکتانس (هدایت افزایشی [۵]، ولتاژ ثابت، روش β ، روش های مبتنی بر جدول داده و روش مبتنی بر دما، قرار دارند. در این روش ها، دائما توان خروجی سلول های خورشیدی به ازاء تغییر ورودی هایی همچون ولتاژ ملاحظه می گردد و پس از رسیدن به **Duty cycle** مرجع یا نقطه بیشینه توان، ورودی های مذکور در محدوده مشخصی نگه داشته می شوند. مهمترین ویژگی روش ها سادگی آنهاست؛ اما وجود نوسانات حول نقطه بیشینه توان، در حالت دائم باعث گردیده فقط در کاربردهای با توان پایین مورد استفاده قرار گیرند. هر چند روش هدایت افزایشی تا حدودی این عیب را برطرف نموده است. در دسته دوم روشهایی همچون شبکه عصبی [۶] و فازی [۷] وجود دارند که این روشها تا حدودی مشکلات مربوط به روشهای قبل را برطرف نموده اند و دارای سرعت و دقت کافی می باشند؛ اما این روشها نیز دارای محدودیت هایی هستند. پیچیدگی آموزش شبکه عصبی و طراحی قوانین فازی جهت رسیدن به نقطه بیشینه توان که نیازمند تجربه و تخصص کافی می باشد و همچنین وابستگی این روشها به مشخصه ولتاژ-توان سلول های فتوولتائیک و از طرفی تغییرات مشخصه سلول فتوولتائیک (در اثر عواملی مثل فرسودگی، تعویض و اضافه یا کم شدن سلولهای جدید و...) باعث اختلال در عملکرد این روشها می شود.

در دسته سوم روشهایی وجود دارند که به طور غیر مستقیم نقطه بیشینه توان را دنبال می کنند. در [۸] الگوریتمی وجود دارد که ولتاژ مرجع را نسبتی از ولتاژ مدار باز در نظر می گیرد. سادگی از محاسن این روش و ایجاد وقفه های متوالی در توان خروجی از معایب این روش می باشد. در [۹] روشی پیشنهاد شده است که بر اساس اندازه گیری جریان خروجی کار می کند. هزینه پایین این روش نسبت به روش های فوق به دلیل کمتر بودن تعداد تجهیزات اندازه گیری مورد نیاز از محاسن آن شمرده می شود.

در [۱۰] روشی پیشنهاد شده است که دارای سرعت و دقت کافی می باشد. در روش پیشنهادی بر خلاف روش هدایت افزایشی که اندازه گام ها در هر مرحله ثابت می باشد، با تعریف شاخص نزدیکی به نقطه بیشینه توان، اندازه گام ها متغیر در نظر گرفته

می شود به گونه ای که با نزدیکی به نقطه بیشینه توان اندازه گام ها کوچکتر و با دور شدن از آن اندازه گام ها بزرگتر خواهد بود.

از بین روشهای یاد شده روش P&O موجب نوسان حول نقطه ی حداکثر توان می شود که این موضوع منجر به افزایش تلفات می گردد. همچنین استفاده از این روش منجر به جهت گیری اشتباه به هنگام تغییر ناگهانی دما و یا تابش خورشید خواهد شد. در روش ولتاژ ثابت، ولتاژ نقطه ی حداکثر توان قابل تولید، تقریبی خطی از ولتاژ مدار باز ماژول در نظر گرفته می شود درحالیکه ثابت تناسب مورد استفاده در این تقریب وابسته به شرایط محیطی می باشد. فلوجارت روش p&o در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳- فلوجارت روش P&O [۱۲]

Cristinel و همکارانش [۱۴] برای مشکل بازده پایین این روش الگوریتمی ترکیبی ارایه داده اند که در آن یک الگوریتم ولتاژ ثابت (CV) با روش P&O ترکیب شده است.

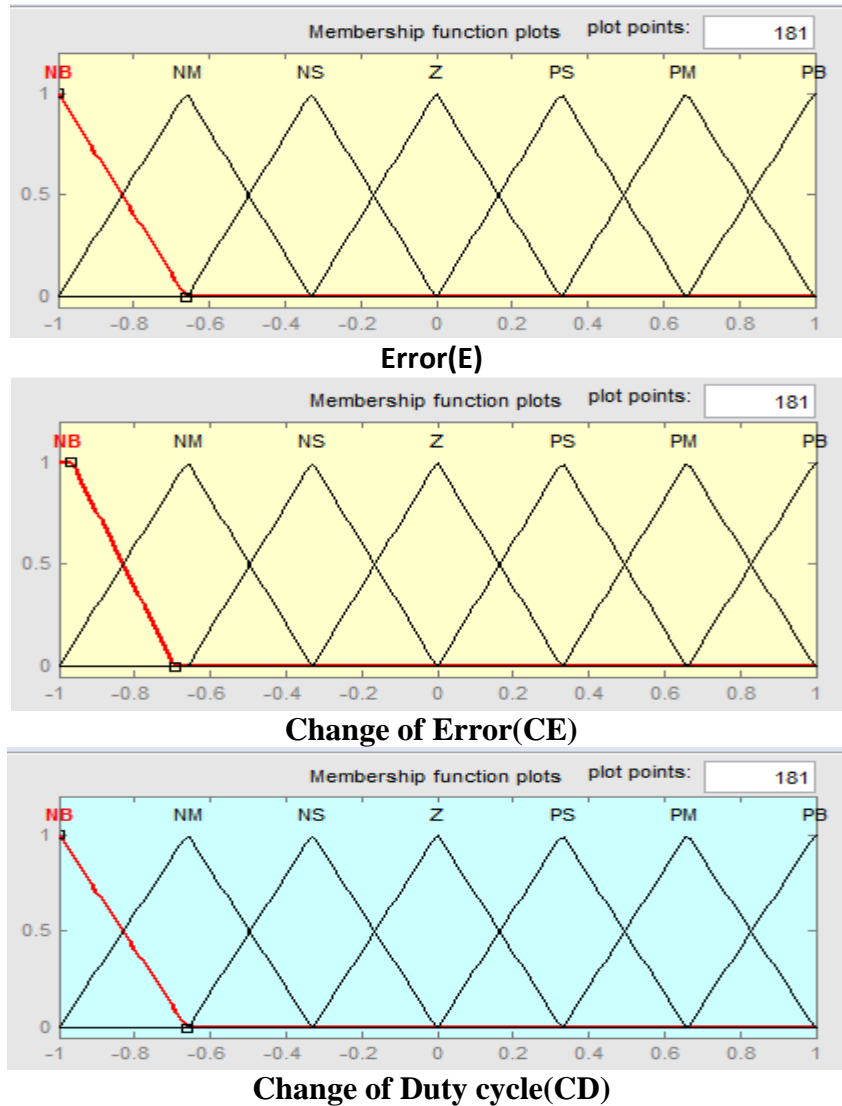
در روش ولتاژ ثابت، ولتاژ نقطه ی حداکثر توان قابل تولید، تقریبی خطی از ولتاژ مدار باز ماژول در نظر گرفته می شود درحالیکه ثابت تناسب مورد استفاده در این تقریب وابسته به شرایط محیطی میباشد.

FUZZIFICATION (فازی سازی)

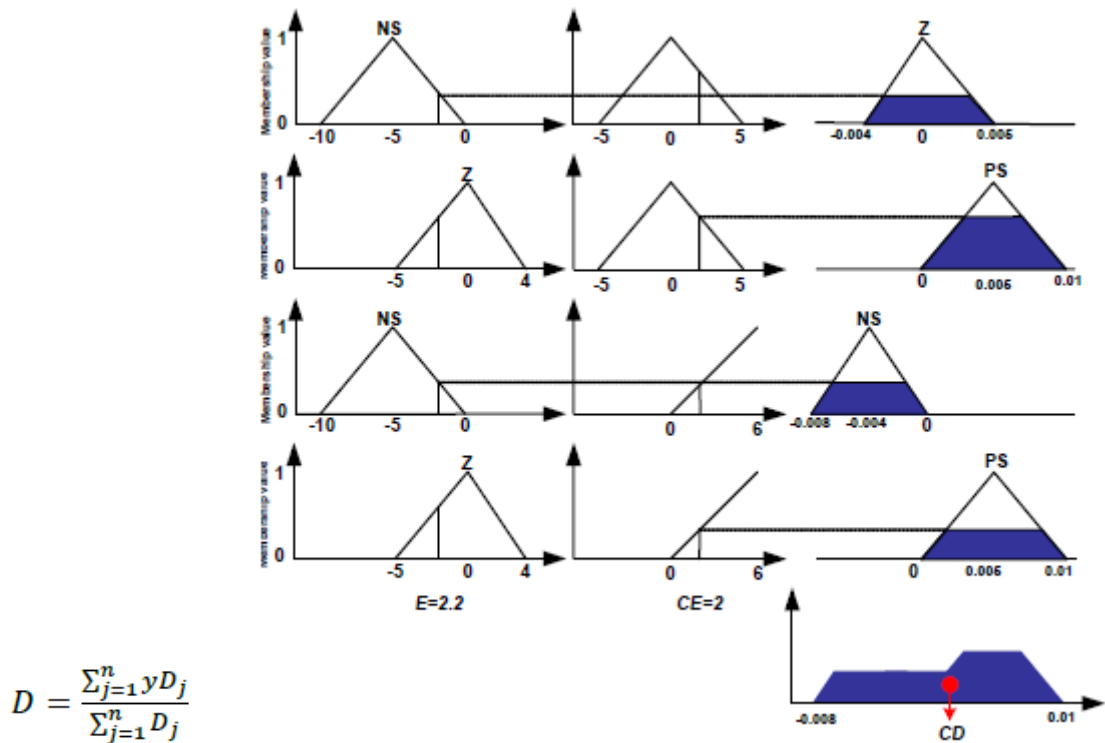
برای تبدیل ورودیهای کنترل کننده فازی از متغیرهای عددی به متغیرهای زبانی (Variables Linguistic) استفاده میکنیم. متغیرهای ورودی و خروجی بوسیله مجموعه ای از متغیرهای زبانی: PB (مثبت بزرگ)، PS (مثبت کوچک)، Z (صفر)، NB (منفی بزرگ)، NS (منفی کوچک)، PM (مثبت و نسبتاً بزرگ) تعریف می گردند که باید برای هر یک از آنها تابع عضویت فازی (Fuzzy Membership Function) مناسبی انتخاب گردد. انتخاب اولیه توابع عضویت برای

¹. constant voltage

متغیرهای زبانی با توجه به شناخت تجربی از سیستم فتوولتائیک صورت میگیرد. سپس از شبیه سازی در محیط MATLAB و SIMULINK برای اصلاح و بهینه سازی توابع عضویت انتخاب شده استفاده می‌گردد. با توجه به روند فوق، توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی کنترلر فازی انتخاب گردیده است و نتیجه آن در شکل ۴ نشان داده شده است. پس از تعیین مجموعه قوانین فازی و تعیین توابع عضویت متغیرهای E و CE باید ماشین استنتاج فازی را طرح نمود تا متغیر CD را تولید نماید. برای این منظور از روش استنتاج Mamdani جهت تصمیم گیری فازی و از عملگر-max جهت ترکیب قوانین فازی استفاده گردیده است. اصول کار این روش در شکل ۵ نشان داده شده است.

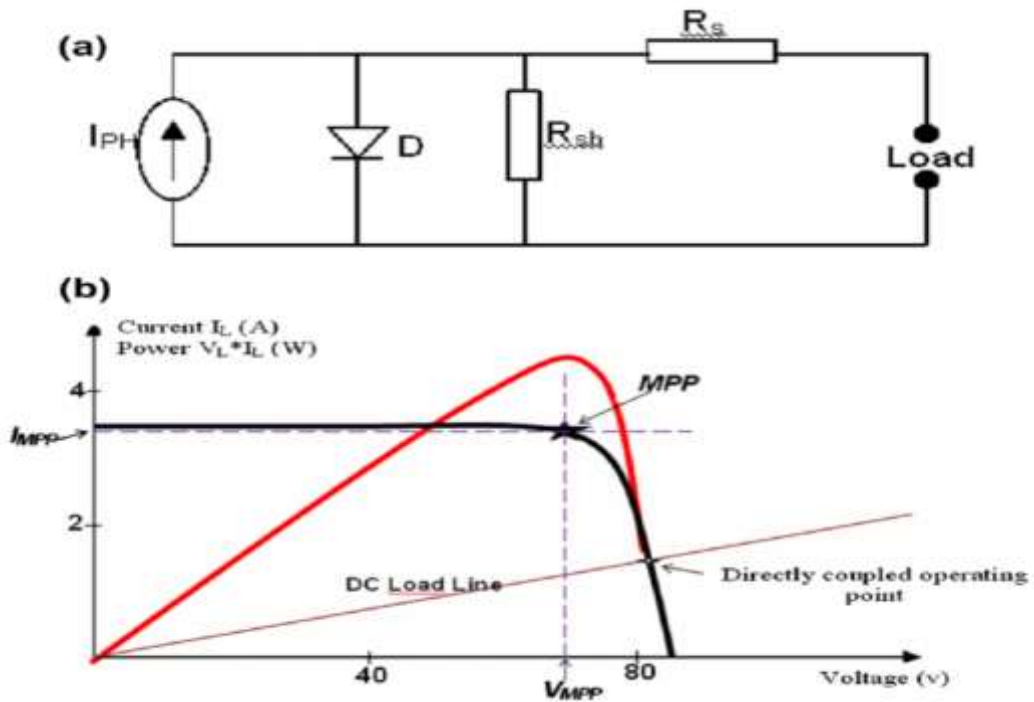


شکل ۴- توابع عضویت متغیر کنترلر فازی



شکل ۵- اصول استنتاج فازی

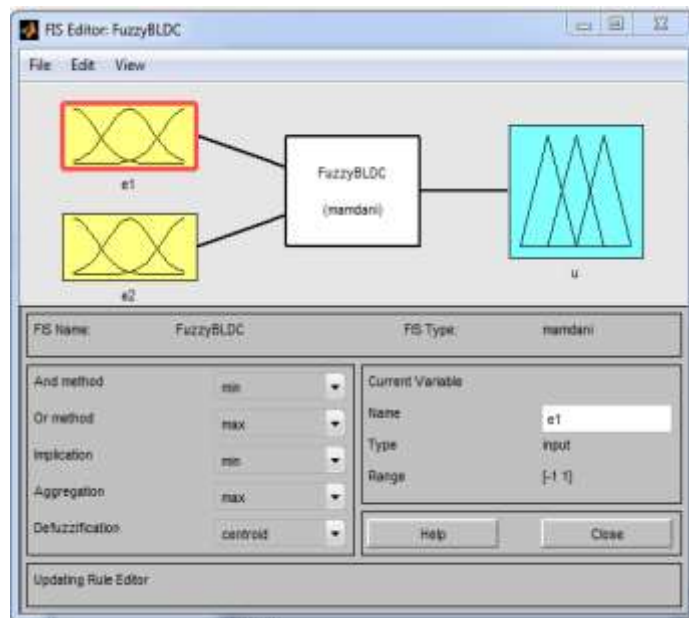
مطابق شکل ۵، خروجی ماشین استنتاج فازی یعنی متغیر CD بصورت یک زیرمجموعه فازی است که باید عملیات فازی سازی معکوس بر روی آن صورت گیرد تا به یک عدد کریسپ (غیر فازی) تبدیل شود.



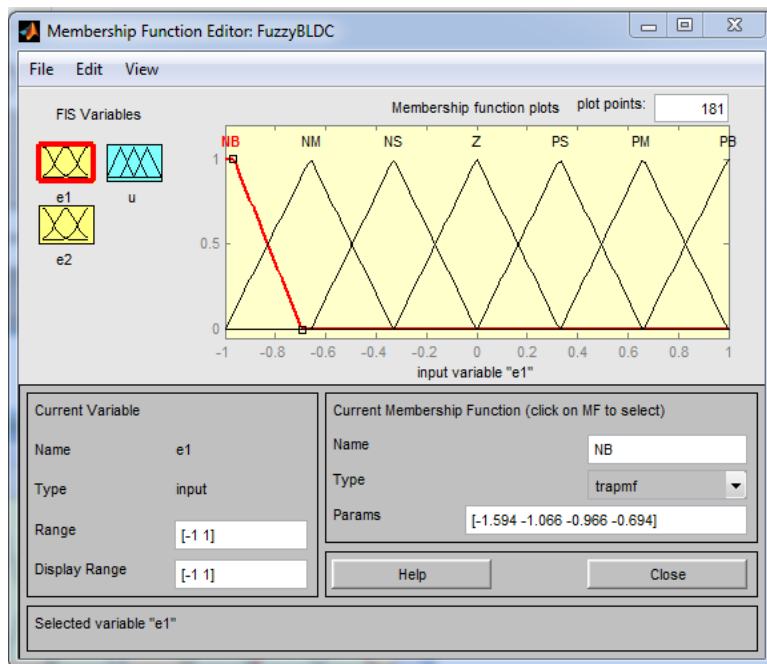
شکل ۶- مدل سلول فتوولتائیک: (a) جریان معادل ایده آل پانل / سلول PV و (b) مشخصه منحنی I-V/P-V از ژنراتور PV [۱]

نتایج شبیه سازی کامپیوتری در محیط FIS

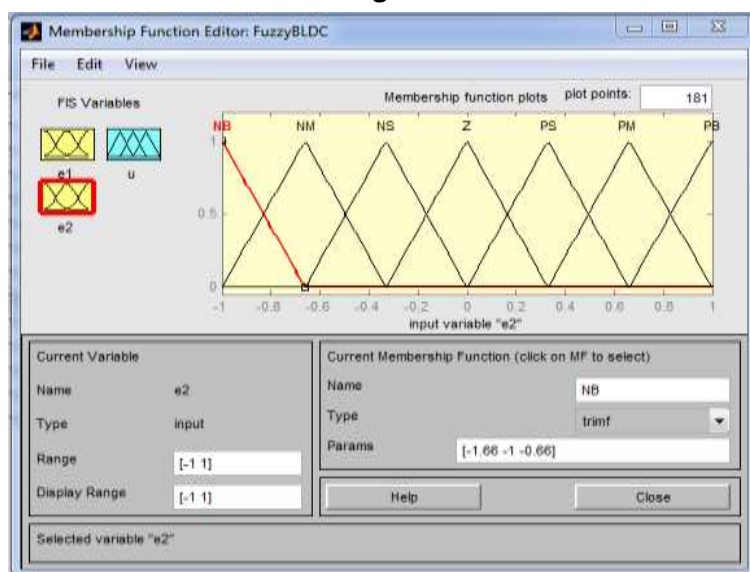
جهت شبیه سازی کنترلر فازی از نرم افزار fuzzy logic از قسمت toolbox برنامه matlab استفاده می کنیم سپس دو ورودی در محیط fis editor تعریف می کنیم که این ورودی ها به صورت خطا و مشتق خطا می باشد؛ که در شکل ۷ مشخص است. و خروجی که با حرف U مشخص شده است. و CE و E خطا و تغییرات خطا از معادلات (۲-۱۷) و (۲-۱۸) محاسبه می شود سپس این مقادارها بوسیله قوانین فازی ارزیابی و شبیه سازی میشود. در مرحله غیر فازی سازی ارزش عددی U از طریق تبدیل ارزشهای زبانی تعیین میشود. تحت شرایط مختلف جوی، کنترل کننده منطق فازی عملکرد خوبی در کاربردهای MPPT نشان میدهد. از سوی دیگر اثر کنترل کننده منطق فازی بستگی به دقت محاسبه خطا و تنوع آن و قواعد توسعه یافته جدول پایه توسط کاربر را دارد. برای بهره وری بهتر، توابع و قواعد جدول پایه میتواند به طور مداوم به روز شده یا برای دستیابی به عملکرد مطلوب شبیه به کنترل کننده منطق فازی تطبیقی تنظیم شود به این ترتیب همگرایی شدید به MPPT و حداقل نوسانات اطراف MPPT را میتوان بدست آورد. علاوه بر این ردیابی عملکرد به نوع تابع عضویت بستگی دارد.



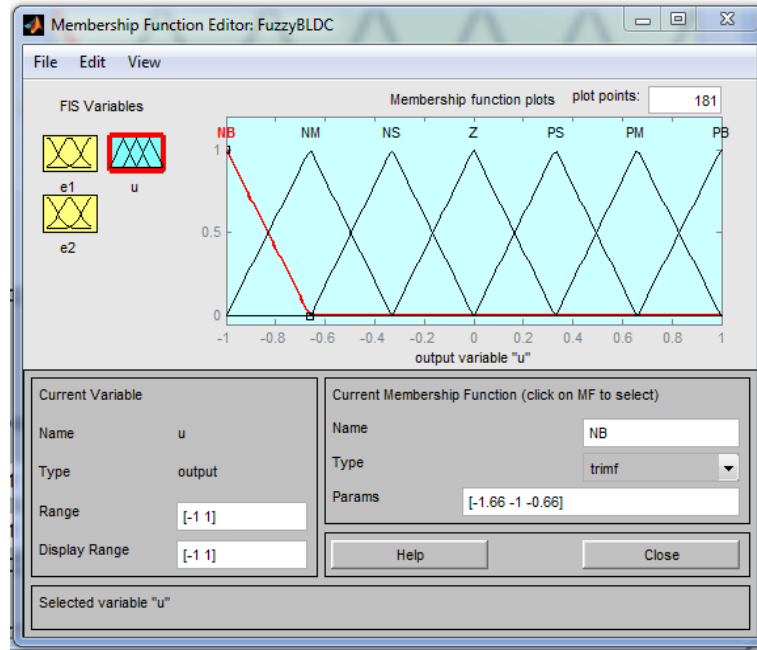
شکل ۷



شکل ۸

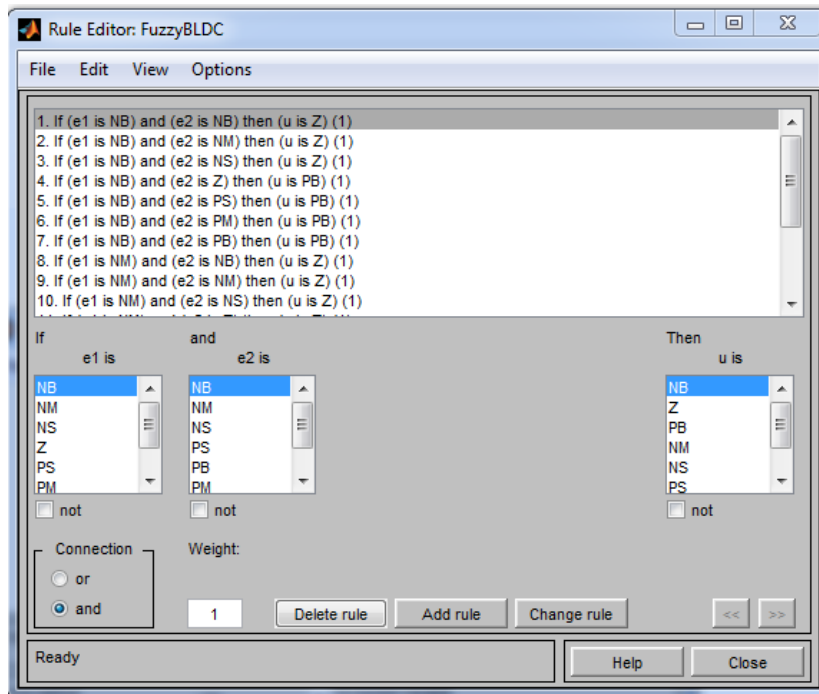


شکل ۹



شکل ۱۰

همان طور که در شکل های بالا مشاهده میکنید برای هر دو ورودی از توابع `trimf` و `trapmf` استفاده می کنیم؛ و رنج را بین 1 و -1 انتخاب می کنیم. پس تعیین قوانین فازی باید در محیط FIS این قوانین نوشته شود. این قوانین با استفاده از جدول ۲-۲ نشان داده شد و خود جدول با استفاده از شناخت تجربی که از رفتار سلول فتوولتاییک داریم نوشته می شود.



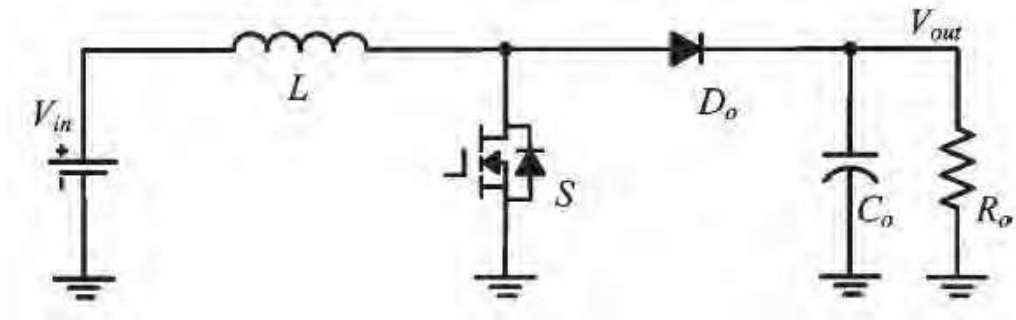
شکل ۱۱-تعریف متغیرهای فازی در محیط FIS

پس از طراحی کنترلر فازی و انتخاب مبدل بوست بعنوان پردازشگر توان، از شبیه سازی کامپیوتری جهت بررسی رفتارسیستم ردیاب حداکثر توان استفاده می گردد. در این ارتباط اولین شبیه سازی به بررسی رفتار کنترلر در حین تغییرات

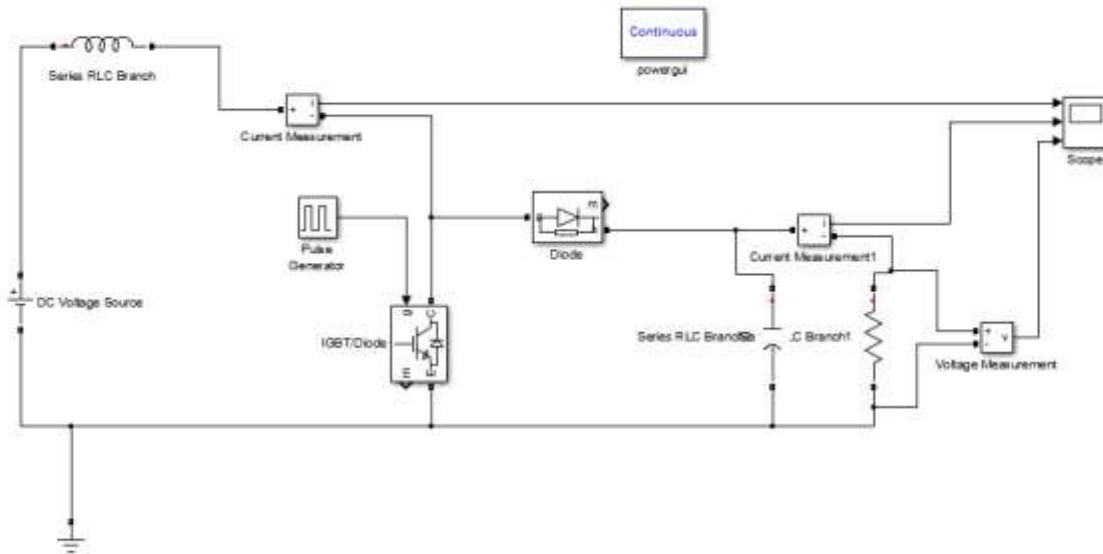
بارمی پردازد. در این آزمایش فرض می‌گردد که سیستم فتوولتائیک در شرایط STC (دمای ۲۵ درجه و شدت نور ۱۰۰۰ وات بر مترمربع قرار دارد. همچنین فرض می‌گردد که بار مقاومتی ۳۰ اهم به سیستم متصل می‌باشد.

استفاده از مبدل (dc/dc) واسطه ای برای رسیدن به نقطه بیشینه توان:

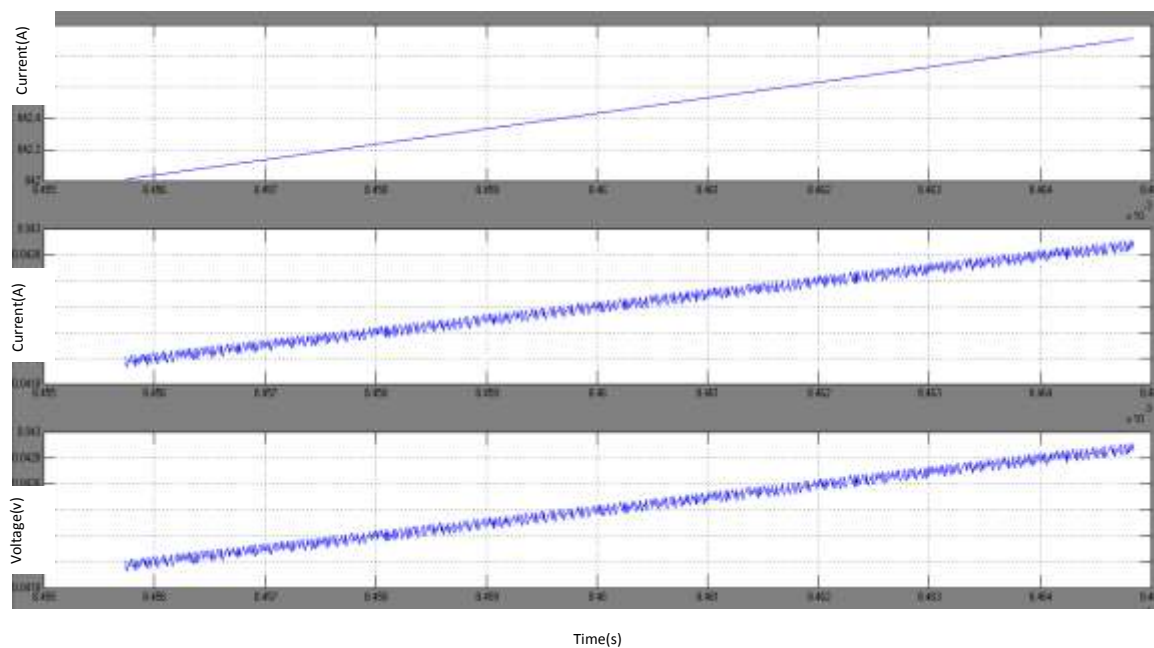
شایان ذکر است که به ازای شرایط آب و هوایی مشخص، حداکثر توان تنها در یک نقطه کار از آرایه خورشیدی قابل دریافت است. حال از آنجا که نقطه بیشینه توان با تغییر شرایط محیطی تغییر می‌کند لازم است جهت دریافت بیشترین توان، بار متصل به سلول فتوولتائیک نیز متناسب با آن تغییر کند که این امر عملاً امکان پذیر نبوده و باری که قرار است توسط سلول فتوولتائیک تغذیه گردد ثابت است. از اینرو در اغلب سیستم های فتوولتائیک جهت تطبیق بار با آرایه ی خورشیدی و به منظور جذب حداکثر توان، از مبدل (DC به DC)، کانورتر بوست استفاده می‌شود.



شکل ۱۲-کانورتر بوست



شکل ۱۳-طراحی سیمولینک متلب (کانورتر بوست)



شکل ۱۴- نمودار کانورتر بوست

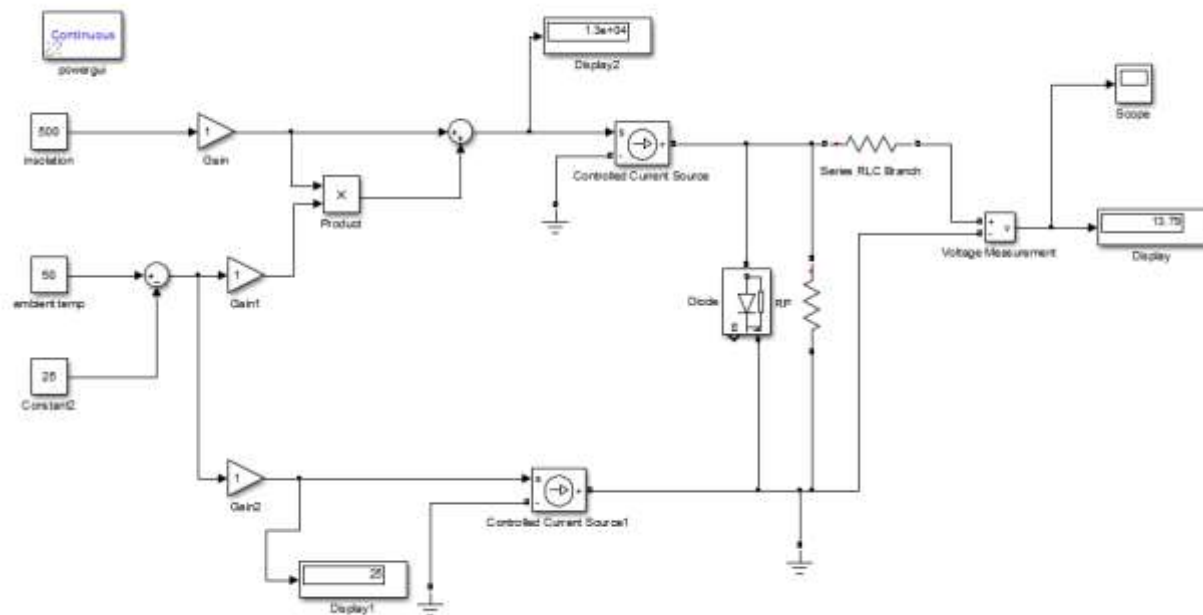
همان طور که در نمودار شکل ۱۴ مشاهده می کنید کانورتر بوست یک مبدل افزایشده می باشد که ولتاژ آن در حال افزایش است.



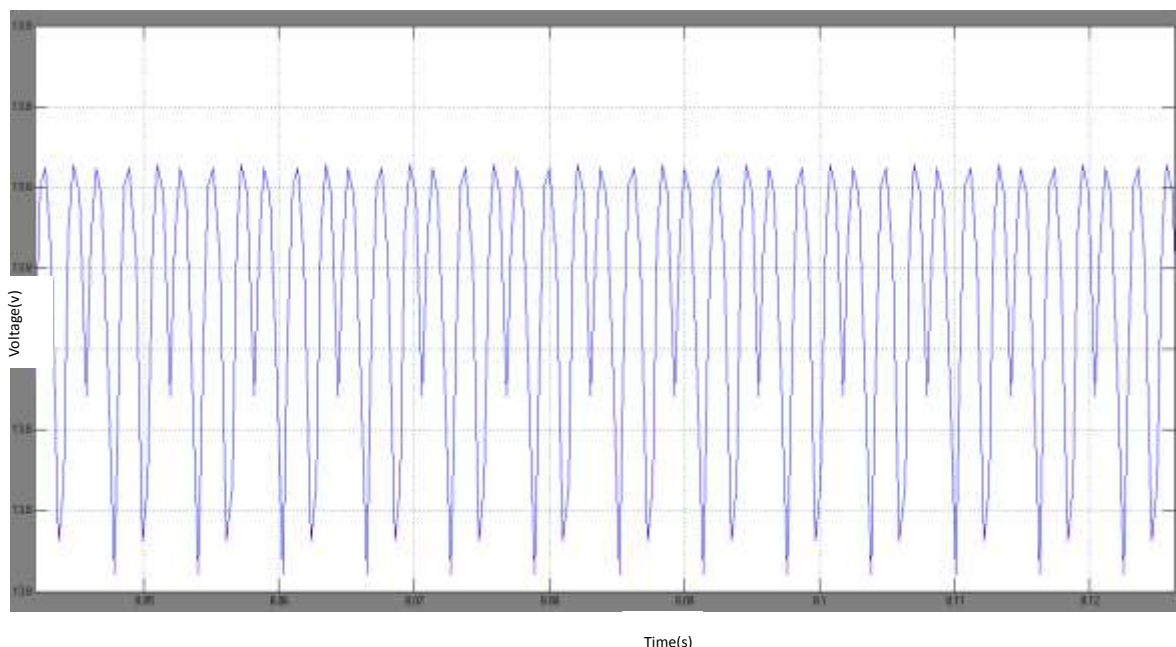
شکل ۱۵- سلول خورشیدی (PVG)

سیمولینک مدل سلول خورشیدی (PVG)

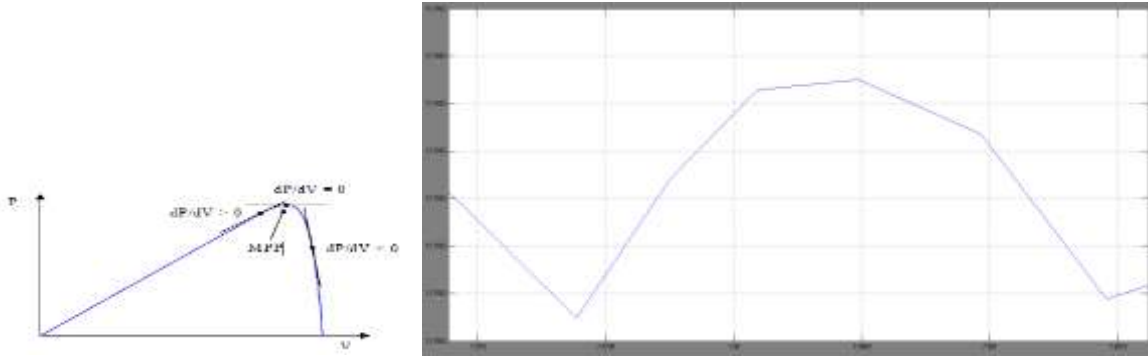
همان طور که در شکل ۱۶ مشاهده می کنید پرتویی به شدت تابش ۵۰۰وات بر متر مربع به سلول خورشیدی در دمای ۵۰ درجه تابیده شده که شکل منحنی ولتاژ آن در نمودار ۱۷ که به صورت دندان اره ای می باشد و در شکل ۱۸ نمایه نزدیک آن به نمایش در آمده است.



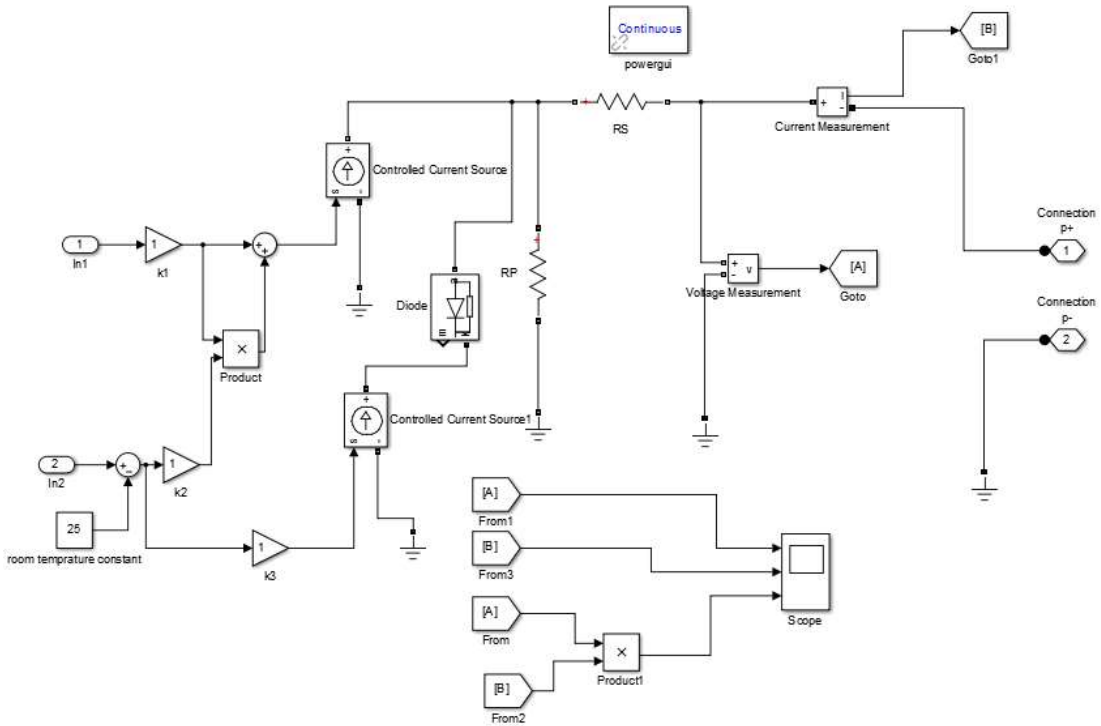
شکل ۱۶- سیمولینک مدل سلول خورشیدی (PVG)



شکل ۱۷- نمودار مدل سلول خورشیدی با پرتوی تابش ۵۰۰وات بر متر مربع

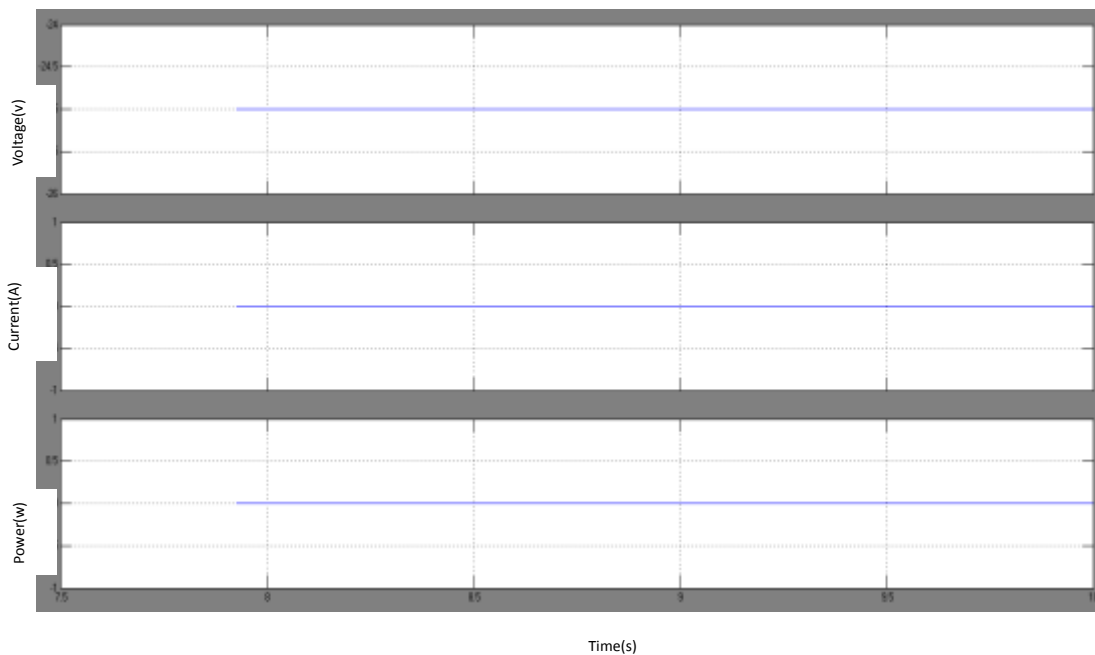


شکل ۱۸- نمودار دندان اره ای سلول خورشیدی (نمای نزدیک)

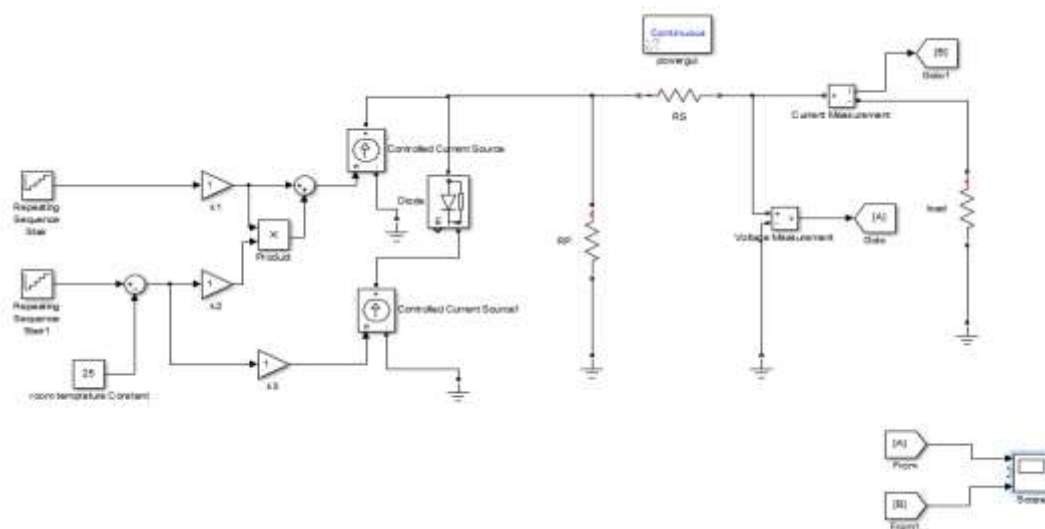


شکل ۱۹- سیمولینک سلول خورشیدی PV

ماژول PV مدل تک دیود بر اساس تابش و دمای ثابت در سیمولینک ۱۹ نمایش داده شده است.

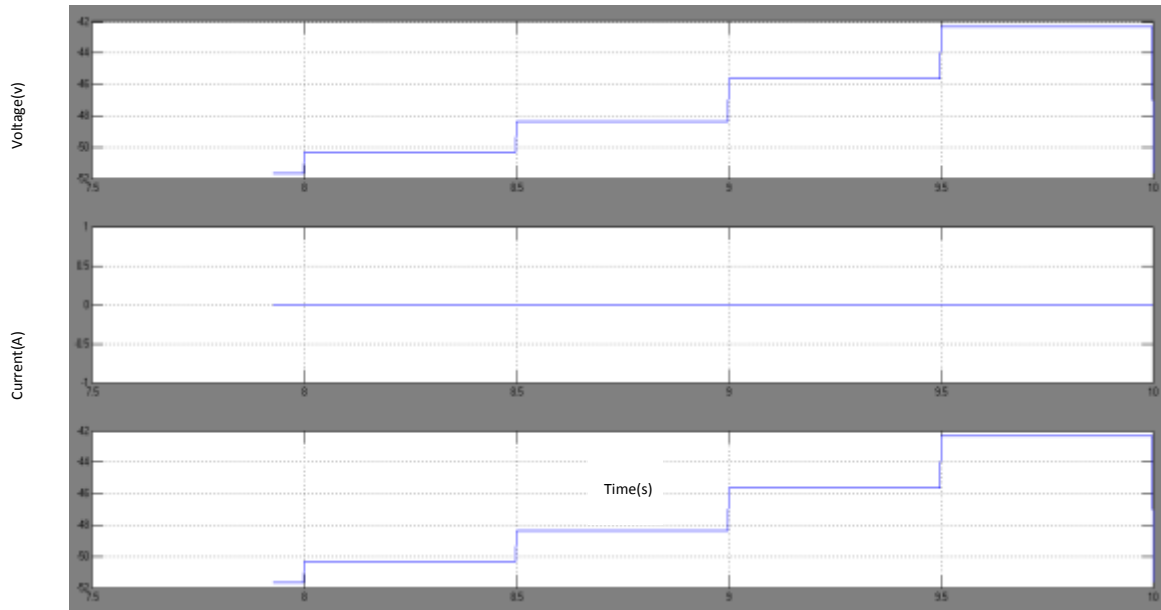


شکل ۲۰- نمودار ولتاژ و جریان سلول خورشیدی (پرتو ثابت)



شکل ۲۱- مدل سلول خورشیدی (تفاوت پرتو تابشی)

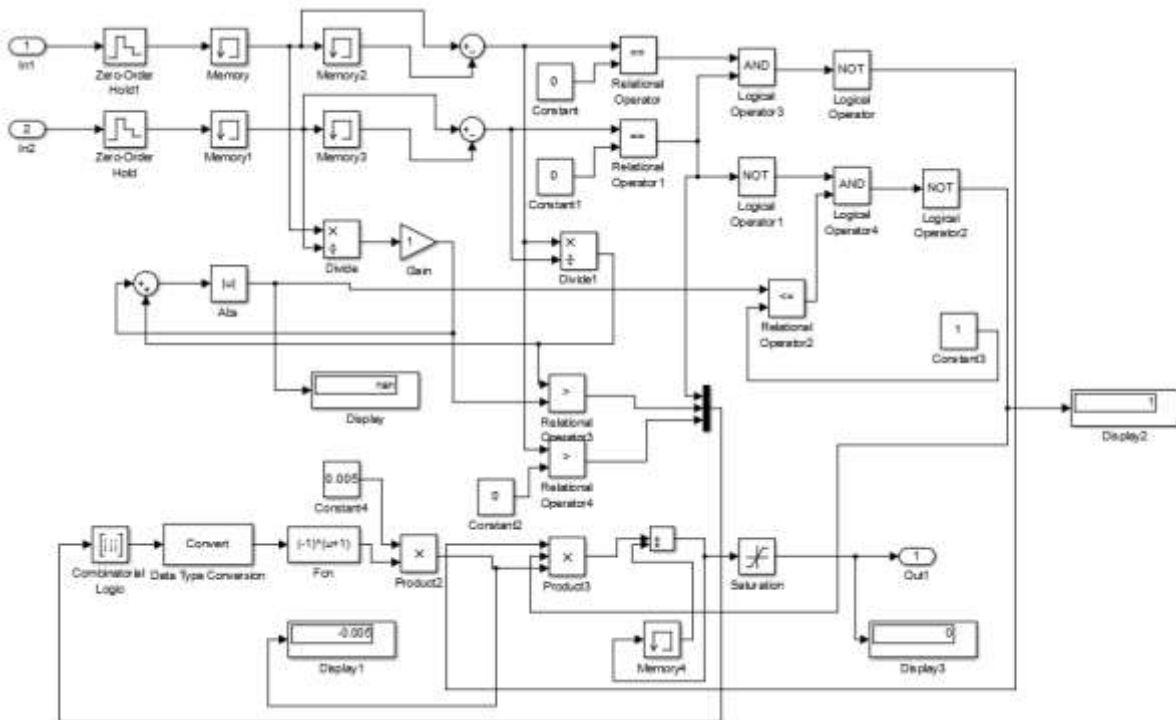
در مدل تفاوت پرتو تابشی شکل اسکپ به صورت پله ای می باشد. تغییر تابش اثر بسیار کمی بر روی ولتاژ مدار باز دارد. در حالی که تغییرات دما در ولتاژ مدار باز تاثیر می گذارد و جریان اتصال کوتاه کمی متفاوت است.



شکل ۲۲- نمودار مدل سلول خورشیدی (تفاوت پرتو تابشی)

الگوریتم MPPT هدایت افزایشی (IncCond)

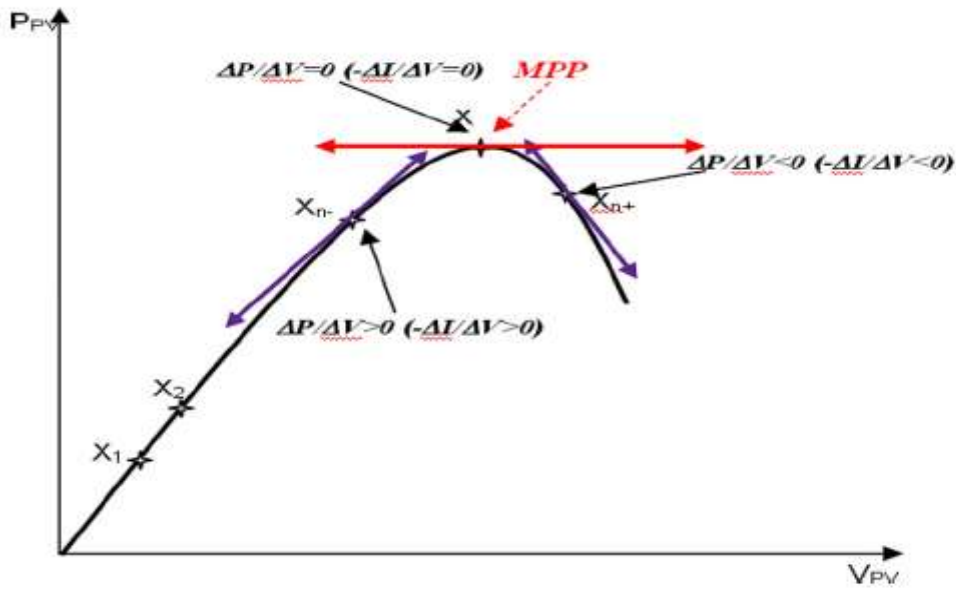
در این روش، ولتاژ خروجی ژنراتور به طور مداوم با مقایسه هدایت لحظه ای (I_{pv}/V_{pv}) با تغییر هدایت موضعی منفی آن (dI_{pv}/dV_{pv}) برای تنظیم نقطه عملی در منحنی های $I-V$ بر روی ولتاژ MPP مربوطه مطابق با ولتاژ MPP تنظیم می شود. نسبت dP_{pv}/dV_{pv} در MPP برابر با صفر، در سمت چپ، مثبت و در سمت راست، منفی است که برای P_{pv} مربوطه در اطراف MPP به دست می آید.



شکل ۲۳- سیمولینک متلب روش incond (هدایت افزایشی)

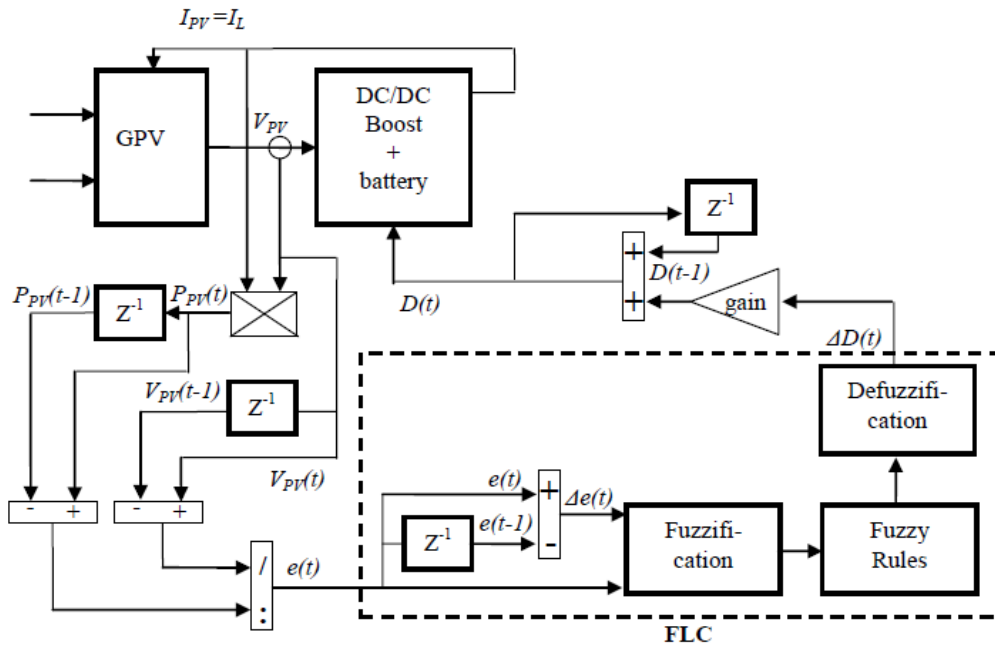
$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = \frac{d(V_{PV} \cdot I_{PV})}{dV_{PV}} = V_{PV} \cdot \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} + I_{PV}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0 & \text{if } \frac{I_{PV}}{V_{PV}} > -\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}}, \text{ left of MPP} \\ \frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 & \text{if } \frac{I_{PV}}{V_{PV}} = -\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}}, \text{ at MPP} \\ \frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 & \text{if } \frac{I_{PV}}{V_{PV}} < -\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}}, \text{ right of MPP} \end{cases}$$

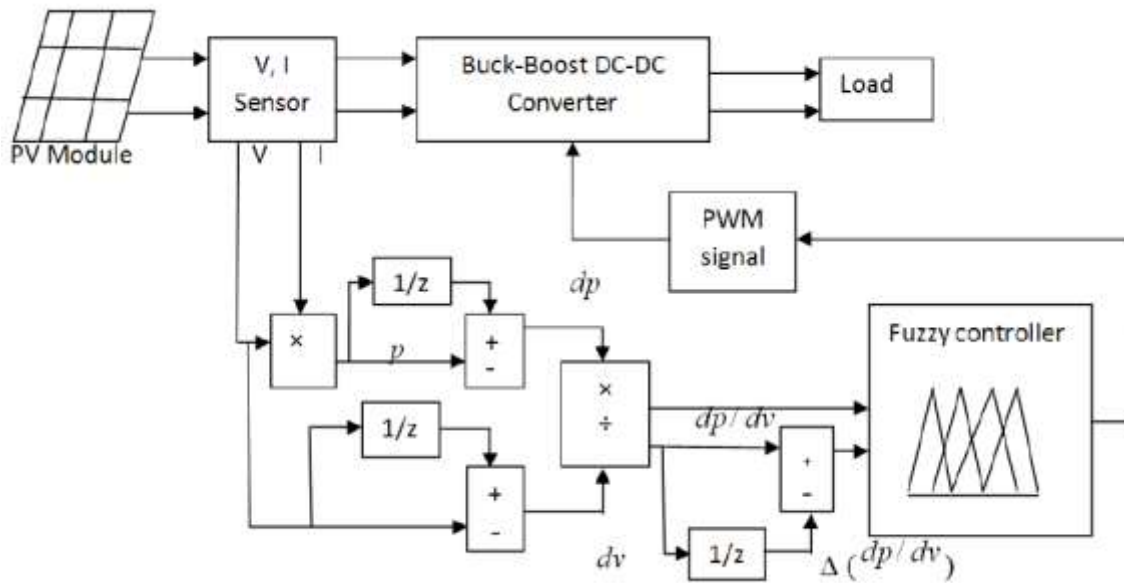


Flow chart algorithm of the improved IncCond MPPT under Matlab and principle show in $P-V$ characteristics.

شکل ۲۴-فلوچارت الگوریتم inCOND [۳۲]

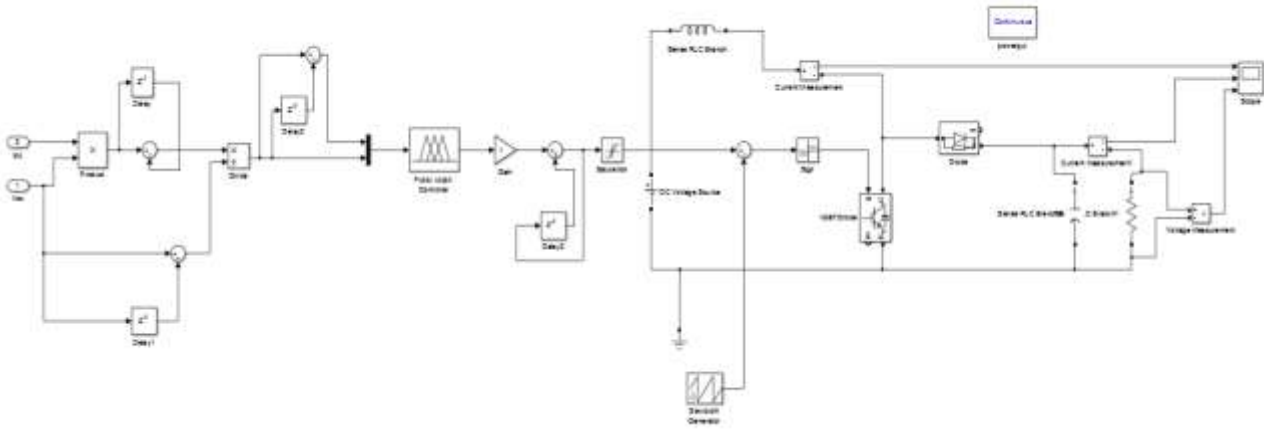


شکل ۲۵- Fuzzy Logic Controller [۳۴]



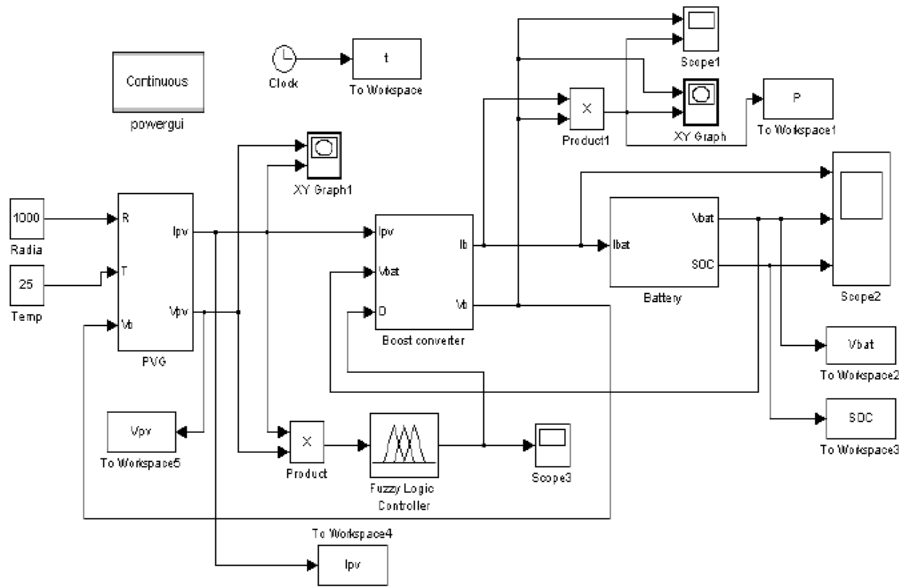
شکل ۲۶- Fuzzy logic based MPPT solar PV panel

با توجه به مدل های بالا طراحی کنترل کننده فازی انجام شده است



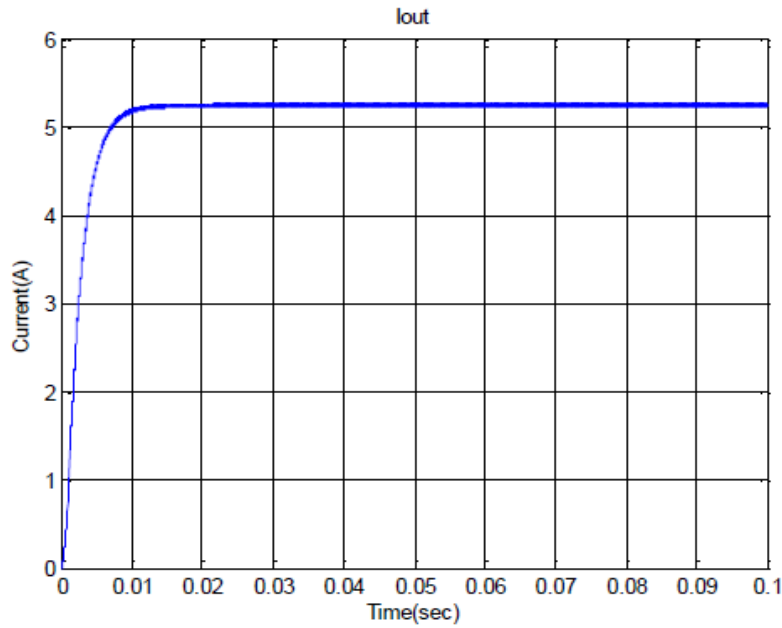
شکل ۲۷- boost Mppt controller FLC(FUZZY LOGIC CONTROLLER) و کانورتر

همان طور که مشاهده می کنید در شبیه سازی بالا به جای استفاده از سیمولینک سلول خورشیدی از بلوک sawtooth generator استفاده کرده ایم.

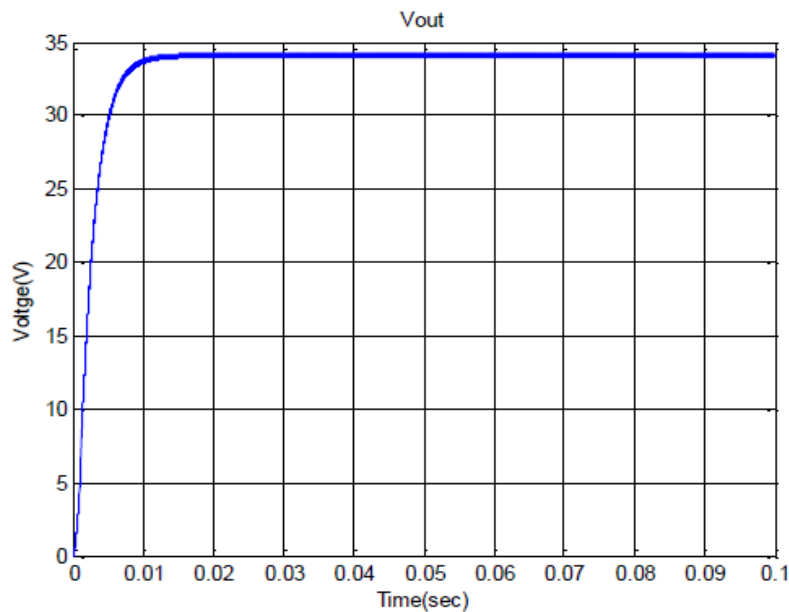


شکل ۲۸- سیمولینک FUZZY MPPT CONTROLLER

همان طور که در سیمولینک شکل ۲۸ مشاهده می کنید داخل بلوک PVG از سیمولینک استفاده شده است و داخل بلوک boost converter از سیمولینک استفاده شده است.



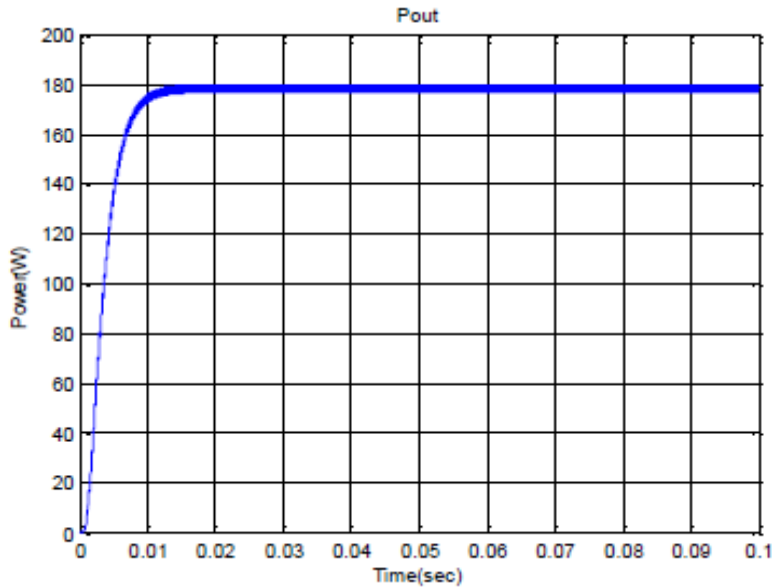
شکل ۲۹- خروجی جریان کانورتر بوست با روش FUZZY LOGIC CONTROLLER



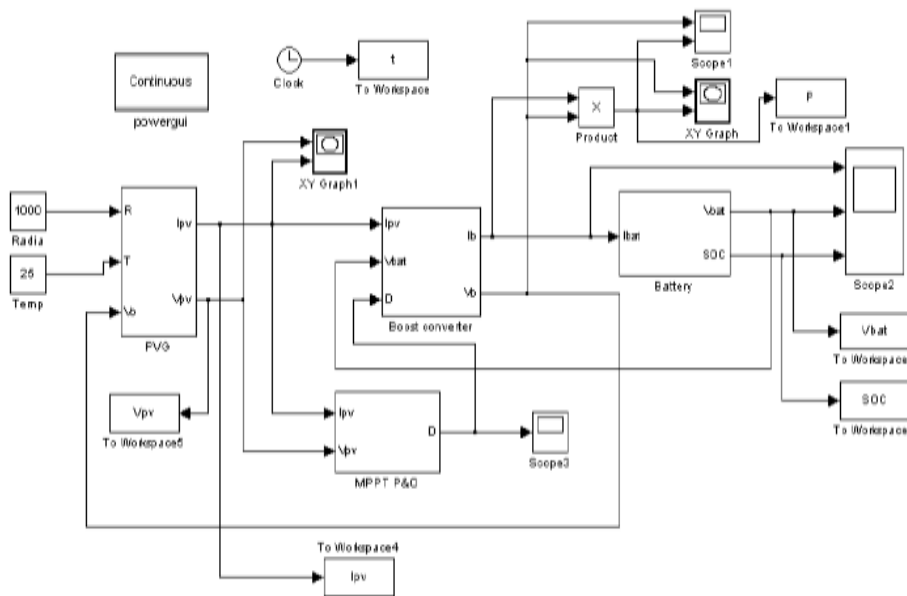
شکل ۳۰- خروجی ولتاژ کانورتر بوست با روش FUZZY LOGIC CONTROLLER

در شکل ۳۰، نمودارهای ولتاژ ماژول، دوره کار کلیدزنی و ولتاژ بار نشان داده شده اند. مطابق این شکل کنترلر فازی در میلی ثانیه اول دوره کار کلیدزنی را بطور مداوم افزایش می دهد به طوری که در حقیقت این خازن در لحظه افزایش پله ای ولتاژ بار افزایش یافته و به مقداری برسد که توان حداکثر به بار منتقل گردد. در حقیقت این خازن در لحظه افزایش پله ای جریان بار مانع از تغییر سریع ولتاژ می گردد و در نتیجه توان برای مدت کوتاهی افزایش می یابد. بطور خلاصه ملاحظه می گردد که علی رغم تغییرات اهمی بار، کنترلر فازی با تغییر دوره کار کلیدزنی مبدل بوست را وادار به جذب حداکثر توان ماژول نموده است سیستم مبتنی بر کنترلر فازی بدلیل عدم نیاز به سیگنال مرجع قادر خواهد بود ردیابی نقطه حداکثر توان را در شرایط مختلف دما و شدت نور و برای انواع مختلف ماژولهای خورشیدی انجام دهد. همانطور که اشاره گردید یکی از مهمترین امتیازهای کنترلر فازی عدم وابستگی به پارامترهای فیزیکی ماژول خورشیدی می باشد. چنین مزیتی سبب می گردد که کنترلر فازی توانایی برخورد صحیح با مسائل پیشبینی نشده ای مانند تغییر مشخصه ماژول با گذشت زمان و یا قرار گرفتن

سایه بر روی بخشی از ماژول و یا هر پدیده دیگری را داشته باشد. چنین توانایی در سایر کنترلرها وجود ندارد و مدل سازی ریاضی آن نیز بسیار پیچیده خواهد بود. برای این منظور شبیه سازی صورت می گیرد که در آن رفتار کنترل کننده فازی در برخورد با پدیده های فیزیکی پیش بینی نشده بررسی می گردد.

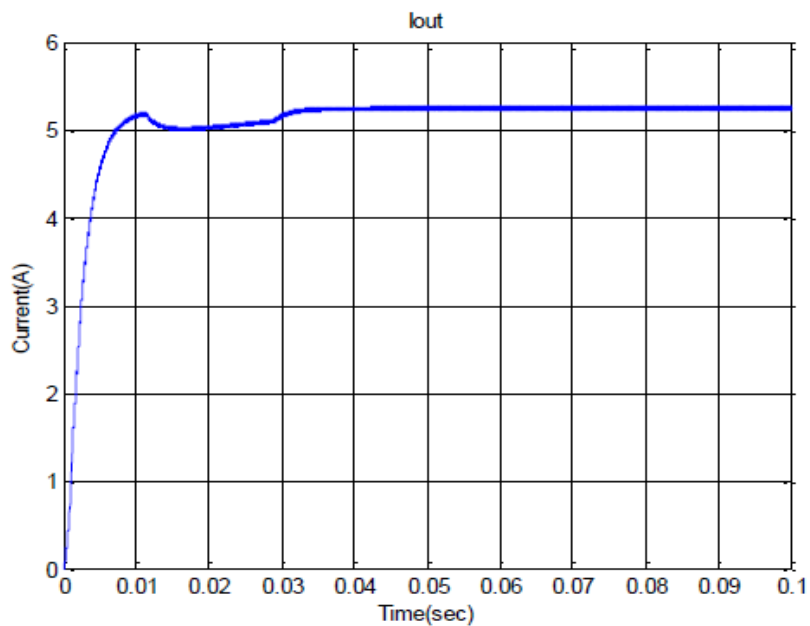


شکل ۳۱- خروجی توان کانورتر بوست با روش FUZZY LOGIC CONTROLLER

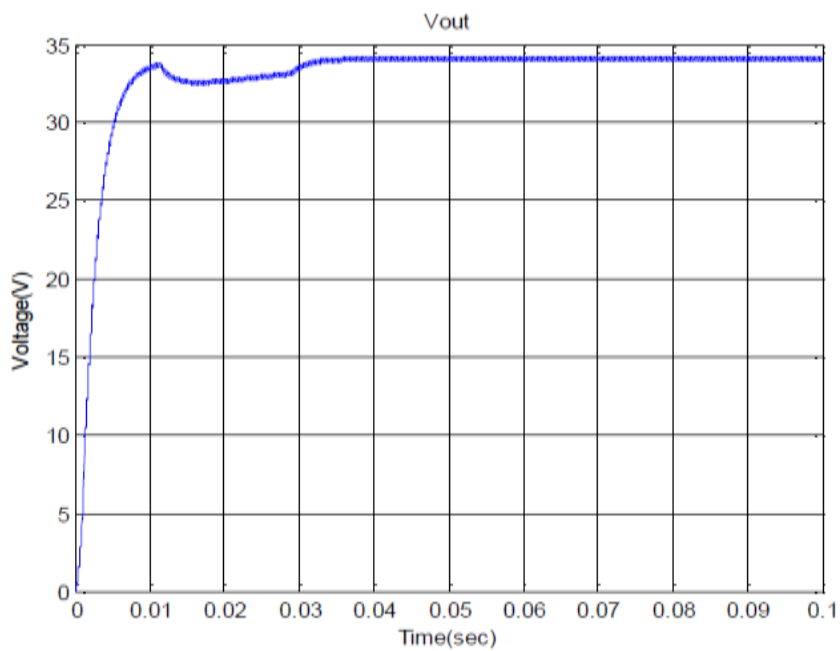


شکل ۳۲- سیمولینک کانورتر بوست و روش P&O

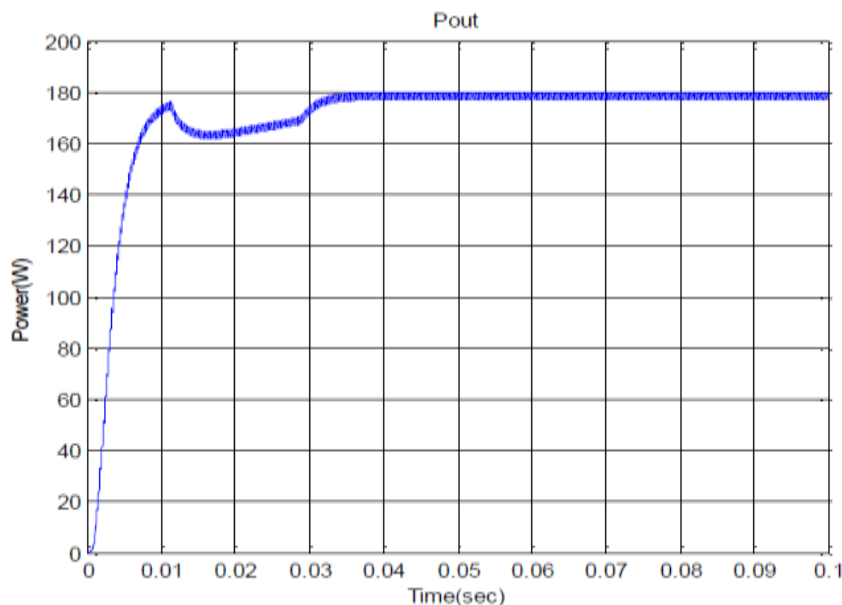
همان طور که در سیمولینک بالا مشاهده می کنید داخل بلوک PVG از سیمولینک استفاده شده است و داخل بلوک boost converter از سیمولینک و داخل بلوک mppt p&o از سیمولینک شکل ۱۸ استفاده شده است.



شکل ۳۳- خروجی جریان کانورتر بوست برای روش P&O



شکل ۳۴- خروجی ولتاژ کانورتر بوست برای روش P&O



شکل ۳۵- خروجی توان کانورتر بوست برای روش P&O

همان طور که مشاهده می کنید وجود خازن فیلتر بزرگ در خروجی مبدل بوست در لحظه (۱ میلی ثانیه اول) افزایش پله ای جریان بار مانع از تغییر سریع ولتاژ می گردد و در نتیجه توان برای مدت کوتاهی افزایش می یابد. بطور خلاصه ملاحظه می گردد که علی رغم تغییرات مهمی بار، کنترلر فازی با تغییر دوره کار کلیدزنی مبدل بوست را وادار به جذب حداکثر توان ماژول نموده است سیستم مبتنی بر کنترلر فازی بدلیل عدم نیاز به سیگنال مرجع قادر خواهد بود ردیابی نقطه حداکثر توان را در شرایط مختلف دما و شدت نور و برای انواع مختلف ماژولهای خورشیدی انجام دهد.

نتیجه گیری

قابلیت سیستم های فازی، ردیابی آنلین ماکزیمم توان، مقاوم بودن در مقابل تغییرات تابش و دما و عدم نیاز به سنسورهای خارجی برای اندازه گیری شدت تابش و دما است، به این معنا که در این روش نیازی به سنسورهای دما و شدت نور نمیباشد و کنترلر فازی توانایی ردیابی نقطه حداکثر توان را در شرایط پیش بینی نشده دارد. در این پژوهش سعی شد تا به روش کنترل فازی و استنتاج ممدانی بتوان با بیشترین دقت نقطه حداکثر توان را تحت هرگونه تغییر شرایط ردیابی کرد. بنابراین به منظور استفاده بهینه از این ماژولها و کاهش هرچه بیشتر هزینه های ردیابی سیستم های خورشیدی، استفاده از پردازشگر توان به منظور رسیدن به نقطه حداکثر توان و روش کنترلی بر مبنای استنتاج ممدانی ارائه گردید که در روش پیشنهادی دوره کار کلیدزنی پردازشگر توان متصل به ماژول خورشیدی به نحوی کنترل شد که نقطه حداکثر توان ماژول، تحت شرایط مختلف دما و شدت نور حاصل گردد. مزیت مهم به دست آمده در مقایسه با روشهای قبلی، استقلال روش کنترلی از نوع ماژول به کار رفته و عدم نیاز به سیگنال مرجع و یا نیاز به هرگونه اطلاعات فیزیکی از ماهیت ماژول می باشد.

منابع

- اسلامیان کوپائی، مهدی، مظلوم، سید ضیاء، ادبی اردکانی داود، سلیمی، محسن، کنترل فازی هوشمند جهت ردیابی نقطه توان حداکثر ماژول های فتوولتاییک)) دومین همایش ملی فناوریهای نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، ۳ مهر ۱۳۹۳.
- غفاری علی، کنترل فازی، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- سید مسعود مقدس تفرشی، منابع تولید انرژی در قرن بیست و یکم، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- وانگ لی، سیستم های فازی و کنترل فازی، دکتر تشنه لب، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

5. Ali, A.N.A., Saied, M.H., Mostafa, M.Z. and Abdel-Moneim, T.M. "A Survey of Maximum PPT Techniques of PV Systems." 2012 IEEE Energytech, Cleveland, 29-31 May 2012, 1-17.
6. Barakati, M., Kazerani, M. and Aplevich, D "Maximum Power Tracking Control for a Wind Turbine. System Including a Matrix Converter". IEEE Power & Energy Society General Meeting, 24,2009, 705-713.
7. Coelho, R.F., Concer, F.M. and Martins, D.C. "A MPPT Approach Based on Temperature Measurements Applied in PV Systems" 2010 9th IEEE/ IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON), São Paulo, 8-10 November 2010, 1-6.
8. coupled-inductor interleaved-boost-converter-supplied PV system using fuzzy controller,
9. David Sanz Morales. Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications. Faculty of Electronics, Communications and Automation. 14.12.2010
10. F. Nakanishi, T. Ikegami, K. Ebihara, Kumamoto University; S. Kuriyama and Y. Shiota, "Modeling and
11. Faranda, R. and Leva, S., "Energy Comparison of MPPT Techniques for PV Systems." WSEAS Transactions on Power Systems, 3,2008, 447-455.
12. Femia, N., Lisi, G., Petrone, G., Spagnuolo, G. and Vitelli, M. "Distributed Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays: Novel Approach and System Analysis." IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55, 2610- 2621.
13. for multiple photovoltaic and converter module system, "
14. generation system",
15. Hu Changsheng, Zhang Zhongchao and Sun Peishi, "The home PV power supply system with a fuzzy
16. M. B. HASHIM, "OPTIMIZATION OF STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM BY IMPLEMENTING FUZZY LOGIC MPPT CONTROLLER", MSc Thesis, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, JULY, 2013.
17. M. Veerachary, T. Senjyu and K. Uezato, "Neural-network-based maximum-power-point tracking of
18. M.G. Simoes and N.N. Franceschetti, " Fuzzy optimisation based control of a solar array system, "
19. N.Mutoh, T.Matuo. "Prediction-data-based maximum power point tracking for photovoltaic power
20. Narendiran, S., "Grid Tie Inverter and MPPT—A Review". 2013 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 20-21 March 2013, 564-567.
21. Operation of a 10kW Photovoltaic Power Generator using Equivalent Electric Circuit Method",
22. Q.Mei, M.Shan, L.Liu, J.M.Guerrero, "A Novel Improved Variable Step-Size Incremental
23. Resistance (INR) MPPT Method for PV Systems,"
24. S. E. Babaa, M. Armstrong, V. Pickert, "Overview of Maximum Power Point Tracking Control Methods for PV Systems" Journal of Power and Energy Engineering, 2014, 2, 59-72.
25. Sera, D., Kerekes, T., Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., "Improved MPPT Method for Rapidly Changing Environmental Conditions." 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2,2006, 1420-1425.

26. Sera, Dezso, et al. "Improved MPPT algorithms for rapidly changing environmental conditions." *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International*. IEEE, 2006.
27. T. Eram, P.L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 439- 449, June 2007.
28. T.Noguchi, S.Togashi and R.Nakamoto, "Short current pulse based maximum power point tracking method"
29. Y.Yao, P.Bustamante and R.S.Ramshaw, "Improvement of induction motor drive systems supplied by photovoltaic arrays with frequency control."