

(مقاله ترویجی)

ردیابی ماکزیمم نقطه توان در ژنل فتوولتائیک با بهره‌گیری از کنترل کننده فازی و استفاده از ماژول کنترلی جهت شارژ باطری

داود بکائی^۱، حمید ملکی زاده^۲

d.bokaei@gmail.com

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق موسسه آموزش عالی علامه حلی چالوس
 ۲- استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه علوم دریایی امام خمینی(ره)

چکیده

ردیابی نقطه حداکثر توان^۱، یکی از پژوهش‌های روز دنیا بر روی سلول‌های خورشیدی می‌باشد. به این معنا که محققین بر این عقیده هستند که با هر روش ممکن با کمترین مقدار تعداد آرایه در پنل‌های خورشیدی می‌توان بیشترین میزان استحصال انرژی خورشیدی را از پنل‌ها داشت و به نقطه بهینه تابش با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند دست یافت. تغییر شرایط محیطی باعث تغییرات جریان، ولتاژ و ماکزیمم نقطه توان در پنل فتوولتائیک می‌شود. لذا جهت افزایش راندمان و کاهش هزینه در سیستم فتوولتائیک نیاز به کنترل پنل فتوولتائیک در نقطه ماکزیمم توان هستیم. این روش‌ها از نظر پیچیدگی، حسگرهای مورد نیاز، سرعت همگرایی، هزینه، سخت افزار و پیاده سازی با هم تفاوت دارند. در واقع مدل‌های مطرح شده به قدری زیاد هستند که نمی‌توان با قطعیت مؤثرترین آنها را به ازای یک سیستم فتوولتائیک مشخص تعیین کرد. در این مقاله، کنترل کننده فازی برای افزایش بهره‌وری تولید انرژی از سلول‌های خورشیدی طراحی شده است. سیستم ردیابی نقطه حداکثر توان از ماژول‌های فتوولتائیک، مبدل بوست و کنترل کننده فازی برای کنترل زمان روشن-خاموش کردن سوئیچ ماسفت مبدل بوست به منظور حفظ توان خروجی آرایه فتوولتائیک در نقطه حداکثر توان تشکیل شده است. علت استفاده از کنترل کننده فازی^۲ در این مقاله، پاسخ سریع به تغییرات محیطی و همچنین مستقل کردن مدار از بار می‌باشد که این امر باعث حصول بازدهی بسیار بالا جهت دنبال کردن ماکزیمم نقطه توان از ۹۴/۸٪ تا ۹۹/۴٪ شده است، که نتایج شبیه سازی موارد ذکر شده را تأیید می‌کند.

واژگان کلیدی: ردیابی نقطه حداکثر توان - پنل فتوولتائیک - الگوریتم فازی - مبدل بوست

تاریخ دریافت مقاله : ۹۹/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۰۸/۰۶

صص ۹-۱

1 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

2 Fuzzy Logic Control (FLC)

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از منابع انرژی نو به ویژه انرژی باد و خورشید بسیار مورد توجه کشورهای پیشرفته قرار گرفته است. در کشور ما نیز استفاده از این منابع پاک انرژی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی رو به رشد می‌باشد. مزیت‌های اصلی استفاده از انرژی‌های نو شامل تجدید پذیر بودن، پایان ناپذیری، سازگاری با محیط زیست و در طول زمان دارای صرفه اقتصادی خواهد بود. مقدار انرژی دریافتی از سلول‌های خورشیدی به عوامل زیادی همچون زاویه قرارگیری پنل‌ها، شرایط جوی، میزان تابش و دما وابسته است. یکی از کم هزینه‌ترین و در عین حال موثرترین روش‌های دریافت بیشترین توان از صفحات خورشیدی، ردیابی الکتریکی نقطه حداکثر توان می‌باشد که در شرایط جوی مختلف سعی در دریافت بیشترین توان ممکن از سلول را دارد. از آنجایی که ولتاژ و جریان در پنل فتوولتائیک غیر خطی هستند و این مقادیر بستگی به وضعیت محیطی مانند دما و شدت تابش دارد [۱]. وضعیت متغیر بودن محیط باعث تغییر ولتاژ، جریان و همچنین باعث تغییر ماکزیمم نقطه توان در پنل فتوولتائیک می‌شود. جهت افزایش و کاهش بازخورد سیستم، نیازمند به کنترل نمودن پنل فتوولتائیک در نقطه ماکزیمم توان دریافتی می‌باشیم که به این عمل ردیابی نقطه حداکثر توان سلول فتوولتائیک گفته می‌شود. از آنجایی که شدت تابش خورشید متغیر با زمان است و گاهی اوقات به سرعت در طول روز تغییر می‌کند به همین علت نقطه عملکرد بهینه سلول از یک نمودار به نمودار دیگر تغییر می‌کند. بنابراین MPPT بایستی نقطه حداکثر توان را با سرعت ممکن در جهت کاهش نوسانات توان خروجی سلول ردیابی کند. کنترل فازی، یک روش کنترلی هوشمند ساده و مفید در سیستم‌های خطی و غیرخطی است. این کنترل کننده کاربرد وسیعی در ردیابی نقطه حداکثر توان سلول دارد [۲]. توانایی کنترل کننده فازی چندین بار بهتر از الگوریتم P&O^۱ است و برای زمانی که تغییر شرایط محیطی داریم استفاده شده است [۳].

در سال‌های اخیر تعداد زیادی از الگوریتم‌های MPPT پیشنهاد شده‌اند که تفاوت آنها در هزینه و پیچیدگی، سنسورهای مورد نیاز، سرعت همگرایی، رنج اثر بخشی و اجرای سخت افزاری آنها می‌باشد. اصول کلی روش‌ها را می‌توان به چهار دسته تقسیم‌بندی نمود:

دسته اول

روش‌هایی هستند که یک الگوریتم پایه ای را دنبال می‌کنند از این روش‌ها می‌توان به روش آشفته و مشاهده [۴]، بالا رونده قله^۲ [۵] و رسانایی افزایشی^۳ [۶ و ۷] نام برد. روش Hill Climbing، ایجاد آشفستگی در سیکل کاری مبدل است که باعث آشفستگی در ولتاژ و جریان می‌شود. روش P&O با ایجاد آشفستگی در ولتاژ عملکرد آرایه باعث افزایش یا کاهش توان خروجی شده که با نگه داشتن یا معکوس کردن آشفستگی بعدی به نقطه MPPT نزدیک می‌شود. الگوریتم P&O به علت سهولت در پیاده سازی بطور گسترده در سیستم‌های PV استفاده می‌شود در این روش با تغییر دوره کار به طور پریودیک نقطه کار پنل را تغییر داده و توان تولیدی توسط پنل را در شرایط جدید بدست می‌آورد. سپس با مقایسه مقدار جدید توان خروجی پنل با مقدار قبلی آن، نسبت به انتخاب دوره کار مناسب برای داشتن حداکثر توان اقدام می‌کند. روش P&O را می‌توان به دو صورت دو نقطه ای و سه نقطه ای پیاده سازی نمود. در روش P&O اگر اندازه اغتشاش بزرگ باشد حول نقطه MPP نوسان می‌کند و اگر اندازه اغتشاش کوچک باشد ردیابی MPP کند می‌شود. برای حل این مشکل از الگوریتم دو مرحله‌ای استفاده کرده به صورتی که در مرحله اول ردیابی سریع انجام شده و در مرحله دوم پلاییش ردیابی انجام می‌شود. مزایای این دو روش هزینه پایین و اجرای آسان، الگوریتم کنترلی نسبتاً ساده و ردیابی مناسب MPP و عیب آنها عدم ردیابی MPP تحت تغییرات سریع دما و تابش خورشید است که باعث تلفات انرژی می‌شود. روش (INC) که اساس این روش بر صفر بودن مشتق توان نسبت به ولتاژ و یا نسبت به جریان در نقطه حداکثر

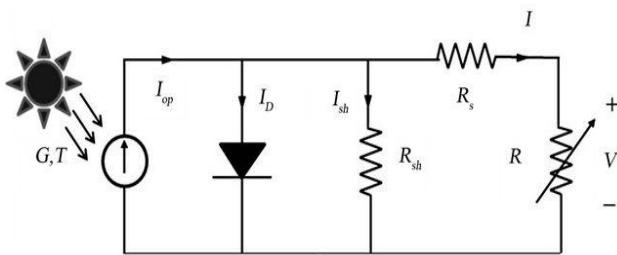
² Hill Climbing (HIC)³ Incremental Conductance (INC)¹ Perturb & Observe (P&O)

روش های کنترل هوشمند است. در این نوع روش ها کنترل منطق فازی [۸ و ۹] یا منطق فازی و شبکه های عصبی مصنوعی [۱۰ و ۸] به کار رفته است. مرجع با استفاده از کنترل منطق فازی و شبکه عصبی و اندازه گیری شدت تابش و دما، ولتاژ نقطه کار را بدست می آورد.

مشخصه جریان-ولتاژ آرایه های فتوولتائیک

سلول های خورشید همانند قطعات نیمه هادی در زمانی که تابش خورشید به سطح سلول های آن نفوذ می کند مدل می شود. جریان DC از طریق پنل فتوولتائیک ایجاد می شود.

مدار معادل سیستم فتوولتائیک در شکل (۱) نشان داده شده است:



شکل (۱) مدار معادل سیستم فتوولتائیک

مطابق شکل (۱) سه عدد مقاومت و یک عدد دیود وجود دارد. مقاومت موازی R_{sh} نشان داده شده در شکل بیانگر جریان نشتی کم می باشد که این مقاومت در حدود کیلو اهم مدل می شود. مقاومت R_s بیانگر تلفات صفحه ای پنل که وظیفه جمع آوری جریان های باس می باشد را نشان می دهد که این مقاومت در حدود یک اهم مدل می شود و مقاومت R به عنوان مصرف کننده در نظر گرفته شده است. دیود نیز بیانگر جریان های مخالف عبوری در پیوند $P - N$ نیمه هادی را بر عهده دارد.

معادله های زیر بستگی به خروجی جریان و مدل استفاده شده از پنل فتوولتائیک دارد:

$$I_{out} = I_{sh} - I_D \quad (1)$$

$$I_D = I_0 * \left(e^{q \frac{(V+IR_s)}{nKT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$I_{out} = I_L - I_0 * \left[e^{q \frac{(V+IR_s)}{nKT}} - 1 \right] - \frac{V+RS*I}{R_{sh}} \quad (3)$$

توان است و با انجام رسانایی لحظه ای با رسانایی افزایشی نقطه حداکثر توان یافت می شود.

دسته دوم

روش های مبتنی بر مدل سازی سلول خورشیدی هستند. در این روش ها با مدل کردن سلول خورشیدی و برقراری روابط موجود در مدل ارائه شده ویژگی های سلول خورشیدی قابل پیش بینی خواهد بود و سیستم را مبنی بر مدل طراحی و اجرا می کنند. مشکل اصلی این نوع روش ها نداشتن انعطاف با تغییر سلول خورشیدی با سلول دیگر است، به طوری که هر پیاده سازی مختص به همان سلول خورشیدی است که از پیش برای آن طراحی شده است. علاوه بر این یافتن مدل و پارامترهای سلول خورشیدی قبل از طراحی نیز خود مشکل دیگری است.

دسته سوم

روش های مبتنی بر رابطه موجود بین نقطه کار و پارامترهای سلول خورشیدی است. از نمونه های این روش می توان به سه روش مطرح زیر اشاره نمود: روش جریان اتصال کوتاه که از رابطه تقریباً خطی موجود بین جریان اتصال کوتاه و جریان نقطه کار بهره می برد. ولتاژ مدار باز که اساس این روش وجود تابع تقریباً خطی بین ولتاژ نقطه کار و ولتاژ مدار باز سلول است.

این دو روش، روش های مفید و ساده می باشند. اما بدلیل اندازه گیری ولتاژ مدار باز و یا جریان اتصال کوتاه نیاز به جدا نمودن پنل از سامانه و باعث از دست دادن موقتی توان می شود. برای رفع این مشکل از روش سلول پایلوت استفاده می شود. در این روش خطی سازی را به سه ناحیه تقسیم کرده تا کارایی سیستم را بهبود بخشد. مرجع با ذخیره تمام نقاط کار با شرایط محیطی مختلف در جدول جستجو، اقدام به یافتن ولتاژ نقطه کار بهینه می نماید. در هر صورت، رابطه موجود بین نقطه کار و پارامتر کاملاً غیر خطی است و هر گونه تقریب زدن خطی، باعث ایجاد خطا در سیستم می شود. همچنین، رابطه خطی تقریب گرفته شده و یا جدول جستجو نیز با تغییر سلول خورشیدی تغییر می کند.

دسته چهارم

الگوریتم فازی

کنترل منطق فازی یک روش هوشمند برای ردیابی نقطه بیشینه توان می‌باشد که با ایجاد قوانین بر پایه پارامترهای وابسته سبب مشخص کردن پارامترهای کنترلی به روش بسیار ساده می‌شود اما موثر بودن کنترلر فازی MPPT وابسته به میزان دانش کاربر برای انتخاب نحوه‌ی صحیح محاسبه‌ی خطا و پایگاه قواعد است.

در الگوریتم فازی، ورودی‌های کنترل کننده فازی خطاهایی از سیستم به نام "E" و تغییر خطا را با "CE" نشان می‌دهیم.

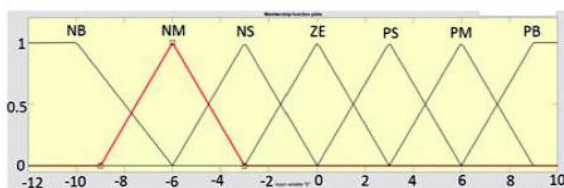
$$E(k) = \frac{P(k)}{V(k)} = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (4)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (5)$$

$P(k)$ بیانگر توان، $V(k)$ بیانگر ولتاژ پنل فتوولتائیک، $P(k-1)$ بیانگر توان در حالت قبل از خطا، $V(k-1)$ بیانگر ولتاژ در حالت قبل از خطا می‌باشد. در مرحله بعدی جهت روش کنترل فازی می‌بایستی تابع عضویت درست کنیم. تنظیم کردن جدول قوانین MPPT در جدول (۱) و ورودی‌های E و CE در شکل‌های (۳)، (۴) و خروجی D در شکل (۵) نشان داده شده است.

جدول (۱) جدول درستی منطق فازی

E/C	PB	P	PS	ZE	NS	N	NB
E	PB	P	PS	ZE	NS	N	NB
	PB	ZE	ZE	ZE	NB	NB	NB
	PM	ZE	ZE	ZE	N	N	N
					M	M	M
	PS	ZE	ZE	ZE	NS	NS	N
							M
	ZE	NS	NS	ZE	ZE	ZE	PS
							PS
	NS	P	P	PS	NS	ZE	PS
		M	M				ZE
	NM	P	P	P	PB	ZE	ZE
		M	M	M			NS
	NB	PB	P	P	PB	ZE	ZE
			M	M			ZE



شکل (۳) ورودی در FLC(ERROE)(E)

مطابق فرمول‌های ذکر شده در بالا I_L ، بیانگر جریان آرایه‌های فتوولتائیک، I_0 نشان دهنده جریان اشباع آرایه‌های فتوولتائیک، q بیانگر الکترون‌های شارژ شده، k بیانگر عدد ثابت بولتزمن، T بیانگر دمای حاصل از پیوند $P - N$ و n نیز بیانگر منحنی ثابت در پیوند $P - N$ می‌باشد.

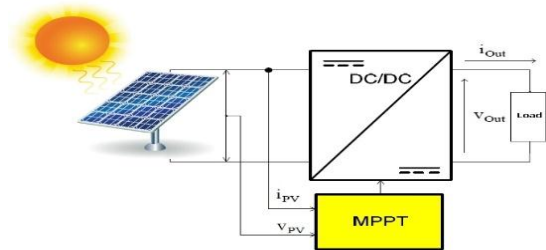
ردیابی نقطه حداکثر توان

یک سیستم MPPT مطابق شکل (۲)، حداقل از سه جزء اساسی تشکیل می‌شود:

(۱) مبدل توان سوئیچینگ DC/DC

(۲) واحد اندازه‌گیری

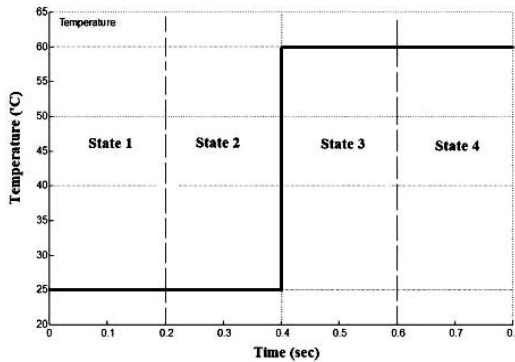
(۳) واحد کنترل



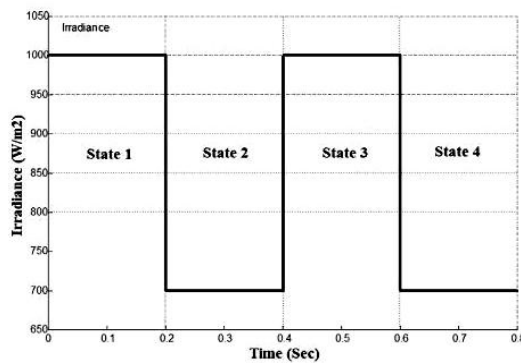
شکل (۲) بلوک دیاگرام کلی یک سیستم فتوولتائیک به همراه سیستم MPPT

واحدهای اندازه‌گیری و کنترل به منظور یافتن نقطه بیشینه توان استفاده می‌شوند. واحد اندازه‌گیری پارامترهای لازم (مانند I_{pv} و V_{pv}) که برای تعیین نقطه بیشینه توان نیاز است را اندازه‌گیری کرده و در اختیار واحد کنترل قرار می‌دهد. واحد کنترل نیز که شامل یکی از الگوریتم‌ها MPPT می‌باشد با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده و اتخاذ تصمیم محل دقیق و یا تقریبی، MPP را تعیین می‌کند. پارامترهای اندازه‌گیری شده کاملاً وابسته به نوع الگوریتم مورد استفاده در واحد کنترل بستگی دارد. بعد از تصمیم‌گیری واحد کنترل، تنظیم نقطه‌کار بر روی نقطه MPP را مبدل توان سوئیچینگ انجام می‌دهد. نقطه کار سیستم فتوولتائیک را می‌توان با کنترل میزان دوره کار مبدل توان تنظیم و کنترل کرد که میزان دوره کار توسط واحد کنترل تعیین می‌شود. وظیفه اصلی مبدل توان، ذخیره انرژی گرفته شده از سیستم فتوولتائیک به صورت انرژی مغناطیسی در داخل یک سلف و سپس آزاد سازی آن در پتانسیل‌های مختلف که با بار منطبق باشد.

بدین ترتیب پنل خورشیدی در خروجی خود ولتاژ و جریان مورد نظر را تولید می‌کند. در شبیه سازی محدوده دمایی ما بین (۶۰-۲۵)°C و شدت تابش (۱۰۰۰-W/m²) در نظر گرفته شده است. شکل (۶) دمای محیط و شکل (۷) شدت تابش را در ۴ وضعیت نشان می‌دهند.



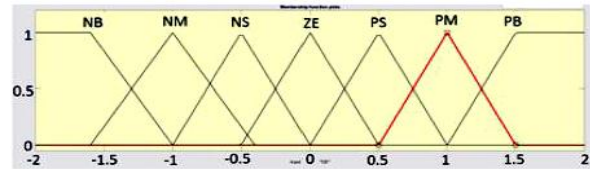
شکل (۶) میزان دمای محیط در چهار وضعیت



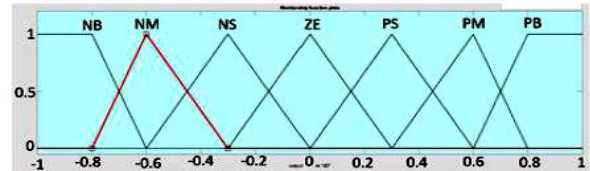
شکل (۷) میزان تابش خورشید در چهار وضعیت

شبیه سازی مدل مبدل بوست

از ماسفت جهت سوئیچینگ و وضعیت روشن و خاموش استفاده می‌شود. از پارامتر D به عنوان نسبت کاری تعریف می‌شود، طبق شکل (۸)، زمانی که $0 < t < DT$ قرار گیرد، ماسفت در وضعیت روشن و دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد از اینرو ($V_L = V_{in}$) می‌شود. زمانی که $DT < t < T$ قرار گیرد، ماسفت در وضعیت خاموش و دیود در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد که از اینرو ($V_L = V_{in} - V_{out}$) می‌شود. عملکرد در وضعیت حالت ماندگار، کل تغییرات جریان در سلف می‌بایستی در زیر سیکل کاری سوئیچ کند. در این مرحله بر اساس روابط (۹) و (۱۰)، باید مقدار خازن و سلف مبدل بوست تعیین شود. برای محاسبه این دو، فرکانس تنظیم را می‌توان بین ۲۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ هرتز تنظیم نمود. برای



شکل (۴) ورودی در FLC (change of error)(CE)



شکل (۵) خروجی در FLC (DUTY CYCLE)(D)

شبیه سازی

سیستم کلی شبیه سازی شده در این مقاله با نرم افزار سیمولینک متلب انجام شده که شامل شش قسمت کلی است:

- (۱) پنل خورشیدی
- (۲) مبدل بوست
- (۳) ردیاب نقطه توان ماکزیمم پنل خورشیدی
- (۴) مبدل باک
- (۵) بلوک کنترلی PI
- (۶) سیستم بار - باتری

شبیه سازی پنل خورشیدی

برای انجام شبیه سازی اولین قسمتی که باید ساخته شود، پنل خورشیدی است که بر اساس اطلاعات موجود در جدول (۲) باید تنظیم شود.

جدول (۲) نمودار الکتریکی از پنل فتوولتائیک

The Open circuit Voltage(VOC)	24 V
The Short circuit Current(isc)	5.1 A
The Voltage at MPP(V mpp)	17.5 V
The Current of MPP(I mpp)	4.8 A
The Power of MPP(P mpp)	84 W
Temperature coefficient of Open Circuit Voltage (%/deg.C)	0.36099
Temperature coefficient of isc (%/deg.C)	0.102
Number of Cell(N.cell)	20

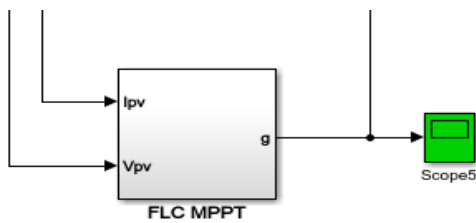
سیس می بایست دو ورودی باید به پنل داده شود:

الف) سطح تابش

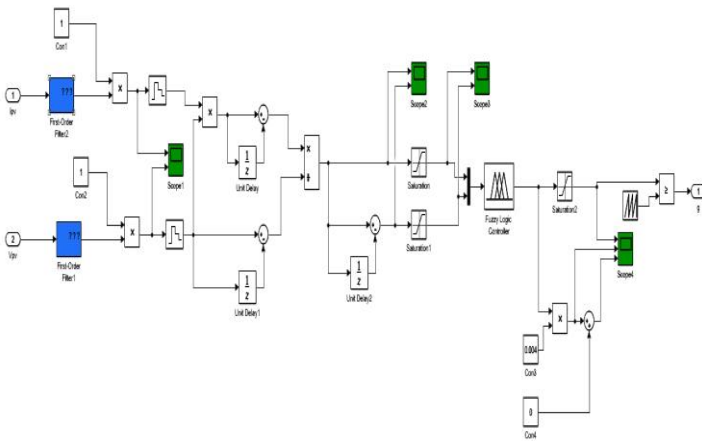
ب) دمای محیط

شبیه سازی ردیاب نقطه توان ماکزیمم پنل خورشیدی

اما قسمت مهم دیگر، تنظیم کلیدزنی مناسب برای کلید مبدل بوست می‌باشد. برای اینکار از ولتاژ و جریان خروجی پنل خورشیدی استفاده کرده و این دو سیگنال را به ردیاب نقطه توان ماکزیمم منطق فازی (FLC MPPT) به عنوان ورودی اعمال می‌کنیم. بلوکهای مورد استفاده برای ساخت FLC MPPT در شکل (۱۰) نشان داده شده است. سرانجام از خروجی FLC MPPT و مقایسه آن با یک شکل موج مثلثی، سیگنال مناسب برای روشن و خاموش کردن کلید مبدل بوست بدست آورده می‌شود که تحت عنوان g به کلید M1 اعمال می‌شود. شکل کلی ردیاب نقطه توان ماکزیمم در شکل (۹) و اجزای داخلی آن در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.



شکل (۹) بلوک کنترلی FLC MPPT



شکل (۱۰) اجزای داخلی بلوک FLC MPPT

شبیه سازی مدل مبدل باک

تغییرات جریان و تغییرات ولتاژ می توان مقادیر را به صورت حدودی برابر با ۰/۰۱ آمپر و ۰/۰۵ ولت در نظر گرفت. توجه می‌کنیم که قبل از مبدل بوست یک خازن فیلتر بعد از پنل خورشیدی قرار گرفته است که مقدار آن را می‌توان بر اساس تجربه بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میکروفاراد تنظیم کرد. خازن فیلتر به همراه مبدل بوست در شکل (۸) نمایش داده شده است.

$$V_{in} = V_{out} * (1 - D) \quad (6)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{(1-D)} \quad (7)$$

جهت پیدا نمودن سلف و خازن در مبدل بوست از معادلات زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta I_L = \frac{V_{in_min} * D}{f_s * L} \quad (8)$$

$$L = \frac{V_{in} * (V_{out} - V_{in})}{\Delta I_L * f_s * V_{out}} \quad (9)$$

$$C = \frac{I_{out} * D}{f_s * \Delta V_{out}} \quad (10)$$

بر اساس فرمول های ذکر شده:

V_{in_min} : کمترین مقدار ولتاژ ورودی

f_s : فرکانس سوئیچینگ

L : ظرفیت سلف

C : ظرفیت خازن

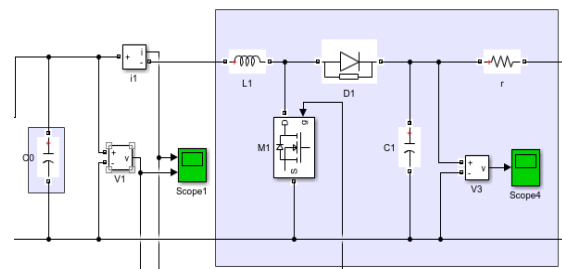
V_{out} : ولتاژ خروجی

V_{in} : ولتاژ ورودی

ΔI_L : تخمین ریپل جریان سلف

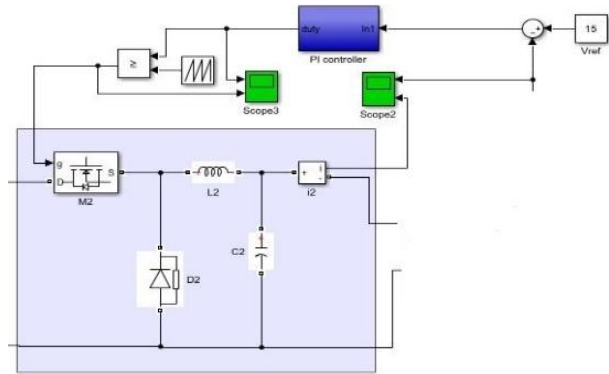
D : سیکل کاری

ΔV_{out} : تخمین ریپل ولتاژ خروجی



شکل (۸) مبدل بوست

مناسب برای کلید مبدل باک (M2) می‌باشد. برای اینکار از ولتاژ خروجی سیستم باتری- بار استفاده کرده و آن را با یک سیگنال مرجع ولتاژ مورد مقایسه قرار می‌دهیم. سپس حاصل مقایسه را به یک کنترل کننده PI وارد کرده و با تنظیم مناسب گین‌های تناسبی و انتگرالی می‌آوریم. با مقایسه دیوتی سایکل با یک شکل موج مثلثی، سیگنال مناسب g برای اعمال به کلید M2 بدست آورده می‌شود. از بلوک کنترلی PI در مبدل باک جهت ثابت کردن ولتاژ بکارگیری می‌شود.



شکل (۱۱) مبدل باک

طبق شکل (۱۱)، زمانی که $0 < t < DT$ قرار گیرد، ماسفت در وضعیت روشن و دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد از این رو $(V_L = V_{in} - V_{out})$ می‌شود. زمانی- که ماسفت در وضعیت خاموش باشد یعنی $DT < t < T$ دیود یکسو شده و $(V_L = -V_{out})$ می‌شود. در حالت ماندگار، کل تغییرات جریان در سلف می‌بایست در زیر سیکل کاری سوئیچ کند.

جهت پیدا نمودن ولتاژ خروجی در مبدل باک از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$V_{out} = D * V_{in} \quad (11)$$

جهت پیدا نمودن ظرفیت سلف در مبدل باک از معادلات زیر از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود:

$$\Delta I_L = \frac{V_{out} * (V_{out} - V_{in})}{f_s L V_{in}} \quad (12)$$

جهت پیدا نمودن ظرفیت خازن در مبدل باک از معادلات زیر از رابطه (۱۳) استفاده می‌شود:

$$\Delta V_{rpl} = \frac{D * I_L}{8 f_s C} \quad (13)$$

بر اساس فرمول های ذکر شده:

ΔI_L : جریان سلف

f : فرکانس سوئیچینگ

L : ظرفیت سلف

C : ظرفیت خازن

V_{out} : ولتاژ خروجی

V_{in} : ولتاژ ورودی

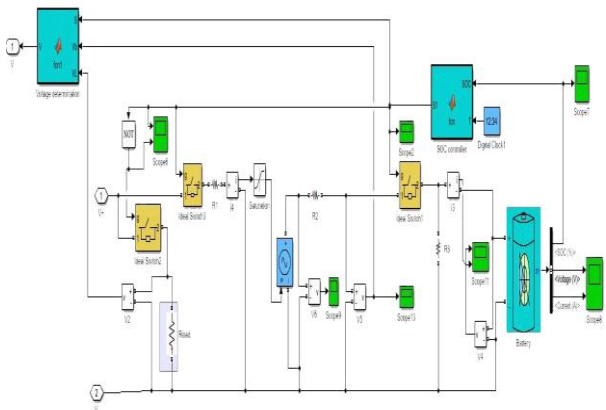
ΔV_{rpl} : ریپل ولتاژ

شبیه سازی بلوک کنترلی PI در مبدل باک

جهت تنظیم و رگوله نمودن ولتاژ و توان خروجی باطری در مبدل باک از بلوک کنترلی PI مطابق شکل (۱۱) استفاده می‌شود. اما قسمت مهم دیگر، تنظیم کلیدزنی

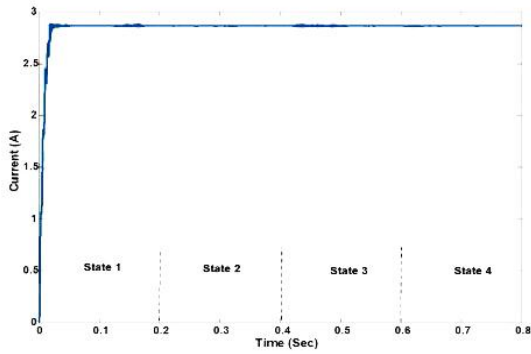
شبیه سازی باتری - بار

قسمت آخر شبیه سازی مربوط به سیستم باتری- بار می‌شود که در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. ورودی این سیستم، ولتاژ خروجی مبدل باک و خروجی آن ولتاژ باتری (یا بار) می‌باشد که با یک سیگنال مرجع ولتاژ مقایسه می‌شود.

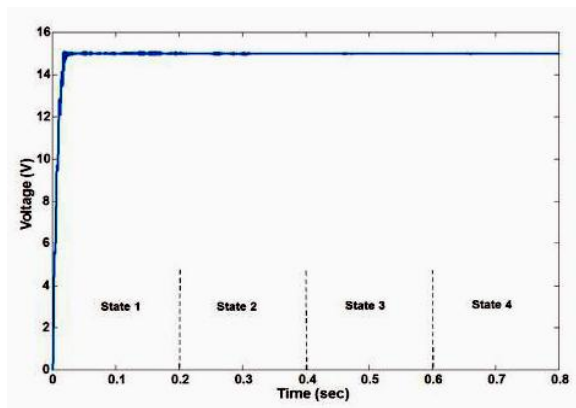


شکل (۱۲) اجزای داخلی بلوک باتری-بار

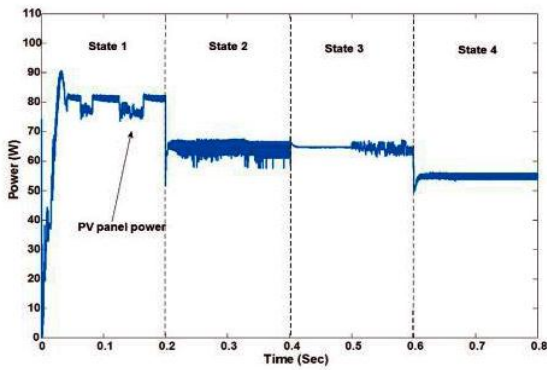
در شکل (۱۳) بلوک دیاگرام شبیه سازی نهایی در سیمولینک متلب نشان داده شده است.



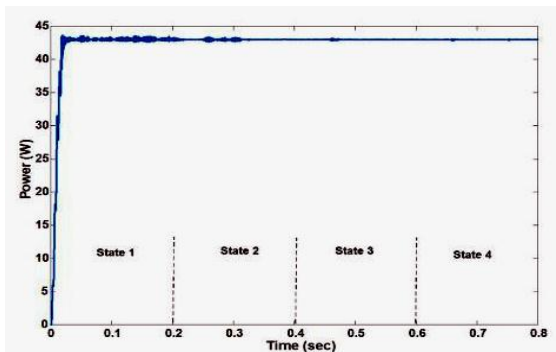
شکل (۱۵) جریان خروجی مبدل باک



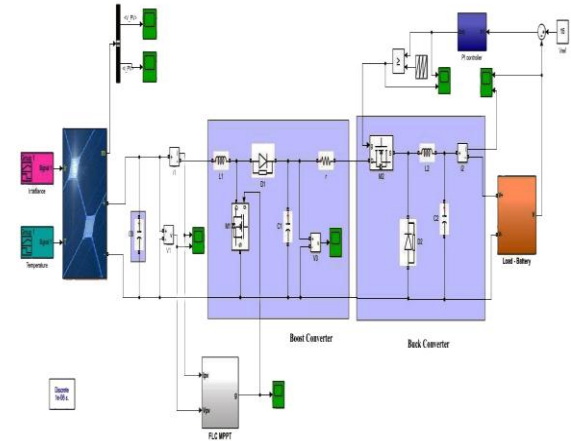
شکل (۱۶) ولتاژ مبدل باک



شکل (۱۷) توان پنل خورشیدی



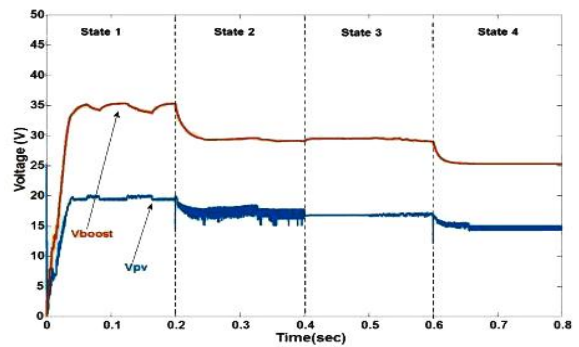
شکل (۱۸) توان رگوله شده توسط بلوک کنترلی PI



شکل (۱۳) بلوک دیاگرام شبیه سازی نهایی در سیمولینک متلب

نتایج شبیه سازی

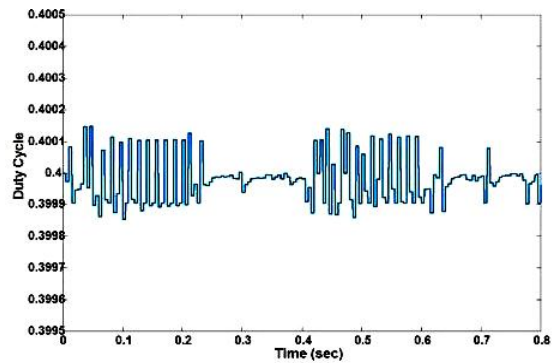
نتایج حاصل از شبیه سازی به کمک سیمولینک نرم افزار متلب برای ولتاژ پنل خورشیدی و ولتاژ مبدل بوست، جریان خروجی مبدل باک، ولتاژ مبدل باک، توان پنل خورشید، توان رگوله شده توسط بلوک کنترلی PI و مقدار دیوتی سایکل در بلوک FLC MPPT در جدول (۳) خلاصه شده‌اند که نشان می‌دهد راندمان در الگوریتم MPPT جهت پیدا نمودن ماکزیمم نقطه توان بین ۹۴٪ تا ۹۹٪ تغییر کرده است، که بیانگر افزایش بهره‌وری تولید انرژی می‌باشد.



شکل (۱۴) ولتاژ پنل خورشیدی و ولتاژ مبدل بوست

منابع

- [1] Seyedmahmoudian, M.; Kok Soon, T.; Jamei, E.; Thirunavukkarasu, G.S.; Horan, B.; Mekhilef, S.; Stojcevski, A. Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems under Partial Shading Conditions Using Bat Algorithm. Sustainability 2018, 10, 1347.
- [2] Yaghoubi, J.; Yazdanpanah, M.; Komendantova, N.; Iranian agriculture advisors' perception and intention toward biofuel: Green way toward energy security, rural development and climate change mitigation. Renewable Energy. Volume , January 2019, Pages 452-459.
- [3] Boukenoui, R.; Mellit, A.; Applications of Improved Versions of Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking for Controlling Photovoltaic Systems. Solar Photovoltaic Power Plants pp 143-164, February 2019.
- [4] X. Liu, L.A.C. Lopes, An improved perturbation and observation maximum power point tracking algorithm for PV arrays, in: Power Electronics Specialists Conference, PESC 04, 2004, IEEE 35th Annual vol. 3, 2004, pp. 2005-2010.
- [5] Al-Atrash H, Batarseh I, Rustom K, Statistical modeling of DSP-based Hill-climbing MPPT algorithms in noisy environments, In: Proc. Of Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE, vol. 3, Austin, Texas, USA; 2005. p.1773e7.
- [6] Houssamo I, Locment F, Sechilariu M. Maximum power tracking for photo-voltaic powersystem: development and experimental comparison of two algorithms. Renewable Energy 2010;35:2381e7.
- [7] Masoum M, Dehbonei H, Fuchs E. Theoretical and experimental analyses of photovoltaic systems with voltage and current-based maximum power-point tracking. IEEE Transactions On Energy Conversion 2002;17:514e22.
- [8] Veerachary M, Senjyu T, Uezato K. Neural network-based maximum-power-point tracking of coupled-inductor interleaved boost-converter-supplied PV system using fuzzy controller. IEEE Trans Ind Electron 2003;50(4):749-58.
- [9] Larbes C, Ait Cheikh S, Obeidi T, Zerguerras A. Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system. Renewable Energy 2009;34:2093e100.
- [10] Hiyama T, Kouzuma S, Imakubo T, Ortmeyer TH. Evaluation of neural network based real time maximum power tracking controller for PV system. IEEE Trans Energy Convers 1995;10(3):543-8.



شکل (۱۹) مقدار دیوتی سایکل در بلوک FLC MPPT

جدول (۳) توان و بازده در نقطه MPP، توان در پنل فتوولتائیک و جریان و ولتاژ در مبدل باک

State	P_{MPP} (W)	P_{PV} (W)	Accura (%)	I_{Buck} (A)	V_{Buck} (V)
1000w/ m ² and 25 °c	84	79.7	94.8	2.934	15.01
700w/ m ² and 25 °c	64.7	63.3	97.8	2.932	15.03
1000w/ m ² and 60 °c	71.2	65.8	92.4	2.933	15.015
700w/ m ² and 60 °c	51.6	51.3	99.4	2.932	15.3

نتیجه گیری

بر اساس نتایج شبیه سازی، پاسخ های سیستم در برابر تغییرات دما و تابش نشان می دهند که راندمان در الگوریتم MPPT جهت پیدا نمودن ماکزیمم نقطه توان بین ۹۴/۸٪ تا ۹۹/۴٪ متغیر بوده است. همچنین جریان و ولتاژ مصرف کننده در مبدل باک تا آخرین زمان شبیه سازی در سیستم در یک سطح، ثابت مانده است که در این حالت حداکثر راندمان دریافتی ۹۷/۸٪ حاصل شد. (جریان ۲/۹۳۲ آمپر و ولتاژ ۱۵/۰۳ ولت) که جدول (۳) گویای نتایج می باشد. در بعضی از موارد راندمان در مبدل باک می تواند پایین باشد اما تمرکز ما در این مقاله در جهت رسیدن به ماکزیمم بازده از پنل فتوولتائیک جهت کاهش هزینه، شارژ باطری با جریان ثابت و ولتاژ مناسب جهت کاهش تلفات، شارژ سریع و افزایش سیکل کاری باطری بود، که این مهم با استفاده از کنترل کننده فازی برای افزایش بهره‌وری تولید انرژی حاصل شد.