

طراحی و شبیه‌سازی منبع تغذیه توان میکرو ماهواره‌ها

مرضیه کریمی دهکردی^۱، سید محمد مهدی میرطلایی^{*}
دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
mirtalaei.iaun@gmail.com

چکیده

اغلب ماهواره‌هایی که در مدار پایین زمین قرار دارند از نوع ماهواره‌های کوچک (میکروماهواره) هستند. منبع اصلی تغذیه میکرو ماهواره‌ها معمولاً از سه بخش تولید، ذخیره و تبدیل توان تشکیل شده است.

بخش تولید توان آن معمولاً از سلول‌های خورشیدی تشکیل شده است که انرژی خورشیدی جذب شده آن برای شارژ کردن باتری‌ها و مصرف کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سلول‌های خورشیدی ابزارهای الکترونیکی هستند که با استفاده از پدیده فتوولتائیک، نور یا فتون را مستقیماً به جریان یا ولتاژ الکتریکی تبدیل می‌کنند. سلول خورشیدی وقتی دارای بیشترین بازده می‌باشد که در نقطه حداکثر توان کار کند. اما به خاطر تغییر پارامترها نمی‌توانند بدون کنترل در این نقطه کار کنند. توان تولید شده به وسیله سلول خورشیدی به عوامل اصلی، تابش و دمای سلول خورشیدی و اندازه بار متصل شده به آن بستگی دارد که در آن تابش و دمای سلول خورشیدی با زمان تغییر می‌کند پس نقطه حداکثر توان نیز تغییر می‌کند. روش‌های مختلفی برای ردیابی نقطه حداکثر توان وجود دارد که ما در این مقاله از روش P&O استفاده کردیم. بخش ذخیره آن شامل باتری‌های لیتیوم یون، نیکل کادمیوم، نیکل هیدروژن و ... می‌باشد. از آنجایی که باتری‌های لیتیوم یون در سطح بالای چگالی انرژی در بین باتری‌های الکتریکی قرار دارند انتخاب مناسبی می‌باشد. یکی از مسائل مهم در باتری، حالت شارژ (SOC) می‌باشد تا از شارژ بیش از حد و کم شارژ شدن باتری جلوگیری کند چرا که موجب کاهش عمر مفید باتری‌ها می‌شود. بخش تبدیل توان ماهواره شامل مبدل های dc-dc می‌باشند. برای این که بتوان حداکثر توان را از سلول خورشیدی به بار انتقال داد، نیاز است مبدلی که دارای بازده بالایی می‌باشد را انتخاب کرد. که ما در این جا برای هر دو مبدل باک و بوست شبیه‌سازی کردیم.

وقتی طراحی اولیه انجام شد، سیستم توان ماهواره که شامل سه قسمت است باید به طور همزمان مورد آزمایش قرار گیرد. چون سناریوهای مختلفی برای بار و تولید توان وجود دارد پس ما به یک شبیه‌ساز نیاز داریم که بتواند عملکرد هم زمان هر سه قسمت را شبیه‌سازی کند، به همین علت ما مدل‌های متداول برای هر قسمت را در شبیه‌ساز جایگذاری کردیم که بتوانیم سناریوها و بارهای مختلف را شبیه‌سازی کنیم.

واژه‌های کلیدی: سلول خورشیدی، میکروماهواره، ردیابی حداکثر توان، مبدل DC-DC، باتری لیتیوم یون

مقدمه

امروزه با توجه به عملکرد مناسب ماهواره‌های کوچک و طراحی، ساخت و پرتاب آن‌ها توسط بسیاری از کشورها، ایجاد و توسعه علوم و تکنولوژی فضایی کار دشوار و دور از دسترسی نبوده و تنها منحصر به کشورهای بزرگ و ثروتمند جهان نمی‌باشد. بدیهی است که با توجه به هزینه نسبتاً کم طراحی، ساخت و پرتاب ماهواره‌های کوچک، روند توسعه و پیشرفت آن‌ها ادامه خواهد داشت و ایجاد بستر مناسب علمی، راه‌اندازی آزمایشگاه‌های تحقیقاتی فضایی و تربیت نیروی انسانی متخصص در دستور کار بسیاری از کشورهای در حال توسعه قرار خواهد گرفت. [۱]

اصولاً ماهواره‌ها از شش سیستم اصلی شامل: انرژی الکتریکی، مخابرات، کنترل وضعیت، کنترل حرارت، سازه و کامپیوتر مرکزی تشکیل می‌شوند. اگرچه ما در این جا فقط به بخش انرژی الکتریکی ماهواره می‌پردازیم.

متن مقاله

۱- اجزاء سیستم انرژی الکتریکی ماهواره

سیستم انرژی الکتریکی یک ماهواره را می‌توان به سه قسمت اصلی زیر تقسیم کرد:

- سیستم تولید انرژی
- سیستم کنترل و تنظیم توان
- سیستم ذخیره انرژی

۱-۱ سیستم تولید انرژی

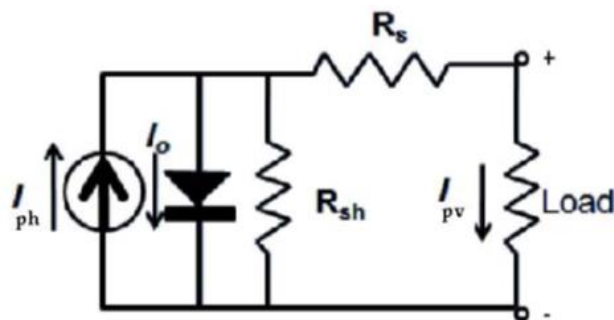
انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که به علت سهولت دسترسی به آن در خارج از جو زمین کاربردهای فراوانی را در سیستم‌های ماهواره‌ای به خود اختصاص داده است. هم‌چنین به علت مسائل و مشکلات زیست محیطی و محدودیت‌های آشکار و پنهان سایر منابع انرژی، جذابیت آن به صورت چشمگیری در صنایع دیگر روبه افزایش می‌باشد. مبدل‌های فتوولتائیک^۱ به دلیل امکان تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی و مزایای دیگر نظیر وزن کم و امکانات نصب در قدرت‌های کوچک، جزء تجهیزات مورد توجه در زمینه استفاده از انرژی‌های نو می‌باشند ولی در مقایسه با سایر مبدل‌های انرژی الکتریکی، قیمت بیشتری دارند. بنابراین لازم است که همواره شرایطی فراهم شود که از این مبدل‌ها حداکثر انرژی جذب شود تا استفاده بهینه از سیستم صورت گیرد.

بررسی مشخصه‌های سیستم فتوولتائیک نشان می‌دهد که مشخصه $p-v$ و $i-v$ آن، یک مشخصه کاملاً غیرخطی است و توان تولیدی این سیستم‌ها به عوامل اصلی شدت تابش، دما و اندازه بار متصل شده به آن بستگی دارد که در آن تابش و دمای سلول خورشیدی با زمان تغییر می‌کند پس نقطه حداکثر توان نیز تغییر می‌کند. روش‌های مختلفی برای ردیابی نقطه حداکثر توان وجود دارد که ما به بررسی روش اختلال و مشاهده^۲ خواهیم پرداخت. برای جذب توان حداکثر از PV، بایستی تطبیق امپدانس بار از دید منبع فتوولتائیک صورت بگیرد که این اقدام توسط مبدل‌های DC/DC انجام می‌شود. [9-13]

¹ Photovoltaic

² P&O

شکل ۱ مدار معادل یک سلول خورشیدی را نشان می‌دهد. یک پنل خورشیدی از چندین سلول فتوولتائیک که دارای اتصال بیرونی سری یا موازی و یا سری-موازی تشکیل شده است. با در نظر گرفتن پارامترهای شکل ۱ مشخصه پنل خورشیدی به دست می‌آید:



شکل (۱) مدار معادل الکتریکی سلول خورشیدی

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

$$I_{ph} = [I_{scr} + K_i(T - 298)] * \lambda / 1000 \quad (2)$$

که I_{ph} جریان تولید شده از نور تابشی، T دمای مازول، λ شدت تابش و I_{scr} جریان اتصال کوتاه مازول در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و شدت تابش 1000 w/m^2 ، K_i ضریب نسبت جریان اتصال کوتاه به دما می باشد. جریان اشباع معکوس برابر است با:

$$I_{rs} = I_{scr} / [\exp(\frac{qV_{oc}}{N_s KAT}) - 1] \quad (3)$$

جریان اشباع برابر است با:

$$I_o = I_{rs} \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 \exp\left[\frac{q^* E_{go}}{AK} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (4)$$

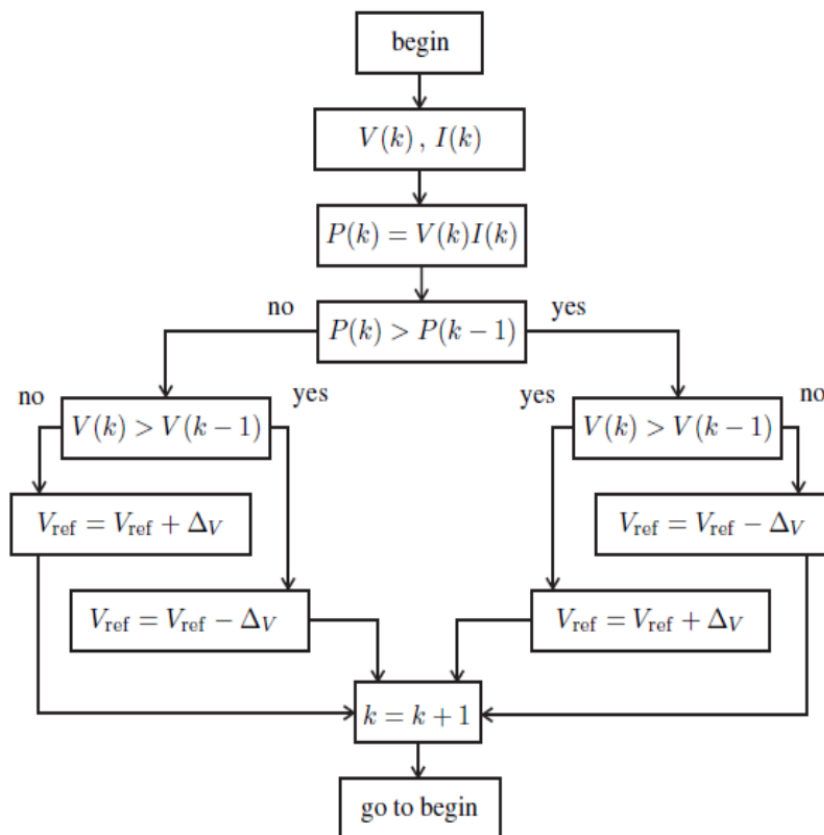
که T_r دمای مرجع و برابر 298 K ، A ضریب ایده آل که مقدار آن برابر $1/6$ ، N_p, N_s تعداد سلول‌های سری و موازی، E_{go} فاصله باند سیلیکون و مقدار آن $1/1 \text{ eV}$ ، K ثابت بولتزمن و مقدار آن $1.38 * 10^{-23} \text{ j/k}$ می باشد. جریان خروجی سلول خورشیدی برابر است با:

$$I_{pv} = N_p * I_{ph} - N_p * I_o \left[\exp\left\{\frac{q^*(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{N_s AKT}\right\} - 1\right] \quad (5)$$

که $V_{oc} = V_{pv}$ ، R_s و R_{sh} به ترتیب مقاومت‌های معادل سری و موازی پنل خورشیدی می‌باشند که به دلیل بزرگ بودن R_{sh} از آن صرف نظر می‌کنیم.

۲-۱ سیستم کنترل و تنظیم توان

هنگامی که یک پانل خورشیدی در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرد و در آن پتانسیلی ایجاد می‌شود و باری را تغذیه می‌کند، همیشه نقطه بارگیری در نقطه توان حداکثر (P_{max}) قرار ندارد و با توجه به قیمت بالای سیستم‌های فتوولتائیک و اهمیت میزان توان تولیدی سیستم، همواره ضروری است که نقطه کار در نقطه توان حداکثر قرار گیرد تا بیشترین توان ممکن از پانل خورشیدی دریافت گردد، این عمل توسط ردیاب نقطه توان حداکثر $MPPT^3$ انجام می‌شود. سیستم $MPPT$ با تنظیم جریان آرایه و یا ولتاژ آن، نقطه کار را به سمت نقطه توان ماکزیمم $MPPT$ هدایت می‌کند. فلوجارت روش مشاهده و دنبال کردن در شکل ۲ نشان داده شده است. [2-6]



شکل (۲) فلوجارت الگوریتم تحریک و مشاهده

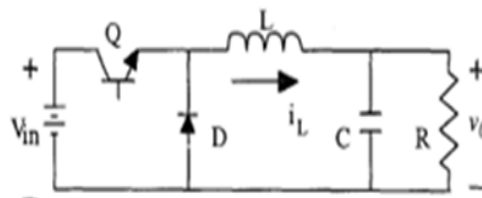
با توجه به این موضوع که ولتاژ خروجی یک پانل خورشیدی و نیز باتری‌ها (در صورت استفاده آن‌ها به عنوان ذخیره‌کننده انرژی) ثابت نمی‌ماند و هم‌چنین سطح ولتاژ مورد نیاز در مصرف‌کننده‌ها بالاست، معمولاً یک مبدل ولتاژ DC-DC به منظور بالا بردن سطح ولتاژ و تثبیت آن در یک ولتاژ مرجع مورد استفاده قرار می‌گیرد. که ما به بررسی دو نوع مبدل DC-DC پرداختیم:

۱-۲-۱ مبدل کاهنده (Buck)

شکل ۳ شمای ساده یک مبدل کاهنده را نشان می‌دهد. متوسط ولتاژ خروجی همواره کمتر یا مساوی ولتاژ ورودی می‌باشد و این عمل با تغییر سیکل کار مبدل (D) توسط سیگنال PWM انجام می‌شود. هنگام روشن بودن کلید، انرژی ورودی به بار منتقل شده و مقداری از آن نیز در سلف و خازن ذخیره می‌گردد. در مدت زمانی که کلید قطع می‌باشد، انرژی ذخیره شده در سلف معکوس شده و از طریق دیود به بار منتقل می‌شود و خازن نیز نقش تثبیت ولتاژ خروجی را در خلال این مدت به عهده دارد. وقتی که تمام انرژی سلف به بار منتقل گردید، خازن در دو سر بار دشارژ گردیده، ولتاژ خروجی شروع به کاهش می‌نماید و نهایتاً کلید مجدداً روشن و سیکل قبل دوباره تکرار می‌شود. بنابراین:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{t_{on}}{t} \leq 1 \quad (6)$$

به طوری که t_{on} زمان اتصال کلید و t دوره تناوب کلیدزنی می‌باشند. [7]



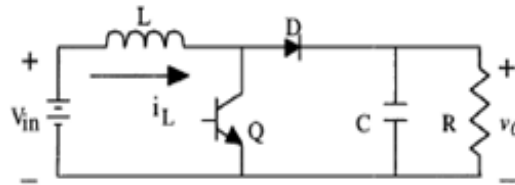
شکل (۳) مبدل کاهنده

۲-۲-۱ مبدل بوست (Boost)

شکل ۴ شمای ساده یک مبدل افزایشی را نشان می‌دهد. متوسط ولتاژ خروجی همواره بیش‌تر یا حداکثر مساوی ولتاژ ورودی می‌باشد. هنگامی که کلید وصل می‌شود، انرژی ورودی از طریق جریان در سلف ذخیره می‌شود. در زمان باز شدن کلید، ولتاژ دو سر سلف ضمن تغییر پلاریته با ولتاژ ورودی جمع و دو سر بار ظاهر می‌شود، در نتیجه ولتاژ در دو سر بار افزایش یافته و خازن نیز تا این سطح ولتاژ شارژ می‌گردد. در مدت زمانی که سلف انرژی خود را کاملاً از دست می‌دهد، انرژی ذخیره شده در خازن به بار منتقل می‌گردد. بنابراین:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{t}{t_{off}} \geq 1 \quad (7)$$

t_{on} زمان اتصال کلید و t_{off} زمان قطع کلید می باشند.



شکل (۴) مبدل افزایش دهنده

۳-۱ سیستم ذخیره توان

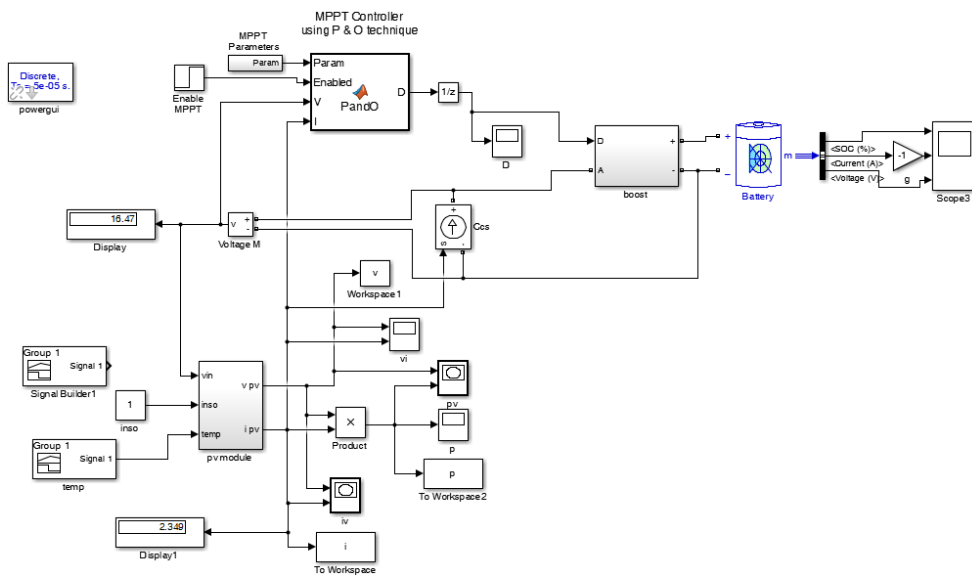
برای میکروماهواره با مدار LEO تعداد دفعات خورشید گرفتگی در یک روز زیاد است و تعداد دفعات شارژ و دشارژ باتری ها بسیار زیاد می باشد. از سوی دیگر کاهش حجم و وزن در میکروماهواره نیز از نیازهای اصلی است که باعث می شود باتری با چگالی انرژی حجمی و وزنی بالا انتخاب شود و از آنجایی با توجه به مقایسات صورت گرفته در مورد باتری Li-Ion از قبیل چگالی انرژی بالا، وزن کم، نداشتن اثر حافظه در مقایسه با NiCd و NiH₂ و توان انرژی بالا، انتخاب باتری Li-Ion برای ماهواره‌ی مورد نظر مناسب ترین گزینه به نظر می رسد. [8]

شبیه سازی

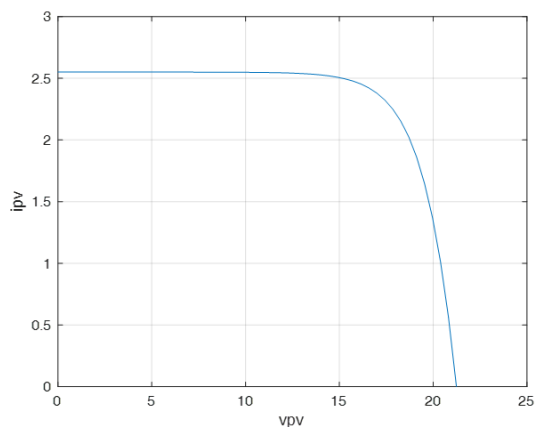
شکل ۵ بلوک دیاگرام شبیه سازی شده نمایش داده شده است. که شامل قسمت های ورودی دما و تابش، پنل خورشیدی و دنبال کننده نقطه حداکثر توان، مبدل بوست، باتری می باشد.

در قسمت پنل خورشیدی و دنبال کننده حداکثر توان از ترکیب آرایه (pv) و (MPPT) که در بلوک MPPT Controller using P & O technique مدل شده است. این بلوک از نوع Embedded Matlab Function و بر اساس تابع نوشته شده در MFile متلب می باشد. دو مقدار دما و تابش، به صورت ورودی به سیستم پنل خورشیدی اعمال می شود، قسمت پنل خورشیدی بر اساس معادلات بیان شده شبیه سازی شده است. با توجه به الگوریتم دنبال کننده نقطه حداکثر توان، دو خروجی ماکزیمم جریان و ماکزیمم ولتاژ بدست می آید.

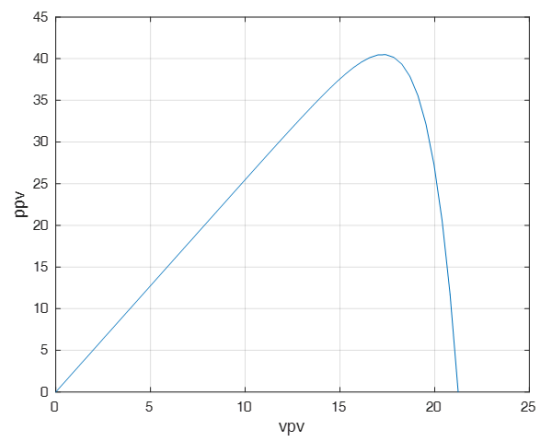
منحنی I-V و P-V برای دما ۲۵ درجه سانتی گراد و شدت تابش ۱۰۰۰ w/m² در نظر گرفته شده است:



شکل (۵) بلوک دیاگرام شبیه سازی شده

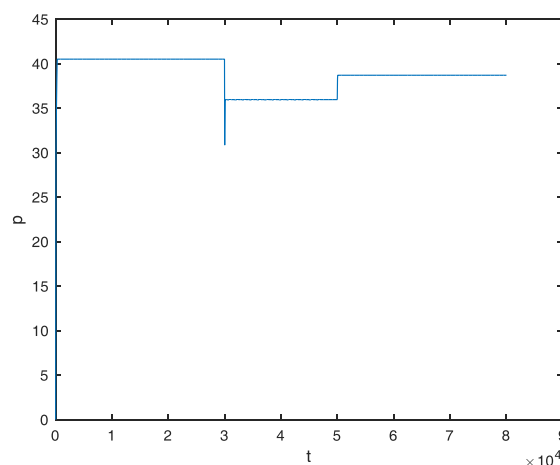


شکل (۶) منحنی I-V



شکل (۷) منحنی P-V

قسمت دنبال کننده حداکثر توان به منظور دریافت بیشترین توان ممکن از سلول خورشیدی استفاده می شود، سلول خورشیدی وقتی دارای بیشترین بازده می باشد که در نقطه حداکثر توان کار کند اما به خاطر عواملی نمی تواند بدون کنترل در این نقطه کار کند. توان تولید شده به وسیله سلول خورشیدی به عوامل اصلی تابش، دمای سلول خورشیدی و اندازه بار متصل شده به آن بستگی دارد، که در آن تابش و دمای سلول خورشیدی با زمان تغییر می کند پس نقطه حداکثر توان نیز تغییر می کند. با استفاده از الگوریتم دنبال کننده نقطه حداکثر توان می توان تقریباً ۲۰٪ توان دریافتی را افزایش داد. ما در این جا از روش P&O بهره گرفتیم. شکل ۸ توان خروجی را نشان می دهد.



شکل (۸) منحنی p با ردیابی حداکثر توان

نتایج

در این پایان نامه توانستیم یک سیستم جامع برای ماهواره طراحی کنیم که هر سه بخش تولید، کنترل و ذخیره را شبیه سازی کند. که بتواند با تغییر دما و تابش حداکثر توان را دریافت کند و آن را برای انجام ماموریت و شارژ باتری مصرف کند و در مواقعی که در حالت خورشید گرفتگی قرار می گیرد از انرژی ذخیره شده در باتری استفاده کند.

تشکر و قدردانی

اگرچه تشکر و سپاس تنها مخصوص خداوند است اما همواره تشکر از مخلوق به نوعی تشکر از خالق است پس همین جا بر خود لازم می دانم که از زحمات و راهنمایی های بی دریغ استاد ارجمند جناب دکتر میرطلایی تشکری خاص داشته باشم هم چنین از همه کسانی که من را در امر این پایان نامه یاری کرده اند کمال تشکر را دارم.

مراجع

- [1] R.J.Wai, W.H.Wang, C.Y.Lin, "High-performance stand-alone photovoltaic generation system," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no.1, pp. 240–250, Jan. 2008.
- [2] J. J. Schoeman and J. D. Van Wyk, "A simplified maximal power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays," in Proc. 13th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf., pp. 361-367, Jun.1982.

- [3] J. H. R. Enslin, M. S. Wolf, D. B. Snyman, and W. Swiegers, "Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter,"
- [4] N.Mutoh, T.Matuo. "Prediction-data-based maximum power point racking for photovoltaic power eneration system", In Proc. 3rd Anu. IEEE Power Electron, Spec. Conf., p. 1489- 1494, 202.
- [5] S. Yuvarajan & S. Xu, "Photo-voltaic power converter with a simple maximumpower-point-tracker," in Proc. 203 Int. Symp. Circuits Syst., p. 39–402, 203.
- [6] Vladimir V. R. Scarpa & Simone Buso & Giorgio Spiazzi", "Low-Complexity MPT Technique Exploiting the PV Module MP Locus Characterization", IEEE transactions on industrial electronics, Vol. 56, p. 1531-538, May 209
- [7] J.Mahdavi, A.Emadi, H.A.Toliat, "Application of State Space Averaging Method to Sliding Mode Control of PWM DC/DC Converters, IEEE Industry Applications Society October 1997.
- [8] W.X. Shen, C.C. Chan, E.W.C. Lo, K.T. Chau, "A new battery available capacity indicator for electric vehicles using neural network", Energy Conversion and Management, No. 43, pp. 817-826, 2002.
- [9] Piegari L, Rizzo R. Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. Renew Power Generation, IET 2010; 4:317–28.
- [10] Bangyin Liu, Shanxu Duan, Fei Liu, and Pengwei Xu, "Analysis and improvement of maximum power point tracking algorithm based on incremental conductance method for photovoltaic array," PEDS 2007, IEEE pp.637~641.
- [11] Mamarelis E, Petrone G, Spagnuolo G. A two-steps algorithm improving the P&O steady state MPPT efficiency. Appl Energy 2014; 113:414–21.
- [12] Piegari L, Rizzo R. Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. Renew Power Generation, IET 2010; 4:317–28.
- [13] E. Bianconi, J. Calvente, R. Giral, E. Mamarelis, G. Petrone, C. A. Ramos-Paja, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Perturb and observe MPPT algorithm with a current controller based on the sliding mode," International J. of Electrical Power & Energy Systems, vol. 44, no. 1, pp. 346-356, Jan. 2013.