دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش قدرت

عنوان

روش های بهبود راندمان سیستم های تولید انرژی خورشیدی و مقایسه آنها

استاد راهنما

دکتر منصور اجاقی

نگارش

سیده سبا رفیعی

مهر ۹۶

سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست، به امید آنکه توفیق یابم جز خدمت به خلق او نکوشم.

با تقدیر فراوان از استاد گرامی جناب دکتر منصور اجاقی که نهایت لطف را نسبت به اینجانب داشتند و بنده را از اطلاعات و راهنمایی های خود بی نصیب نگذاشتند.

چکیده ی مطالب

در این پروژه ابتدا سعی شده است تعریف درستی از سیستم های فتوولتائیک و کاربرد و نحوه ی کارکرد آن ها و نقطه ی کاری که در آن بیشینه توان ممکن را تحویل می دهند، ارائه شود. سپس دلایل کاهش بازده و اتلاف انرژی در سلول های خورشیدی و روش های افزایش بازده آن ها با استفاده از داده های عملی و نتایج شبیه سازی ها بررسی شده و معایب و مزایای آنان بیان شده است. در انتها دو روش ردیابی نقطه ی بیشینه توان خروجی این سلول ها، با شبیه سازی توسط نرم افزار متلب، بایکدیگر مقایسه شده اند.

فهرست مطالب

فصل اول
آشنایی با سیستم‌های خورشیدی

۱-۱) مقدمه

کره‌ی زمین با مقدار عظیمی از انرژی خورشیدی (به مقدار ۱۷۳۰۰۰ تراوات) برخورد دارد. این مقدار ۱۰ هزار بار بیشتر از مقدار انرژی موردنیاز جمعیت کره‌ی زمین است. این امکان وجود دارد که روزی تمامی انرژی موردنیاز زمین از طریق خورشید کسب شود؛ اما برای مطالعه‌ی نحوه‌ی تحقق این امر باید ابتدا نحوه‌ی تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته‌ی قابل‌استفاده توسط مردم و مصارف تجاری را مطالعه کرد. این کار توسط سلول‌های خورشیدی صورت می‌گیرد. با ساختارهای سیلیکونی کنونی هرسلول خورشیدی تنها حدود نیم ولت ولتاژ در اختیار ما می‌گذارد اما از تجمع سلول‌ها در یک ماژول به‌صورت سری کنار هم، می‌توان ولتاژ بیشتری تحویل گرفت.

الکترون‌ها تنها ذرات متحرک در یک سلول خورشیدی هستند. هنگام تابش نور خورشید که متشکل از بسته‌های انرژی به نام فوتون‌ها است، الکترون‌ها از مدار خود جداشده و در مدار الکتریکی (حاوی سیم بندی و بار و...) جریان می‌یابند و دوباره به محل حفره ای که در اتم‌های سیلیکون ایجاد کرده‌اند برمی‌گردند، بنابراین در این مسیر چیزی مصرف نشده یا از بین نمی‌رود و سلول‌های خورشیدی می‌توانند چندین دهه عمر مفید داشته باشند. اما چه چیزی مانع از این می‌شود که به‌طور کامل به انرژی پاک خورشیدی تکیه کنیم؟

علاوه بر سیاست‌های دولت‌مردان و سرمایه‌داران برای فروش نفت و درآمدهای آنان از سوخت‌های فسیلی آلوده‌کننده و تجدید ناپذیر، واضح است که تابش خورشید در همه‌ی قسمت‌های کره‌ی زمین و تمام اوقات یکسان نیست و شرایط محیطی و آب‌وهوایی در شدت آن تأثیرگذارند. این حقیقت باعث می‌شود به سیستم‌های گردشی و ذخیره‌ای مؤثری نیاز پیدا کنیم که انرژی را از مناطق خورشیدی با شدت تابش زیاد گرفته، ذخیره کرده و به مناطق ابری با تابش کمتر در تبادل گذارند. همچنین، بازده خود سلول‌ها نیز چالش مهمی در این زمینه ایجاد می‌کند. بسیاری از اشعه‌های برخوردکننده به سلول‌ها، به‌جای اینکه

توسط آن‌ها جذب‌شده و باعث حرکت الکترون‌ها شوند، از سطح سلول بازتاب می‌شوند و از دست می‌روند. همچنین گاهی الکترون‌هایی که با ایجاد حفره از تراز خود جداشده‌اند، قبل از ورود به مدار به محل حفره بازمی‌گردند و انرژی آن فوتون از دست می‌رود. بهترین سلول خورشیدی ساخته‌شده تاکنون تنها حدود ۵۰ درصد از انرژی تابشی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کند. بیشتر سیستم‌های تجاری درحال حاضر تنها ۱۵ تا ۲۰ درصد بازدهی دارند.

باوجود تمام این محدودیت‌ها، بازهم امکان تولید تمام توان مورداستفاده‌ی کره‌ی زمین توسط تکنولوژی خورشیدی حاضر وجود دارد. تنها به بودجه برای ساخت بهترین ساختارهای خورشیدی و مکان‌های بزرگ و مناسب از لحاظ شرایط محیطی برای نصب این ساختارها نیاز داریم. به‌طور تخمینی برای این کار به ۲۶ هزار کیلومترمربع فضا نیاز داریم که گرچه به نظر مساحت عظیمی است، اما صحرای ساهارا در آفریقا به تنهایی مساحتی بیش از ۴ میلیون کیلومترمربع را دربر می‌گیرد. علاوه بر این، باید به دنبال روش‌هایی برای افزایش بازده سلول‌های خورشیدی با هزینه‌های کمتر باشیم تا ساخت این سیستم‌ها در ابعاد بزرگ به‌صرفه و عملی باشد و تعداد ماژول‌های موردنیاز و مساحت موردنیاز به حداقل برسد و از اتلاف انرژی بسیار زیاد در دسترس، جلوگیری شود.

به امید روزی که تمام انرژی موردنیاز از انرژی پاک تابش خورشیدی و سایر انرژی‌های تجدید پذیر حاصل شود و استفاده از سوخت‌های فسیلی که تا امروز باعث گرمایش و آلودگی بی‌رویه‌ی کره‌ی زمین و ازدست رفتن منابع طبیعی ارزشمند بسیاری شده و آسیب‌های جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست وارد کرده‌اند، متوقف گردد.

۱-۲) سلول خورشیدی چیست

سلول خورشیدی[1] یا سلول فتوولتائیک[2] یک قطعه الکترونیکی حالت جامد است که درصدی از انرژی نور خورشید را، مستقیماً توسط اثر فتوولتائیک، که پدیده‌ای فیزیکی و شیمیایی است، به الکتریسیته تبدیل می‌کند.

سلول‌های خورشیدی ساخته‌شده از ویفرهای سیلیکون، کاربرد بسیاری دارند. سلول‌های تکی، برای فراهم کردن توان لازم دستگاه‌های کوچک‌تر، مانند ماشین‌حساب الکترونیکی به کار می‌روند. آرایه‌های فتوولتائیک، الکتریسیته پایدار وتجدیدپذیری را تولید می‌کنند که عمدتاً در موارد عدم وجود شبکه انتقال و توزیع الکتریکی کاربرد دارد. برای مثال می‌توان به محل‌های دور از دسترس،

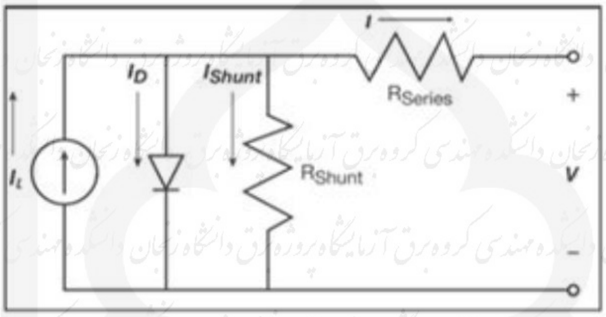
[1] Solar cell
[2] photovoltaic cell

مانند ماهواره‌های مدارگرد، کاوشگرهای فضایی و ساختمان‌های مخابراتی دور از دسترس اشاره کرد. علاوه بر این استفاده از این نوع انرژی امروزه در محل‌هایی که شبکه توزیع هم موجود است، به‌منظور کمک به کم کردن تکیه و فشار بر سوخت‌های فسیلی و دیگر دشواری‌های محیط‌زیست و نیز از دیدگاه اقتصادی مرسوم شده است.

امروزه با پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های مختلف حاصل شده است، نیازی روزافزون به انرژی پدید آمده و لذا پژوهش برای تأمین انرژی موردنیاز از منابع مختلف تجدید پذیر ادامه دارد.

یکی از این منابع که طی ۲۰ سال اخیر، از آن استفاده می‌شود، انرژی خورشیدی است. خورشید در هر ثانیه حدود ۱۰۰۰ ژول انرژی به هر مترمربع از سطح زمین منتقل می‌کند که با جمع‌آوری کردن آن می‌توان انرژی موردنیاز برای کارهای مختلفی را تأمین کرد.

هر سلول خورشیدی را می‌توان با مدار معادل الکتریکی به‌صورت شکل (۱-۱) مدل کرد:



شکل ۱-۱: مدار معادل سلول خورشیدی

که در آن R_{Series}، V، I_L، I، I_{Shunt} و I_D به ترتیب مقاومت سری، ولتاژ دو سر دیود و ولتاژ خروجی، جریان تولیدی از نور، جریان خروجی، جریان شنت و جریان دیود هستند.

۱-۳) صفحه خورشیدی

صفحه خورشیدی[1] از مونتاژ سلول‌های خورشیدی به وجود می‌آید. از کنار هم قرار دادن تعدادی سلول خورشیدی یک ماژول خورشیدی[2] ساخته می‌شود. از قرار دادن چند ماژول خورشیدی در کنار هم یک صفحه خورشیدی ساخته می‌شود. ازآنجاکه یک صفحه خورشیدی مقدار محدودی انرژی تولید می‌کند، عموماً در مصارف بزرگ ردیف‌های زیادی از صفحه خورشیدی در کنار هم قرار می‌گیرند و یک آرایه‌ی خورشیدی[3] تشکیل می‌دهند. صفحات خورشیدی، از ترکیبات نیمه هادی ساخته‌شده‌اند که وظیفه آن‌ها

[1] Solar panel
[2] PV Module
[3] PV Array

تبدیل انرژی نورانی خورشید به انرژی الکتریکی است. صفحات فتوولتائیک ازنظر تکنولوژی به ۳ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱-۳-۱) صفحات فتوولتائیک مونوکریستال[۱]

جنس تمامی سلول‌های خورشیدی رایج در سطح تولید تجاری، سیلیکون است که برای افزایش کارایی و بازدهی، مواد دیگری از طریق فرآیند تغلیظ[۲]بدان افزوده می‌گردد. فرآیند تولید سلول‌های مونو به این صورت است که یک دانه[۳]اولیه کوچک سیلیکون طی یک فرآیند کند و تدریجی به یک شمش بزرگ تا طول ۲ متر و وزن صدها کیلوگرم رشد داده می‌شود. سپس این شمش به شکل ویفرهای بسیار نازک سیلیکون باضخامت چند صد میکرون به شکل‌های مختلف (عموماً هشت‌ضلعی یا مربع) برش داده می‌شود و شکل آشنای سلول‌های مونو را تشکیل می‌دهد. یک پنل خورشیدی مونو به این صورت ساخته می‌شود که ابتدا سلول‌ها به‌صورت ماتریسی از سلول‌های سری (برای افزایش ولتاژ) و موازی (برای افزایش جریان) به هم متصل می‌شوند. سپس داخل یک قاب فلزی مستحکم نصب گردیده و یک پوشش شیشه‌ای شفاف و ضخیم برای حفاظت در برابر ضربات فیزیکی روی سلول‌ها نصب می‌شود و خروجی الکتریکی پنل توسط دو کابل با کانکتور قفل‌دار به بیرون هدایت می‌گردد.

اصلی‌ترین ویژگی یک پنل توان ماکزیمم آن و سپس ولتاژ و جریان دربار ماکزیمم است. سلول‌های مونو دارای بالاترین بازده و همچنین بیشترین قیمت بین سایر انواع می‌باشند. بازده این نوع سلول‌ها در انواع خاص در رده کاربری نظامی تا ۲۵٪ نیز می‌رسد؛ اما انواع رایج در بازار ایران دارای بازدهی بین ۱۶٪ تا ۲۰٪ می‌باشند.

۱-۳-۲) صفحات فتوولتائیک پلی کریستال[۴]

برخلاف سلول‌های مونوکریستال که از یک شمش با ساختار کریستالی یکنواخت برش می‌خورند، سلول‌های پلی‌کریستال از برش شمش‌هایی که دارای ساختار غیریکنواخت هستند به دست می‌آیند. برای تولید این نوع سلول‌ها، سیلیکون مذاب به‌جای شکل‌گیری دور یک دانه اولیه به‌صورت یکپارچه، درون یک قالب طی یک فرآیند متالورژی ساده‌تر و سریع‌تر به شکل کاملاً مشخص شکل‌گرفته و سپس به شکل ویفرهای سیلیکونی برش می‌خورد. ظاهر پوسته‌پوسته یا فلس مانند این نوع سلول‌ها نیز به سبب همین فرآیند خاص تولید است. این فرآیند کم‌هزینه‌تر و سریع‌تر سبب

---

[1] Photovoltaic Monocrystalline Panels
[2] Doping
[3] Seed
[4] Photovoltaic Polycrystalline Panels

ارزان‌تر بودن این نوع سلول‌ها و در مقابل، پایین‌تر بودن راندمان آن‌ها نسبت به سلول‌های مونو می‌شود. ساختار پنل های پلی‌کریستال نیز دقیقاً مانند پنل های مونو است که شامل ماتریسی از سلول‌ها درون یک قاب فلزی و دارای یک پوشش شیشه‌ای است. راندمان سلول‌های پلی‌کریستال تجاری بین ۱۲٪ تا ۱۶٪ و در مراحل آزمایشگاهی و تحقیقاتی حدود ۱۹٪ است.

از مزایای این صفحات می‌توان به بازده خوب، پایداری خوب، استحکام فیزیکی خوب و عدم کاهش بازده در کوتاه‌مدت و از معایب آن، وزن زیاد، ضخامت زیاد و انعطاف‌ناپذیری اشاره کرد.

۱-۳-۳) صفحات فتوولتائیک نواری[1]

صفحات فتوولتائیک نواری بسیار سبک و باریک بوده و به همین علت از انعطاف‌پذیری بالایی در کاربردهای متفاوت برخوردار هستند. ازنظر فناوری جدیدترین نوع صفحات بوده و البته به دلیل نوع نیمه‌هادی‌های مصرفی در آن‌ها از بازده (راندمان) کمتری نسبت به صفحات کریستالی برخوردار هستند.

شکل ۱-۲: الف) سلول خورشیدی سیلیکون مونوکریستالی ب) سلول خورشیدی سیلیکون پلی کریستالی پ) سلول خورشیدی نواری

همه‌چیز از رشد کریستالهای فتوولتائیک، استفاده از پوشش‌های خاص و یا استفاده از نانو تیوب‌های کربنی ما را تحریک می‌کند تا از انرژی خورشیدی ارزان‌تر و کارآمدتر استفاده کنیم.

[1] Thin Film

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه‌گیری

راه‌های مختلفی برای افزایش بازده سیستم‌های تولید انرژی خورشیدی وجود دارند. برخی از آن‌ها در راستای جلوگیری از اتلاف انرژی تابش خورشیدی دریافت شده توسط سلول‌ها و برخی در راستای یافتن موقعیت و شرایط بهینه‌ی سلول‌ها برای دریافت بیشترین انرژی هستند. پس از مطالعه این روش‌ها با مزایا و معایب آن‌ها آشنا شدیم که به‌صورت جمع‌بندی در این بخش ذکر می‌شوند.

الگوریتم انحراف و مشاهده: مزیت‌های این روش سهولت در پیاده‌سازی و عدم نیاز به دانش قبلی از ویژگی‌های پنل می‌باشند. اما معایب این روش نوسانات حول نقطه‌ی بیشینه توان و درنتیجه افزایش تلفات انرژی، بازده پایین در تابش‌های کم و رفتار نامنظم تحت تغییرات سریع سطوح نور است. پس بهتر است از روش‌های ترکیبی یا اصلاح‌شده‌ی آن استفاده شود.

الگوریتم هدایت افزایشی: این الگوریتم به برخی محدودیت‌های الگوریتم انحراف و مشاهده غلبه می‌کند اما بسیار پیچیده‌تر از آن است. دارای دقت بیشتر و نوسانات کمتری است. اما اشکال این روش ناپایداری آن و عدم عملکرد رضایت‌بخش در سطح تابش‌های کم است. در این مورد نیز بهتر است از تکنیک‌های اصلاح‌کننده استفاده شود.

الگوریتم ولتاژ ثابت: این روش الگوریتم ساده‌ای دارد و در تابش‌های کم عملکرد مطلوب‌تری نسبت به الگوریتم انحراف و مشاهده و الگوریتم هدایت افزایشی دارد. اما ممکن هرگز دقیقاً در نقطه‌ی بیشینه توان قرار نگیرد.

الگوریتم ولتاژ باز: این الگوریتم نیاز به تجهیزات بیشتر مانند سنسور و سوئیچ و... دارد که مشخصاً باعث افزایش هزینه می‌شود و همچنین دارای اتلاف انرژی گذراست.

الگوریتم پالس جریان کوتاه: این الگوریتم نیز مانند الگوریتم ولتاژ باز نیاز به تجهیزات جانبی دارد و سبب اتلاف انرژی گذرا می‌شود. اما تأثیرپذیری آن از دما کمتر است.

الگوریتم مبتنی بر منطق فازی: هزینه‌ی پیاده‌سازی این الگوریتم کمتر است. همچنین می‌توان با افزودن تعداد توابع عضویت، دقت آن را بیشتر کرد. و علاوه بر اینکه نیاز به مدل دقیق ریاضی ندارد، موجب حداقل نوسانات حول نقطه‌ی بیشینه توان می‌شود. اما تضمینی بر عملکرد مطلوب آن در صورت کاهش حد تابش نیست و بازده آن بستگی به توانایی و دانش طراح دارد. بااین‌حال بسیاری از منابع معتقدند عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.

همچنین علاوه بر تکنیک‌های معمول MPPT، می‌توان از روش‌های دیگری نیز برای حصول بازده حداکثری استفاده کرد. ازجمله این روش‌ها ردیابی دومحوره‌ی بیشینه توان با استفاده پنل کمکی است که گرچه به نظر پرهزینه‌تر می‌رسد، اما تأثیر چشمگیری در افزایش بازده داشته و در مقیاس بزرگ‌تر و مصارف تجاری، حتی باعث کاهش هزینه کلی به نسبت توان به‌دست‌آمده می‌شود. همچنین می‌توان از تکنولوژی سلول خورشیدی نوار نازک دوطرفه یا سیستم حرارتی فتوولتائیک استفاده کرد که به‌شدت از اتلاف انرژی جلوگیری کرده و سبب می‌شوند وابستگی مقدار بازده به شرایط آب‌وهوایی و محیطی بسیار کمتر شود.

با استفاده از شبیه‌سازی در این پروژه مشخص شد که بازده با استفاده از تکنیک‌های ردیابی نقطه‌ی بیشینه توان بسیار بیشتر از بازده سلول بدون استفاده از این تکنیک‌ها است. همچنین بازده دو روش انحراف و مشاهده و هدایت افزایشی، تفاوت چشمگیری باهم ندارند (در این مورد تقریباً ۰/۴ درصد). اما درهرصورت بازده روش هدایت افزایشی از روش انحراف و مشاهده بیشتر و عملکرد آن رضایت‌بخش‌تر است.

منابع و مراجع

[۱] Locke, susannah,”how does solar power work?”,Scientific American,a division of Nature America, Inc.,Oct 20 2008.

[۲] Soga, T., (editor), “Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion” (Fundamentals of Solar Cell), Elsevier, (2006)

[۳] [online]. Available: www.edu.nano.ir/paper/258

[۴] Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G. and Vitelli, M. “Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method.” IEEE Transactions on Power Electronics, 20,2005, 963-973.

[۵] Elgendy, M.A., Zahawi, B. and Atkinson, D.J., “Assessment of Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation Techniques for PV Pumping Applications“, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 3,2012, 21-33.

[۶] Dorofte, C., Borup, U. and Blaabjerg, F., “A Combined Two-Method MPPT Control Scheme for Grid-Connected Photovoltaic Systems.” 2005 European Conference on Power Electronics and Applications, Dresden, 11-14 September 2005.

[۷] Liu, C., Wu, B. and Cheung, R. "Advanced Algorithm for MPPT Control of Photovoltaic Systems." Canadian Solar Buildings Conference, Montreal, 20-24 August 2004.

[۸] Yafaoui, A., Wu, B. and Cheung, R.,"Implementation of Maximum Power Point Tracking Algorithm for Residenial Photovoltaic Systems." 2nd Canadian Solar Buildings Conference, Calgary, 10-14 June 2007.

[۹] Salas, V., Olias, E., Barrado, A. and Lazaro, A.,"Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-Alone Photovoltaic Systems.", Solar Energy Materials and Solar Cells, 90, 1555-1578, 2006.

[۱۰] Kuo, Y.C., Liang, T.J. and Chen, J.F.,”Novel Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System.” IEEE Transactions on Industrial Electronics, 48, 2001, 594601.

[۱۱] Sera, D., Kerekes, T., Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., "Improved MPPT Method for Rapidly Changing Environmental Conditions." 2006 IEEE

[۱۲] Karbakhsh, M., Abutorabi, H. and Khazaee, A., “An Enhanced MPPT Fuzzy Control of a Wind Turbine Equipped with Permanent Magnet Synchronous Generator”, 2012 2nd International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE), Mashhad, 18-19 October 2012, 77-82.

[۱۳] A Ashi, AA. Joudeh, M. Shafeey, B.H. Sababha, "A PV Solar Tracking System: Design, Implementation and Algorithm Evaluation," 5th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), pp 1-6,2014

[۱۴] S. Yilmaz, H.R. Ozcalik, O. Dogmus, F. Dincer, O. Akgol, M. Karaaslan, "Design of two axes sun tracking controller with analytically solar radiation calculations," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 43,p p 997-1005,M arch 2015.

[۱۵] H. Bentaher, H. Kaich, N. Ayadi,M. Ben Hmouda, A. Maalej, U. Lemmer, "A simple tracking system to monitor solar PV panels," Energy Conversion and Management, vol. 78, pp 872-875, February 2014.

[۱۶] P. Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Cheap two axis sun following device," Energy Conversion and Management, vol. 46, pp 11791192,M arch 2005.

[۱۷] S. Seme, G. S'tumberger, "A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and Differential Evolution for dual-axis sun tracking purposes," Solar Energy, vol. 85, pp. 2757-2770, November 20 I I.

[۱۸] W. Batayneh, A Owais,M. Nairoukh, "An intelligent fzzy based tracking controller for a dual-axis solar PV system," Automation in Construction,vol. 29,pp. 100-106,January 2013

[۱۹] Dey, Pritam, Prajapati, Ashish, Verma, Jivesh, Das, T.D., ”Computational investigation to improve the External Quantum Efficiency of thin film tandem solar cell”,IEEE, 16 February 2017, 16674879.

[۲۰] Beaucarne, Guy. “Silicon Thin Film Solar Cells.” Advances in OptoElectronics (2007).

[۲۱] Bierman, David M.,Lenert,Andrej,Chan,Walker R.,Bhatia,Bikram,Celanovic et al,Ivan,”Enhanced photovoltaic energy conversion using thermally based spectral shaping”,Nature Energy,Nature Publishing Group,May 23 2016.

[۲۲] Johnson-Hoyte, Dante, Li Sing How, Melanie,Rossi, Dante,Thaw,Myo,” Dual-Axis Solar Tracker:Functional Model Realization and Full-Scale Simulations”, Worcester Polytechnic Institute, March 10 2013.

[۲۳] Robbins, Ned Mohan; Tore M. Undeland; William P. (1995). “Power electronics: converters, applications, and design” (2 ed.). New York [u.a.]: Wiley. p. 172. ISBN 0471584088.

[۲۴] Das, Ratul, Rahman, K. M., “Effect of response time and starting point of duty cycle in maximum power point tracking operation of solar panel using PO algorithm”, IEEE, Dec., 2016, 20-22.

[۲۵] Ramesh, Dr.R., Christopher, William, “Comparative Study of P&O and InC MPPT Algorithms”, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-02, pp-402-408, 2013.

[۲۶] 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.

[۲۷] Lee, J.H., Bae, H. and Cho, B.H. ,” AdvancedIncremental Conductance MPPT Algorithm witha Variable Step Size. ” 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPEPEMC 2006, Portoroz, 30 August-1 September 2006,603-607