

# مدل سازی و شبیه سازی سیستم فتوولتائیک – باتری متصل به شبکه سراسری با طراحی کنترل کننده های لازم

پیمان نادری<sup>۱</sup> سحر محمدشارونی<sup>۲</sup>

## چکیده:

در این مقاله، سیستم تولید پراکنده با استفاده از سیستم فتوولتائیک متصل به باتری تشریح شده است. به همین منظور در ابتدا، سیستم فتوولتائیک معرفی و با اتصال یک مبدل DC/DC به عنوان کنترل کننده توان سیستم فتوولتائیک، یک مجموعه باتری نیز به خروجی مبدل وصل گردیده است. با در نظر گرفتن یک اینورتر ۲ سطحی و همچنین اتصال آن به یک ترانسفورماتور سه فاز، یک بار محلی از طریق سیستم مذکور در شرایط اتصال به شبکه سراسری تغذیه گردیده و کل سیستم از طریق یک فیلتر و یک ترانسفورماتور توزیع، به شبکه سراسری با سطح ولتاژ بالاتر متصل شده است. با توجه به این که بیشینه توان در دسترس از سیستم فتوولتائیک، به میزان دما و تابش وابسته است، از یک شبکه فازی-عصبی آموزش دیده برای تخمین بیشترین توان قابل دریافت، استفاده شده تا همواره بیشینه توان از سیستم فتوولتائیک دریافت و از طریق کنترل سویچینگ مبدل DC/DC تنظیم گردد. از طرفی دیگر، کنترل کننده دیگری نیز برای کنترل توان تبادلی بین سیستم تولید پراکنده و شبکه سراسری طراحی گردیده که عمل تنظیم توان، با توجه به وضعیت شارژ باتری انجام می گردد. در نهایت نتایج حاصل از شبیه سازی، کارایی ساختار پیشنهادی و کنترل کننده های طراحی شده را اثبات می کند.

## تاریخ دریافت مقاله:

۹۱/۹/۳

## تاریخ پذیرش مقاله:

۹۲/۱/۱۵

## کلمات کلیدی:

سیستم فتوولتائیک،  
حالت شارژ باتری،  
فرم سوگنو،  
متد سویچینگ هیستریزیس

## مقدمه

تولیدات پراکنده به‌عنوان منابع تغذیه‌کننده بارهای محلی و همچنین بهره‌برداری پیوسته و اقتصادی، مورد توجه محققین در سالیان اخیر قرار گرفته‌اند. به همین دلیل ساختارهای متفاوت به همراه الگوریتم‌های کنترلی متعددی در غالب تحقیقات مختلف ارائه گردیده‌اند. در برخی تحقیقات مسئله جزیره‌سازی و تشخیص لزوم جزیره‌سازی به منظور تغذیه مداوم بار محلی مورد توجه بوده است [10,11,14] که در آنها مسئله جزیره‌سازی در شرایطی که شبکه سراسری دچار خاموشی می‌شود بررسی گردیده و جزیره‌سازی سیستم تولید پراکنده به‌صورت هوشمندانه از روی ولتاژ ترمینال و فرکانس شبکه، برای تشخیص خطاهای گذرا از خاموشی کلی سیستم طراحی گردیده است. در [2] نیز که استاندارد IEEE 929-2000 می‌باشد، شرایط جزیره‌سازی سیستم تولید پراکنده از شبکه سراسری تشریح گردیده لیکن مسئله اصلی در رعایت این استاندارد، تشخیص خطاهای گذرا و اغتشاشات ناشی از تغییرات بار محلی، از خاموشی شبکه سراسری است [3]. در [1] نیز یک تکنیک کنترلی به منظور تشخیص لزوم جزیره‌سازی معرفی شده که در آن فقط اندازه‌گیری پارامترهای محلی و در دسترس انجام شده و از سیگنال‌های دور دست استفاده نشده است. در [4] نیز بدون استفاده از سیگنال‌های مخابراتی، اتصال سیستم تولید پراکنده و شبکه سراسری با استفاده از یک تکنیک هیبرید بر مبنای عملکرد چند اینورتر طراحی گردیده است. در [6] نیز از یک متد برای تشخیص مطمئن جزیره‌سازی بر مبنای توان راکتیو جاری شده در شرایط عادی و بررسی آن به هنگام تغییرات ناگهانی ارائه گردیده است و همین روش در [13] با در نظر گرفتن ضریب قدرت و تغییرات ناگهانی آن انجام شده است که در آن پس از تصمیم به جزیره‌سازی، فرمان قطع به سوئیچ ارسال می‌گردد. در [5] نیز با در نظر گرفتن لحظه افت شدید در توان‌های اکتیو و راکتیو، مسئله جزیره‌سازی مورد آنالیز قرار گرفت. اکنون در این مقاله مسئله تولیدات پراکنده با استفاده از یک پکیج فتوولتائیک به همراه باتری مورد بحث قرار گرفته است به نحوی که توان کشیده شده از سیستم تولید پراکنده برای تزریق به شبکه سراسری و یا دریافت از آن بر اساس وضعیت شارژ باتری تنظیم شود. هدف، جذب ماکزیمم توان قابل دریافت از سیستم فتوولتائیک در هر دما و تابش فرضی است به نحوی که اگر وضعیت شارژ باتری مطلوب نباشد، قسمتی از این توان به باتری جهت شارژ اعمال گردد. به همین منظور در ابتدا مدل سیستم فتوولتائیک تشریح و سپس کنترل‌کننده‌های لازم طراحی می‌گردند. در پایان نیز با یک سری از نتایج شبیه‌سازی، صحت ساختار پیشنهادی اثبات می‌گردد.

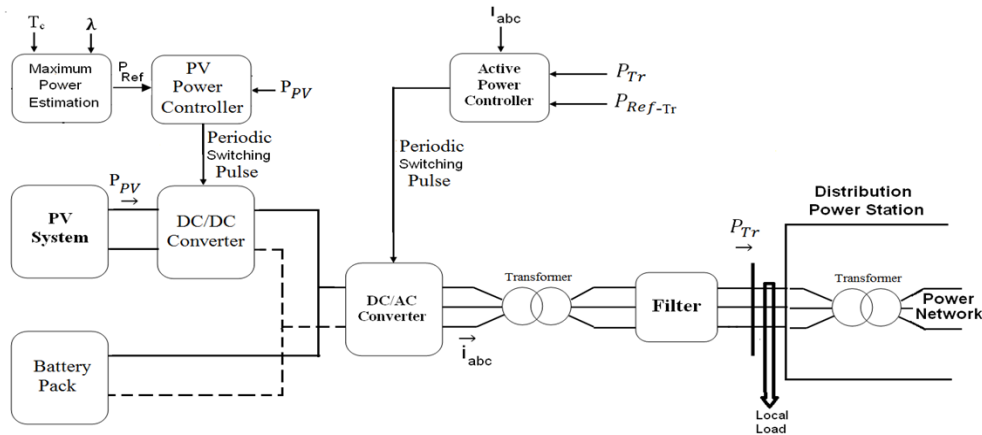
## ساختار پیشنهادی

ساختار معرفی شده در این مقاله شامل یک سیستم فتوولتائیک متصل به یک مبدل DC/DC که خروجی آن به یک پکیج باتری با ولتاژ مناسب وصل است، در شکل (۱) نشان داده شده است. خروجی مبدل، به یک اینورتر دو سطحی متصل بوده و پس از وصل به یک ترانسفورماتور و یک فیلتر هارمونیک، بار محلی از طریق سیستم تولید پراکنده و شبکه سراسری تغذیه می‌گردد. سیستم تولید پراکنده از طریق یک ترانسفورماتور توزیع به شبکه سراسری متصل است و بار محلی از طریق

سیستم تولیدپراکنده و شبکه سراسری به صورت توأم تغذیه می‌گردد. در این ساختار دو کنترل کننده مجزا به شرح زیر طراحی می‌گردد که عبارتند از:

الف- کنترل کننده توان سیستم فتوولتائیک، که در هر دما و تابش معین، توان مرجع و تعیین شده‌ای را از سیستم فتوولتائیک جذب می‌کند. این کار با تنظیم پالس سویچینگ مبدل DC/DC انجام خواهد شد و در واقع کنترل کننده پالس سویچینگ مبدل مذکور، توان دریافتی از سیستم فتوولتائیک را بر روی مقدار مرجع آن تنظیم می‌کند.

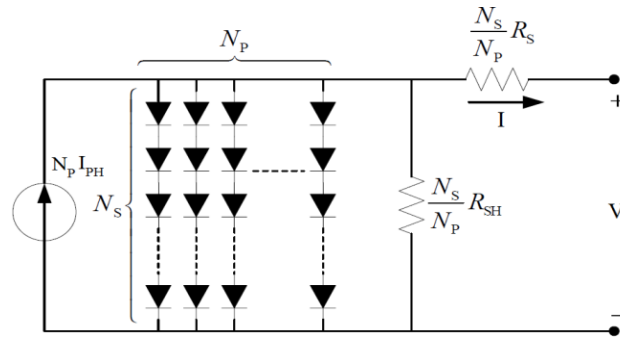
ب- کنترل کننده توان تبادلی بین سیستم تولید پراکنده و شبکه سراسری، که این کار با تنظیم پالس سویچینگ اینورتر متصل به مبدل DC/DC انجام گردیده و توان انتقالی از مجموعه فتوولتائیک/باتری را بر روی مقدار مرجع تنظیم می‌کند. بدیهی است در شرایطی که توان منتقل شده از سیستم تولید پراکنده کمتر از توان تولیدی سیستم فتوولتائیک باشد، مابقی توان جذب شده از سیستم فتوولتائیک به باتری‌ها اعمال و آنها را در شرایط شارژ قرار می‌دهد. در شرایطی که توان انتقالی بیشتر باشد، باتری‌ها مابقی توان را تامین و در وضعیت دشارژ قرار خواهند گرفت.



شکل (۱) ساختار سیستم تولید پراکنده پیشنهادی در این مقاله

### مدل‌سازی سیستم فتوولتائیک

یک سیستم فتوولتائیک متشکل از تعدادی سلول سری/موازی مانند شکل (۲) می‌باشد که در [12] نحوه مدل‌سازی آنها تشریح گردیده است. در مدل‌سازی این سیستم، یک منبع جریان که مقدار آن به تابش خورشید وابسته است، مطابق شکل (۲) استفاده می‌شود و روابط حاکم بر ولتاژ و جریان این سیستم مطابق معادلات (۱) تا (۴) می‌باشد.



شکل ۲) مدل یک سیستم فتوولتائیک متشکل از سلول‌های سری/موازی [12]

$$I_{PH} = [I_{SC} + K_I(T_c - T_{ref})] \cdot \lambda \quad (1)$$

$$I_{RS} = \frac{I_{SC}}{e^{\frac{q \cdot V_{OC}}{N_s \cdot k \cdot A \cdot T_c}} - 1} \quad (2)$$

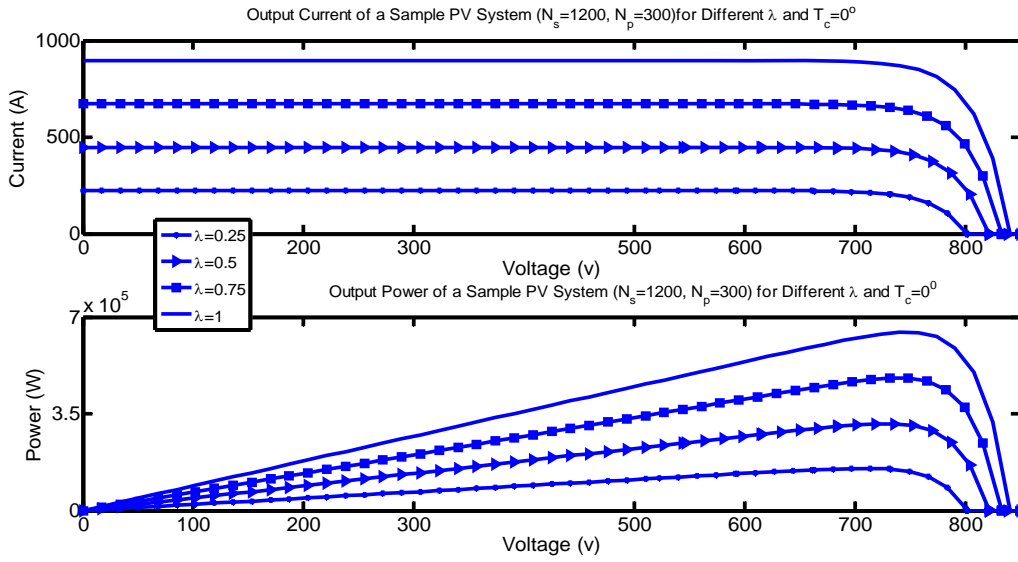
$$I_S = I_{RS} \left( \frac{T_c}{T_{ref}} \right)^3 \cdot e^{\frac{q \cdot E_G \cdot \left( \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c} \right)}{k \cdot A}} \quad (3)$$

$$I = N_p \cdot I_{PH} - N_p \cdot I_S \left[ e^{\frac{q \left( \frac{V}{N_s} + \frac{R_S \cdot I}{N_p} \right)}{k \cdot T_c \cdot A}} - 1 \right] - \frac{\frac{N_p V}{N_s} + R_S \cdot I}{R_{sh}} \quad (4)$$

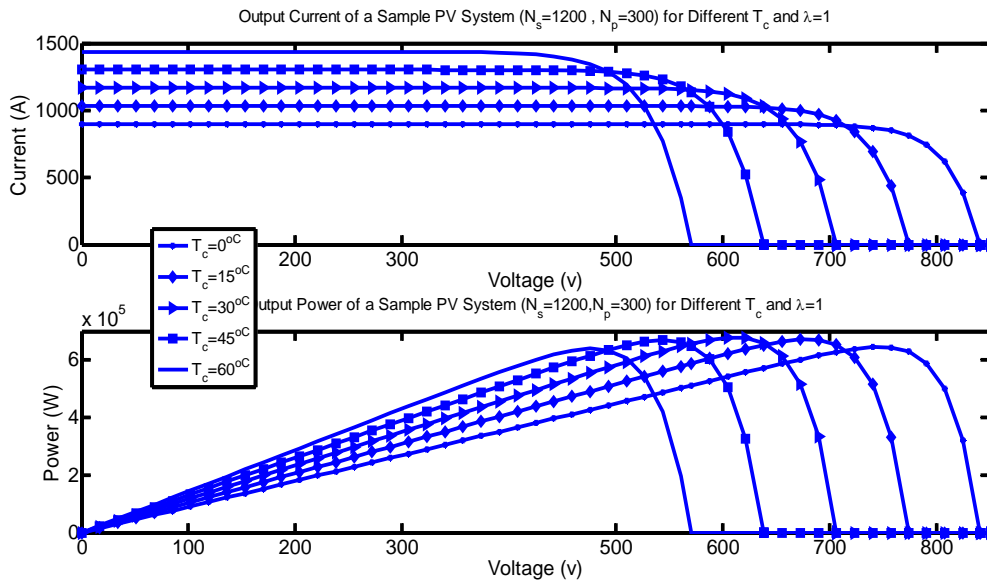
با توجه به روابط فوق، ولتاژ، جریان و در نتیجه توان سیستم به دما و تابش محیط وابسته خواهد بود. در شکل‌های (۳) و (۴)، منحنی‌های نمونه یک سیستم فتوولتائیک که پارامترهای آن در جدول ۱ آورده شده، از روی روابط (۱) تا (۴) ترسیم شده‌اند.

جدول ۱) پارامترهای یک پکیج نمونه فتوولتائیک

واحد	مقدار	سمبل	تعریف
---	1200	$N_s$	تعداد سلول‌های سری
---	300	$N_p$	تعداد سلول‌های موازی
---	0.03	$K_I$	ضریب تاثیر دما روی جریان سلول
Ampere/Celsius	$1200 \times 0.6 = 720$	$V_{OC}$	ولتاژ مدار باز پکیج در دما و تابش مرجع
Volt (V)	$300 \times 3.6 = 1090$	$I_{SC}$	جریان اتصال کوتاه سلول
Ampere (A)	$27^{\circ}C$	$T_{ref}$	دمای مرجع
Celsius	10000Ω	$R_{SH}$	مقاومت موازی در مدل سلول
KΩ	10μΩ	$R_S$	مقاومت سری در مدل سلول
μΩ	3.3	A	ضریب ایده‌آلی سلول



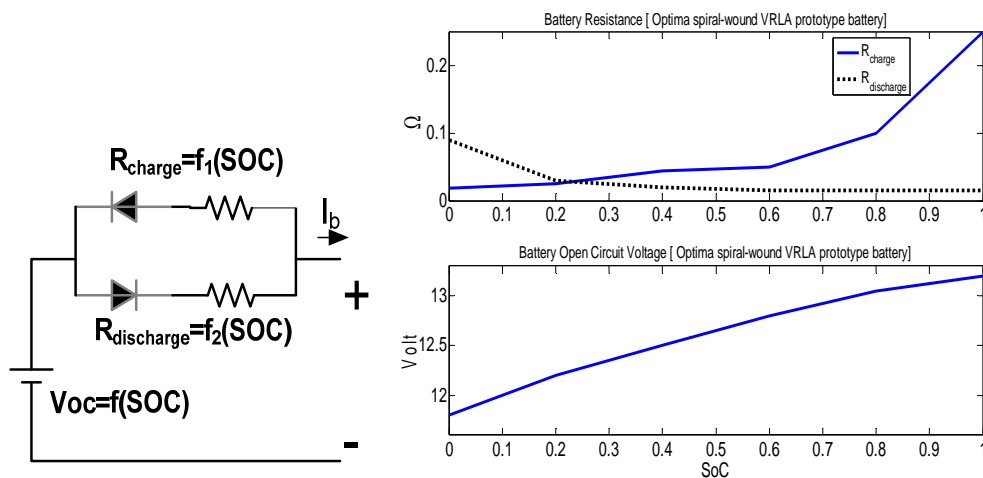
شکل ۳) منحنی ولتاژ- جریان و ولتاژ توان یک پکیج فتوولتائیک نمونه در دمای معین و تابشهای مختلف



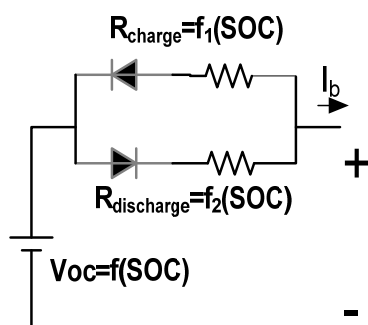
شکل ۴) منحنی ولتاژ- جریان و ولتاژ توان یک پکیج فتوولتائیک نمونه در دماهای مختلف و تابش معین

### مدل سازی باتری

یک مدل معتبر و معروف باتری، مدل مقاومت داخلی است [7,8] که در آن مقاومت درونی باتری در حالت های شارژ و دشارژ متفاوت، و متناسب با وضعیت شارژ است. ولتاژ مدار باز نیز متناسب با وضعیت شارژ تعریف می گردد. در شکل (۵)، این مدل نشان داده شده است و شکل (۶) نیز مقادیر مقاومت درونی و ولتاژ مدار باز را برای یک باتری نمونه نشان می دهد.



شکل (۵) ولتاژ مدار باز و مقاومت درونی یک باتری نمونه



شکل (۶) مدل مقاومت درونی باتری

حالت شارژ باتری که از مهمترین پارامترهای کنترلی سیستم مورد بحث در این مقاله است، از روی معادلات (۵) تا (۷) قابل محاسبه می باشد [7-9].

$$SoC = \frac{Ah - Ah_{used}}{Ah} \quad (۵)$$

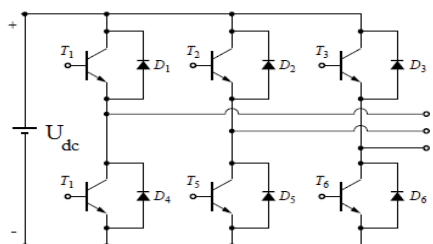
$$Ah_{used} = Ah \times (1 - SoC_{(0)}) + \int \frac{I_b}{3600} dt \quad (۶)$$

$$I_b = \frac{V_{oc} - \sqrt{4R_{int} \cdot P_{el}}}{2R_{int}} \quad (۷)$$

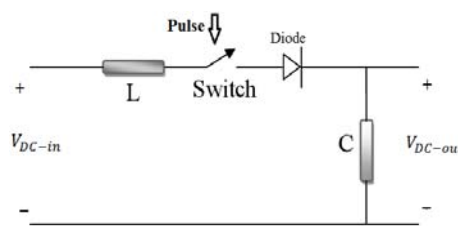
که در (۵) و (۶)،  $Ah$  و  $Ah_{used}$  به ترتیب آمپر ساعت لحظه ای باتری و آمپر ساعت مصرف شده باتری می باشند.

### مبدل‌های DC/DC و DC/AC

با توجه به ساختار پیشنهادی این مقاله که در شکل ۱ نمایش داده شده، از مبدل DC/DC برای کنترل توان جذب شده از سیستم فتوولتائیک استفاده می‌شود که این کار از طریق پهنای پالس سویچینگ این مبدل در یک فرکانس سویچینگ مشخص استفاده می‌شود. شکل (۷) این مبدل که از نوع افزایشی می‌باشد، را نشان می‌دهد. در شکل (۸) نیز یک اینورتر دو سطحی که در ساختار مورد بحث به کار رفته است، نشان داده شده و توان خروجی آن از طریق پالسهای سویچینگ کنترل خواهد شد.



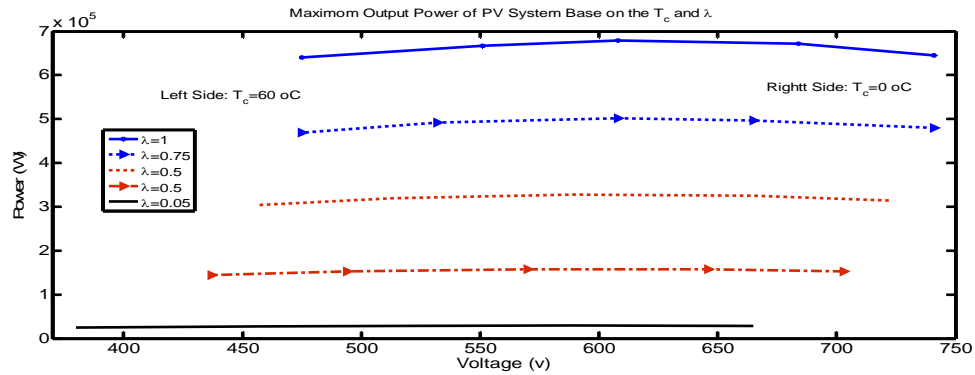
شکل (۸) اینورتر دو سطحی بکار رفته در ساختار مقاله



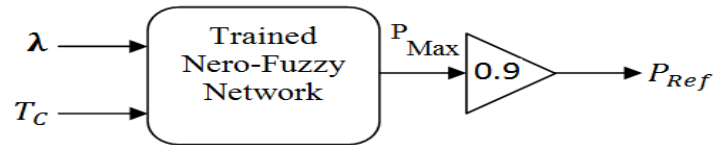
شکل (۷) مبدل DC/DC افزایشی بکار رفته در ساختار مقاله

### تخمین بیشترین توان قابل جذب از سیستم فتوولتائیک

با توجه به توضیحات گذشته، ماکزیمم توانی که از سیستم فتوولتائیک قابل جذب می‌باشد، به دو پارامتر دما و تابش محیط، به طور غیرخطی وابسته است. از این رو لازم است که برای هر سیستم فتوولتائیک با پارامترهای مشخص، حداکثر قدرت قابل دریافت تخمین زده شود. با توجه به پارامترهای آورده شده در جدول ۱ که برای سیستم فتوولتائیک در این مقاله استفاده شده است، حداکثر قدرت قابل دریافت مطابق شکل (۹) حاصل می‌شود. برای تخمین حداکثر توان قابل جذب، مقادیر شکل (۹) به عنوان داده‌های آموزشی به یک شبکه فازی عصبی مطابق شکل (۱۰)، اعمال شده است. توابع عضویت این شبکه، با تقسیم مقادیر تابش و دما به ۵ بازه مختلف مطابق شکل (۱۲) در نظر گرفته شده و پس از آموزش شبکه، سطح فازی آن مطابق شکل (۱۱) تشکیل شده است. برای جلوگیری از آسیب دیدگی سیستم فتوولتائیک، پس از تخمین حداکثر توان قابل جذب توسط شبکه فازی-عصبی، از ۹۰٪ این توان به عنوان مرجع استفاده شده و به کنترل کننده توان جذب شده از سیستم فتوولتائیک اعمال می‌شود.



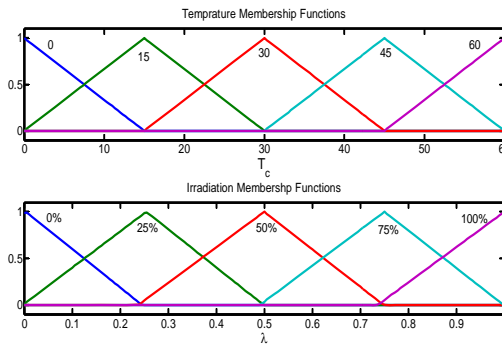
شکل ۹) حداکثر قدرت قابل دریافت از سیستم نمونه درج شده در جدول ۱ بر حسب دما و تابش



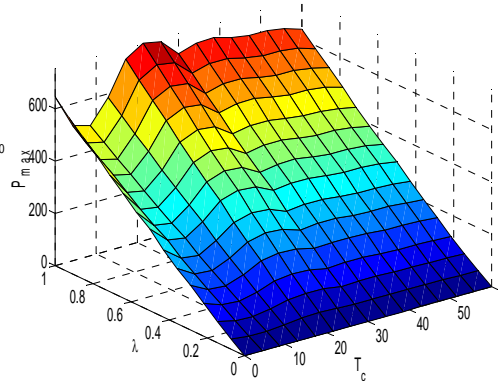
شکل ۱۰) شبکه فازی-عصبی آموزش دیده

طراحی کنترل کننده های لازم

لازم است که دو کنترل کننده مجزا برای کل سیستم طراحی شود. که این دو کنترل کننده به شرح زیر و برای اهداف نوشته شده طرح خواهند شد.



شکل ۱۲) توابع عضویت ورودی شبکه آموزش دیده



شکل ۱۱) سطح فازی شبکه فازی-عصبی نمونه

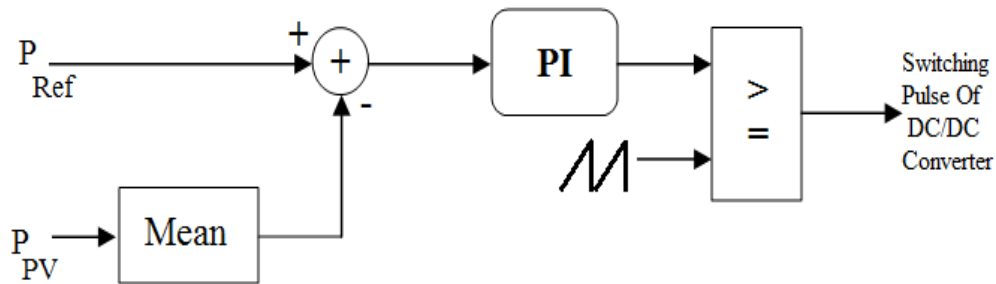


✓ کنترل کننده توان جذب شده از سیستم فتوولتائیک که می‌بایست در هر دما و تابشی، سبب جذب توان مرجع تعیین شده توسط شبکه فازی-عصبی، از سیستم فتوولتائیک شود. این کنترل کننده عمل تنظیم توان را بر اساس کنترل سویچینگ مبدل DC/DC که در بخش‌های بعدی تشریح می‌گردد، انجام می‌دهد.

✓ کنترل کننده توان انتقالی به شبکه سراسری که لازم است توان انتقالی به شبکه را مطابق با مقدار مرجع تنظیم نماید. این کار با کنترل سویچینگ اینورتر که در بخش‌های بعدی تشریح می‌گردد، انجام می‌شود. میزان توان انتقالی نیز از روی حالت شارژ باتری تعیین خواهد شد. به نحوی که اگر حالت شارژ باتری مطلوب باشد، توانی بیش از توان نامی سیستم فتوولتائیک به شبکه منتقل گردد که این موضوع به معنای تامین بخشی از توان تزریق شده توسط باتری‌ها خواهد بود. همچنین اگر حالت شارژ باتری کم باشد، توان انتقالی به شبکه کمتر از توان قابل دسترس از سیستم فتوولتائیک باشد که این موضوع، بیانگر انتقال بخشی از توان تولیدی سیستم فتوولتائیک به باتری‌ها بوده و سبب شارژ آنها خواهد شد.

#### کنترل کننده توان جذب شده از سیستم فتوولتائیک

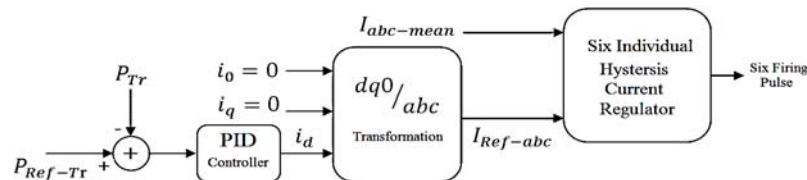
این کنترل کننده می‌بایست توان منتقل شده از سیستم فتوولتائیک را مطابق با مقدار مرجعی که توسط شبکه فازی-عصبی آموزش دیده تولید می‌شود، تنظیم کند. برای این منظور، در یک فرکانس سویچینگ مشخص، پهنای پالس سویچینگ مبدل DC/DC مطابق با شکل (۱۳)، تنظیم می‌گردد.



شکل (۱۳) نحوه تولید پالس سویچینگ مبدل DC/DC برای کنترل توان جذب شده از سیستم فتوولتائیک

#### کنترل توان منتقل شده به شبکه

برای این منظور جریان خروجی اینورتر پس از تبدیل به قاب dq0 توسط کنترل کننده سویچینگ با متد هیستریزس، تنظیم می‌گردد. مطابق با شکل (۱۴)، با تثبیت دو مولفه 0 و q، مولفه d جریان به نحوی تنظیم می‌گردد که توان انتقالی به شبکه با مقدار مرجع آن برابر شود.



شکل ۱۴) کنترل کننده توان تزریقی به شبکه از سیستم تولید پراکنده

اکنون، مطابق با الگوریتم کنترلی بحث شده در بخش ۷، مقدار مرجع توان انتقالی به شبکه سراسری می‌بایست که متناسب با وضعیت شارژ باتری تعیین گردد که برای این کار از یک جدول داده بصورتی که در جدول ۲ نشان داده شده است استفاده می‌شود.  $K_p$  ضریب توان در دسترس سیستم فتوولتائیک تعریف شده و توان انتقالی به شبکه مطابق با رابطه (۹)، تعیین می‌گردد.

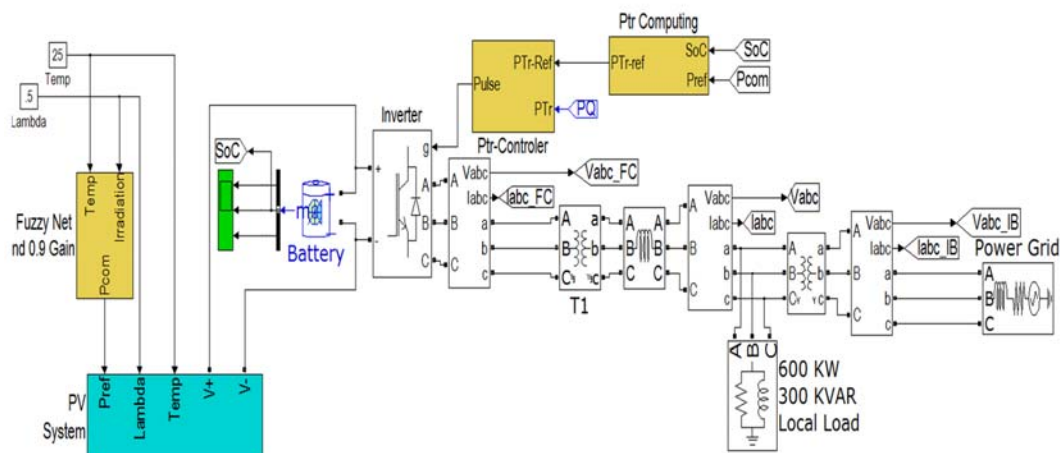
جدول ۲) ضریب توان سیستم فتوولتائیک برای تزریق به شبکه

SoC	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%
$K_p$	1.5	1.5	1.25	1.15	1	0.75	0.5

$$P_{Ref-Tr} = K_p \cdot P_{Ref-PV} \quad (۸)$$

### شبیه سازی

ساختار نشان داده شده در شکل (۱)، در محیط Matlab/Simulink مطابق شکل (۱۵)، شبیه‌سازی گردیده و پارامترهای مربوط به سایر بخش‌های سیستم نیز مطابق با مقادیر لیست شده در جداول ۳ تا ۶ می‌باشد.



شکل ۱۵) ساختار شبیه سازی شده

جدول ۳) مشخصات باتری های بکار رفته

واحد	مقدار	سمبل	توصیف
--	63	$N_b$	تعداد باتری های سری شده
A.h	100	A.h-Cap	ظرفیت هر باتری
V	12	$V_b$	ولتاژ نامی هر باتری

جدول ۴) مشخصات ترانسفورماتور متصل به اینورتر

واحد	مقدار	سمبل	توصیف
kV	0.4/0.4	$N_2/N_1$	ولتاژ نامی دو طرف
MVA	1	$S_{rate}$	قدرت نامی
Pu	500	$L_m$	اندوکتانس مغناطیس کنندگی
Pu	500	$R_c$	مقاومت تلفات هسته
Pu	0.04	$L_1+L_2$	اندوکتانس پراکندگی
Pu	0.002	$R_1+R_2$	مقاومت اهمی دو سیم پیچ

جدول ۵) مشخصات ترانسفورماتور متصل به شبکه

واحد	مقدار	سمبل	توصیف
kV	0.4/20	$N_2/N_1$	ولتاژ نامی دو طرف
MVA	1	$S_{rate}$	قدرت نامی
Pu	500	$L_m$	اندوکتانس مغناطیس کنندگی
Pu	500	$R_c$	مقاومت تلفات هسته
Pu	0.04	$L_1+L_2$	اندوکتانس پراکندگی
Pu	0.002	$R_1+R_2$	مقاومت سیم پیچ ها

جدول ۶) مشخصات بار محلی و شبکه سراسری

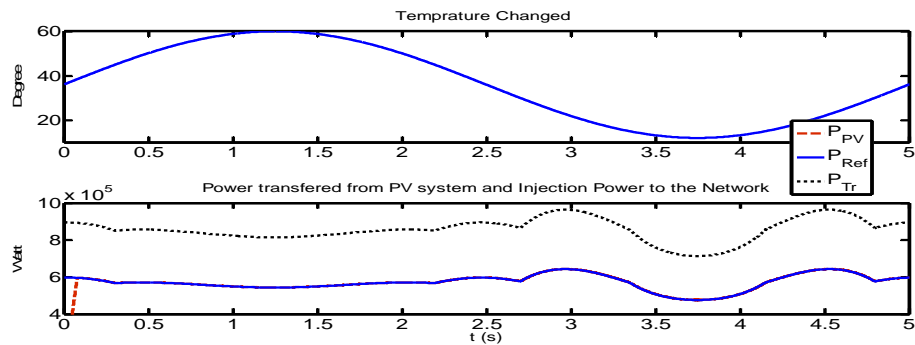
واحد	مقدار	سمبل	توصیف
MVA	500	$S_{sc}$	قدرت اتصال کوتاه شبکه
kV	20	$V$	ولتاژ نامی
HZ	50	$f$	فرکانس
kW	600	$P_L$	توان اکتیو بار محلی
KVAR	300	$Q_L$	توان راکتیو بار محلی
V	$400 \times 1.06$	$V_L$	ولتاژ نامی بار محلی

برای اثبات عملکرد کنترلی پیشنهادی، شرایط مختلفی مورد آنالیز قرار گرفته که در بخش بعدی به آنها پرداخته می شود.

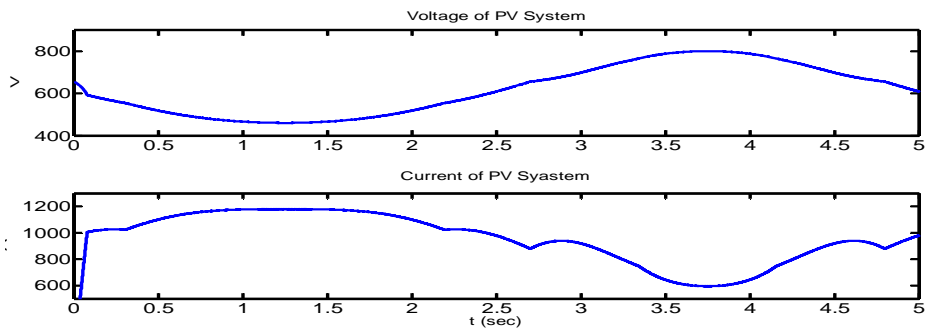
### شبیه سازی به ازای وضعیت ماکزیمم تابش، ماکزیمم حالت شارژ در باتری و دمای متغیر

در این بخش، شبیه سازی به ازای باتری با شارژ کامل و تابش حداکثری ( $\lambda=1$ ) انجام شده است. وضعیت دمای محیط، به صورت متغیر مطابق شکل (۱۶) در نظر گرفته شده است. ضمن اینکه تغییرات دمای مورد نظر، بصورت اغراق آمیز و با سرعتی بیش از حالت واقعی در نظر گرفته شده که این موضوع بدلیل کاهش مدت زمان شبیه سازی صورت گرفته و بدیهی است که اگر پاسخ به این وضعیت مطلوب باشد، در شرایط واقعی نیز که سرعت تغییرات دما کمتر است، پاسخ مطلوب به طور حتم حاصل خواهد شد. در شکل (۱۶)، علاوه بر دمای محیط، قدرت کشیده شده از سیستم فتوولتائیک (PPV)، قدرت تزریقی به شبکه سراسری (PTr) و همچنین قدرت مرجع که توسط کنترل کننده فرمان داده شده است (PCOM) نمایش داده شده است. در شکل (۱۷) نیز ولتاژ و جریان سیستم فتوولتائیک نمایش داده شده که مطابق با دمای متغیر، تغییر نموده و توسط کنترل کننده در ۹۰٪ مقدار پیک خود تنظیم گردیده است. از آنجاییکه وضعیت شارژ باتری مطلوب بوده است، قدرتی که به شبکه منتقل شده بیش از قدرت کشیده شده از سیستم فتوولتائیک است که این به معنای تولید شدن بخشی از توان

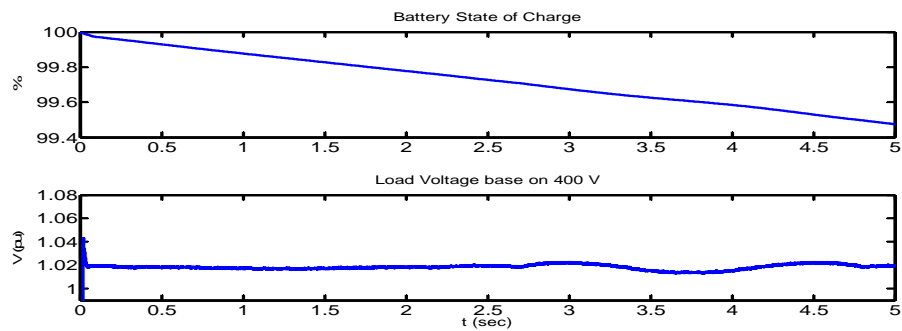
منتقل شده، توسط باتری‌ها بوده و بدیهی است که در این شرایط باتری در شرایط دشارژ باشد. این موضوع در قسمت فوقانی شکل (۱۸) مشخص است. ضمن اینکه ولتاژ بار نیز توسط اینورتر، روی مقدار  $I_{pu}$  آن چنان که در بخش پایینی شکل ۱۸، مشخص شده، تثبیت گردیده است.



شکل ۱۶) دمای محیط و توان‌های کشیده شده از سیستم فتوولتائیک و تزریقی به شبکه



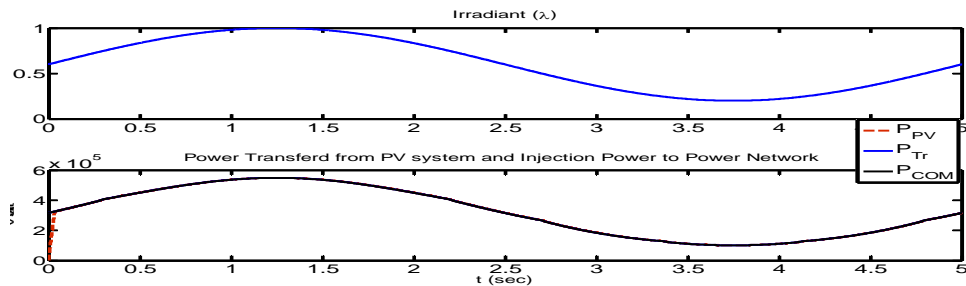
شکل ۱۷) ولتاژ و جریان سیستم فتوولتائیک



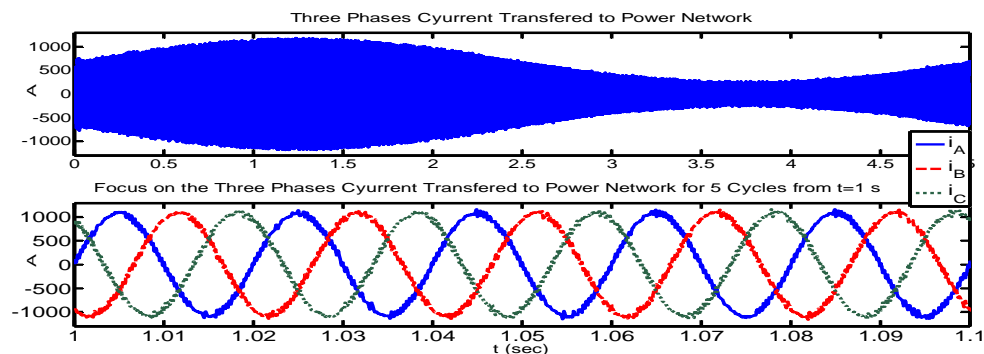
شکل ۱۸) حالت شارژ باتری و اندازه ولتاژ بار

### شبیه‌سازی به ازای دما و حالت شارژ معین و تابش متفاوت

در این بخش، شبیه‌سازی به ازای دمای معین ۲۵ درجه سانتیگراد، وضعیت شارژ ۸۰٪ باتری، و تابش متغیر مطابق با شکل (۱۹) انجام شده که بدلیل کاهش مدت زمان شبیه‌سازی، تغییرات تابش بیشتر از شرایط واقعی در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل (۱۹)، قدرت، منتقل شده به شبکه، دقیقاً با قدرت جذب شده از سیستم فتوولتائیک برابر بوده و به عبارت دیگر، باتری هیچگونه دخالتی در انتقال توان به شبکه را ندارد. عدم جذب توان از باتری، بدلیل وضعیت متوسطی است که حالت شارژ باتری داشته و لذا هیچ توانی از باتری جذب نگردیده است. با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد کنترل کننده دقیق بوده و تنظیم توان‌های انتقالی به شبکه و جذب شده از سیستم فتوولتائیک، روی مقادیر دلخواه و از پیش تعیین شده تنظیم گردیده است. در شکل (۲۰) نیز به منظور نشان دادن وضعیت هارمونیک سیستم و عملکرد فیلتر تعبیه شده، شکل موج جریان به همراه بخشی کوچک از آن نشان داده شده است و همانگونه که مشخص است، وضعیت هارمونیک جریان جاری شده، مناسب می‌باشد.



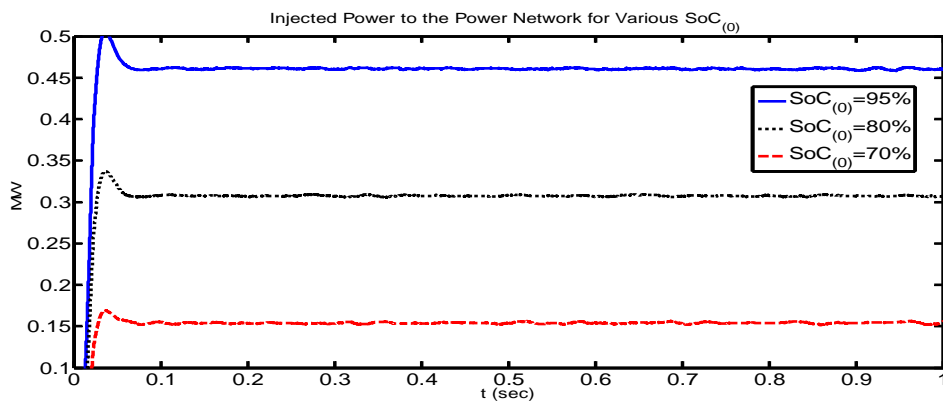
شکل (۱۹) توان‌های تزریقی به شبکه و کشیده شده از سیستم فتوولتائیک در شرایط تابش متغیر



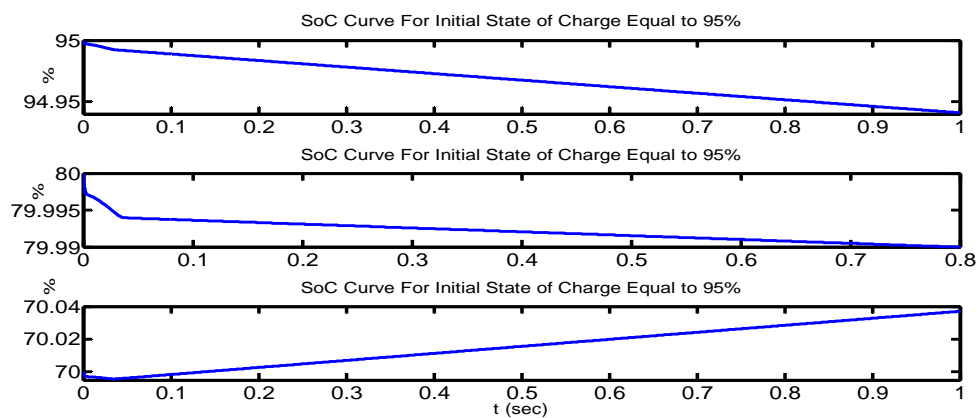
شکل (۲۰) شکل موج جریان و بخشی از آن در شرایط تابش متغیر

### شبیه سازی به ازای دما و تابش معین و حالت های مختلف شارژ باتری

در این بخش، شبیه سازی به ازای دما و تابش ثابت، ولی وضعیت های شارژ مختلف انجام شده است. قدرت اکتیو تزریقی به شبکه سراسری در شکل (۲۱) نشان داده شده و بدیهی است در شرایطی که وضعیت شارژ بهتر است، بدلیل مشارکت باتری در تزریق توان اکتیو، قدرت بیشتری به شبکه منتقل شده است. در شکل (۲۲) نیز، وضعیت شارژ باتری نشان داده شده است. با توجه به این شکل، وقتی شارژ باتری بیشتر باشد، دشارژ باتری با سرعت بیشتری انجام شده است. همچنین همانگونه که در بخش پایینی شکل (۲۲) مشخص است، در وضعیت ۷۰٪ شارژ، باتری در وضعیت شارژ شدن قرار گرفته و حالت شارژ افزایشی است.



شکل (۲۱) توان تزریقی به شبکه در وضعیت های مختلف شارژ باتری



شکل (۲۲) تغییرات حالت شارژ باتری در شرایط مختلف شارژ باتری

## نتیجه‌گیری

در این مقاله با ارائه یک ساختار مناسب، از یک سیستم فتوولتائیک به همراه یک پکیج باتری، به عنوان منبع تولید پراکنده با طراحی کنترل کننده های مناسب ارائه گردید. نتایج حاصله از این مقاله نشان داد که می‌توان در هر دما و تابشی، ماکزیمم توان قابل دریافت از سیستم فتوولتائیک را تخمین و با کنترل سویچینگ یک مبدل، مقدار توان لازم را از سیستم فتوولتائیک دریافت نمود. از طرفی دیگر، با طراحی یک کنترل دیگر، و از طریق کنترل سویچینگ اینورتر، توان منتقل شده از مجموعه باتری و سیستم فتوولتائیک را مدیریت و بین دو منبع باتری و فتوولتائیک به نحوی تقسیم نمود که همواره حالت شارژ باتری در وضعیت مطلوب بماند. با توجه به نتایج حاصله، می‌توان نتیجه گرفت که چنین ساختاری به عنوان یک منبع تولید پراکنده مطلوب، به طور تحقق پذیری مناسب است و با طراحی مناسب کنترل کننده های لازم، مدیریت مطلوبی برای مدیریت توان قابل انجام می‌باشد. برای ادامه روند تحقیقات نیز، ارائه ساختارهای مختلف برای کنترل کننده‌ها به منظور عملکرد بهینه‌تر و همچنین ساختارهای مختلف سویچینگ مبدل‌ها به منظور کاهش تلفات کلید زنی، و یا کاربرد اینورترهای چند سطحی پیشنهاد می‌گردد.

## فهرست علائم اختصاری

$A$	ضریب ایده‌آلی مربوط به مدل سلول فتوولتائیک
$I_b$	جریان باتری
$I_{ph}$	منبع جریان مربوط به مدل سیستم فتوولتائیک
$I_{sc}$	جریان اتصال کوتاه در دیود به کار رفته در مدل سلول فتوولتائیک
$I_{RS}$	جریان اشباع معکوس در دیود بکار رفته در مدل سلول فتوولتائیک
$K$	ثابت بولتزمن
$K_I$	ضریب تاثیر دما در جریان دیود بکار رفته در مدل سلول فتوولتائیک
$N_s$	تعداد سلولهای سری در سیستم فتوولتائیک
$P_{PV}$	توان سیستم فتوولتائیک
$P_{Tr}$	توان تزریق شده از سیستم تولید پراکنده به شبکه سراسری
$P_{Max-PV}$	ماکزیمم توان قابل دسترس از سیستم فتوولتائیک
$q$	مقدار عددی الکترون
$N_p$	تعداد سلولهای موازی در سیستم فتوولتائیک
$R_s$	مقاومت سری هر دیود در سیستم فتوولتائیک
$R_{sh}$	مقاومت موازی هر دیود در سیستم فتوولتائیک
$R_{int}$	مقاومت داخلی مدل باتری
$T_c$	دمای محیط اطراف سیستم فتوولتائیک
$T_{ref}$	دمای مرجع در مدل سیستم فتوولتائیک
$V_{oc}$	ولتاژ مدار باز در مدل باتری
$\lambda$	ضریب تابش در مدل سیستم فتوولتائیک

## منابع

- [1] Barsali, S., Ceraolo, M., Pelachi, P., and Poli, D., 2002, "Control Techniques of Dispersed Generators to Improve the Continuity of Electricity Supply," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, January 27–31, pp. 789–794.
- [2] IEEE Std. 929-2000, 2000, "IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems."
- [3] IEEE Std. 1547-2003, 2003, "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems."
- [4] Liang, J., Green, T. C., Weiss, G., and Zhong, Q., 2003, "Hybrid Control of Multiple Inverters in an Island-Mode Distribution System," IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist (PESC'03), Acapulco, Mexico, June 15–19, pp. 61–66.
- [5] Li, Y., Vilathgamuwa, D. M., and Loh, P., 2004, "Design, Analysis and Real Time Testing of a Controller for Multibus Microgrid System," IEEE Trans. Power Electron., 19, pp. 1195–1204.
- [6] Marei, M. I., El-Saadany, E. F., and Salama, M. M. F., 2004, "A Novel Control Algorithm for the DG Interface to Mitigate Power Quality Problems," IEEE Trans. Power Deliv., Vol.19, No.3, pp. 1384–1392.
- [7] MATLAB Software Guide, Version 2010, Power System Toolbox, Electrical Sources Part, The MathWorks Inc., Natick, MA.
- [8] Naderi, P., and Farhadi, A., 2012, "Non-Driven Wheels Application for Intelligent Multi-Objective Control of Hybrid Vehicles," Int. J. Rob. Control, Vol.27, No.2, pp. 185–197.
- [9] Naderi, P., and Mohammadi, T., 2011, "Distributed Generation, Using Battery Pack and Fuzzy Controller for Charge/Discharge Control," J. Power Energy Syst., Vol.5, No.3, pp. 330–342.
- [10] Nigm, K., and Hegazy, Y., 2003, "Intention Islanding of Distributed Generation for Reliability Enhancement," IEEE Power Engineering Society General Meeting (PES 2003), Toronto, Canada, July 13–17, pp. 208–213.
- [11] Pilo, F., Celli, G., and Mocci, S., 2004, "Improvement of Reliability in Active Networks With Intentional Islanding," IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring, and Power Technologies (DRPT 2004), Hong Kong, April 5–8, pp. 474–479.
- [12] Tsai, H.-L., Tu, C.-S., and Su, Y.-J., 2008, "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK," Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS 2008), San Francisco, October 22–24.
- [13] Zeineldin, H., Marei, M. I., El-Saadany, E., and Salama, M. M. A., 2004, "Safe Controlled Islanding of Inverter Based Distributed Generation," IEEE Power Engineering Specialist Conference (PESC'04), Aachen, Germany, June 20–25.
- [14] ZeinElDin, H. H., Bhattacharya, K., El-Saadany, E. F., and Salama, M. M. A., 2006, "Impact of Intentional Islanding of Distributed Generation on Electricity Market Prices," IEE Proc.: Gener., Transm. Distrib., Vol. 153, No.2, pp. 147–154.