

## ردیابی نقطه ماکزیمم توان پنل‌های خورشیدی با استفاده از مبدل نیمه منبع امپدانس

### احد مختارپور

استادیار، گروه مهندسی برق، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

### چکیده

باتوجه به استراتژی عملکرد سیستم کنترل، پنل‌های خورشیدی می‌توانند در نقاط کار متعددی کار کنند که نقطه ماکزیمم توان نیز یکی از آن نقطه‌ها است. استفاده از اینورترهای بدون ترانس برای منابع توان انرژی‌های تجدیدپذیر متصل به شبکه یک واحد ضروری است. چنین اینورترهایی به دلیل داشتن امتیازات کاهش اندازه، وزن و بهبود بازده مورد توجه قرار گرفته‌اند. با وجود مزایای ذکر شده، این اینورترها با محدودیت‌هایی از قبیل برقراری جریان نشتی و اعوجاج هارمونیک (THD) در خروجی اینورتر و جریان تزریقی به شبکه روبرو هستند. در این مقاله ردیابی ماکزیمم توان با استفاده از منطق فازی و مبدل نیمه منبع امپدانس در پنل‌های خورشیدی مورد تحلیل و شبیه‌سازی قرار خواهد گرفت. با هدف مدیریت بهره غیرخطی ولتاژ اینورتر نیمه منبع امپدانس، روش مدولاسیون پهنای پالس سینوسی استفاده شده است. شبیه‌سازی و کد نویسی در نرم افزار MATLAB صورت گرفته و نتایج در شرایط عملکردی ارائه خواهد شد.

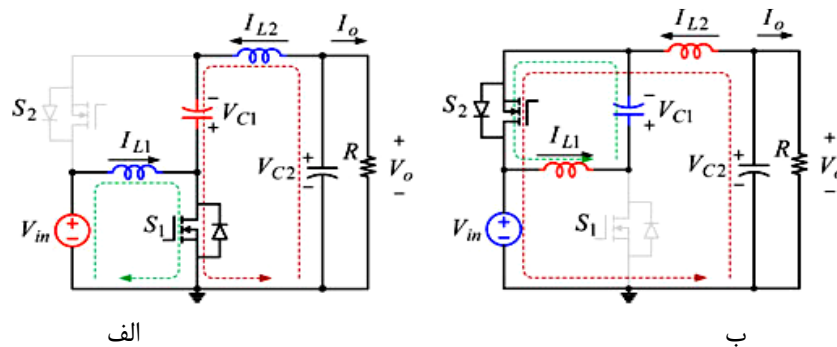
**واژگان کلیدی:** ماکزیمم توان، مبدل نیمه امپدانس، منطق فازی

## مقدمه

مسایل و مشکلات زیست محیطی بطوری است که امروزه حفظ سلامت اتمسفر از مهمترین پیش شرطهای توسعه اقتصادی پایدار جهانی به شمار می آید. از این رو است که دهه های آینده بعنوان سالهای تلاش مشترک جامعه انسانی برای کنترل انتشار کربن، کنترل محیط زیست و در واقع تلاش برای تداوم انسان بر روی کره زمین خواهد بود. بنابراین استفاده از منابع جدید انرژی به جای منابع فسیلی امری الزامی است. سیستمهای جدید انرژی در آینده باید متکی به تغییرات ساختاری و بنیادی باشد که در آن منابع انرژی بدون کربن نظیر انرژی خورشیدی و بادی و زمین گرمایی و کربن خنثی مانند انرژی بیوماس مورد استفاده قرار می گیرند. بدون تردید انرژی های تجدیدپذیر با توجه به سادگی فن آوریهایشان در مقابل فن آوری انرژی هسته ای از یک طرف و نیز بدلیل عدم ایجاد مشکلاتی نظیر زباله های اتمی از طرف دیگر نقش مهمی در سیستمهای جدید انرژی در جهان ایفا می کنند. در هر حال باید اذعان داشت که در عمل عوامل متعددی بویژه هزینه اولیه و قیمت تمام شده بالا، عدم سرمایه گذاری کافی برای بومی نمودن و بهبود کارایی تکنولوژیهای مربوطه، لحاظ نکردن هزینه های خارجی در معادلات اقتصادی، نبود سیاستهای حمایتی در سطح جهانی، منطقه ای و محلی، نفوذ و توسعه انرژی های نو را بسیار کند و محدود ساخته است. ولی پژوهشگران و صنعتگران همواره تلاش خود را جهت رفع این مشکلات مبذول می دارند. فتوولتاییک، یکی از انواع سامانه های تولید برق از انرژی خورشیدی میباشد. در این روش با بکارگیری سلولهای خورشیدی، تولید مستقیم الکتریسیته از تابش خورشید امکانپذیر می شود. میتوان فتوولتاییک را در دسته فناوریهای انرژیهای تجدید پذیر قرار داد. اگر تا به حال انرژی خورشیدی رقیبی جدی برای سوختهای فسیلی محسوب نشده است، به دلیل پایین بودن تاریخی قیمت سوختهای فسیلی بوده است. اگر چه هنوز هم فناوری استفاده از انرژی خورشیدی به بلوغ خود نرسیده است، اما رسیدن به این تکامل نزدیک است. بسیاری از کشورهای جهان در تلاشند تا با جایگزینی انرژی خورشیدی در تولید حرارت و الکتریسیته حداکثر استفاده از این منبع انرژی را به دست آورده و زیانهای ناشی از مصرف سوختهای فسیلی را کاهش دهند. ظرفیت نصب شده فتوولتاییک در جهان به سرعت در حال رشد است. در حال حاضر سیستم های فتوولتاییک و مقدار انرژی تامین شده توسط آنها به نسبت سایر منابع تولید انرژی بسیار کمتر می باشد. اما همانطور که گفته شد با افزایش روز افزون استفاده از این انرژی مقدار نفوذ انرژی خورشیدی در شبکه افزایش می یابد. این مقدار نفوذ می تواند در شرایط کاری شبکه توزیع نقش زیادی داشته باشد. با افزایش روزافزون استفاده از انرژی فتوولتاییک و با بزرگتر شدن اندازه و وسعت این نیروگاه ها مسائل ناخواسته ای در سیستم توزیع برق به وجود می آید. در سیستم های توزیع برق که برنامه ریزی و زمان بندی توان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و حاشیه سود شرکت های توزیع به دقت آنها در پیش بینی توان مصرفی و بالانس کردن میزان تولید برق با آن میسر می گردد، تغییرات توان از جمله مسائل جدی برای شرکت های توزیع در زمینه بهره برداری از منابع تولید انرژی فتوولتاییک است. پنلهای خورشیدی به صورت آبی به تغییرات در میزان تابش واکنش نشان می دهند. این تغییرات صرفه نظر از اندازه و توان نیروگاه خورشیدی می تواند برای شرکت های توزیع مسئله برانگیز باشد. این بدان دلیل است که در هوای نیمه ابری این پنل ها با تغییرات تابش ناگهانی زیادی در طول روز مواجه می شوند و این مسئله با تاثیری که بر روی توان تولیدی این واحد ها دارد می تواند بر روی سیستم توزیع اثرات قابل توجهی داشته باشد. سلولهای خورشیدی بخاطر طبیعت غیر خطی دارای منحنی های ولتاژ و جریان غیرخطی بوده و افزایش جریان باعث افت ولتاژ خروجی میگردد. بطوریکه در محدوده ای از شکل پنل بصورت منبع جریان ثابت عمل میکند. روش استخراج ماکزیمم توان از پنل های خورشیدی بصورتی عمل خواهد کرد که نقطه کاری را در حالتی قرار دهد تا توان حاصله از پنل ماکزیمم گردد. روشهای متعددی در این راستا وجود دارد. از این روشها می توان به آشفتن و مشاهده کردن (Perturb and observe)، روش های رسانایی افزایشی (Incremental conductance) و ولتاژ ثابت اشاره کرد.

## اینورترهای نیمه منبع امپدانس

در این نوع از اینورترها، با تغییر سیکل کاری از صفر تا نیم در خروجی، بهره ولتاژ مثبت خواهد بود و در عین حال با تغییر سیکل کاری بین نیم و ۰/۶۶۷ پلاریته ولتاژ منفی خواهد بود. با تنظیم سیکل کاری در نیم، دامنه ولتاژ خروجی برابر صفر میشود. شکل (۱-الف) و (۱-ب) دو وضعیت کاری ذکر شده را نشان می دهد. در وضعیت اول، کلید  $S_1$  هدایت می کند. در این مد، خازن  $C_1$  و منبع ولتاژ دو سلف را شارژ می کنند. در مد دوم، کلید  $S_2$  هدایت می کند و سلف ها به منابع توان تبدیل می شود.



شکل (۱): اینورتر منبع امپدانس در دو حالت کاری. (a) سوئیچ  $S_1$  هدایت می کند. (b) سوئیچ  $S_2$  هدایت می کند

جهت جریان مرجع سلف و ولتاژ مرجع خازن در شکل (۱-الف) و (۱-ب) برای معادلات حالت دائم اشاره شده است. وضعیت سیستم اعم از ولتاژ و جریان و سیکل کاری در حالت دایم، برای عملکرد اینورتری به صورت زیر است.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1-2D}{1-D} \quad (1)$$

$$V_{C1} = \frac{D}{1-D} V_{in} \quad (2)$$

$$I_{L2} = -I_o \quad (3)$$

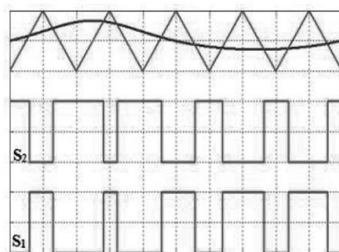
$$I_{L1} = -\frac{D}{1-D} I_o \quad (4)$$

$$V_o = V \sin \omega t \quad (5)$$

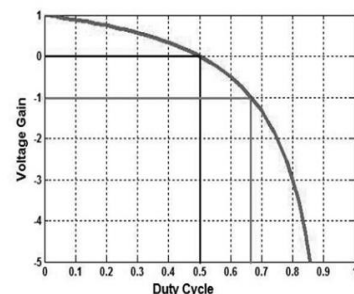
$$M = \frac{V}{V_{in}} \quad (6)$$

$$D = \frac{1 - M \sin \omega t}{2 - M \sin \omega t} \quad (7)$$

$$D' = \frac{1}{2 - M \sin \omega t} \quad (8)$$



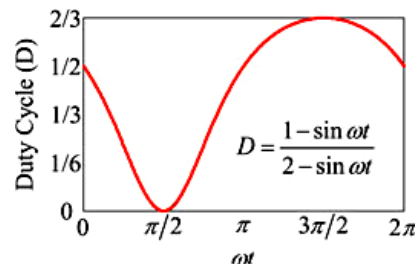
(ب)



(الف)

شکل (۲): مدولاسیون اینورتر نیمه منبع امپدانس. (الف) رابطه بهره و سیکل کاری، (ب) سیگنال مرجع و حامل

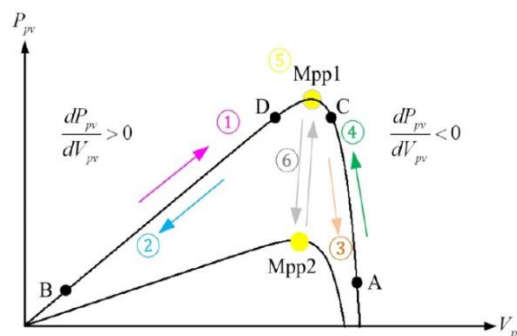
شکل (۲) رابطه بهره و سیکل کاری را به همراه سیگنال مرجع و حامل برای یک اینورتر نیمه امپدانسی نشان می دهد. همچنین شکل (۳) ناحیه عملکرد سیکل کاری را بر حسب زاویه ولتاژهای خروجی مختلف نشان می دهد.



شکل (۳): ناحیه عملکرد سیکل کاری اینورتر منبع نیمه امپدانسی با ضریب مدولاسیون یک

### ردیابی نقطه حداکثر توان

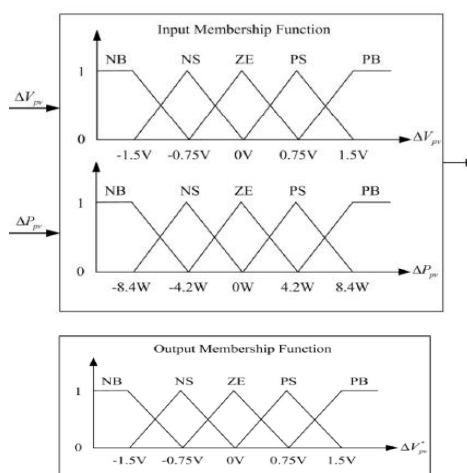
فوتوولتایک قابلیت تامین انرژی در مراکز شهری بدون گسترش سیستم توزیع با مشکلاتی که در راه اندازی آنها مطرح است را دارد. در یک طبقه بندی کلی، روشهای ردیابی ماکزیمم توان به دو دسته آنالین و آفلاین تقسیم بندی می شوند. روشهای آفلاین بر مبنای مدل در دسترس از سلول خورشیدی عمل می کنند و روشهای آنالین نیازی به مدل ندارند. با توجه به مشخصه توان مختص به سیستم فوتوولتایک که با منحنیهای ولتاژ و جریان پنل مشخص می گردد، توان حداکثری که قابل بهره برداری از سیستم است مشخص می شود. نمودارهای توان دارای یک مقدار ماکزیمم هستند که همراه با جریان و ولتاژ متناظر با این توان ماکزیمم، اهداف کنترلی را برای رسیدن به بهره برداری در شرایط ایده آل، تعریف می کنند. فرایند مشخص کردن مقدار ولتاژ یا جریان حداکثر توان به کمک الگوریتمهای ردیابی نقطه حداکثر توان و تنظیم ولتاژ یا جریان خروجی پنل خورشیدی در تغییرات دما و شدت نور صورت می گیرد. از منظر دیگر، الگوریتمهای مورد استفاده جهت ردیابی حداکثر توان را میتوان به سه دسته، روشهای مبتنی بر اغتشاش و مشاهده، روشهای مبتنی بر امپدانس افزایشی و الگوریتمهای مبتنی بر شبکه عصبی تقسیم کرد. همچنین الگوریتمهای مختلف ردیابی نقطه حداکثر توان از دیدگاهی دیگر را میتوان به دو دسته وابسته به مدل و مستقل از مدل دسته بندی کرد. روشهای مبتنی بر شبکه عصبی که معمولاً با گذر زمان و تغییر مشخصه پنل خورشیدی نیازمند تنظیم مجدد می باشند غالباً جزو دسته وابسته به مدل می باشند. روشهای مبتنی بر مدل بر اساس داده های اولیه پنل خورشیدی، شدت نور، دما، ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه، سیگنال کنترلی را تخمین می زنند. در هنگام بهره برداری از سیستم، سیگنال کنترلی بر حسب زمان با فرض ثابت بودن شرایط جوی ثابت بوده و هیچ گونه محاسباتی برای اصلاح توان خروجی پنل انجام نمی شود. در روشهای بدون مدل معمولاً مقادیر لحظه ای ولتاژ و جریان برای تولید سیگنال کنترلی استفاده می شود. در نتیجه سیگنال کنترلی این روشهای برخلاف روشهای مبتنی بر مدل مقدار ثابتی نبوده و در حالت پایدار نیز اطراف مقدار بهینه خود در حال نوسان می باشد.



شکل (۴): منحنی توان یک پنل خورشیدی

## منطق فازی

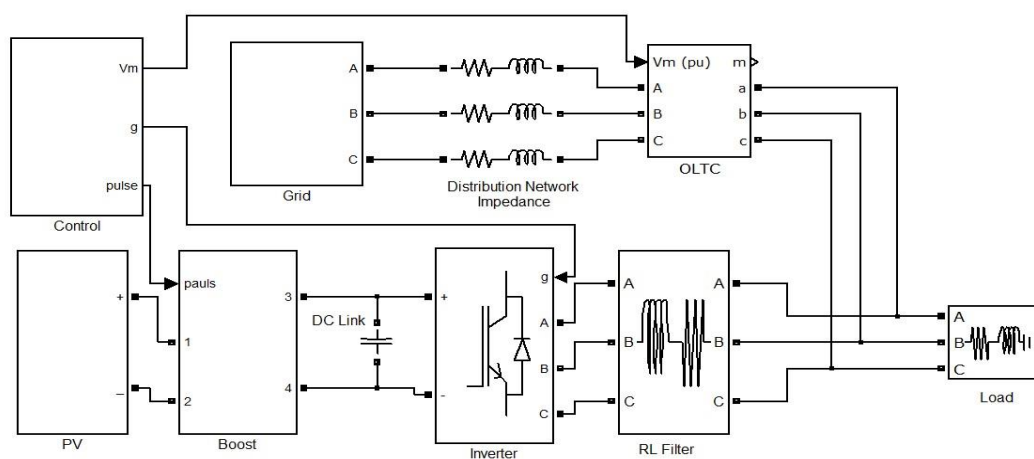
اگر بخواهیم نظریه مجموعه های فازی را تعریف کنیم، باید بگوییم که نظریه ای است برای اقدام در شرایط عدم اطمینان؛ این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم هایی را که نادقیق هستند، صورت بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. دنیای واقعی ما بسیار پیچیده تر از آن است که بتوان یک توصیف و تعریف دقیق برای آن به دست آورد؛ بنابراین باید برای یک مدل، توصیف تقریبی یا همان فازی که قابل قبول و قابل تجزیه و تحلیل باشد معرفی شود. با حرکت به سوی عصر اطلاعات، دانش و معرفت بشری بسیار اهمیت پیدا می کند. بنابراین ما به فرضیه ای نیاز داریم که بتواند دانش بشری را به شکلی سیستماتیک فرموله کرده و آن را به همراه سایر مدل های ریاضی در سیستم های مهندسی قرار دهد. شکل (۵) توابع عضویت ورودی و خروجی مورد استفاده در این مقاله را نشان می دهد.



شکل (۵) - توابع عضویت ورودی و خروجی مورد استفاده در منطق فازی

## شبیه سازی

شکل (۶) مدار قدرت مورد شبیه سازی را نشان می دهد. جدول (۱) پارامترهای پنل خورشیدی مورد استفاده در مقاله و جدول (۲) مشخصات مبدل نیمه امپدانسی را نشان می دهد. ولتاژ ماکزیمم شبکه نیز ۱۱۰ ولت در نظر گرفته شده است. تحت مدولاسیون پیشنهادی، خروجی مبدل، یک ولتاژ سینوسی با اعوجاج هارمونیک پایینی خواهد بود. ولتاژ خروجی مبدل در شکل (۷) به نمایش درآمده است. جریان های سلف  $L_1$  و  $L_2$  نیز به ترتیب در اشکال (۸) و (۹) به نمایش درآمده است. در مبدل مورد مطالعه، استرس ولتاژ بر روی کلیدهای قدرت نیز مورد بررسی قرار گرفته است. استرس ولتاژ دو کلید قدرت  $S_1$  و  $S_2$  در اشکال (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۶) مدار قدرت تحت شبیه سازی

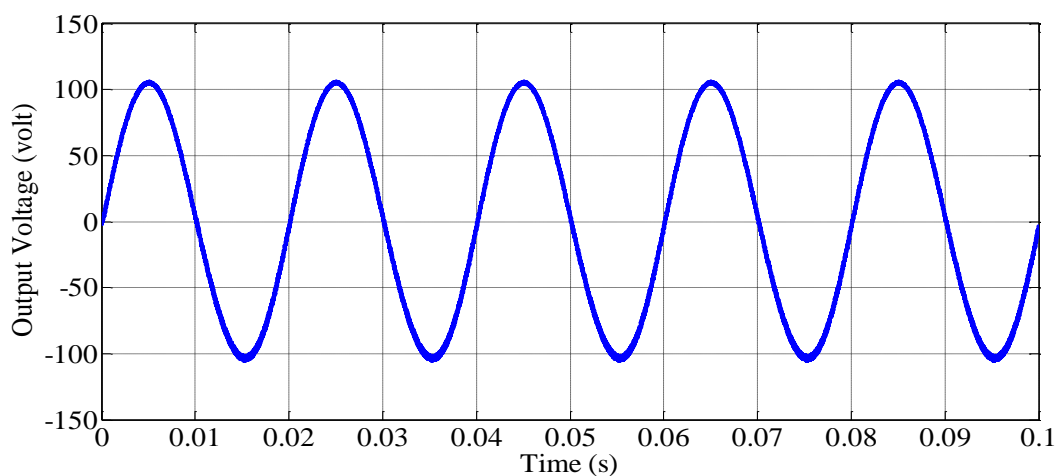
جدول (۱) پارامترهای پنل و جدول (۲) مشخصات مبدل را نشان می دهد.

جدول ۱- پارامترهای پنل خورشیدی

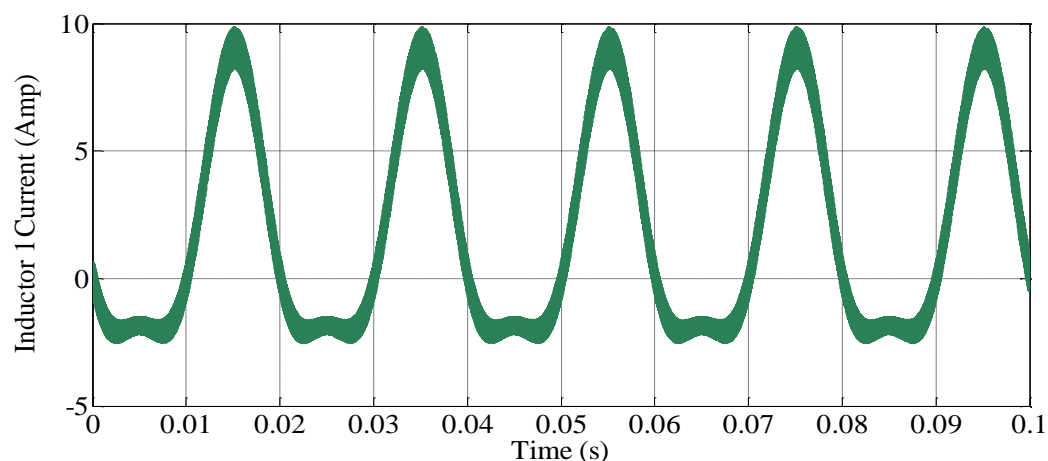
بیشینه توان (Pmax)	۲۲۰ وات	جریان اتصال کوتاه (Isc)	۵/۶۵ آمپر
ولتاژ مدار باز (Voc)	۵۲/۳ ولت	جریان در شرایط تحویل بیشینه توان (Imp)	۵/۱۷ آمپر
ولتاژ در شرایط تحویل بیشینه توان (Vmp)	۴۲/۷ ولت	ضریب دمایی ( $\alpha_v$ )	$-0.336 (1/C)$

جدول ۲- مشخصات مبدل

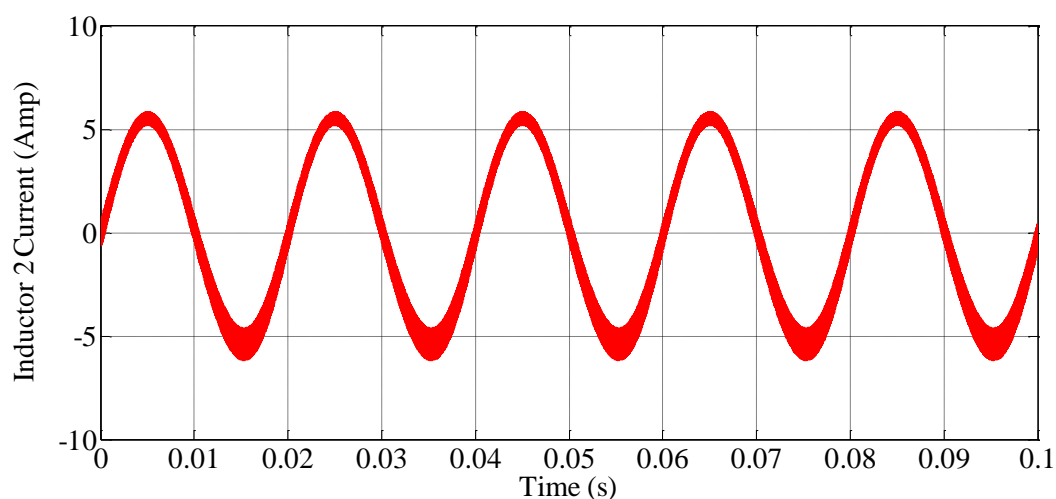
ولتاژ ورودی (Vin)	۲۰ الی ۷۰ ولت	L1	۱/۳ میلی هانری
ولتاژ نامی خروجی (Vo)	۱۱۰ ولت	C1	۱ میکرو فاراد
جریان نامی خروجی (Io)	۱۰ آمپر	L2	۱/۳ میلی هانری
توان نامی خروجی (Po)	۳۰۰ وات	C2	۱ میکرو فاراد
فرکانس کلیدزنی (fs)	۵۰ کیلوهرتز		
ریپل ولتاژ خروجی	۱ درصد		



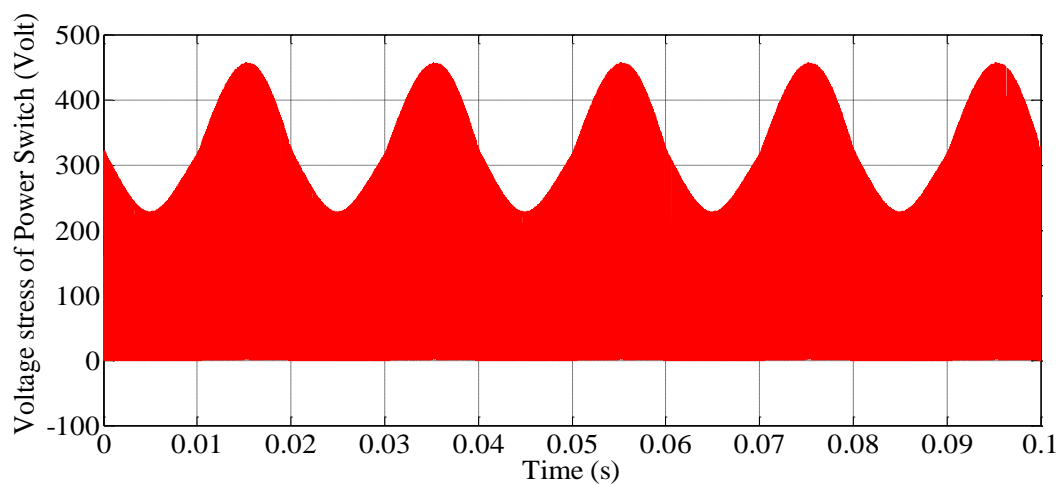
شکل (۷): ولتاژ خروجی مبدل نیمه منبع امپدانس



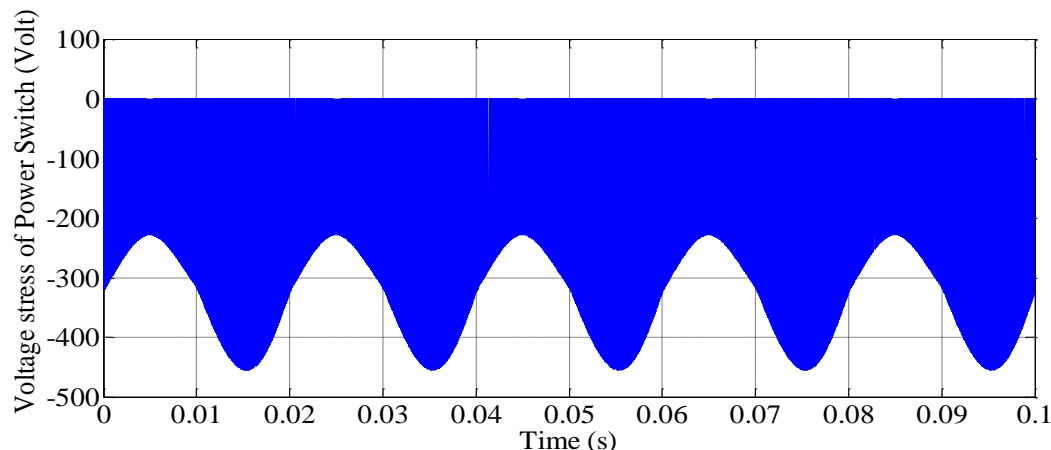
شکل (۸): جریان سلف L1 مبدل نیمه منبع امپدانس



شکل (۹): جریان سلف L2 مبدل نیمه منبع امپدانس



شکل (۱۰): ولتاژ کلید قدرت S1 در مبدل نیمه منبع امپدانس



شکل (۱۱): ولتاژ کلید قدرت S2 در مبدل نیمه منبع امپدانس

### نتیجه گیری

انرژی تولید شده توسط سلولهای خورشیدی به صورت جریان مستقیم در دسترس می باشد که با استفاده از مبدلهای الکترونیک قدرت به شکل AC تبدیل می گردد. یکی از جنبه های طراحی و بهره برداری از یک سیستم فوتوولتائیک، طراحی یک سیستم دنبال کننده توان ماکزیمم مناسب می باشد. این موضوع یکی از مهمترین مسائل موجود در تمامی سیستم های شامل سلول های خورشیدی است. روشهای بسیاری برای دنبال کردن نقطه حداکثر توان ارائه شده است. در این مقاله بر مبنای منطق فازی نقطه ماکزیمم توان تعیین گشته و نقطه کاری در حالتی قرار یافت تا توان حاصله ماکزیمم گردد.

### منابع

- [1] Chalmers S, Hitt M, Underhill J, Anderson P, Vogt P, Ingersoll R. The effect of photovoltaic power generation on utility operation. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 1985;PAS-104(March (3)):524–30.
- [2] Patapoff N, Mattijetz D. Utility interconnection experience with an operating central station MW-Sized photovoltaic plant. IEEE Transactions on Power Systems and Apparatus 1985;PAS-104(August (8)):2020–4.
- [3] Jewell W, Ramakumar R, Hill S. A study of dispersed PV generation on the PSO system. IEEE Transactions on Energy Conversion 1988;3(September (3)):473–8.
- [4] Cyganski D, Orr J, Chakravorti A, Emanuel A, Gulachenski E, Root C, et al. Current and voltage harmonic measurements at the Gardner photovoltaic project. IEEE Transactions on Power Delivery 1989;4(January (1)):800–9.
- [5] EPRI report EL-6754. Photovoltaic generation effects on distribution feeders, Volume 1: Description of the Gardner, Massachusetts, Twenty-First Century PV Community and Research Program, March; 1990.
- [6] Jewell W, Unruh T. Limits on cloud-induced fluctuation in photovoltaic generation IEEE Transactions on Energy Conversion 1990;5(March (1))
- [7] Asano H, Yajima K, Kaya Y. Influence of photovoltaic power generation on required capacity for load frequency control. IEEE Transactions on Energy Conversion 1996;11(March (1)):188–93.
- [8] Yan Zhou ; Hui Li ; Liming Liu, Integrated Autonomous Voltage Regulation and Islanding Detection for High Penetration PV Applications, IEEE Transactions on Power Electronics, Volume:28 , Issue: 6, 2013 , Page(s): 2826-2841
- [9] Baran, M.E. ; Hooshyar, H. ; Zhan Shen ; Huang, A. Accommodating High PV Penetration on Distribution Feeders IEEE Transactions on Smart Grid, Volume:3 Issue: 2, 2012 , Page(s): 1039- 104
- [10] Pezeshki, H. ; Wolfs, P.J. ; Ledwich, G. Impact of High PV Penetration on Distribution Transformer Insulation Life, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume:29 , Issue: 3, 2014 , Page(s): 1212- 1220
- [11] Murray Thomson and David G. Infield, Network Power-Flow Analysis for a High Penetration of Distributed Generation, IEEE Transactions on Power Systems, 22 (3). pp. 1157-1162.
- [12] Barry Matherl and Russell Neal, Integrating High Penetrations of PV into Southern California: Year 2 Project Update, National Renewable Energy Laboratory 2011





- [13]Dave Narang and Josh Hambrick, HIGH PENETRATION PV DEPLOYMENT IN THE ARIZONA PUBLIC SERVICE SYSTEM, National Renewable Energy Laboratory 2011
- [14]Lin, Shaobo, et al. "Configuration of energy storage system for distribution network with high penetration of PV." Renewable Power Generation (RPG 2011), IET Conference on. IET, 2011.
- [15]Pourmousavi, S. A., A. S. Cifala, and M. H. Nehrir. "Impact of high penetration of PV generation on frequency and voltage in a distribution feeder." North American Power Symposium (NAPS), 2012. IEEE, 2012.
- [16]Alam, M. J. E., K. M. Muttaqi, and D. Sutanto. "A Novel Approach for Ramp-Rate Control of Solar PV Using Energy Storage to Mitigate Output Fluctuations Caused by Cloud Passing." (2014): 1-12.