

## بهینه سازی یک نیروگاه خورشیدی به کمک یک اینورتر چند سطحی با FFT و کنترلر منطق فازی

احسان گنجی<sup>۱</sup> حسین شیرزادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان واحد نایین ، Mr.ehsanganji@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه ، Hoseinshirzadi19@gmail.com

چکیده - امروزه انرژی خورشیدی به علت مزایای قابل توجهی که دارد مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است در این مقاله، می بینیم که می توان در اینورتر سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه بار مصرفی سه فازه ، کنترلی ایجاد کرد که تا حد زیادی بتواند اعوجاج هارمونیک های سیستم را کنترل کند و این به گونه ایی است که موضوع اصلی برای مدولاسیون اینورترهای چند سطحی حذف هارمونیک است چرا که این مبدل ها به دلیل دارا بودن آرایشی از المان های الکترونیک- قدرت، هارمونیک به شبکه قدرت سراسری تزریق می کنند که موجب افت کیفیت توان و در نتیجه کاهش اطمینان شبکه قدرت می شوند در اینجا با استفاده از چند سطحی کردن اینورتر با سیستم<sup>۱</sup> FFT و یک کنترل کننده منطق فازی توانسته ایم تا حد قابل قبولی اثر اعوجاج هارمونیک ها مراتب پایین را تضعیف و حذف کنیم. سیستم مورد مطالعه در نرم افزار متلب شبیه سازی شده است .

کلید واژه- اینورترهای چندسطحی ، سیستم FFT ، کنترل کننده منطق فازی ، ردگیری حداکثر توان انتقالی ، اعوجاج هارمونیک

با افزایش تعداد سطوح اینورتر، تعداد پله های شکل موج پلکانی خروجی افزایش می یابد و در نتیجه اعوجاج هارمونیک و ولتاژ خروجی کاهش خواهد یافت [3-5]. روش های گوناگونی تا به حال برای بهبود کلیدزنی آنها پیشنهاد شده که عبارتند از:

- مدولاسیون پهنای پالس طبیعی سینوسی یا زیر هارمونیک<sup>۲</sup> (SPWM)
- مدولاسیون پهنای پالس هارمونیک انتخابی حذف شده
- مدولاسیون بردار فضایی<sup>۳</sup> (SVM)

### ۱-۲- ساختار کلی اینورترها High-voltage direct current<sup>۱</sup>

در اینورترهای چند سطحی سه ساختار اصلی زیر رایج است:<sup>۲</sup> Sinusoidal Pulse width modulation

- اینورتر چندسطحی دیود مهار شده<sup>۳</sup> Support Vector Machines
- اینورتر چندسطحی خازن شناور
- اینورتر چندسطحی طبقه ای با منابع DC مجزا

حال ما در اینجا به تکنیک<sup>۱</sup> SHEPWM میپردازیم چون روشی می باشد که برای بهبود عملکرد اینورترها بسیار کاربرد دارد. در این روش هدف آن است که تا آنجا که ممکن است دامنه هارمونیک ها برابر با صفر شود و در صورتی که امکان حل معادلات موجود نباشد هارمونیک ها تا حد ممکن کمینه شوند. در این روش می توان با S معادله تعداد S-1 هارمونیک از مرتبه های پایین را صفر کرد. برای هر M خاص می توان از هارمونیک 5 شروع

### ۱- مقدمه

انرژی خورشیدی منحصر به فردترین منبع انرژی تجدید پذیر در جهان است. رشد جهانی برای تقاضای انرژی الکتریکی باعث افزایش سرعت توسعه در طراحی سیستم های قدرت در جهت پاسخگویی به تامین نیازهای مصرف کنندگان برای تامین انرژی الکتریکی مطمئن ، ارزان و با کیفیت بالا شده است. مبدل چند سطحی در سال ۱۹۷۵ به بازار معرفی شد این اینورترها شامل آرایه ای از کلیدهای نیمه هادی قدرت و منابع ولتاژ خازنی یا منابع dc ایزوله می باشند در این اینورترها، کموتاسیون کلیدها اجازه ی افزایش ولتاژ به ولتاژهای بالاتر در خروجی را در صورتی که نیمه هادی های الکترونیک- قدرت دارای ولتاژهای کمتری هستند را می دهند [1,2].

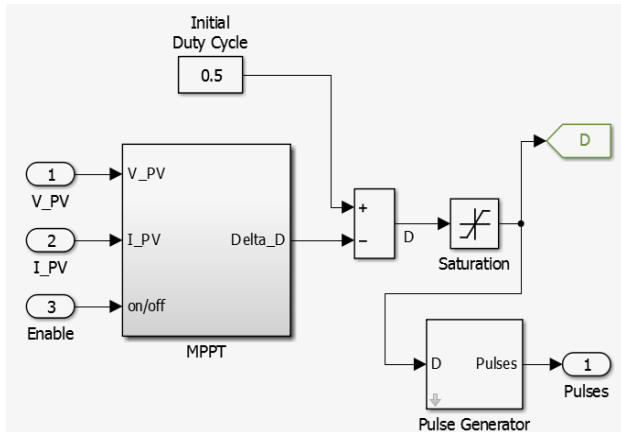
### ۲- مبانی پایه ای

یک اینورتر n سطحی در خروجی، ولتاژی با n مقدار (سطح)

ایجاد می کند. منظور از اینورتر n سطحی این است که تعداد پله های ولتاژ فاز نسبت به سر منفی اینورتر برابر n می باشد. اگر تعداد سطوح اینورتر n باشد در این حالت پله ها در ولتاژ بین دو فاز از رابطه زیر حاصل می شود:

$$k = 2n - 1$$

درولتاژ نقطه حداکثر توان قرار مدهد . این رابطه که دقت آن قابل تعریف است ، با استفاده از روش تقریب گرتابع فازی بدون نیاز به داشتن مدل سلول خورشیدی در چند دوره آموزش به دست می آید . که در فایل شبیه سازی شده در مطلب می توان آن را به صورت زیر در نظر گرفت :



شکل ۳: ردگیری ماکزیمم توان انتقالی با بلوک MPPT

بلوک موجود در شبیه سازی بالا با توجه به رابطه خطایی که برای حداکثر نقطه توان تعریف شده است <sup>۱</sup> Maximum power point tracking

$$E(k) = \frac{P_{ph(k)} - P_{ph(k-1)}}{V_{ph(k)} - V_{ph(k-1)}}$$

$$CE(k) = E(k) - E(k - 1)$$

رابطه اول خطا را برای حداکثر نقطه توان در لحظه K نشان می دهد و رابطه دوم تغییر در خطا را نشان می دهد .

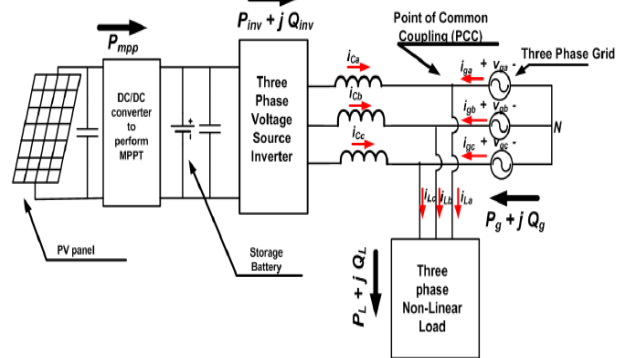
۳-۳- بلوک <sup>۱</sup> VSC در اینورتر پنج سطحی

در یک VSC عناصر کلیدزنی یا از نوع GTO و یا TGBT می باشند که بصورت روشن / خاموش کار کرده و میتوانند براساس الگوریتم PWM کنترل شوند. این الگوریتم میتواند در جهت حذف و یا کاهش هارمونیکی عمل نماید . با اعمال الگوریتم PWM در اینصورت حداقل ۴ متغیر از خط VSC می باید کنترل شود چنانچه در انتهای خط منبع ولتاژ ac وجود نداشته باشد در اینصورت ولتاژ و فرکانس آن قابل کنترل می باشد. اما چنانچه در انتهای خط

کرده (هارمونیک 3 و مضارب آن در سیستم سه فاز حذف می شوند) و تا حد ممکن هارمونیک های بالاتر را حذف کرد. مشکلی که در استفاده از روش SHEPWM وجود دارد این می باشد که این روش نیاز به حل یک سری معادلات غیر خطی دارد.

۳ - شرح بستر مطالعاتی

یک شبکه قدرت سه فاز متصل به اینورتر فتوولتاییک را می توان در شکل زیر مشاهده کرد :



شکل ۱: معماری بستر مطالعاتی

بستر مطالعاتی در این مقاله ، مبتنی بر یک اینورتر سه طبقه پنج سطحی در یک نیروگاه خورشیدی می باشد که اجزا و استراتژی آن را به صورت زیر بررسی میکنیم :

۳-۱- ردیابی حداکثر توان انتقالی (MPPT) :

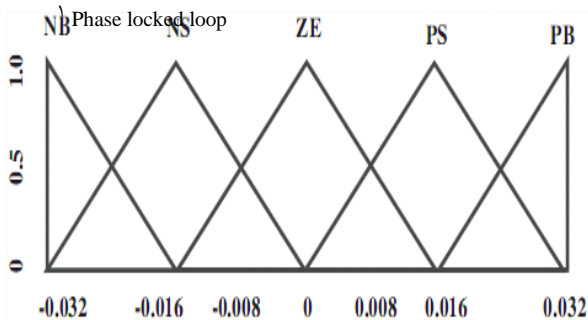
به منظور استخراج حداکثر توان از آرایش فتوولتاییک ،

استراتژی های مختلفی برای کنترل ردیابی توان از جمله اختلال و مشاهده ، هدایت افزایشی ، ظرفیت خازنی پارازیتی ، ولتاژ ثابت ، شبکه عصبی و کنترل منطق فازی پیشنهاد شده اند ولی برای قراردادن صفحات خورشیدی در نقطه حداکثر توان مشکلاتی وجود دارد و آن غیرخطی بودن مشخصه خروجی سلول خورشیدی و هم چنین تغییر پذیر بودن این مشخصه نسبت به تابش نور و حتی دمای سلول میباشد در این مقاله روشی به منظور ردیابی حداکثر توان در صفحات خورشیدی برپایه منطق فازی ارائه شده است. اساس روش پیشنهادی در این مقاله برپایه وجود رابطه بین شدت تابش و ولتاژ نقطه حداکثر توان است [1,2,4,6,9]. با داشتن این رابطه ، در هر لحظه با اندازه گیری شدت تابش، ولتاژ نقطه حداکثر توان قابل محاسبه و سیستم خروجی را

تقریباً گر تابع در زوج های ورودی - خروجی، استفاده از یک شیوه برای کنترل بهینه و مناسب است.

۳-۴-۱- فازی سازی :

مقادیر تابع عضویت با استفاده از هفت زیر مجموعه فازی ، به متغیرهای زبانی ( متغیرهایی که با حروف الفبا نامگذاری شده اند) اختصاص داده شده اند : NB (منفی بزرگ) ، NM (منفی متوسط) ، NS (منفی کوچک) ، ZE (صفر) ، PS (مثبت کوچک) ، PM (مثبت متوسط) و PB (مثبت بزرگ) . تقسیم زیر مجموعه های فازی و شکل تابع عضویت ، شکل را با سیستم مناسب تطابق داده است . مقدار خطای ورودی E(K) و تغییر در خطا (K) CE به وسیله ی فاکتور (عامل) مقیاس گذاری ورودی نشان داده شده در شکل زیر نرمال شده است.



شکل ۷: نمودار نرمال سازی خطای ورودی و تغییرات در آن

اساس قانون فازی موجود در این مقاله را می توان در جدول زیر نشان داد :

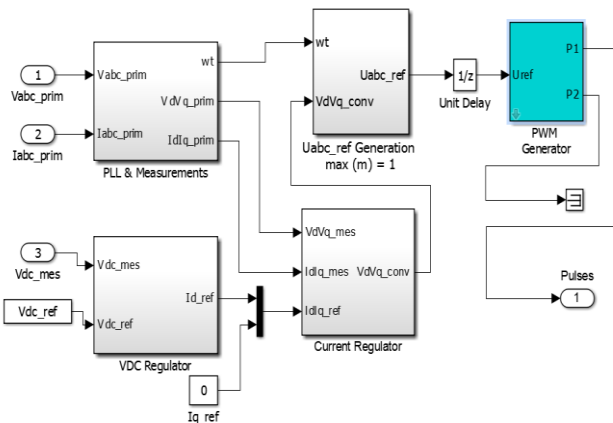
جدول ۱: جدول اساس فازی سازی در کنترلر فازی

Error	Change in error						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

۳-۵- نتایج شبیه سازی

منبع ولتاژ ac وجود داشته باشد در این صورت مبدل های VSC ولتاژ ac انتهائی را کنترل می نمایند.

بلوک موجود در شبیه سازی در نرم افزار متلب به صورت زیر در نظر می گیریم :



شکل ۴: مبدل VSC

هرکدام از بلوک های بالا را به صورت زیر می توان تعریف کرد :

۳-۳-۱- بلوک PLL<sup>۱</sup>

در اصل به فرکانس سیستم کنترل حلقه محصور کننده گفته می شود که این تابعی بر اساس حساسیت اختلاف فاز که بین سیگنال ورودی و سیگنال خروجی نوسان گر کنترل شده است. هدف اساسی PLL قفل کردن یا سنکرون کردن زاویه ی لحظه ای (برای مثال فاز و فرکانس) یک خروجی VCO به زاویه لحظه ای یک سیگنال میان گذر بیرونی که ممکن است نوعی مدولاسیون CW داشته باشد.

۳-۳-۲- بلوک تنظیم کننده جریان

محاسبه Vdq کانونرتر می باشد که با توجه به روابط زیر می توان آن ها را بدست آورد :

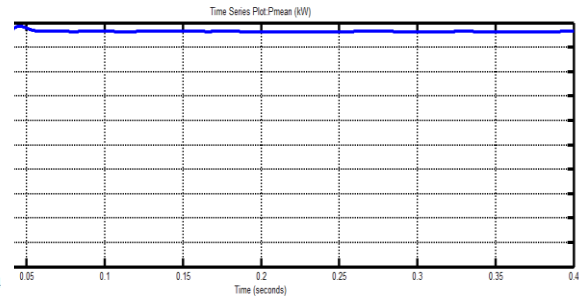
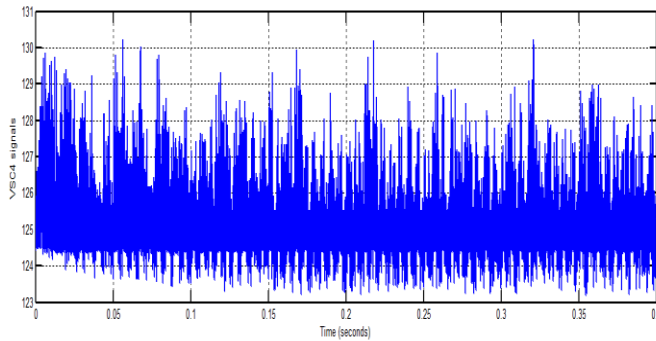
$$Vd\_mes + Id * R - Iq * L + deriv (Id) * L / wbase = Vd\_conv$$

$$Vq\_mes + Id * L + Iq * R + deriv (Iq) * L / wbase = Vq\_conv$$

۳-۳-۳- طراحی کنترل کننده فازی

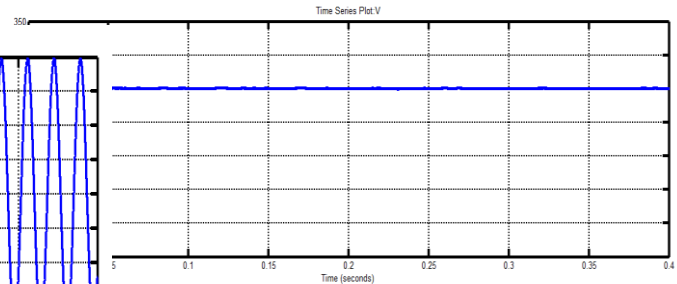
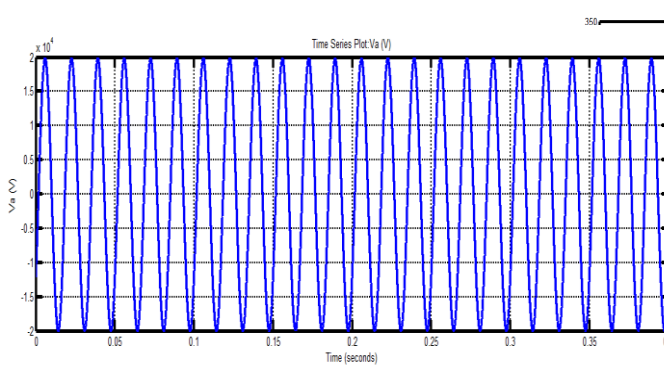
در طراحی سیستم های فازی انتخاب تعداد قواعد مناسب، بسیار مهم است، انتخاب تعداد زیاد قواعد باعث پیچیده تر شدن سیستم فازی شده که ممکن است برای مسأله ضرورت نباشد ایده اساسی روش سیستم فازی به عنوان

آزمایش ۰/۲ ثانیه به طول می انجامد . شبیه سازی در سیمولینک متلب اجرا شده است . خروجی ها و نمودار ها شامل المان های رگولاتور **boost** ، ولتاژ های ورودی و رفرنس مبدل **vsc** همراه با ولتاژهای خط به خط و فازی و ولتاژ خروجی عناصر نیمه هادی در **vsc** ، توان خروجی و **Grid** می شود . نمودارهایی هم از نرمالیزه شدن هارمونیک با فرکانس و تابع هدف با تعدد تکرار را داریم .



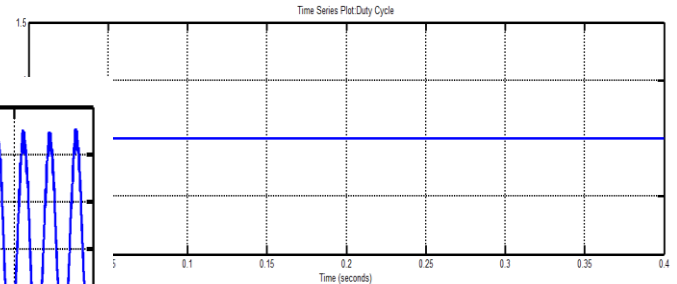
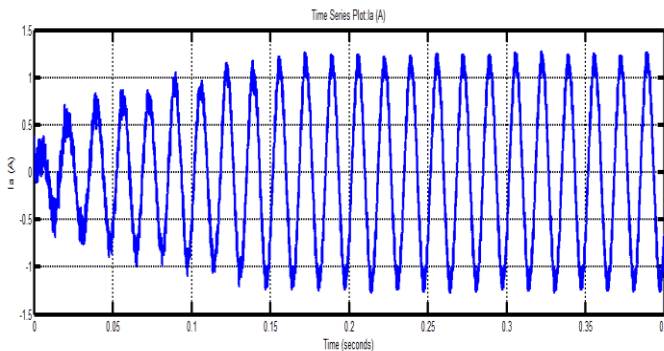
شکل ۸ : خروجی توان بوست ( $P_{meas}$ )

شکل ۱۱ : خروجی سیگنالی مبدل ولتاژ منبع ( $VSC-V_{si_{meas}}$ )



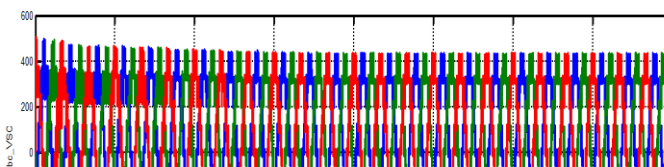
شکل ۹ : ولتاژ خروجی بوست (V)

شکل ۱۲ : خروجی ولتاژ مبدل ولتاژ منبع ( $VSC-V_a$ )



شکل ۱۰ : دوره کاری بوست (Duty Cycle)

شکل ۱۳ : خروجی جریان مبدل ولتاژ منبع ( $VSC-I_a$ )

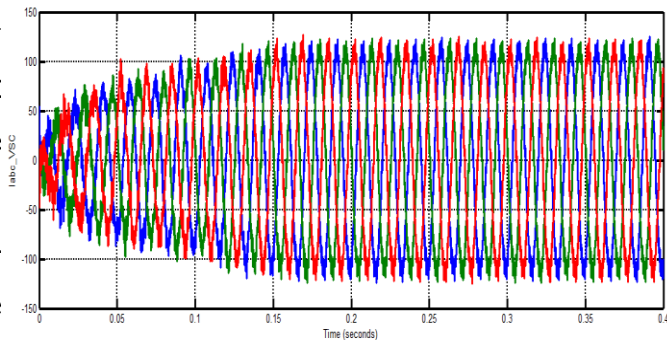


نتیجه گیری

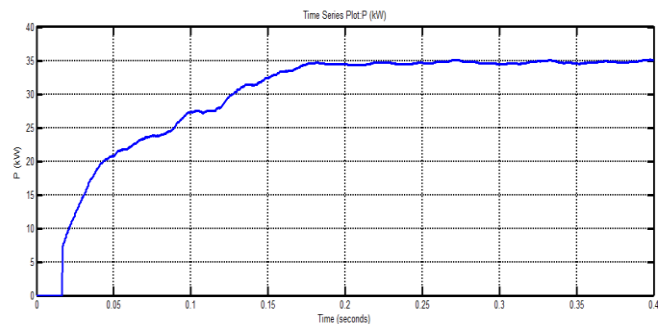
مقاله، یک سیستم مستقل نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه را مورد مطالعه قرار داده و به بهبود خروجی آن با استفاده از یک اینورتر سه طبقه سطحی با سیستم **FFT** و یک ترلر فازی پرداخته، که حذف هارمونیک‌های به وجود آمده در این کار بخصوص هارمونیک‌های مراتب پایین بعنوان هدف در این مقاله می باشد که به نتایجی قابل توجه در شبیه سازی انجام شده رسیدیم و در نمودارها دیدیم که هارمونیک‌هایی که در این کار ایجاد می شوند به صورت هوشمند در کنترلر فازی ساسایی شده و با استفاده از سیستم تعبیه شده، هارمونیک تب بالا و پایین کاملاً تضعیف و از بین رفتند.

منابع

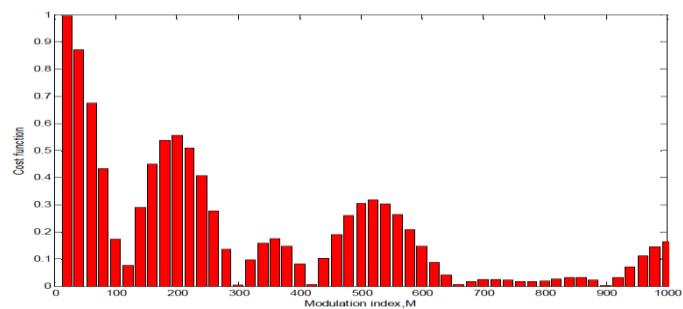
- [1] Prasad, E.; Sudhakar, A.; Kumar, V. Simulation of five-level inverter fed PMSM based on fast SVPWM," Drives and Ener Systems (PEDES), 2012 IEEE International Conference on, 1-5 page(s), 16-19 Dec. 2012.
- [2] Rahim, N.A.; Selvaraj, J. "Multistring Five- Level Inverter With Novel PWM Control Scheme for PV Application", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, On page(s):2111 - 21 Volume: 57, Issue: 6, June 2010.
- [3] Rahim, N.A.; Selvaraj, J. "Multilevel inverter with dual referer modulation technique for grid-connected PV system", Power Energy Society General Meeting, PES '09. IEEE, 2009.
- [4] "Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey," IEEE Trans. Ind. electron., vol. : no.4, pp. 1002-1016, Aug. 2006.
- [5] S.Daher, I.Schmid, and F.L.M. Antunes, "Multilevel inverter topologies for stand-alone PV systems," IEEE Trans. Ind. Electro vol. 55, no. 7, pp. 2703-2712, Jul. 2008.
- [6] N. A. Rahim and S. Mekhilef, "Implementation of three-ph: grid connected inverter for photovoltaic solar power generation system," in Proc. IEEE PowerCon, vol. 1, pp. 570-573, Oct. 2002.



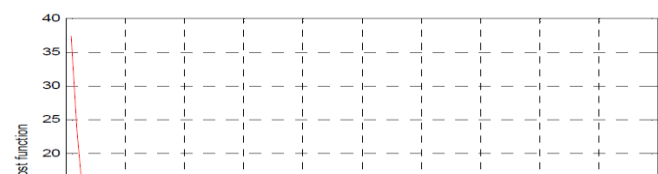
شکل ۱۵: خروجی جریان سه فازه مبدل ولتاژ منبع (VSC - Iabc)



شکل ۱۶: توان خروجی (P)



شکل ۱۷: نمودار نرمالیزه شده هارمونیک با فرکانس



- [7] T. Esum and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic array maximum power point tracking techniques," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, Jun. 2007.
- [8] X. Liu and L. A. C. Lopes, "An improved perturbation and observation maximum power point tracking algorithm for PV arrays," in *Proc. IEEE 35th Annu. PESC*, Jun. 20-25, 2004, vol. 3, pp. 2005-2010.
- [9] Z. Du, L. M. Tolbert, and J. N. Chiasson, "Harmonic elimination for multilevel converter with programmed PWM method," in *Proc. IEEE Industry Applications Soc. Annu. Meeting*, pp. 2210-2215, 2004.
- [10] T. Bruckner and D. G. Holmes, "Optimal pulse-width modulation for three-level inverters," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 20, No. 1, pp. 82-89, Jan. 2005.
- [11] J. Chiasson, L. M. Tolbert, K. McKenzie, and Z. Du, "Eliminating harmonics in a multilevel converter using resultant theory," in *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf*, pp. 503-508, 2002.
- [12] J. N. Chiasson, L. M. Tolbert, K. J. McKenzie, and Z. Du, "A complete solution to the harmonic elimination problem," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 19, No. 2, pp. 491-499, Mar. 2004.
- [13] "A unified approach to solving the harmonic elimination equations in multilevel converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 19, No. 2, pp. 478-490, Mar. 2004.
- [14] B. Ozpineci, L. M. Tolbert, and J. N. Chiasson, "Harmonic optimization of multilevel converters using genetic algorithms," in *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf*, pp. 3911-3916, 2004.
- [15] A. I. Maswood, S. Wei, and M. A. Rahman, "A flexible way to generate PWM-SHE switching patterns using genetic algorithms," in *Proc. IEEE Applied Power Electronics Conf. Expo*, pp. 1130-1134, 2001.
- [16] Walker G. R. and Sernia P. C, "Cascaded dc-dc converter connection of photovoltaic modules," *IEEE Trans. Power Electron.* vol. 19, no. 4, pp. 1130-1139, Jul. 2004.
- [17] N. Mutoh and T. Inoue, "A control method to charge series connected ultracapacitor double-layer capacitors suitable for photovoltaic generation systems combining M P PT control method," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 1, pp. 374-383, Feb. 2007.
- [18] V. G. Agelidis, D. M. Baker, W. B. Lawrance, and C. V. Nayar, "A multilevel PWM inverter topology for photovoltaic application," in *Proc. IEEE iSiE*, Guimaraes, Portugal, 1997, pp. 589-594.
- [19] G. R. Walker and P. C. Sernia, "Cascaded dc-dc converter connection of photovoltaic modules," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 4, pp. 1130-1139, Jul. 2004.