

مقایسه اینورترهای سه سطحی و نه سطحی تغذیه کننده درایوهای موتور القایی

حمید کریمی^۱ میثم ایوبی^۲ علی امیری زانیانی^۳ علیرضا مظفری^۴ حمیدرضا معینی^۵

- ۱- شرکت پالایش گاز پارسیان - hkfars@yahoo.com
- ۲- شرکت پالایش گاز پارسیان - maysam_ayubi@yahoo.com
- ۳- شرکت پالایش گاز پارسیان - amiri.ali2@yahoo.com
- ۴- شرکت پالایش گاز پارسیان - amozafari401@gmail.com
- ۵- شرکت پالایش گاز پارسیان و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات فارس - h_moeiny@yahoo.com

چکیده: در این مقاله مقایسه بین اینورترهای سه سطحی و اینورترهای نه سطحی تغذیه کننده درایو موتور القایی بیان می شود. یک مبدل منبع ولتاژ (VSI) مرسوم تغذیه کننده درایو موتور القایی، با استفاده از نرم افزار Matlab/Simulink مدل سازی و شبیه سازی می شود و نتایج ارائه می شود. همچنین اینورتر کاسکاد سه و نه سطحی شبیه سازی می شود و نتایج مربوطه ارائه می گردد. طیف های تحلیل فوریه سریع (FFT) برای خروجیها برای مطالعه و بررسی کاهش هارمونیکها تحلیل می شوند.

کلید واژه: موتور القایی، اینورتر چند سطحی، مبدل منبع ولتاژ، Matlab/Simulink

۱- مقدمه

همه این ویژگی ها باعث استفاده اجباری و الزام آور موتورهای القایی در نواحی زیادی از کاربردهای صنعتی می شود. پیشرفت در تکنولوژی نیمه هادی و الکترونیک قدرت باعث توسعه تجهیزات نیمه هادی توان بالا و سرعت بالا جهت دستیابی به تغییرات یکنواخت، پیوسته و بدون پله در سرعت موتور شده است. کاربردهای مبدلها/اینورترها برای درایو موتور با سرعت قابل تغییر در رنج گسترده ای از سیستم های الکترومکانیکی برای طیف بزرگی از سیستم های صنعتی وجود دارند. کیفیت خالص ولتاژ و جریان خروجی موتور القایی تغذیه شونده توسط اینورتر دو سطحی کلاسیک بعثت حضور هارمونیک ها می باشد. حضور مقدار زیادی از هارمونیک ها باعث می شود موتور نوسانات شدید گشتاور را متحمل شود، بویژه در سرعت کم، که در دندانه شافت خودشان را آشکار می کنند، همچنین موجب حرارت

درایوهای سرعت متغیر (ASD)، بطور وسیعی در صنایع برای کنترل سرعت سیستم های بالابر، سرعت دمنده ها، سرعت ماشین ابزارها و سایر کاربردهایی که نیاز به تغییر سرعت می باشد استفاده می شوند. در بسیاری از کاربردهای صنعتی قدیمی موتورهای DC برای درایوهای سرعت متغیر به علت سرعت عالی و پاسخ خوبشان بکار گرفته می شدند، اما آنها معایب ذاتی کموتاتور و جاروبک های مکانیکی دارند که طی گذر زمان دستخوش پوسیدگی و گسستگی می شوند. در بیشتر موارد، موتورهای AC نسبت به موتورهای DC ترجیح داده می شوند، مخصوصاً موتور القایی به علت قیمت پایین، نگهداری کم، وزن کمتر، بازده بالاتر و ناهموازی های بهبود یافته و قابلیت اطمینان.

با انتخاب زاویه هدایت مناسب برای پل های H، میتوان هارمونیکهای خاصی را در شکل موج خروجی حذف نمود. زاویه های هدایت مناسب می توانند بوسیله آنالیز ولتاژ فاز خروجی اینورتر کاسکاد محاسبه شوند. با فرض اینکه پل H استفاده شود ولتاژ خروجی می تواند بصورت زیر بیان شود:

$$V_{a0} = V_{a1} + V_{a2} + V_{a3} + V_{a4} + V_{a5} \dots \quad (1)$$

از آنجا که موج در طول محور X متقارن می باشد هر دو ضریب فوریه A_0 و A_n صفر می باشند. فقط آنالیز B_n نیاز است و آن بصورت زیر داده شده است:

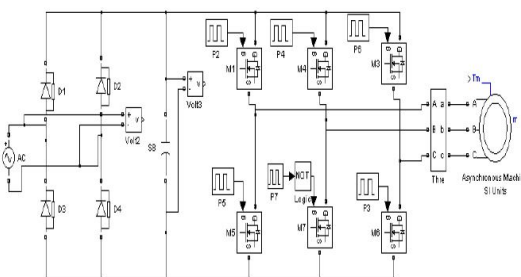
$$B_n = \left\{ \frac{4V_{dc}}{n\pi} \right\} \left[\sum_{j=1}^{\infty} \cos(n\alpha_j) \right] \quad (2)$$

که z تعداد منابع DC و n هارمونیکهای مرتبه فرد می باشد. بنابراین برای انتخاب دقیق زاویه هدایت هر پل H نیاز است که هارمونیکهای با اندازه و مرتبه معینی که نیاز است حذف شوند را انتخاب کنیم. برای حذف هارمونیک های مرتبه پنجم، هفتم و یازدهم و برای تامین پیک ولتاژ فاز مؤلفه اصلی مساوی با ۸۰٪ مقدار ماکزیمم، نیاز است که معادله زیر را با شاخص مدولاسیون $M=0.8$ حل کنیم.

$$\begin{aligned} \cos(5\alpha_1) + \cos(5\alpha_2) + \cos(5\alpha_3) + \cos(5\alpha_4) &= 0 \\ \cos(7\alpha_1) + \cos(7\alpha_2) + \cos(7\alpha_3) + \cos(7\alpha_4) &= 0 \\ \cos(11\alpha_1) + \cos(11\alpha_2) + \cos(11\alpha_3) + \cos(11\alpha_4) &= 0 \\ \cos(\alpha_1) + \cos(\alpha_2) + \cos(\alpha_3) + \cos(\alpha_4) &= 0.8 * 4 \end{aligned} \quad (3)$$

۳- نتایج شبیه سازی

درایو موتور القایی تغذیه شونده با اینورتر: درایو موتور القایی تغذیه شونده با مبدل منبع ولتاژ (VSI) در شکل ۱-الف نشان داده شده است.



شکل ۱-الف: درایو موتور القایی تغذیه شونده با مبدل منبع ولتاژ (VSI)

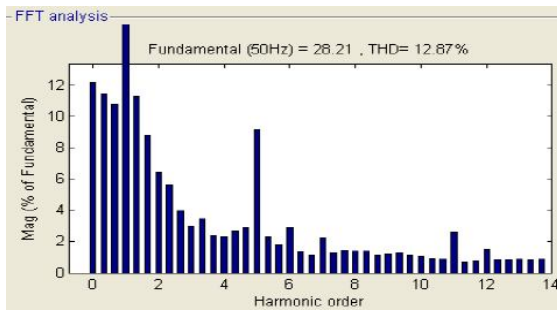
نامطلوب موتور و تداخل الکترومغناطیسی می شود. کاهش هارمونیکها با استفاده از فیلترهای با اندازه بزرگ منجر به افزایش اندازه و هزینه سیستم می شود.

امروزه اینورترهای چند سطحی، راه حل مؤثر هزینه برای کاربردهای ولتاژ بالا و توان بالا جهت مسائل کیفیت توان و مسائل درایو موتور می باشند. ساختار چند سطحی باعث افزایش ظرفیت توان سیستم در یک روش قدرتمند و سیستماتیک و منظم می شود. پیشرفت ها در رشته الکترونیک قدرت و میکروالکترونیک امکان کاهش اندازه هارمونیک ها با اینورترهای چند سطحی را در اینکه تعداد سطوح اینورتر نسبت به افزایش اندازه فیلترها افزایش می یابد را ایجاد می کنند. همچنانکه تعداد سطوح اینورتر افزایش می یابد، عملکرد اینورترهای چند سطحی افزایش می یابد.

در این مقاله محتوای هارمونیک یک اینورتر سه سطحی با یک اینورتر نه سطحی مقایسه می شود. اعوجاج هارمونیک کل (THD) کمتر از اینورتر سه سطحی می باشد.

۲- اینورتر چند سطحی

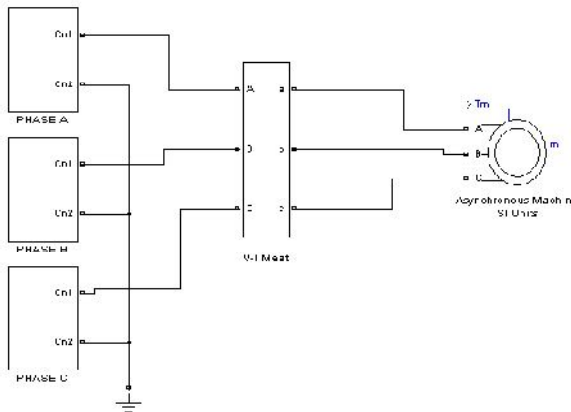
اینورترهای چند سطحی در صنعت برق بسیار مورد توجه قرار گرفته است. آنها یک خصوصیت جدید را ارائه می دهند که آن این است که کاملاً مناسب برای جبران سازی توان راکتیو می باشند. اینورترهای چند سطحی بطور قابل ملاحظه ای اندازه هارمونیک ها را کاهش می دهند و ولتاژ خروجی و توان را بدون استفاده از ترانس افزایشده، افزایش می دهند. یک اینورتر چند سطحی شامل یک سری واحدهای اینورتر پل H متصل شده به موتور القایی سه فاز می باشند. نقش کلی و عمومی این اینورترها، ایجاد یک ولتاژ مطلوب از چندین منبع DC می باشد. ولتاژهای ترمینال AC هر پل بصورت سری متصل می شوند. برخلاف اینورترهای کلمپ دیودی (برشگر دیودی) یا خازنی-فلایینگ، اینورترهای کاسکاد (آبشاری) هیچ نیازی به دیودهای کلمپی ولتاژ و یا خازنهای متعادل کننده ولتاژ ندارند. این ساختار برای کاربردهای فرکانس ثابت مانند یکسوکننده های front-end فیلترهای قدرت اکتیو و جبران سازی توان راکتیو مفید می باشند.



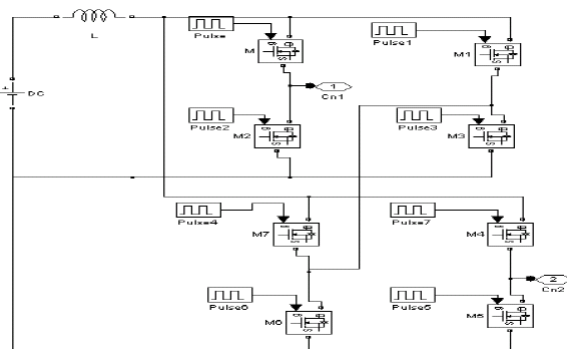
شکل ۱-و: آنالیز FFT برای جریان

از طیف هارمونیک مشاهده می شود که اندازه مؤلفه اصلی جریان ۲۸ آمپر می باشد و اعوجاج هارمونیک کل (THD) ۱۲.۸۷٪ است.

درایو موتور القایی تغذیه شونده با اینورتر چند سطحی در شکل ۲-الف نشان داده شده است. عناصر مدار یک فاز اینورتر در شکل ۲-ب نشان داده شده است.

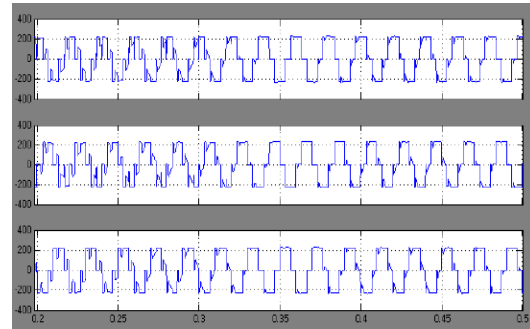


شکل ۲-الف: درایو موتور القایی تغذیه شونده با اینورتر چند سطحی

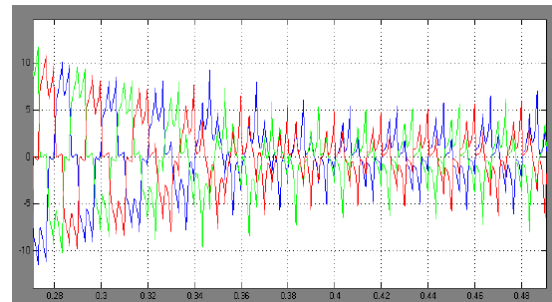


شکل ۲-ب: مدار یک فاز اینورتر چند سطحی

یکسوساز دیودی با فیلتر خازنی به عنوان منبع ولتاژ عمل می کند. اینورتر سه فاز عمل کننده در مد 120° برای تغذیه موتور القایی سه فاز استفاده می شود. شکل موج های ولتاژ فاز و شکل موجهای جریان استاتور بترتیب در شکلهای ا-ب و ۱-ج نشان داده شده اند.

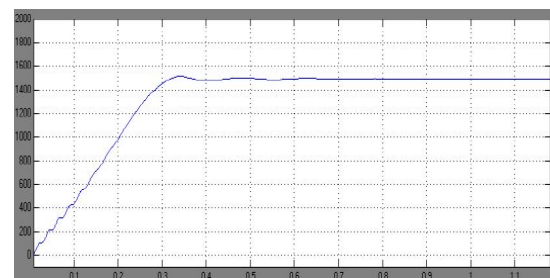


شکل ۱-ب: شکل موج های ولتاژ فاز



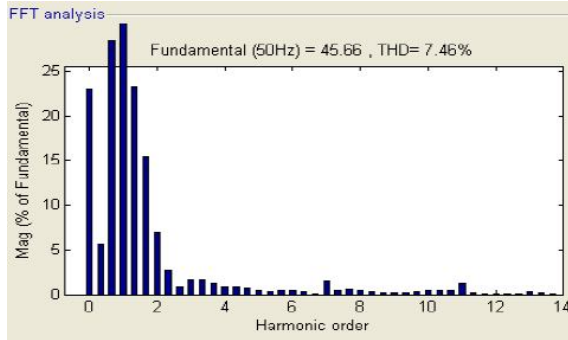
شکل ۱-ج: شکل موجهای جریان استاتور

تغییرات سرعت در شکل ۴-د نشان داده شده است. سرعت افزایش می یابد و در ۱۴۷۰ ثابت می ماند.



شکل ۴-د: تغییرات سرعت برحسب دور در دقیقه

آنالیز تحلیل فوریه سریع (FFT) برای جریان انجام شده است و طیف مربوطه در شکل ۱-و نشان داده شده است.

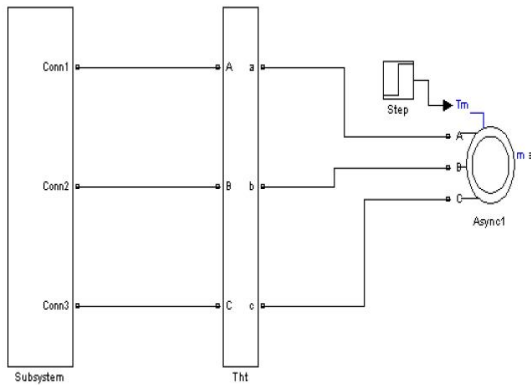


شکل ۲-ه: طیف جریان استاتور

می توان مشاهده نمود که مقدار THD ۷.۴٪ است. بنابراین THD ۴.۲٪ کاهش می یابد. از طیف می توان مشاهده نمود که اندازه مؤلفه های فرکانس پایین بزرگتر از مؤلفه های فرکانس بالاست.

۶- درایو موتور القایی تغذیه شونده با اینورتر ۹ سطحی:

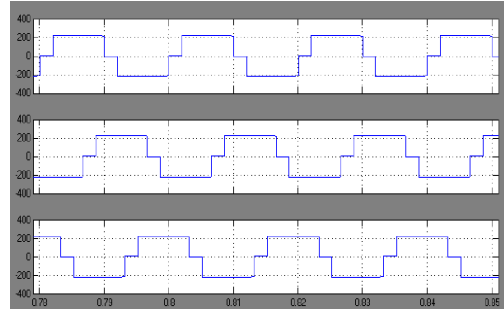
بلوک دیاگرام درایو موتور القایی تغذیه شونده با اینورتر ۹ سطحی در شکل ۳-الف نشان داده شده است. موتور القایی از یک اینورتر ۹ سطحی تغذیه می شود.



شکل ۳-الف: بلوک دیاگرام درایو موتور القایی تغذیه شونده با اینورتر ۹ سطحی

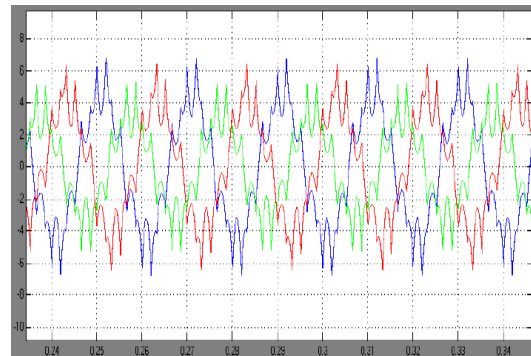
مدار اینورتر ۹ سطحی در شکل ۳-ب نشان داده شده است.

پالسهای آتش اعمال شده به اینورتر دوم نسبت به اینورتر اول 36° درجه اختلاف فاز دارند. ولتاژهای فاز در شکل ۲-ج نشان داده شده اند.



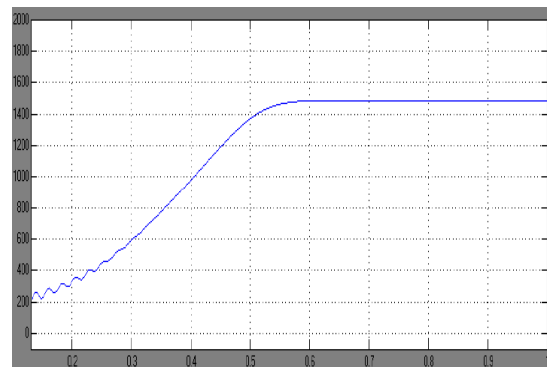
شکل ۲-ج: شکل موج های ولتاژ فاز

جریانهای استاتور در شکل ۲-د نشان داده شده اند.



شکل ۲-د: شکل موجهای جریان استاتور

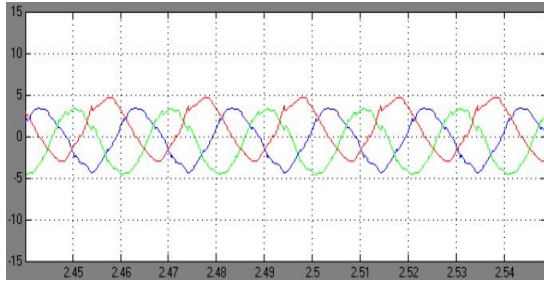
تغییرات در سرعت روتور در شکل ۲-و و نشان داده شده است.



شکل ۲-و: تغییرات سرعت روتور برحسب دور در دقیقه

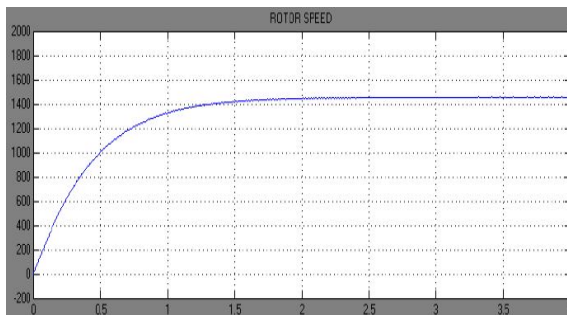
طیف جریان استاتور در شکل ۲-ه نشان داده شده است.

شکل موج های جریان استاتور در شکل ۳-و نشان داده شده است.



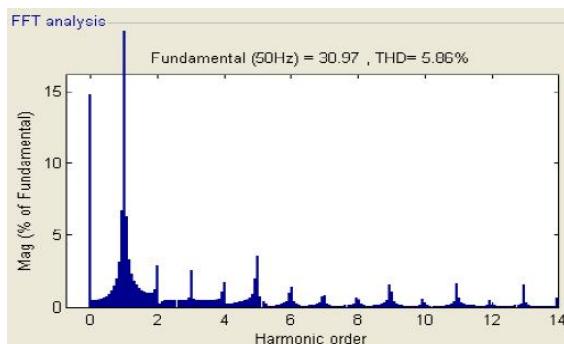
شکل ۳- و: جریان استاتور

پاسخ سرعت درایو موتور القایی در شکل ۳-ه نشان داده شده است. سرعت روتور افزایش می یابد و در ۱۴۷۰ ثابت می ماند.



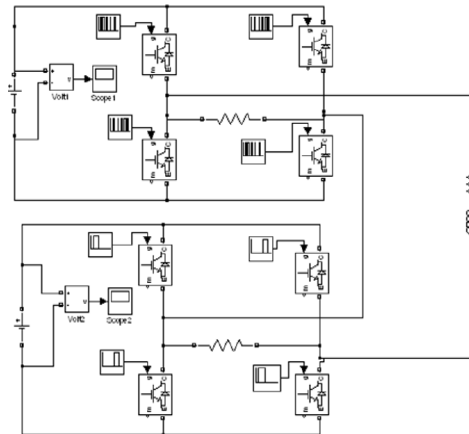
شکل ۳- ه: سرعت درایو موتور القایی

طیف فرکانسی برای خروجی اینورتر ۹ سطحی در شکل ۳-ی نشان داده شده است.



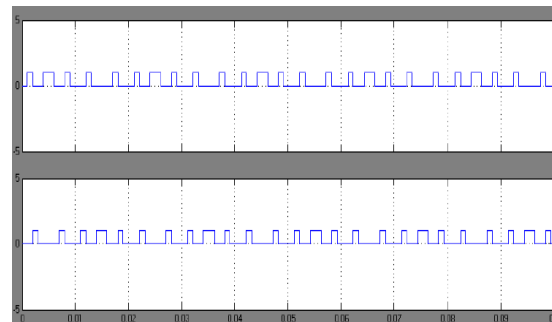
شکل ۳- ی: طیف فرکانسی برای جریان خروجی اینورتر ۹ سطحی

درصد THD در اینورتر ۹ سطحی ۵.۸٪ بدست می آید و بنابراین نسبت به اینورتر سه سطحی ۲۷٪ کاهش می یابد.



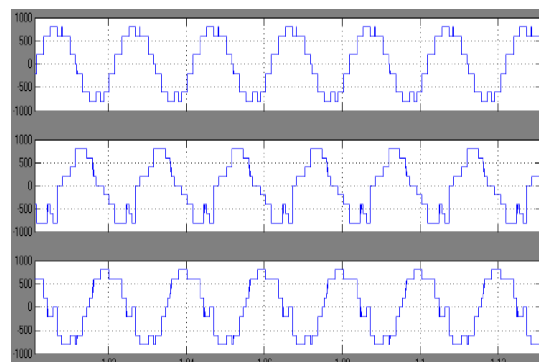
شکل ۳- ب: اینورتر ۹ سطحی

پالسهای تحریک سوئیچ S1 و S2 در شکل ۳-ج نشان داده شدند.



شکل ۳- ج: پالسهای تحریک سوئیچ S1 و S2

شکل موجهای ولتاژ خروجی اینورتر در شکل ۳-د نشان داده شده اند.



شکل ۳- د: ولتاژ خروجی اینورتر ۹ سطحی

end winding. 25th Annual Conference IECON 02 Spain, pp: 810-815.

[9] Pandian, G. and R. Reddy, 2008. On the implementation of multilevel inverter-fed induction motor drive. J. Indus. Technol., 24(2): 79-85.

[10] Rashid, M.H., 1996. Power Electronics Circuits Devices and Applications. 2nd Edn., PHI, New Delhi, pp: 566-572.

۷- نتیجه گیری:

در این مقاله اینورهای سه سطحی و اینورترهای نه سطحی تغذیه کننده درایو موتور القایی با استفاده از بلوکهای سیمولینک شبیه سازی شدند. نتایج سیستمهای اینورتر چند سطحی با نتایج سیستم درایو مبتنی بر مبدل منبع ولتاژ (VSI) مقایسه گردید. مشاهده گردید که اعوجاج هارمونیک کل تولید شده بوسیله اینورتر ۹ سطحی کمتر از VSI سه سطحی تغذیه کننده سیستم درایو می باشد. بنابراین حرارت و گرمای ناشی از اینورتر ۹ سطحی کمتر از VSI سه سطحی تغذیه کننده سیستم درایو می باشد. نتایج شبیه سازی جریان، ولتاژ، سرعت و طیف فرکانسی ارائه شدند. این سیستم درایو می تواند در صنایعی که درایوهای سرعت متغیر برای تولید خروجی با محتوای هارمونیک کاهش یافته مورد نیاز است استفاده شود، زیرا عملکرد بهتری نسبت به اینورتر ۳ سطحی دارد.

مراجع:

- [1] Bashi, S.M., N. Mariun and N.F. Alhalali, 2008. On low harmonic single phase multilevel power inverter. Asian J. Sci. Res., 1(3): 274-280.
- [2] Dixon, J. and L. Moran, 2006. High-level multi-step inverter optimization using a minimum number of power transistors. IEEE Tran. Power Electron., 21(2):330-337.
- [3] DuLeon, Z., M. Tolbert and J.N. Chiasson, 2006. Active Harmonic Elimination for Multilevel Converters. IEEE Tran. Power Electron., 21(2): 459-469.
- [4] Feng, C. and G.A. Vassilions, 2000. On the Comparison of fundamental and high frequency Carrier based techniques for multilevel NPC Inverters. IEEE PES Conf., 2: 520-525.
- [5] Golubev, A.N. and S.V. Ignatenko, 2000. Influence of number of stator winding phases on noise characteristic of an asynchronous motor. Russ. Electr. Eng., 71(6): 41-46.
- [6] Gopukumar, K., S.K. Biswas, S. Satishkumar and V. Joseph 1984. Modified current source inverter fed induction motor drive with reduced torque pulsation. IEE Proc., 313(4): 150-164.
- [7] Jagadish, K., D. Biswarup and A. Pramod, 2009. On the harmonic reduction technique for a cascade multilevel inverter. Int. J. Recent Trends Eng., 1(3).
- [8] Mohapatra, K.K., K. Gopukumar, V.T. Somashekhar and L. Umanand, 2002. A Modulation scheme for six phase induction motor with an open-