Design And Implementation Of Three-Phase Motors Control System Using Vector Control Sterategy Based On Digital Signal Processors

Hossein Shabanloo[*,1], **AmirHossein Abolmasoumi**[2], **AliAsghar Ghadimi**[3], **Mazdak Ebadi**[4]

[1] MSc Student of Arak University
Email: h.shabanloo@hotmail.com
[2] Assistant Professor of Arak University
Email: a-abolmasoumi@araku.ac.ir
[3] MSc Student of Arak University
Email: aa-ghadimi@araku.ac.ir
[4] Assistant Professor of Arak University
Email: m-ebadi@araku.ac.ir.

Abstract

In this artile, three-phase motors driver controlled based on digital signal processor board, are designed and implementation. Three-phase drive which designed based on hardware circuits, is able to used in all speed control and position control processes of most motors, as sensorless or with sensor. To test and related experiments, speed control of a permanent magnet synchronous motor (PMSM) based on space vector pulse width modulation (SVPWM), using optical encoder in the vector control sterategy is considered. Also presented structures and functions of the processor TMS320F2812, which used to implement speed control system. Simulink/MATLAB software has been used for simulation of speed control PMSM and programming TMS320F2812 processor.

Keywords: Digital Signal Processor, Drive, PMSM, Space Vector Modulation, Speed Control, Simulink/MATLAB Software.

سومین کنفرانس بین المللی
رویکرد های نوین در علوم، مهندسی و تکنولوژی
۱۹-۱۸ آذرماه ۱۳۹۴ دبی
2015

طراحی و پیاده‌سازی سیستم کنترل موتورهای سه‌فاز با استفاده از استراتژی کنترل برداری بر اساس پردازنده‌های سیگنال دیجیتال

حسین شعبانلو[*،1]، امیرحسین ابوالمعصومی[2]، علی‌اصغر قدیمی[3]، مزدک عبادی[4]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه اراک. پست الکترونیکی: h.shabanloo@hotmail.com
[2] هیأت علمی دانشگاه اراک. پست الکترونیکی: a-abolmasoumi@araku.ac.ir
[2] هیأت علمی دانشگاه اراک. پست الکترونیکی: aaghadimi@araku.ac.ir
[2] هیأت علمی دانشگاه اراک. پست الکترونیکی: m-ebadi@araku.ac.ir

چکیده

در این مقاله درایو موتورهای سه فاز که بر اساس برد پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال کنترل می‌شوند، طراحی و ساخته شده است. درایو سه فاز بر اساس مدارات سخت‌افزار طراحی شده، توانایی دارد تا در کلیه‌ی پروسه‌های کنترل سرعت و یا کنترل موقعیت انواع موتورها به صورت بدون سنسور و یا با سنسور مورد استفاده قرار گیرد. جهت تست و آزمایشات مربوطه، کنترل سرعت یک موتور سنکرون مغناطیس دائم بر اساس مدولاسیون بردار فضایی با استفاده از انکودر نوری در استراتژی کنترل برداری در نظر گرفته شده است. همچنین ساختار و توابعی از پردازنده‌ی ***TMS320F2812*** که جهت پیاده‌سازی سیستم کنترل سرعت مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به صورت مختصر شرح داده شده‌اند. محیط ***Simulink*** نرم‌افزار ***MATLAB*** به منظور شبیه‌سازی کنترل سرعت موتور سنکرون مغناطیس دائم و برنامه‌ریزی پردازنده‌ی ***TMS320F2812*** استفاده شده است.

کلمات کلیدی: پردازنده سیگنال دیجیتال، درایو، موتورسنکرون مغناطیس دائم، مدولاسیون بردار فضایی، کنترل سرعت، نرم‌افزار Simulink/MATLAB.

1- مقدمه:

در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های روز افزون در زمینه‌ی الکترونیک قدرت و تکنولوژی ساخت ادوات الکترونیک قدرت، استفاده از تکنولوژی‌های الکترونیک قدرت رو به افزایش بوده است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای تکنولوژی الکترونیک قدرت ساخت مبدّل‌های قدرت از جمله مبدّل‌های DC/DC، AC/DC و DC/AC می‌باشد که برای تبدیل و انتقال انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند(Hart, 2011). مبدّل‌های DC/AC به دو دسته‌ی کلی اینورترها و درایوها تقسیم‌بندی شوند. درایوها و اینورترها از یکسانی برخوردار می‌باشند؛ با این تفاوت که درایوها به منظور کنترل سرعت موتورهای الکتریکی با تغییر فرکانس و دامنه‌ی ولتاژ خروجی، به کار گرفته می‌شوند.

کیفیت بالا، توان بالا، استحکام بالا، اینرسی کم و کشف مواد مغناطیسی جدید در ساخت موتورهای سنکرون مغناطیس دائم، از سویی موجب شده تا ساخت درایو موتورهای سنکرون مغناطیس دائم افزایش یابند تا به صورت گسترده در صنایع مختلفی همچون صنعت برق، گاز، نظامی و ... استفاده شوند. به همین منظور در (Xu, Xu, & Tang, 2001) سیستم کنترل سرعت یک موتور سنکرون مغناطیس دائم در خودروهای برقی مبتنی بر پردازنده‌ی TMS320F240 طراحی شده که پردازنده‌ی انتخابی از قابلیت و کارایی پایینی برخوردار می‌باشد. در (Shihua, Mingming, & Xinghuo, 2013) یک کنترلر غیرخطی مد لغزشی ترمینال، سرعت موتور سنکرون مغناطیس دائم را کنترل می‌کند. در (Hu & Nan, 2008) نیز از یک ماژول مدار قدرت PM30CSJ060، که در آن تنها به جزئیات مدار آشکارساز جریان اشاره شده، ساخته شده است. در (Jun, Wankui, & Lili, 2013) مدارات تشکیل دهنده‌ی درایو موتور سنکرون مغناطیس دائم طراحی و ساخته شده که جزئیات طراحی کلیه‌ی مدارات شرح داده شده‌اند؛ مدارات و تراشه‌های متعدد درایو (Jun et al., 2013)، افزایش حجم و هزینه درایو را در پی داشته است.

در این مقاله درایو سه‌فازی که قادر به راه‌اندازی انواع موتورهای الکتریکی تا قدرت 2.6 کیلووات می‌باشد، طراحی و ساخته شده است. جزئیات تمامی مدارات درایو، جهت عملکرد سازگار با پردازنده‌های سیگنال دیجیتال که از ولتاژ کاری 3.3 ولت برخوردار هستند، به صورت شماتیک ارائه شده‌اند. تست و راه‌اندازی، توسط پروسه‌ی کنترل سرعت یک موتور سنکرون مغناطیس دائم بر اساس روش کنترل برداری اجرا شده است. به منظور صحت عملکرد تئوری کنترل برداری و برنامه‌ریزی پردازنده‌ی TMS320F2812، از محیط Simulink نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. همچنین در این مقاله ساختار و توابعی از برد پردازنده‌ی TMS320F2812 که به منظور کنترل سرعت به کار گرفته می‌شوند، به صورت مختصر شرح داده شده‌اند.

2- مدل‌سازی موتورسنکرون مغناطیس دائم مبتنی بر روش کنترل برداری:

2-1- مدل‌ریاضیاتی موتور سنکرون مغناطیس دائم:

معادلات موتورهای سنکرون مغناطیس دائم در قاب مرجع گردان جهت اجرای پروسه‌ی کنترل سرعت، از دو معادله‌ی ولتاژ و یک معادله‌ی دینامیکی تشکیل می‌شود. معادلات ولتاژ در رابطه‌ی (1) مشاهده می‌شوند:

(1)

$$\begin{pmatrix} v_{\mathrm{d}} \\ v_{\mathrm{q}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_s + sL_d & -\omega_e L_q \\ \omega_e L_q & r_s + sL_d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{\mathrm{d}} \\ i_{\mathrm{q}} \end{pmatrix} + \left\{ (L_d - L_q)(\omega_e i_d - i_q) + \omega_e \lambda_f \right\} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

معادله‌ی دینامیکی موتورهای سنکرون مغنطیس دائم به منظور محاسبه‌ی سرعت روتور به فرم رابطه‌های (2) و (3) تعریف می‌شود:

(2)

$$s\omega_e = \frac{1}{j}\left[n_p T_e - n_p T_l - B\omega_e\right]$$

(3)

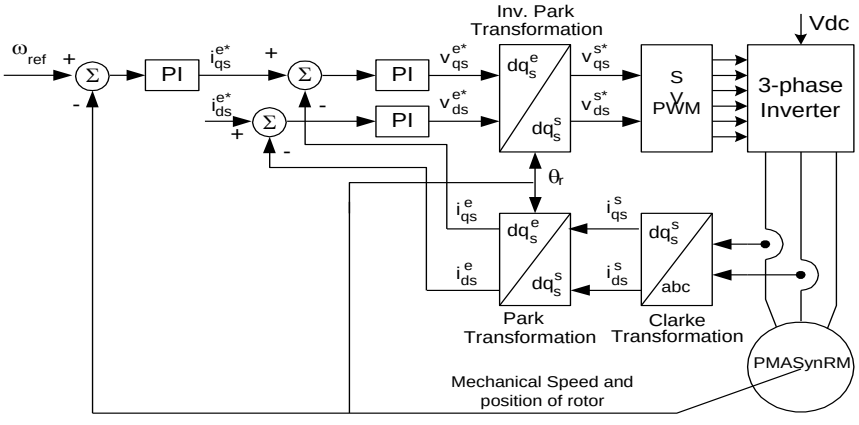
$$T_e = 1.5 n_p \left(\lambda_f i_q + \left(L_d - L_q\right) i_d i_q\right)$$

در روابط فوق، i_q, i_d و v_q, v_d به ترتیب جریان و ولتاژهای محورهای d و q در قاب مرجع گردان، S عملگر مشتق، ω_e سرعت چرخش روتور، θ_e موقعیت زاویه‌ای روتور، L_q, L_d به ترتیب اندوکتانس محورهای d و q که در موتورهای سنکرون مغناطیس دائم سطحی $L_q = L_d = L$ می‌باشد، λ_f شارپیوند مغناطیس دائم و r_s مقاوت استاتور، B ضریب استحکاک، j ممان اینرسی، n_p تعداد جفت قطب، T_l گشتاور بار و T_e گشتاور الکترومغناطیسی در معادلات موتورهای سنکرون مغنطیس دائم به شمار می‌روند.

2-2- قاعده‌ی کنترل برداری در موتور سنکرون مغناطیس دائم:

در کنترل جهت‌دهی میدان به روش کنترل برداری، موتور سنکرون مغناطیس دائم همانند پروسه‌ی کنترل گشتاور یک موتور DC در نظر گرفته می‌شود؛ بدین صورت که بردارهای جریان به دو جز اصلی جریان تحریک و جریان گشتاور تقسیم می‌شود. جریان تحریک نقش تولید شارمغناطیسی در موتور و جریان گشتاور نقش تولید گشتاور در موتور را برعهده دارند. در واقع پروسه‌ی کنترل موتور سنکرون مغناطیس دائم بر عهده‌ی این دو جز جریان می‌باشد و دقیقا همانند کنترل یک موتور DC می‌باشد(Jun et al., 2013).

با توجه به جداسازی انجام شده در موتورهای سنکرون مغناطیس دائم، از دو مولفه‌ی جریان i_d و i_q برخوردار می‌شویم که در موتورهای سنکرون مغناطیس سطحی، به دلیل تولید میدان مغناطیسی به صورت پیوسته توسط آهنرباهای روتور، مقدار جریان i_d در مقدار صفر تنظیم می‌شود و مقدار جریان i_q با استفاده از خروجی کنترلر سرعت ویا کنترلر موقعیت قابل محاسبه می‌باشد. از اینرو، بلوک دیاگرام کنترل برداری یک موتور سنکرون مغناطیس دائم سطحی را می‌توان به صورت شکل (1) در زیر به نمایش گذاشت(Akin & Bhardwaj, 2013). در شکل (1) مشخص است جهت پیاده‌سازی تئوری کنترل برداری در موتور سنکرون مغناطیس دائم، نیاز به کارگیری تبدیلات پارک و کلارک در معادلات هستیم تا معادلات مربوطه را به فرم مورد نیاز کنترل برداری تبدیل کنند. همچنین از دو کنترلر PI جهت کنترل جریان در حلقه‌های درونی و یک کنترلر PI جهت کنترل سرعت در حلقه‌ی بیرونی بلوک دیاگرام استفاده شده که پارامتر کنترلرها به روش (Ahmed, 1997) بدست آمده‌اند.



شکل (1): بلوک دیاگرام موتور سنکرون مغناطیس دائم با استفاده از سنسور

3- پردازنده‌های سیگنال دیجیتال:

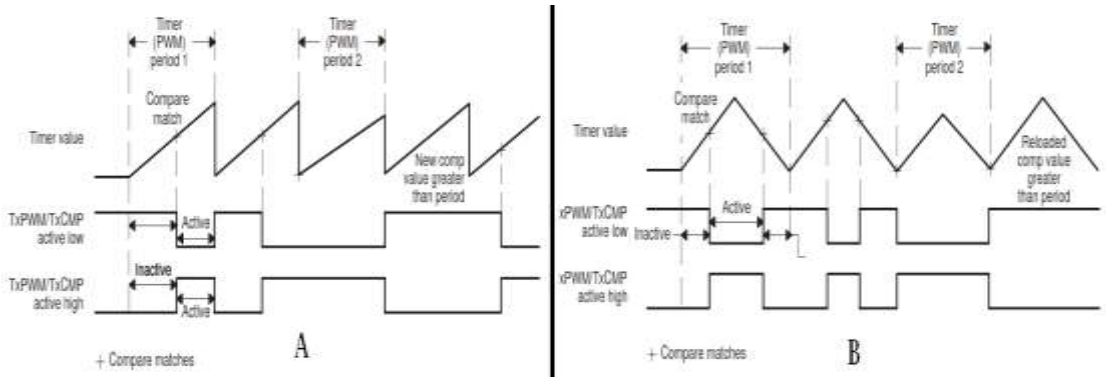
یک پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال در واقع سخت‌افزار خاصی که بر اساس عملیات ریاضی جهت مدیریت داده‌های دیجیتال طراحی شده است. هدف اصلی از تولید پردازنده‌های دیجیتال، پردازش داده‌ها با بیشترین سرعت ممکن و تولید یک جریان خروجی از داده‌های جدید در زمان واقعی می‌باشد. تولید خروجی از داده‌ها در زمان واقعی، یکی از الزامات مهم در مبدل‌های الکترونیک قدرت به شمار می‌رود؛ چراکه پردازش زمان واقعی اطلاعات در پردازنده‌های سیگنال دیجیتال باعث شده تا سیگنال‌های خروجی در هنگام تولید شدن آنها بر اساس سیگنال‌های ورودی محاسبه شده و در خروجی‌ها بدست آیند. به همین منظور پردازنده‌های سیگنال دیجیتال یک انتخاب طبیعی برای محققانی است که نیازمند انجام محاسبات ریاضی با سرعت بالا در الکترونیک قدرت هستند. همچنین کاهش هزینه و افزایش عملکرد بیش از طرح های کلاسیک، در پردازنده‌های سیگنال دیجیتال از دیگر مزایای آنها به شمار می‌رود.

در این پروژه از یک برد پردازنده‌ی TMS320F2812 که دارای قابلیت‌های مختلفی بوده و از جمله ویژگی‌های آن می‌توان به ماژول‌های تبدیل آنالوگ به دیجیتال 12 بیتی به تعداد 16 کانال، بیش از 56 کانال آدرس‌دهی ورودی/خروجی، هسته‌ی پردازنده‌ی 32 بیتی و ماژول‌های Event Manager (EV) که جهت کنترل موتورهای الکتریکی قابل بهره‌برداری می‌باشند، اشاره نمود.

در برد پردازنده ماژول‌های EV جهت اجرای پروسه‌ی کنترل سرعت و یا موقعیت با نام‌های EVA و EVB در برد مشخص شده‌اند؛ ماژول‌های EV دارای توابع و ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که باعث شده کاربرد این پردازنده‌ها در تحقیقات رو به فزونی باشد. از جمله ویژگی‌های شاخص این ماژول‌ها، امکان کنترل حلقه بسته‌ی موتورهای الکتریکی می‌باشد. امکانات و قابلیّت‌های هر دو ماژول EVA و EVB کاملاً شبیه یکدیگر بوده و این ویژگی‌ها برای ماژول EVA عبارتاند از: پورت‌های خروجی PWM1 تا PWM6، دو تایمر General Purpose که به صورت GP1 و GP2 نامگذاری می‌شوند، ورودی‌های QEP1، QEP2 و QEP3 که با اعمال پالس‌های خروجی انکودرها به این سه ورودی، موقعیت و سرعت موتورها قابل محاسبه می‌باشد؛ همچنین سه ورودی نامبرده به ترتیب با عناوین CAP1، CAP2 و CAP3 نیز معرفی می‌شوند(Instruments, 2007).

هدف اصلی از به کارگیری GP تایمرها به عنوان مقایسه کننده تولید زمان مرده در پالس‌های PWM می‌باشد. زمان مرده در مبدل‌های الکترونیک قدرت از الزامات راه‌اندازی برد اینورترها به شمار می‌رود که در پردازنده‌ی TMS320F2812 تحقق این امر با استفاده از GP1 به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد. با تنظیم زمان مرده‌ی کافی در یک مبدل الکترونیک قدرت قادر خواهیم بود تا از روشن شدن همزمان کلیدهای یک بازو در اینورتر جلوگیری کنیم و تا زمانیکه کلید بالا/پایین در یک بازو کاملاً خاموش نشده، کلید دیگر در همان بازو روشن نشود.

ماژول EV در مجموع دارای 8 خروجی PWM می‌باشد که 6 عدد از آنها توسط سه مقایسه‌کننده‌ی کامل و 2تای دیگر آنها توسط تایمرهایGP کنترل و تولید می‌شوند. در پردازنده‌ی مورد بحث، جهت تولید فرکانس حامل دو حالت up و up/down وجود دارد که در حالت up فرکانس حامل به صورت یک شکل موج دندانه ارّه‌ای و یا مثلثی غیرمتقارن، و در حالت up/down فرکانس حامل به صورت یک شکل موج مثلثی متقارن، فرکانس کلیدزنی را در مدولاسیون پهنای پالس تولید می‌کند deshmu. شکل (2) تولید پالس‌های PWM توسط فرکانس‌های حامل به حالت‌هایup و up/down برای یک بازوی اینورتر به نمایش گذاشته شده است(Instruments, 2007).



شکل (2): تولید PWM با استفاده از فرکانس کلیدزنی نامتقارن (A) و متقارن (B)

برنامه‌ریزی پردازنده‌های سیگنال دیجیتال شرکت Texas Instrument، توسط نرم‌افزار خاصی تحت عنوان Code Composer Studio (CCS) صورت می‌پذیرد. کدهای پردازنده‌های سیگنال دیجیتال سری F2812 و F28335 به دو روش زیر بر روی پردازنده بارگذاری می‌شوند:

1 - روش مستقیم (برنامه نویسی زبان C و یا اسمبلی از طریق نرم‌افزار CCS)،

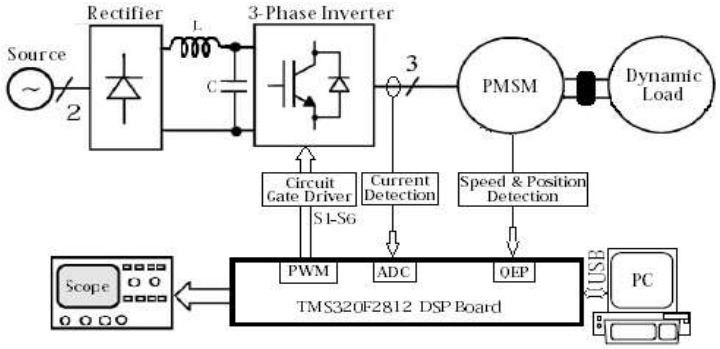
2 - روش غیر مستقیم (شبیه‌سازی در نرم‌افزار PSIM و یا نرم‌افزار MATLAB/Simulink)،

این مقاله جهت تولید کدهای سیستم کنترل سرعت موتور سنکرون مغناطیس دائم مبتنی بر کنترل برداری، از محیط Simulink نرم‌افزار MATLAB استفاده کرده است.

4- طراحی و پیاده‌سازی مدارات سخت‌افزار سیستم کنترل:

4-1- ساختار کلی سیستم کنترل:

در شکل (3) بلوک دیاگرام کلیه‌ی بخش‌های تشکیل دهنده‌ی سیستم کنترل سرعت یک موتور سنکرون مغناطیس دائم مشاهده می‌شود. با دقت در شکل (3) مشخص است که بخش سخت‌افزار سیستم کنترل شامل، یکسوساز تک‌فاز کنترل نشده، فیلتر LC جهت برخورداری از یک ولتاژ DC صاف در اینورتر، مدارات آشکار ساز، برد پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال و مدار قدرت اینورتر که نقش تولید ولتاژهای سه‌فاز را بر عهده دارد.



شکل (3): بلوک دیاگرام بخش‌های مختلف سیستم کنترل

همانطور که در شکل (3) مشخص شده، جریان‌های سه‌فاز جهت اعمال به ماژول آنالوگ/ دیجیتال، توسط مدار آشکارساز جریان با سنسور اثر هال صورت می‌پذیرد. همچنین سرعت و موقعیت در موتور سنکرون مغناطیس دائم، توسط یک مدار آشکارساز، پالس-های انکودر را از پردازنده ایزوله کرده و به پورت‌های QEP در ماژول EV متصل می‌گردند.
علاوه بر این در دیاگرام شکل (3)، برد گیت درایو نقش اصلی در راه‌اندازی سیستم کنترل را بر عهده دارد. عمل سوئیچینگ کلیدهای قدرت و ایزولاسیون بین مدار قدرت و پردازنده، از وظایف اصلی برد گیت درایو به شمار می‌روند.

2-4- طراحی مدار قدرت:

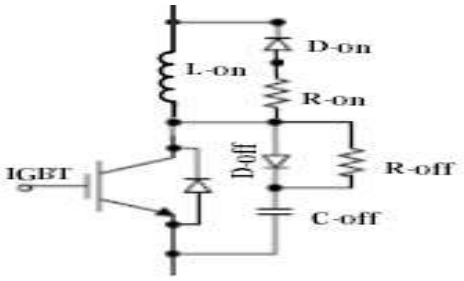
مدار قدرت سیستم کنترل متشکل از ماژول یکسوساز کنترل نشده، فیلتر LC، مدار کلیدهای قدرت و مدارات حفاظت کلیدهای قدرت می‌باشد. در سیستم کنترل ساخته شده یک ماژول یکسوساز غیرقابل کنترل D25XD80 با ولتاژ نامی 800 ولت نقش تولید ولتاژ یکسو با دامنه‌ی حدود 300 ولت (به دلیل تک‌فاز بودن) در مدار را بر عهده دارد. به همین منظور، عمل صافی جهت برخوردار شدن از یک ولتاژ DC صاف در مدار قدرت سیستم کنترل، توسط 6 خازن 680 میکرو فارادی با ولتاژ نامی 450 ولت و یک سلف 5 میلی‌هانری با جریان نامی 15 آمپر که به صورت تجربی انتخاب شده‌اند، انجام می‌شود.
برد مدار قدرت که شامل کلیدهای قدرت و مدارات حفاظت آنها می‌باشد توسط نرم‌افزار Altium Designer طراحی و چاپ شده است. بر اساس استانداردهای رعایت شده در طراحی برد قدرت، ولتاژ نامی 600 ولت و جریان خروجی 15 آمپر برای برد قدرت قابل بهره‌برداری می‌باشد که بر اساس رابطه‌ی (4) در زیر قادر به محاسبه‌ی توان خروجی در درایو طراحی شده می‌باشیم:

$$P_{Out} = \sqrt{3} V_{Out} I_{Out} Cos\varphi \qquad (4)$$

در رابطه‌ی (4)، V_{Out} رنج ولتاژ خروجی، I_{Out} مقدار موثر جریان خروجی، P_{Out} توان خروجی اینورتر و $Cos\varphi$ کیفیت توان در اینورتر به شمار می‌روند. هنگام عملکرد اینورتر، با در نظر گرفتن الزامات اضافه بار در موتور، رنج قدرت 1.5 برابر شده و کیفیت توان برابر 0.7 در نظر گرفته می‌شود(Jun et al., 2013). به همین منظور، مقدار قدرت خروجی از طریق رابطه‌ی (5) به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$P_{Out} = \left(\sqrt{3} * 220 * 15 * 0.7\right) / 1.5 = 2.6 \quad KW \qquad (5)$$

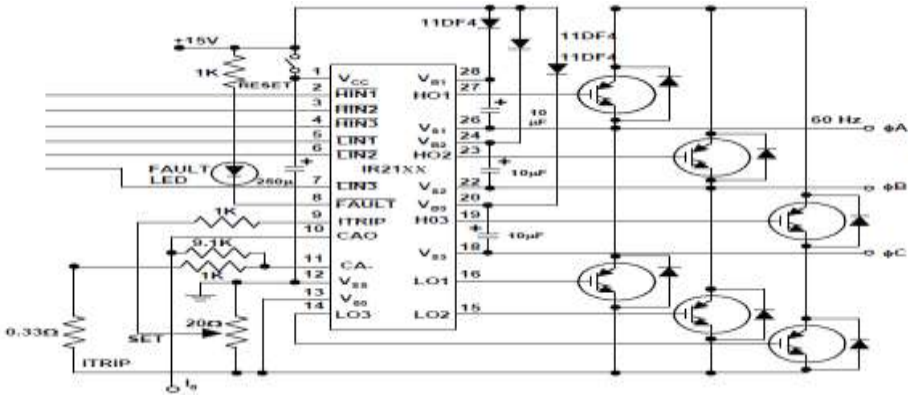
با توجه به توان خروجی 2.6 کیلووات در برد طراحی شده، برد قدرت به راحتی قادر به کنترل موتور یک کیلوواتی می‌باشد.
در مدار قدرت اینورتر از شش کلید IGBT مدل SGH80N60UFD با جریان نامی 80 آمپر در دمای 25 درجه‌ی سانتی‌گراد، استفاده شده است. جهت حفاظت کلیدها در هنگام روشن/خاموش شدن و همچنین جهت کاهش تلفات کلیدزنی در پروسه‌ی کنترل سرعت، از دو مدار اسنابر روشن/خاموش که به ترتیب به صورت سری و موازی با هر یک کلیدها قرار می‌گیرند، در نظر گرفته شده است. شکل (4) نحوه‌ی اتصال مدارات اسنابر تنها برای یک کلید IGBT را نمایش می‌دهد.



شکل (4): نحوه‌ی اتصال کلید IGBT با مدارات اسنابر روشن (on) و خاموش (off)

3-4- طراحی مدار گیت‌درایو:

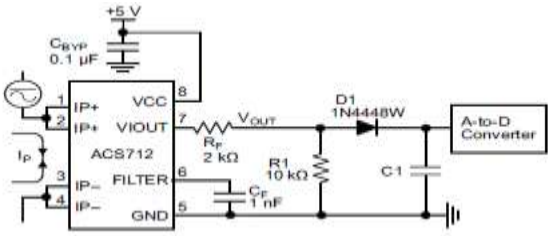
جهت ایجاد ایزولاسیون بین پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال و مدار قدرت، اپتوکوپلر سرعت بالای 6N137، به همراه تراشه‌ی گیت درایو IR-2132 که نقش منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ را در مدار ایفا می‌کند، استفاده شده است. مدار شماتیک گیت درایو که دارای شش پالس ورودی/ خروجی با زمان مرده‌ی 0.8 میکرو ثانیه و ولتاژ نامی 600 ولت می‌باشد در شکل (5) دیده می‌شود.



شکل (5): مدار شماتیک گیت درایو IR-2132

4-4- مدار آشکارساز جریان:

در مدار آشکارساز جریان از سنسورهای اثر هال ACS712-20A تحت مدار شماتیک شکل (6)، جهت اندازه‌گیری جریان‌های AC و DC در نظر گرفته شده است.



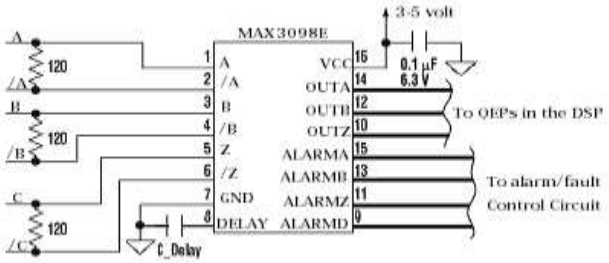
شکل (6): مدار شماتیک سنسور اثر هال ASC712-5A

ویژگی بارز سنسورهای ACS712 شیفت 2.5 ولتی در خروجی سنسور جریان می‌باشد. این ویژگی باعث شده تا به صورت چشمگیری از اضافه شدن مدارات جانبی به سیستم کنترل خودداری و تنها با اعمال یک مدار مقسّم ولتاژ معمولی در خروجی سنسور، که در شکل (6) نیز قابل مشاهده است، خروجی سنسور را از دامنه‌ی 3.3 ولت، که ولتاژ کاری در پردازنده‌های سیگنال دیجیتال می‌باشد، برخودار کرد.

5-4- مدار آشکارساز سرعت و موقعیت:

بر خلاف (Jun et al., 2013) که از دو مدار مجزا به عنوان مدارات آشکار ساز سرعت و موقعیت استفاده شده و پیاده‌سازی این مدارات سبب افزایش حجم سیستم کنترل، افزایش خطا و افزایش هزینه در ساخت سیستم کنترل می‌شود. در این پروژه تنها از

یک تراشه‌ی MAX3098E جهت ایفای نقش مدارات آشکارساز سرعت و موقعیت در نظر گرفته شده است. شکل (7) مدار شماتیک آشکار ساز سرعت و موقعیت را نشان می‌دهد.

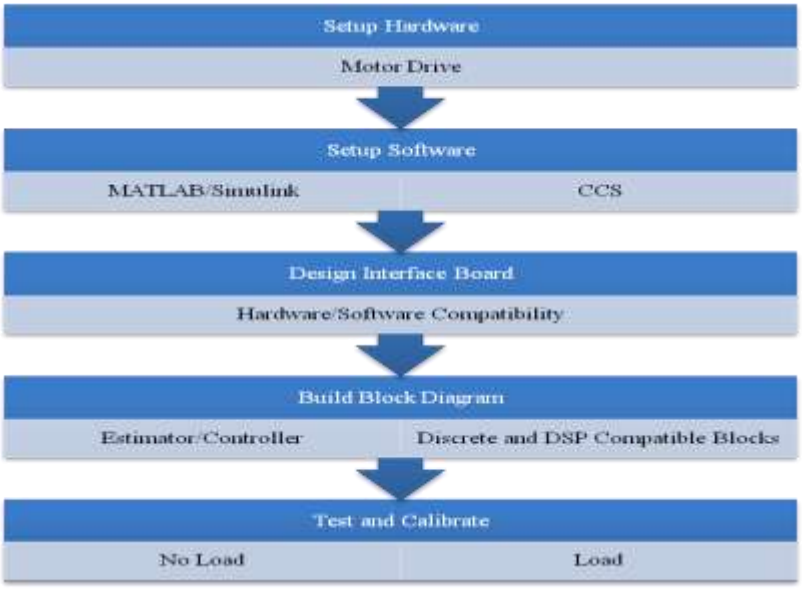


شکل (7): مدار شماتیک تراشه‌ی MAX3098E

همچنین ویژگی مهم MAX3098E ولتاژ کاری 3 الی 5 ولت در تراشه بوده که با تامین یک ولتاژ 3.3 ولت در تغذیه‌ی این تراشه دیگر نیازی به مدارات جانبی، جهت اعمال خروجی‌ها به پردازنده‌های سیگنال دیجیتال نمی‌باشیم. استفاده از تراشه‌ی نامبرده باعث شده تا به صورت چشمگیری حجم مدارات سیستم کنترل، کاهش یابند.

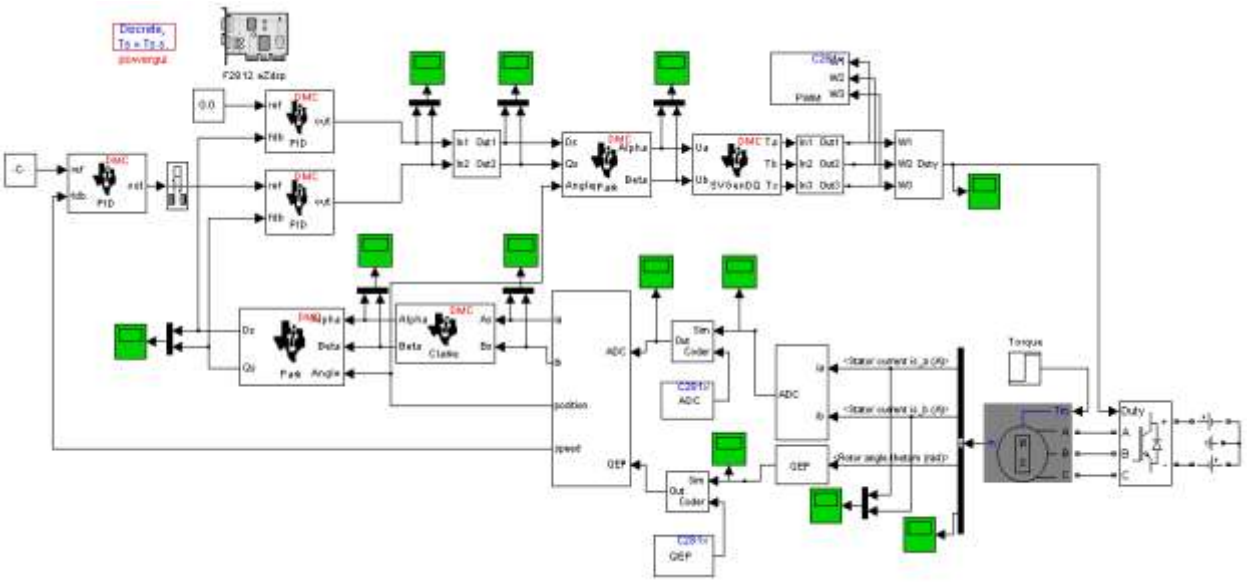
5- شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی:

محیط Simulink نرم‌افزار MATLAB قادر است با تا دقت بالایی سیستم کنترل برداری یک موتور سنکرون مغناطیس دائم را شبیه‌سازی کند. همچنین این نرم‌افزار با لینک شدن نرم‌افزار CCS، بارگذاری کدهای پردازنده‌ی TMS320F2812 را به منظور اجرای سیستم کنترل سرعت موتور سنکرون مغناطیس دائم ایفا می‌کند. شکل (8) مراحل تولید کدهای پردازنده‌ی TMS320F2812 با لینک شدن نرم‌افزارهای CCS و MATLAB را نشان می‌دهد.



شکل (8): مراحل پیاده‌سازی کنترل سرعت با لینک شدن نرم‌افزارهای CCS و MATLAB/Simulink

در شکل (9) شبیه‌سازی سیستم کنترل برداری موتور سنکرون مغناطیس دائم در محیط Simulink، مبتنی بر بلوک دیاگرام شکل (1) دیده می‌شود. به جهت میبز ثابت بودن پردازنده‌ی TMS320F2812 زمان شبیه‌سازی، بی‌نهایت (inf) در نظر گرفته شده و تنها بلوک‌های گسسته جهت پیاده‌سازی سیستم کنترل سرعت استفاده شده‌اند.



شکل (9): شبیه‌سازی سیستم کنترل سرعت در نرم‌افزار MATLAB/Simulink بر اساس پردازنده‌ی TMS320F2812

جهت اجرای مراحل شکل (8) در محیط Simulink، کافی است کلید Incremental Build در نوار ابزار انتخاب شود. همچنین با فشردن همزمان کلیدهای Ctrl و B در صفحه کلید، کدهای پردازنده‌ی TMS320F2812 توسط نرم‌افزار MATLAB بارگذاری می‌شوند.

با توجه به شبیه‌سازی کنترل سرعت موتور سنکرون مغناطیس دائم بر اساس پردازنده‌ی TMS320F2812، یک موتور سنکرون مغناطیس دائم 8 قطب، 1000 دور بر دقیقه، 10 آمپر، یک کیلووات که با یک موتور القائی به عنوان بار کوپل شده، در نظر گرفته شده است. پارامترهای Kp و Ki در کنترلرهای جریان به ترتیب در مقادیر 2 و 0.2 و پارامترهای Kp و Ki در کنترلر سرعت در مقادیر 5 و 0.3 بر اساس (Ahmed, 1997) محاسبه شده‌اند تا موتور سنکرون مغناطیس دائم با سرعت مرجع 400 دوربردقیقه، در برابر تغییرات ناخواسته‌ی گشتاور به خوبی کنترل شود. زمان مرده در مدولاسیون بردار فضایی 1 میکروثانیه و زمان شبیه‌سازی 12 ثانیه در نظر گرفته شده است.

در زمان‌های 4، 8 و 10 ثانیه از تغییرات گشتاور بار برخوردار بوده‌ایم. در شکل (10) مشاهده می‌شود که موتور با گشتاور بار یک نیوتون.متر راه‌اندازی و در زمان 4 ثانیه با افزایش بار به 1.5 نیوتون.متر، گشتاور الکترومغناطیسی متناسب با آن افزایش می‌یابد و سپس در زمان‌های 8 و 10 ثانیه به ترتیب گشتاور بار به مقادیر 0.5 و صفر کاهش پیدا کرده و گشتاور الکترومغناطیسی متناسب با آن کاهش می‌یابد. تغییرات سرعت موتور سنکرون مغناطیس دائم نسبت به سرعت مرجع 50 رادیان بر ثانیه، در اثر تغییرات گشتاور بار در شکل (11) ارائه شده است.

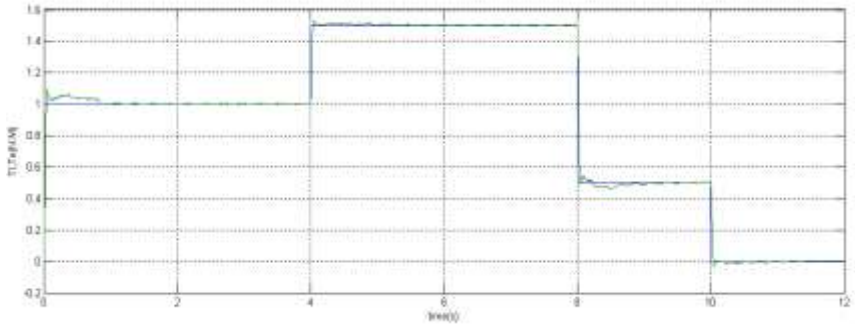
با افزایش و کاهش گشتاور بار، جریان‌های عبوری از سه‌فاز موتور سنکرون نیز از تغییرات چشمگیری برخوردار می‌باشند که در شکل (12) و شکل (13) به ترتیب منحنی جریان‌های سه‌فاز و جریان محورهای d و q موتور سنکرون مغناطیس دائم نمایش داده شده است. شکل (12) و شکل (13) نشان می‌دهند که جریان‌های جاری در موتور سنکرون مغناطیس دائم با تغییرات گشتاور بار

از تغییرات محسوسی برخوردار می‌باشند، که با عملکرد مناسب کنترلرهای جریان، از جریان‌های مطلوبی جهت اعمال به موتور برخوردار شده‌ایم.

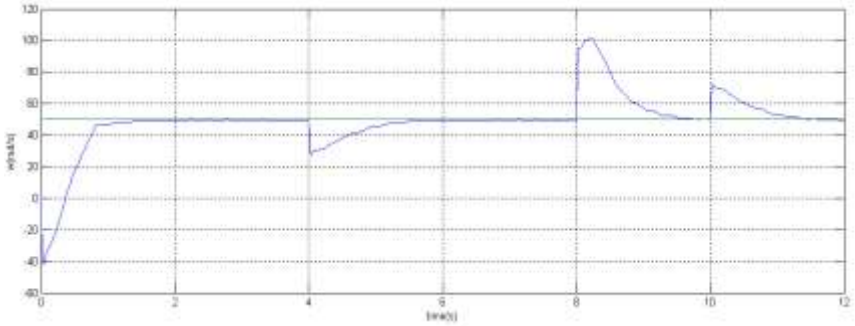
علاوه بر نتایج ارائه شده در خصوص شبیه‌سازی، توسط یک اسیلوسکوپ دو کاناله‌ی دیجیتال، نتایج آزمایشگاهی حاصل از پروسه‌ی کنترل سرعت در این مقاله ارائه شده‌اند. از اینرو به دلیل محدودیت‌های اندازه‌گیری پارامترهای آزمایشگاهی، شکل‌موج پالس‌های PWM کلیدهای IGBT در فاز a و شکل‌موج ولتاژ فازهای ab و ac به ترتیب در شکل (14) و شکل (15) به نمایش گذاشته شده‌اند.

در شکل (15) به دلیل محدودیتهای اندازه‌گیری، مقادیر اندازه‌گیری توسط اسیلوسکوپ برای شکل‌موج ولتاژ فازهای ab و ac نبوده‌اند اما با دقت در شکل (14) مشخص است در زمان اندازه‌گیری از فرکانس 10 هرتز برخوردار بوده‌ایم. همچنین در شکل (15) زمان اندازه‌گیری، فرکانس کلیدزنی دو کیلوهرتز و زمان مرده‌ی یک میکروثانیه می‌باشند.

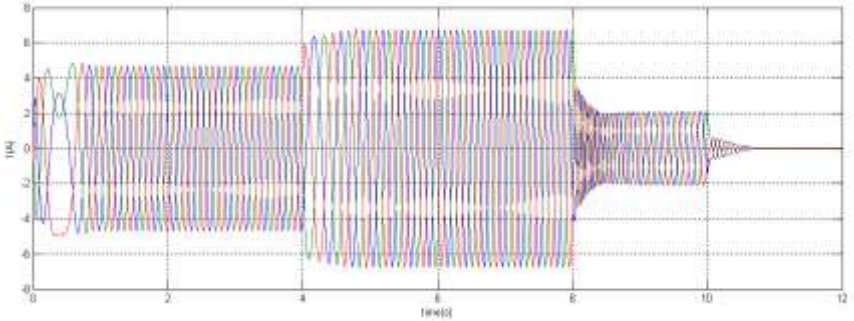
شکل (16) بخش‌های تشکیل دهنده‌ی بلوک دیاگرام شکل (3) را نشان می‌دهد.



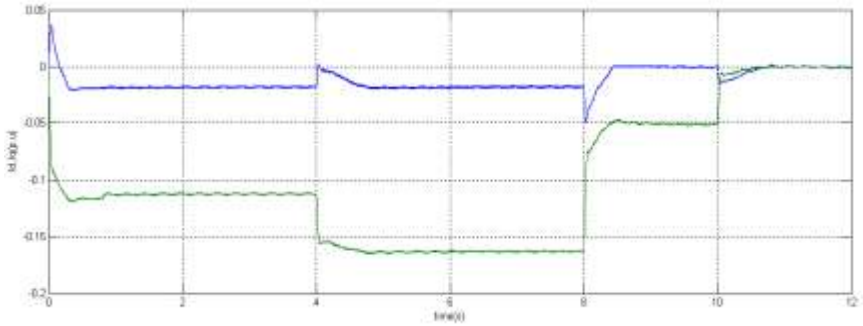
شکل (10): گشتاور بار و گشتاور الکترومغناطیسی در موتور سنکرون مغناطیس دائم



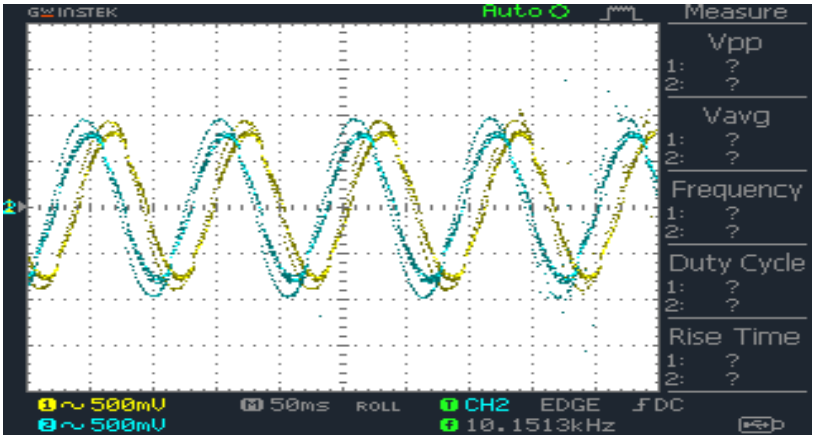
شکل (11): سرعت مرجع و سرعت واقعی موتور سنکرون مغناطیس دائم



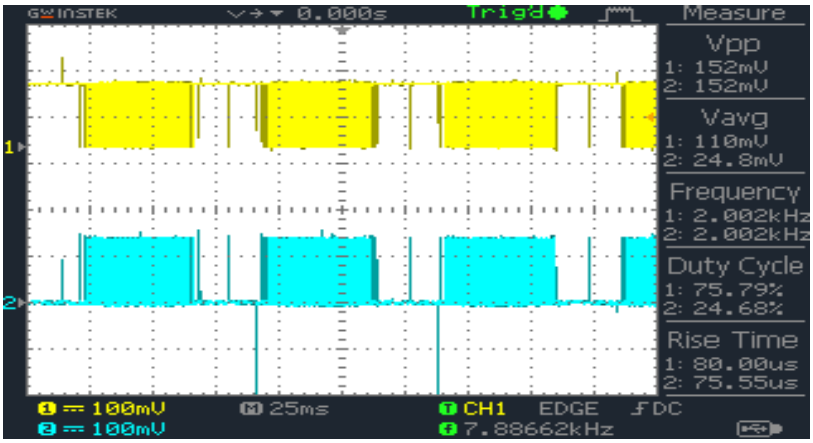
شکل (12): جریان‌های سه‌فاز موتور سنکرون مغناطیس دائم



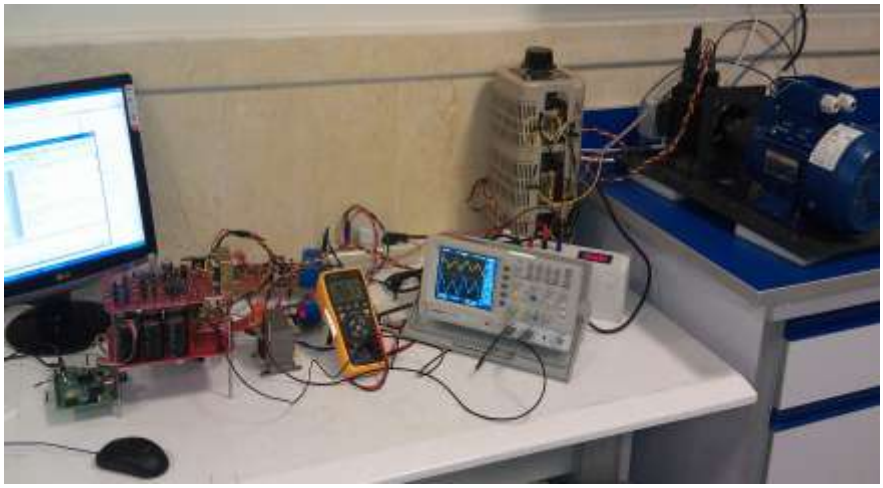
شکل (13): جریان محورهای d و q موتور سنکرون مغناطیس دائم



شکل (14): ولتاژ فازهای ab و ac در خروجی اینورتر



شکل (15): پالس‌های PWM کلیدهای قدرت فاز a در اینورتر



شکل (16): سیستم کنترل طراحی شده

6- نتیجه‌گیری:

بر اساس ساختار درایوهای کنترل سرعت و بهره‌گیری از قطعات کم حجم و ارزان قیمت، مدل جدیدی از سخت‌افزار درایو سه‌فاز طراحی و ساخته شده که قادر است با دقت بالایی موتورهای یک کیلووات را کنترل و موتورهای 2.6 کیلووات را به صورت حلقه‌باز راه‌اندازی کند. با استفاده از محیط Simulink نرم‌افزار MATLAB که از کارایی بالایی در تحلیل سیستم کنترل سرعت موتورهای سنکرون مغناطیس دائم به روش کنترل برداری برخوردار می‌باشد، برنامه‌ریزی پردازنده‌ی TMS320F2812 صورت پذیرفته است. نتایج شبیه‌سازی و آزمایشگاهی ارائه شده در خصوص سیستم کنترل سرعت موتور سنکرون مغناطیس دائم حاکی از صحت عملکرد شبیه‌سازی و سخت‌افزار طراحی شده می‌باشد. از اینرو، سخت‌افزار طراحی شده قادر است تا در پروسه‌های کنترل سرعت انواع موتورها مورد تحلیل و آزمایش واقع شود.

7- تشکر و قدردانی

از آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشگاه اراک، زمینه‌ساز بستر مناسب انجام آزمایشات و راهنمایی‌های بی‌چشم‌داشت جناب آقای دکتر امیر حیدری مدیر تولید و فنی شرکت سپید گچ، تشکر و قدردانی می‌گردد.

8- فهرست منابع

Ahmed, I. (1997). Implementation of PID and Deadbeat Controllers with the TMS320 Family (pp. 42-59): Texas Instruments Company.

Akin, B., & Bhardwaj, M. (2013). Sensorless Field Oriented Control of 3-Phase Permanent Magnet Synchronous Motors: Texas Instruments Company.

Hart, D. W. (2011). Power Electronics. United States: McGraw-Hill.

Hu, X., & Nan, G. (2008). Research of Vector Variable Frequency System Based on TMS320F2812. IEEE Computer Society Washington, 2, 34-38 .

Instruments, T. (2007). TMS320x281x DSP Event Manager (EV) Reference Guide .

Jun, Z., Wankui, L., & Lili, H. (2013). PMSM Control System Based on Digital Signal Processor. Journal of Networks, 8(4), 924-931. doi: 10.4304/jnw.8.4.924-931

Shihua, L., Mingming, Z., & Xinghuo, Y. (2013). Design and Implementation of Terminal Sliding Mode Control Method for PMSM Speed Regulation System. Industrial Informatics, IEEE Transactions on, 9(4), 1879-1891. doi: 10.1109/TII.2012.2226896

Xu, J., Xu, Y., & Tang, R. (2001, 2001). Development of full digital control system for permanent magnet synchronous motor used in electric vehicle. Paper presented at the Electrical Machines and Systems, 2001. ICEMS 2001. Proceedings of the Fifth International Conference on.

International Conference 2015 3rd

Abu Dhabi CONFERENCE, Emirates, 2015

December 9-10

ZAYED UNIVERSITY

on New Approches in Sciences, Engineering & Technology

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

Hossein Shabanloo, Amirhossein Abolmasoumi, Aliasghar Ghadimi, Mazdak Ebadi

at Zayed University, Abu Dhabi Emirates presented a manuscript entitled:

Design And Implementation Of Three-Phase Motors Control System Using Vector Control Sterategy Based On Digital Signal Processors

Prof.Ian Michael

Scientific Secretary

Dr.M.Moshkani

Conference Chairman

ZAYED UNIVERSITY