



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

کنترل برداری موتور سنکرون آهنربای دائم بر اساس پالس سینوسی تعدیل

عرض اینورتر با کنترل کننده انتگرال متناسب

چکیده

این مقاله در رابطه با کنترل برداری موتور سنکرون آهنربای دائم (PMSM) می باشد. مدل ریاضی PMSM با استفاده از قابلیت های مدل سازی نرم افزار شبیه سازی قدرتمند MATLAB / SIMULINK اجرا شده است. کل سیستم کنترل PMSM به چندین ماژول کاربردی مستقل مانند ماژول بدنه PMSM، ماژول اینورتر و ماژول هماهنگی تبدیل و ماژول تولید مدولاسیون عرض پالس سینوسی (SPWM) و غیره تقسیم شده است. ما می توانیم انواع شبیه سازی شکل موج ها را تجزیه و تحلیل کنیم که برای تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم کنترل PMSM ایده قابل اجرایی را ارائه می دهد.

کلمات کلیدی – تبدیل کلارک، مدل ریاضی موتور سنکرون آهنربای دائم، تبدیل پارک، مدولاسیون عرض پالس سینوسی، کنترل برداری.

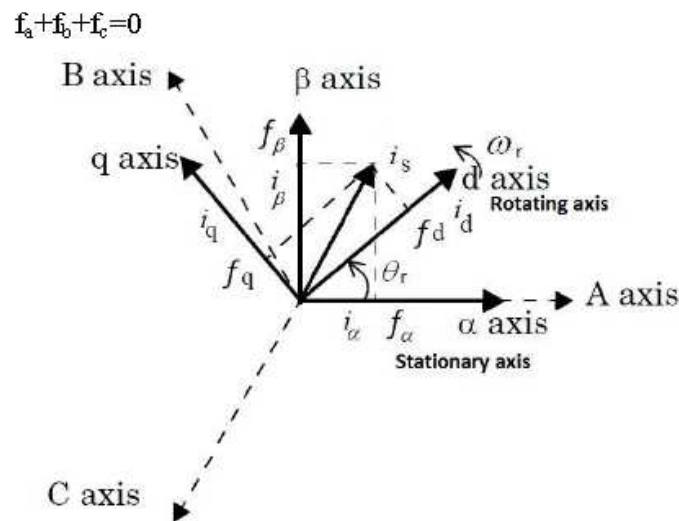
1- مقدمه

در مقایسه با دیگر اشکال موتور، موتور سنکرون آهنربای دائم (PMSM) عملکرد دینامیکی بهتر، ابعاد کوچک تر و بازده بالاتری دارد. سال های اخیر، با توسعه سریع نیروی فنی برق الکترونیک، مواد مغناطیسی دائمی کمیاب زمین و پژوهش بسیار پیچیده در رابطه با موتور آهنربای دائم همراه بوده است. موتور PMSM به طور گسترده ای در دفاع ملی، کشاورزی و زندگی روزانه استفاده می شود [1]. PMSM یک سیستم چند متغیره، غیر خطی و با کوپلینگ بالا است. گشتاور خروجی و جریان استاتور یک رابطه تابع ای پیچیده را ارائه می دهند. برای رسیدن به یک عملکرد کنترلی خوب می توان میدان مغناطیسی را جدا کرد. این هیچ لغزش جریان فرکانس، کمتر شده توسط پارامترهای روتور تحت تاثیر قرار بود، آسان تر برای پیاده سازی کنترل برداری [2]. بنابراین مدل کنترل برداری PMSM به مسئله گسترده ای تبدیل شده

است. تجزیه و تحلیل مدل ریاضی PMSM ، با قابلیت های مدل سازی نرم افزار شبیه سازی قدرتمند MATLAB / SIMULINK و سیستم کنترل PMSM به چند ماژول کاربردی مستقل مانند ماژول موتور PMSM ، ماژول اینورتر، ماژول هماهنگی تبدیل و ماژول تولید SPWM و غیره تقسیم خواهد شد. با ترکیب این ماژول ها، مدل شبیه سازی سیستم کنترل PMSM ساخته می شود.

2- تبدیل کلارک و پارک

به طور مرسوم برای نشان دادن سه فاز ماشین AC از نماد متغیر فاز استفاده می کنند. برای سه فاز متعادل اتصال ستاره ماشین، از نماد های f_a ، f_b و f_c استفاده می شود که هر یک از جریان ها، ولتاژ ها و شار پیوندی را مشخص می کند.



شکل 1. بردار فضایی جریان در چارچوب مرجع ثابت و دوار

تبدیل سه فاز به دو فاز را می توان به صورت ماتریسی همانند زیر نوشت:

$$\begin{bmatrix} f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن f_α و f_β فازور های فضای متعامد هستند. بردار فضایی جریان استاتور به عنوان یک کمیت مختلط تعریف می شود.

$$i_s = i_\alpha + j i_\beta \quad (2)$$

که ممکن است به صورت زیر، فشرده تر نیز نوشته شود:

$$i_s = \frac{2}{3}(i_\alpha + a i_b + a^2 i_c) \quad (3)$$

که در آن i_a ، i_b و i_c جریات های فازی لحظه ای هستند و a یک عملگر برداری است که بردار را به اندازه $(2\pi)/3$

می چرخاند. انتخاب مرجع ثابت در تبدیل معادله (1) تا حدودی خودسرانه است [4]، [5]. در اینجا مقدار $2/3$ انتخاب شده است. مزیت اصلی آن این است که اندازه در سراسر تبدیل حفظ شده است. رابطه معکوس به صورت زیر نوشته شده است:

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

معادلات تبدیل (1) و (4) به ترتیب به عنوان تبدیل مستقیم کلارک و تبدیل معکوس کلارک شناخته شده است. حال اگر ما متغیرهای استاتور را از چارچوب مرجع ثابت به دستگاه مرجع چرخان منتقل کنیم و سپس آن را به صورت ماتریسی همانند زیر بنویسیم:

$$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

که در آن θ_r زاویه بین چارچوب مرجع ساکن و چارچوب مرجع دوار می باشد که در شکل 1. نشان داده شده است. معادله انتقال (5) به عنوان تبدیل پارک شناخته شده است.

3- مدل ریاضی موتور سنکرون آهنربای دائم

مدل ریاضی شبیه به روتور آسیب دیده موتور سنکرون است. از آنجا که هیچ منبع خارجی متصل به سمت روتور وجود ندارد و تغییر شار روتور نسبت به زمان ناچیز است، نیازی به معادلات ولتاژ روتور نیست. چارچوب مرجع روتور در استخراج مدل PMSM استفاده شده است [6], [7]. معادله دینامیکی الکتریکی در شرایط متغیرهای فازی را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} v_a &= R_a i_a + p \lambda_a \\ v_b &= R_b i_b + p \lambda_b \\ v_c &= R_c i_c + p \lambda_c \end{aligned} \quad (6)$$

در حالی که معادلات شار پیوندی به صورت زیر هستند:

$$\begin{aligned} \lambda_a &= L_{aa} i_a + L_{ab} i_b + L_{ac} i_c + \lambda_{ma} \\ \lambda_b &= L_{ba} i_a + L_{bb} i_b + L_{bc} i_c + \lambda_{mb} \\ \lambda_c &= L_{ca} i_a + L_{cb} i_b + L_{cc} i_c + \lambda_{mc} \end{aligned} \quad (7)$$

تقارن اندوکتانس متقابل مانند $L_{ab} = L_{ba}$ ، اندوکتانس خود القا $L_{aa} = L_{bb} = L_{cc}$ و شار پیوندی λ_{ma} $\lambda_{mb} = \lambda_{mc} = \lambda_m$ را در نظر بگیرید. استفاده از تبدیل ولتاژهای (1) و (5)، معادلات جریان و شار پیوندی 6 و 7 ما را به معادلات ساده تبدیل زیر می رساند:

$$\begin{aligned} v_q &= (R_s + L_q p) i_q + \omega_r L_d i_d + \omega_r \lambda_m \\ v_d &= (R_s + L_d p) i_d - \omega_r L_q i_q \end{aligned} \quad (8)$$

L_d و L_q به ترتیب محورهای d و q سنکرون القایی نامیده می شوند. ω_r سرعت الکتریکی موتور است. هر اندوکتانس از یک اندوکتانس خودی (شامل اندوکتانس نشتی) به همراه دو جریان فازی دیگر تشکیل شده است.

گشتاور الکترومغناطیسی T_e را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$T_e = (3/2)(P/2)(\lambda_m i_q + (L_d - L_q)i_d i_q) \quad (9)$$

در معادله بالا آشکار است که گشتاور تولیدی از دو مکانیزم مجزا تشکیل شده است. شرط اولیه مربوط به واکنش متقابل گشتاور می باشد که بین i_q و آهنربای دائم اتفاق می افتد، در حالی که شرط دوم مربوط به گشتاور رلوکتانسی می باشد که به علت تفاوت در دو محور رلوکتانسی d و q (یا اندوکتانسی) ایجاد می شود. معادله دینامیکی موتور عبارت است از:

$$T_e = Jp\omega_r + B\omega_r + T_l \quad (10)$$

4- کنترل برداری

کنترل برداری نیز به عنوان یک کنترل جهت یافته و مجزا شناخته شده است. کنترل برداری مجزا سه فاز جریان استاتور در محور های جریان d و q فازی، تولید شار و گشتاور می کند که به ما اجازه می دهد تا شار و گشتاور را مستقیماً کنترل کنیم.

بنابراین با استفاده از کنترل برداری، PMSM با یک ماشین DC تحریک مستقل معادل می شود. مدل PMSM غیر خطی است. بنابراین با استفاده از کنترل برداری، مدل PMSM خطی می شود.

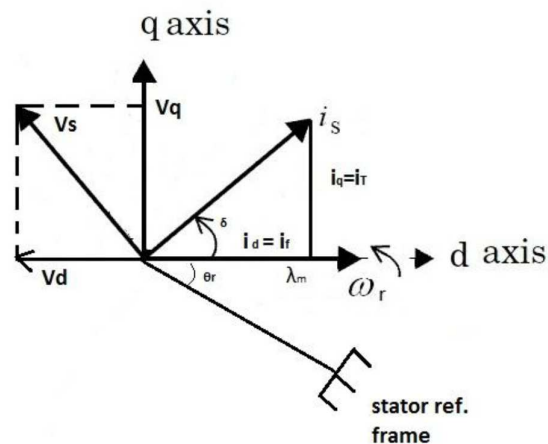
طرح کنترل برداری بر اساس معادله گشتاور موتور و تبدیل مربوطه توسط کنترل جریان استاتور به منظور بهبود عملکرد موتور می باشد و به طور گسترده ای در زمینه سیستم سروو PMSM استفاده می شود. در کنترل یک سیستم PMSM سه فاز، جریان مدوله شده از سیم پیچ های A- B -C استاتور برای تولید میدان مغناطیسی چرخش و درایو روتاتور تامین می شود. استراتژی کنترل برداری به طور هم زمان در چارچوب مرجع دوار فرموله شده است. توسط تبدیلات کلارک - پارک و تبدیلات معکوس، روابط معادل

جریان در مختصات a ، b و c استاتور، محور های مختصات ثابت α و β و محور های مختصات دوار d و q ساخته شده است.

شکل 2. نمودار برداری از PMSM را نشان می دهد.

فاز a به عنوان مرجع در نظر گرفته می شود. موقعیت لحظه ای روتور (و از این رو شار روتور) در فاز a وابسته به θ_r می باشد. جهت شبیه سازی PMSM به یک ماشین DC با استفاده از روش کنترل برداری، لازم است که یک چهارم محور جریان i_q در یک چهارم شار روتور باشد. در نتیجه i_d با شار روتور نسبت به مرجع هم فاز می باشد و نسبت به i_q به اندازه 90°

پس فاز است. اگر i_d در جهت شار روتور باشد، شار محور d استاتور به شار روتور افزوده می شود که منجر به افزایش شار خالص در فاصله هوایی می شود. از سوی دیگر اگر i_d در خلاف جهت شار روتور باشد، شار محور d استاتور مخالف شار روتور بوده که باعث کاهش شار فاصله هوایی می شود.



شکل 2: نمودار فازور از PMSM

دلیل طراحی PMSM ها این است که آهنربای روتور به تنهایی قادر به تولید شار فاصله هوایی مورد نیاز تا سرعت مجاز است. بنابراین i_d بطور معمول در حالت گشتاور ثابت صفر است. جریان های سه فاز را اینگونه در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned}
 i_a &= i_s \sin(\omega_r t + \delta) \\
 i_b &= i_s \sin(\omega_r t + \delta - \frac{2\pi}{3}) \\
 i_c &= i_s \sin(\omega_r t + \delta + \frac{2\pi}{3})
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

که در آن $\theta_r = \omega_r t$ از نمودار فازور به دست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} = i_s \begin{bmatrix} \sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix}
 \tag{12}$$

$$i_T = \text{مؤلفه تولید گشتاور جریان استاتور} = i_q$$

$$i_f = \text{مؤلفه تولید شار جریان استاتور} = i_d$$

اگر i_d را به وسیله $\delta = 90^\circ$ مساوی با صفر کنیم معادله گشتاور الکتریکی (9) می‌شود:

$$T_e = (3/2)(P/2) \lambda_m i_q \tag{13}$$

بنابراین گشتاور الکتریکی فقط بستگی به جریان محور تربیع دارد و گشتاور ثابت با حصول اطمینان از اینکه

i_q ثابت است به دست می‌آید. شار فاصله هوایی تا سرعت مجاز مورد نیاز است. بنابراین کنترل برداری فقط زمانی امکان‌پذیر است که اطلاعات دقیقی از شار روتور لحظه‌ای در دسترس باشد. این موضوع در PMSM آسان‌تر از موتور القایی است زیرا موقعیت شار روتور توسط موقعیت روتور در PMSM تعیین می‌شود.

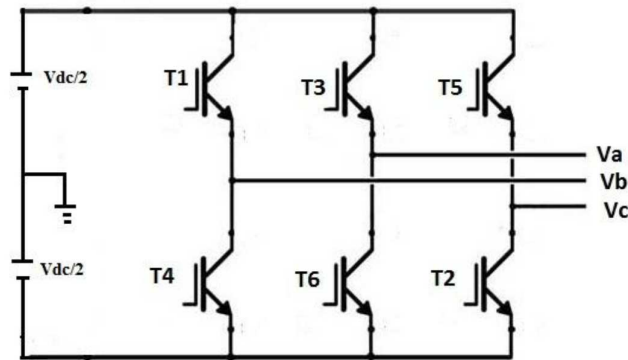
بنابراین با کاربرد کنترل برداری، کنترل مستقل جریان‌های تولید گشتاور (i_q) و شار (i_d)

امکان‌پذیر می‌شود.

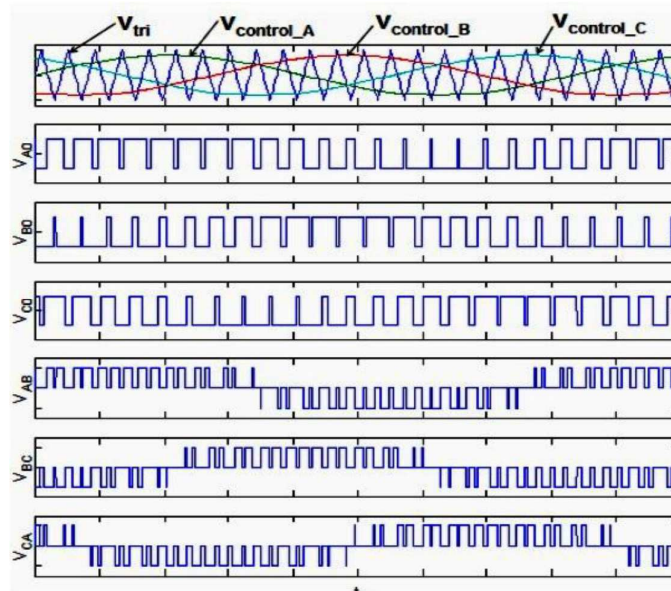
5- PWM سینوسی

شکل 3 مدل مدار اینورتر سه فاز PWM را نشان می‌دهد و شکل 4 نشان دهنده شکل موج سیگنال حامل)

(V_{tri}) و سیگنال کنترل $(V_{control})$ است، خط خروجی اینورتر به ولتاژ خنثی به ترتیب V_{AO}, V_{BO}, V_{CO} است و خط خروجی اینورتر به ولتاژ خطی به ترتیب V_{AB}, V_{BC}, V_{CA} است.



شکل 3: اینورتر PWM سه فاز



شکل 4: شکل موج اینورتر سه فاز سینوسی PWM

ولتاژهای خروجی اینورتر به ترتیب زیر تعیین می‌شود:

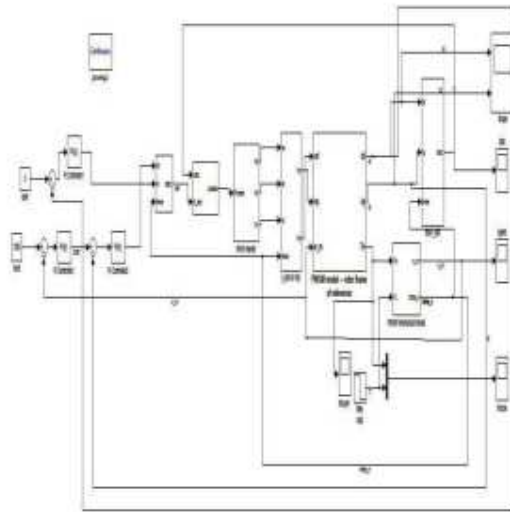
$$V_{control} > V_{tri}, V_{AO} = V_{DC/2} \text{ که زمانی که}$$

$$V_{control} < V_{tri}, V_{AO} = -V_{DC/2} \text{ که زمانی که}$$

$$V_{AB} = V_{AO} - V_{BO}, V_{BC} = V_{BO} - V_{CO}, V_{CA} = V_{CO} - V_{AO} \text{ که می‌شود.}$$

مدل شبیه سازی PMSM

شکل 5 مدلی از کنترل برداری PMSM است.



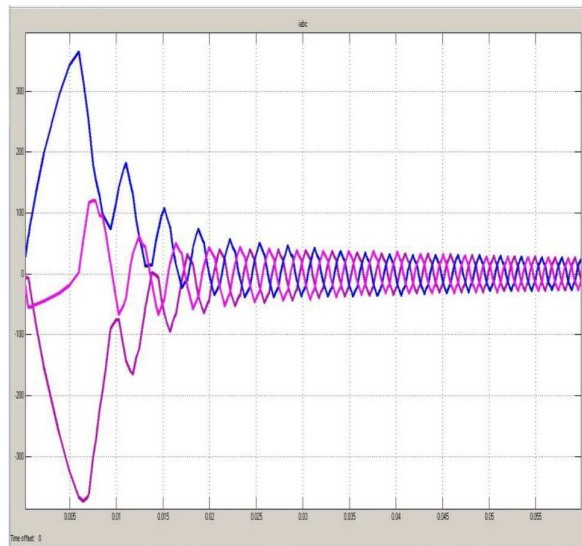
شکل 5: مدل شبیه‌سازی برای کنترل برداری PMSM

6- نتایج شبیه‌سازی

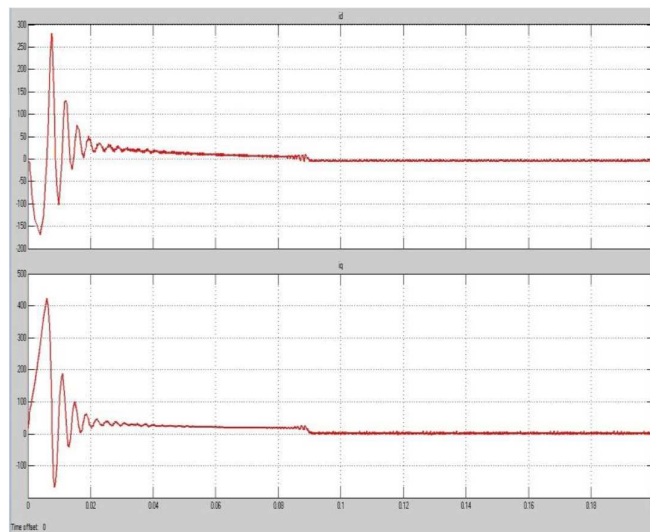
مطابق کنترل برداری مدل شبیه‌سازی PMSM اجرا شده در MATLAB، استفاده از پارامترهای موتور به

شرح زیر است:

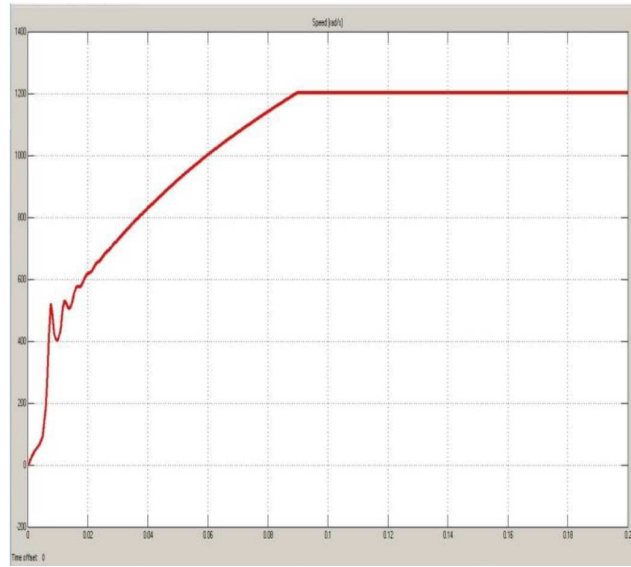
قدرت الکتریکی $P=2Kw$ ، ولتاژ مستقیم (DC) $V_{dc}=700V$ ، مقاوم سیم پیچ استاتور $R_s = 1.4\Omega$ ،
 اندوکتانس سیم پیچ محور d $L_d = 0.0066H$ ، شار مغناطیسی روتور $\lambda_m = 0.1546Wb$ ، ممان اینرسی
 $J = 0.00176Kg * m^2$ ، تعداد قطب $P=6$ ، چگالی شار مغناطیسی
 $B = 0.00038818Wb / m^2$ ، سرعت مرجع = $1200rpm$ ، زمان شبیه سازی کلی را $t=0.2s$
 تنظیم کنید.



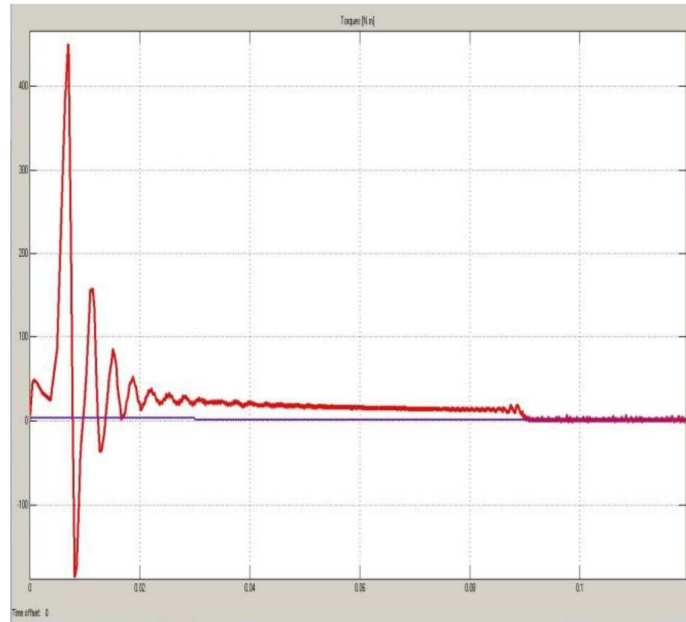
شکل 6: منحنی پاسخ جریان



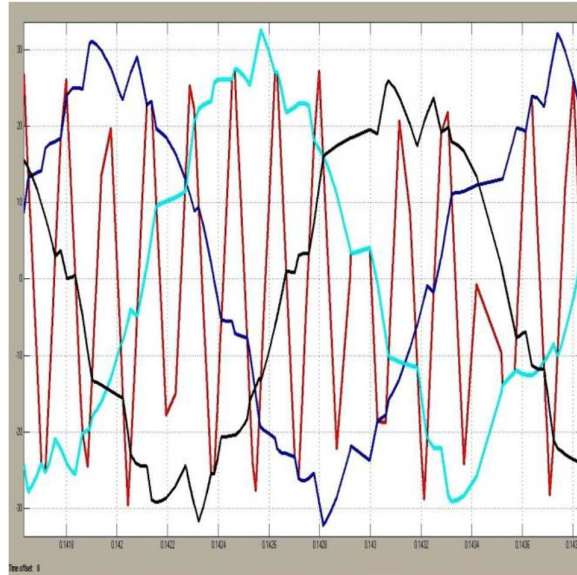
شکل 7: شکل موج جریان محور dq



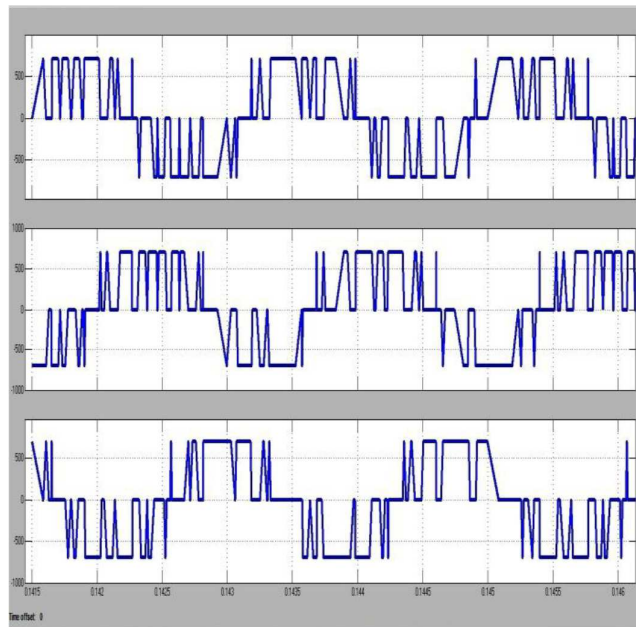
شکل 8: منحنی پاسخ سرعت



شکل 9: شکل موج گشتاور الکترومغناطیسی



شکل 10: مدولاسیون عرض پالس



شکل 11: شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر

7- نتیجه گیری

در این مقاله کنترل برداری با جزئیات دقیق توضیح داده شد و بلافاصله روی PMSM اجرا شد. جریان‌های abc که در طول زمان دچار تغییر می‌شود به وسیله تبدیل پارک معکوس و به هدف ساده کردن محاسبه ثابت‌های کنترل کننده PI ثابت شد. این روش، بهره‌برداری از درایو را در محور خنثی جریان استاتور (Zero direct axis stator current) ممکن می‌سازد، بنابراین اجازه بهره‌برداری در حداقل جریان آرمیچر را می‌دهد. در این شرایط حداکثر گشتاور و همچنین حداکثر بهره‌وری در هر آمپر به دست می‌آید. این موتور در مقایسه با موتور سنکرون معمولی ولتاژ کمتری نیاز دارد. این موضوع منجر به طراحی اینورتر منبع ولتاژ با ولتاژ پایین و اندازه کوچک‌تر می‌شود که نتیجه آن هزینه کلی کمتر است. عملکرد کنترل برداری برای معکوس کردن سریع PMSM کاملاً رضایت‌بخش است حتی در سرعت‌های بسیار بالا.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی