

کنترل مستقیم گشتاور و شار یک موتور شش فاز القایی نامتقارن، تغذیه شده با اینورترهای سه سطحی SVPWM با بکارگیری طبقه بندی عصبی

سید محمد جلال رستگار فاطمی^۱، جعفر سلطانی^۲، نوید رضا ابجدی^۳

^۱ استادیار، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، jalal_pe77@yahoo.com

^۲ استاد تمام، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی شهر (استاد تمام بازنشسته دانشگاه صنعتی اصفهان)، j1234sm@cc.iut.ac.ir

^۳ استادیار، گروه برق، دانشگاه شهرکرد، دانشکده فنی و مهندسی، navidabjadi@yahoo.com

(تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۲/۵/۱۲، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۹۲/۷/۱۶)

چکیده: در این مقاله تحقیقاتی یک اینورتر شش فاز سه سطحی با مدولاسیون پهنای پالس بردار فضایی SVPWM با بکارگیری دو اینورتر سه فاز سه سطحی با اختلاف فاز ۳۰ درجه طراحی میشود. در پیاده سازی از روش طبقه بندی (کلاسه بندی) شبکه عصبی بردارهای اینورتر SVPWM استفاده شده است. از این اینورتر در یک سرودرایو شش فاز استفاده شده است. روش کنترلی مورد استفاده عبارت است از کنترل برداری در راستای شاردور استاتور و با بکارگیری یک تبدیل شناخته شده متغیرهای شش فاز به شش متغیر متعامد تبدیل میشوند. درستی عملکرد این روش توسط شبیه سازی درایو یک موتور شش فاز نامتقارن به اثبات رسیده است.

کلمات کلیدی: شش فاز نامتقارن، شبه شش فاز، اینورتر سه سطحی، طبقه بندی شبکه عصبی.

Direct Torque and Flux Control of An Asymmetrical Six-phase Induction Motor Supplied with A Three-level SVPWM Inverter Using Neural Networks Classification

S. Mohammad Jalal Rastgar Fatemi, Jafar Soltani, Navid Reza Abjadi

Abstract: In this research paper a three-level six-phase inverter with space vector pulse width modulation (SVPWM), using two three-level three-phase inverters with 30 degrees phase displacement, is designed. In implementation, neural networks classification is employed for inverter vectors. This inverter is used in a six-phase servo drive system. The using control method is vector control in stator flux reference frame and with a well-known transformation, the six-phase variables are converted to six orthogonal variables. The validity of the proposed method is investigated by six-phase servo drive system simulation.

Keywords: asymmetrical six-phase, quasi six-phase, three-level inverter, neural networks classification.

۱- مقدمه - روشهای مدولاسیون پهنای پالس (PWM) برای سیستمهای چند

فاز [۱]-[۴]

- تزریق هارمونیک برای رسیدن به گشتاور الکترومغناطیسی بیشتر

[۵]

در کنار ماشینهای سه فاز استفاده از ماشینهای چندفاز با توجه به بعضی ویژگیها و مزایا نسبت به حالت سه فاز اخیرا مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات در زمینه ماشینها و درایوهای چند فاز را میتوان در چهار حوزه عمده زیر طبقه بندی کرد

۲- توصیف و مدل سازی سیستم درایو

برای بررسی و استفاده از ماشین شبه شش فاز دو روش اساسی در مراجع مطرح شده است: یکی مدل سازی ماشین بصورت دو دسته سیم پیچ سه فاز و استفاده از تبدیلهای متداول سه محوری به دو محوری، دیگری مدل سازی ماشین بصورت یک شش فاز یکپارچه و استفاده از یک تبدیل شش محوری به چهارمحوری. روش اخیر مولفه های الکترومکانیکی را از غیر الکترومکانیکی جدا میکند که روند طراحی کنترل کننده را آسان میسازد و در این مقاله مورد استفاده قرار میگیرد.

ماتریس تبدیل آن عبارتست از

$$C = \begin{bmatrix} \alpha & 1 & \cos \phi & \cos 4\phi & \cos 5\phi & \cos 8\phi & \cos 9\phi \\ \beta & 0 & \sin \phi & \sin 4\phi & \sin 5\phi & \sin 8\phi & \sin 9\phi \\ \sqrt{\frac{2}{6}} x & 1 & \cos 5\phi & \cos 8\phi & \cos \phi & \cos 4\phi & \cos 9\phi \\ \sqrt{\frac{2}{6}} y & 0 & \sin 5\phi & \sin 8\phi & \sin \phi & \sin 4\phi & \sin 9\phi \\ 0+ & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0- & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن $\phi = \pi/6$

با بکارگیری این تبدیل معادلات ولتاژ استاتور و روتور بصورت زیر بدست می آیند

$$v_{ks} = R s i_{ks} + \frac{d}{dt} (L s i_{ks} + L m i_{kr}) \text{ for } k = \alpha, \beta \quad (2)$$

$$v_{ks} = R s i_{ks} + \frac{d}{dt} (L s i_{ks}) \text{ for } k = x, y$$

$$0 = R r i_{\alpha r} + \omega_r (L r i_{\beta r} + L m i_{\beta s}) + \frac{d}{dt} (L r i_{\alpha r} + L m i_{\alpha s}) \quad (3)$$

$$0 = R r i_{\beta r} - \omega_r (L r i_{\alpha r} + L m i_{\alpha s}) + \frac{d}{dt} (L r i_{\beta r} + L m i_{\beta s})$$

و معادله گشتاور بصورت زیر نوشته میشود

$$T_e = P L m (i_{\alpha r} i_{\beta s} - i_{\beta r} i_{\alpha s}) \quad (4)$$

که در آن P تعداد زوج قطبهاست.

با بررسی این معادلات دیده میشود که $(i_{\alpha s}, i_{\beta s})$ مولفه های موثر در تولید گشتاور و $(i_{x s}, i_{y s})$ مولفه هایی هستند که تنها تلفات را افزایش میدهند و بایستی توسط اینورتر به حداقل ممکن کاهش یابند.

۳- کنترل برداری در راستای شار دور استاتور

روابط حاکم بر مولفه های الکترومکانیکی یک ماشین شش فاز مشابه روابط حاکم بر یک ماشین سه فاز میباشد بنابراین کلیه روشهای کنترلی ماشینهای سه فاز برای ماشینهای شش فاز قابل استفاده است.

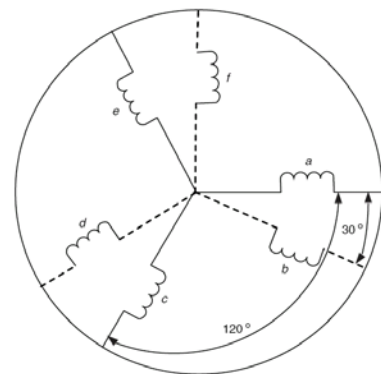
افزایش قابلیت اطمینان و پیاده سازی درایوهای مقاوم در برابر خطا با استفاده از ماشینهای چند فاز [۶]

استفاده از ماشینهای چند فاز بصورت سری در برخی از کاربردهای خاص [۷]-[۱۴].

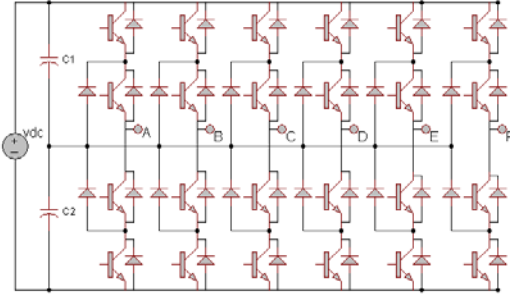
در [۱] روش مدولاسیون SVPWM برای اینورتر شش فاز منبع Z با طبقه بندی شبکه عصبی ارائه شده است که اینورتر منبع Z یک اینورتر افزایشی-کاهشی می باشد که با استفاده از شبکه عصبی زمان محاسبات مدولاسیون کاهش یافته است. در [۶] روشی ساده برای مدولاسیون پهنای پالس یک اینورتر منبع ولتاژ دو سطحی شش فاز متقارن مطرح شده است. این روش برای سیستمهای شش فاز نامتقارن قابل استفاده نمی باشد. در [۱۵] با بکارگیری دو اینورتر دو سطحی سه فاز، یک اینورتر دو سطحی شش فاز نامتقارن پیاده سازی شده است. برای کاهش حجم محاسبات و پیاده سازی آسان، در [۱۶] با استفاده از روش طبقه بندی شبکه عصبی، یک اینورتر دو سطحی شش فاز نامتقارن پیاده سازی شده است. با توسعه این روش برای اینورترهای سه سطحی چند فاز میتوان به توانهای بالاتری دست یافت.

در این مقاله یک اینورتر سه سطحی شش فاز نامتقارن با بکارگیری دو اینورتر سه سطحی سه فاز طراحی میشود مضافاً به اینکه با بکارگیری روش طبقه بندی شبکه عصبی، حجم محاسبات کاهش داده میشود. با تکنیک ارائه شده این محاسبات به ضرب و جمع های ساده در شبکه عصبی تبدیل میگردد، به نحوی که با صرفه جویی قابل ملاحظه در زمان محاسبات، حتی با یک میکروکنترلر ارزان قیمت نیز عمل مدولاسیون اینورتر سه سطحی شش فاز امکان پذیر میگردد.

از بین ماشینهای چند فاز یکی از ماشینهای مورد توجه، ماشین القایی شش فاز میباشد. این ماشین شامل دو مجموعه سیم پیچ سه فاز در استاتور است که نسبت به یکدیگر زاویه ای فضایی دارند از بین زوایای مختلف، زاویه ۳۰ درجه الکتریکی کمترین ریپل گشتاور را به همراه دارد. به این نوع ماشین اصطلاحاً شش فاز نامتقارن یا شبه شش فاز میگویند که ساختاری نامتقارن دارد به شکل ۱ مراجعه شود.



شکل ۱: شماتیک سیم پیچهای استاتور یک ماشین شش فاز نامتقارن



شکل ۳: اینورتر شش فاز سه سطحی

بردارهای نشان داده شده در شکل ۴، شش قطاع را مشخص میکنند. هر قطاع را میتوان به چهار ناحیه تقسیم کرد بعنوان مثال در شکل ۵، قطاع ۱ به چهار ناحیه A، B، C و D تقسیم بندی شده است. در این شکل بردار مرجع در ناحیه B واقع شده است و میتوان بطور متوسط آن را توسط سه بردار کلیدزنی رئوس مثلث B بصورت زیر تحقق بخشید.

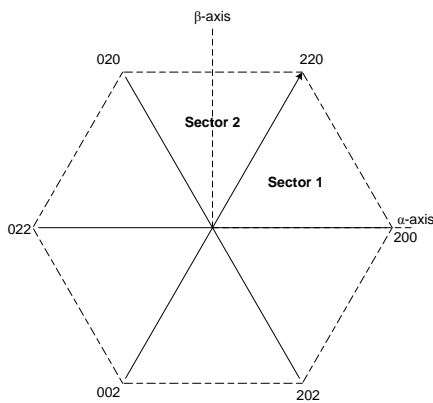
$$V^*T = V_1t_1 + V_3t_3 + V_4t_4 \quad (۸)$$

$$t_1 + t_3 + t_4 = T \quad (۹)$$

در اینجا T دوره تناوب کلیدزنی و t_i ها زمانهای کلیدزنی بردار مربوطه میباشد.

با فرض $V^* = V \angle \theta$ و حل معادلات (۸)–(۹)، زمانهای کلیدزنی بصورت زیر بدست می آیند

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_3 \\ t_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T & 0 & \frac{-4}{\sqrt{3}}V \frac{T}{v_{dc}} \\ -T & 2V \frac{T}{v_{dc}} & \frac{2}{\sqrt{3}}V \frac{T}{v_{dc}} \\ T & -2V \frac{T}{v_{dc}} & \frac{2}{\sqrt{3}}V \frac{T}{v_{dc}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$



شکل ۴: تعدادی از بردارهای اینورتر سه فاز سه سطحی

شکل ۲ بلوک دیاگرام کنترل برداری در دستگاه مختصات راستای شاردر مغناطیسی استاتور (FOC) را نشان میدهد. حلقه های کنترلی شامل سه کنترل کننده تناسبی-انتگرال گیر (PI) میباشد. این کنترل کننده علی رغم سادگی که پیاده سازی آنرا آسان می سازد، رفتار مناسبی دارد.

زاویه بردار شاردر استاتور عبارتست از

$$\theta_e = \arctan \frac{\lambda_{\beta s}}{\lambda_{\alpha s}} \quad (۵)$$

با مشتق گیری از این عبارت، سرعت زاویه ای بردار شاردر استاتور بصورت زیر بدست می آید

$$\omega_e = \frac{\dot{\lambda}_{\beta s} \lambda_{\alpha s} - \dot{\lambda}_{\alpha s} \lambda_{\beta s}}{\lambda_s^2} \quad (۶)$$

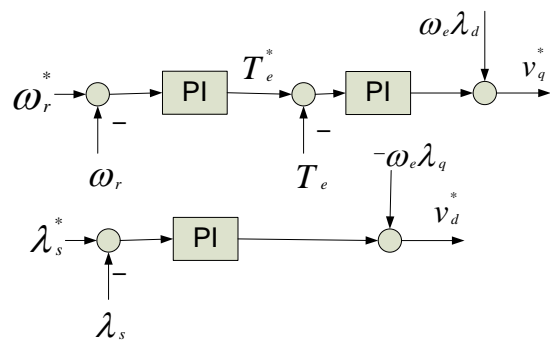
با جایگذاری مشتقات مولفه های شاردر استاتور، این رابطه بصورت زیر در می آید

$$\omega_e = \frac{(v_{\beta s} - R_s i_{\beta s}) \lambda_{\alpha s} - (v_{\alpha s} - R_s i_{\alpha s}) \lambda_{\beta s}}{\lambda_s^2} \quad (۷)$$

۴- اینورتر شش فاز متقارن سه سطحی

شکل ۳ یک اینورتر شش فاز سه سطحی را نمایش میدهد. با توجه به اینکه یک مجموعه ولتاژ شش فاز نامتقارن، معادل با دو مجموعه سه فاز متقارن با اختلاف فاز ۳۰ درجه میباشد؛ برای پیاده سازی این اینورتر می توان از دو اینورتر سه فاز سه سطحی استفاده کرد.

در روش مدولاسیون پهنای پالس با بردارهای فضایی سه فاز، برای هر وضعیت کلیدزنی، برداری تعریف میشود تعدادی از این بردارها در شکل ۴ آورده شده اند. وضعیت کلیدزنی را میتوان با استفاده از یک عدد سه رقمی در مبنای ۳ مشخص کرد هر صفر معادل روشن بودن کلید پایینی در ساق مربوطه، هر یک معادل روشن بودن دو کلید وسطی و هر ۲ معادل روشن بودن کلید بالایی در ساق مربوطه میباشد.



شکل ۲: بلوک دیاگرام کنترل برداری راستای شاردر استاتور

$$\begin{bmatrix} 1 \\ \cos \theta \\ \cos(60-\theta) \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} 1 \\ \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (13)$$

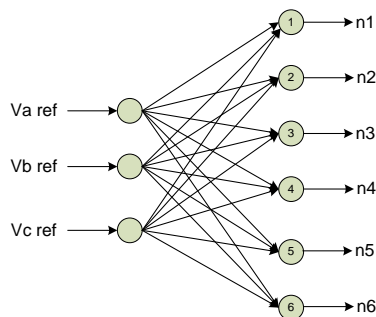
$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (14)$$

شکل ۶ بلوک دیاگرام محاسبه n_k ها را بر پایه شبکه عصبی نشان میدهد. وزنه‌های شبکه با استفاده از بردارهای کلیدزنی مربوطه در چارچوب abc بدست می‌آیند. با در نظر گرفتن (۱۱) میتوان نوشت

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \end{bmatrix} = W \begin{bmatrix} V_{a ref} \\ V_{b ref} \\ V_{c ref} \end{bmatrix} \quad (15)$$

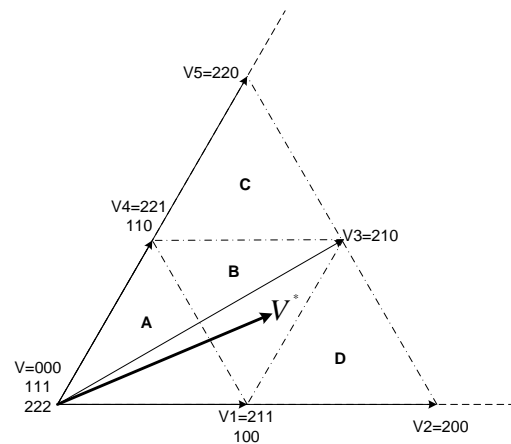
که در آن W ماتریس وزنه‌هاست و عبارتست از

$$W = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -1 \\ -\frac{1}{2} & -1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}^T \quad (16)$$



شکل ۶: بلوک دیاگرام شبکه عصبی محاسبه ضربهای داخلی

برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی در پیاده سازی و محاسبه زمان‌های کلیدزنی اینورتر مدولاسیون پهنای پالس با بردار فضایی، نتایج یک شبیه سازی در شکل‌های ۷ تا ۹ آورده شده است. در این شبیه سازی کامپیوتری، سه ولتاژ فاز سینوسی متقارن به عنوان ولتاژهای مرجع انتخاب شده اند. در شکل ۷، شماره قطاع با محاسبه شماره قطاع از روی مولفه های ولتاژها، مشخص شده است که عددی از ۱ تا ۶ می باشد با محاسبه شماره قطاع از روی مولفه های ولتاژها، دیده می شود که شبکه عصبی



شکل ۵: بردارهای کلیدزنی مربوط به قطاع یک و بردار مرجع

به طریق مشابه میتوان زمانهای کلیدزنی را در ناحیه های دیگر بدست آورد. همچنین اگر بردار مرجع در قطاعی غیر از قطاع ۱ قرار گیرد میتوان آنرا به نوعی در قطاع یک در نظر گرفت، البته با بردارهای کلیدزنی مربوطه (بنابراین همواره $0 \leq \theta < 60^\circ$ در نظر گرفته میشود).

همانطور که از (۱۰) دیده میشود برای محاسبه زمانها نیاز به نسبتهای مثلثاتی است که باعث افزایش زمان محاسبه در پردازشگرها میگردد. شبکه های عصبی میتوانند این زمان را به مراتب کاهش دهند.

حاصل ضرب داخلی بردار کلیدزنی V_k نرمالیزه شده و بردار مرجع را میتوان بصورت زیر نوشت

$$n_k = |V^*| \cos \theta_k \quad (11)$$

که در آن θ_k زاویه بردار مرجع با بردار کلیدزنی k ام است.

اگر بردار مرجع در قطاع i ام قرار داشته باشد از میان n_k های مختلف n_i و n_{i+1} بیشترین مقادیر را خواهند داشت بنابراین با استفاده از دو مقدار بزرگتر n_k میتوان شماره قطاع را تعیین کرد بدون اینکه از روابط مثلثاتی استفاده کرد چرا که به وسیله شبکه‌های عصبی میتوان حاصل ضربهای داخلی (۱۱) را بدست آورد. علاوه بر شماره قطاع، مقادیر $\cos \theta$ و $\cos(60-\theta)$ نیز بدست می آید که با استفاده از آنها زمانهای کلیدزنی مشخص میشوند. در واقع جهت اجرای مدولاسیون بردار فضایی بر پایه طبقه بندی عصبی بردارها لازم است از لایه رقابتی تعمیم یافته و خروجیهای دو نرون برنده رقابت بهره گرفته شود [۱۷].

$$\begin{bmatrix} n_i \\ n_{i+1} \end{bmatrix} = |V^*| \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \cos(60-\theta) \end{bmatrix} \quad (12)$$

میتوان رابطه (۱۰) را بجای $\cos \theta$ و $\sin \theta$ را برحسب $\cos \theta$ و $\cos(60-\theta)$ بازنویسی کرد برای این منظور از تبدیل زیر استفاده میشود [۱۷]

۵- نتایج شبیه سازی

در این قسمت نتایج شبیه سازی و بررسی عملکرد روش پیشنهادی آورده شده است. موتور شش فاز مورد استفاده دارای پارامترهای جدول ۱ است. برای شبیه سازی از نرم افزار MATLAB و محیط Simulink استفاده شده است.

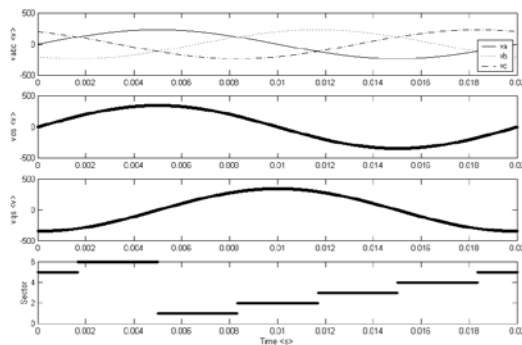
جدول ۱: پارامترهای موتور شش فاز

$Poles = 2$	$L_m = 29.7 \text{ mH}$
$L_S = 33.15 \text{ mH}$	$L_r = 33.15 \text{ mH}$
$R_S = 0.78 \ \Omega$	$R_r = 0.66 \ \Omega$
$J = 0.03 \text{ kg.m}^2$	$B = 0.001 \text{ N.m.s}$

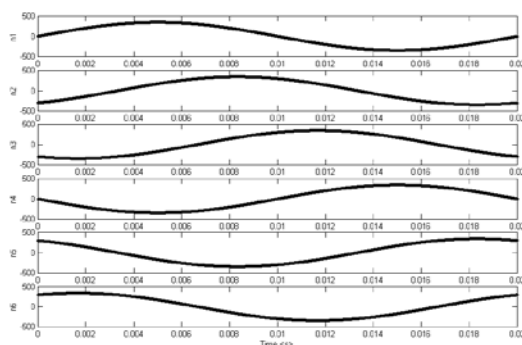
نتایج شبیه سازی اینورتر به تنهایی در شکل ۱۰ آورده شده است. در این شبیه سازی شش ولتاژ سینوسی با اختلاف فازهای مربوطه برای یک سیستم شش فاز نامتقارن به عنوان مرجع در نظر گرفته شده اند. در شکل ۷- (ب) ولتاژهای دو فاز a و b و یک ولتاژ خط از طریق فیلترسازی شکل موجهای PWM آورده شده است این شکل بخوبی عملکرد اینورتر سه سطحی را در تولید مولفه های اول نشان میدهد. نتایج شبیه سازی سیستم سرودراریو شش فاز با استفاده از اینورتر پیشنهادی در شکلهای ۱۱ تا ۱۳ آورده شده است. این شکلها به ترتیب نتایج آزمایشهای افزایش سرعت در راه اندازی، تغییر جهت سرعت و تغییر شار دور مغناطیسی استاتور میباشد. در آزمایش اول، گشتاور بار در لحظه $0/6$ ثانیه به صورت پله ای اعمال شده است. نتایج شبیه سازی حکایت از تعقیب مقدار سرعت و شار دور مغناطیسی استاتور از مقادیر مرجع مربوطه دارد. با اعمال گشتاور بار پله ای، همانطور که در شکل ۱۱- (ب) نشان داده شده است، سرعت موتور اندکی کاهش یافته ولی به مقدار اولیه خود بازگشته است با استفاده از روشهای کنترلی پیشرفته تر میتوان دینامیک پاسخ به گشتاور بار بعنوان اغتشاش را بهبود بخشید. با این حال هدف در اینجا کاهش محاسبات و امکان پیاده سازی روش توسط پردازشگرهای ارزان قیمت می باشد و همان گونه که محاسبات مربوط به مدولاسیون پهنای پالس کاهش داده شد از بین روشهای کنترلی موتور القایی نیز روش نسبتا ساده ای انتخاب شده است.

در شکل ۱۲ علی رغم تغییرات زیاد سرعت ماشین و حتی معکس سازی آن، شار دور مغناطیسی استاتور مقدار خود را حفظ کرده است و تقریبا بر روی مقدار مرجع باقی مانده است.

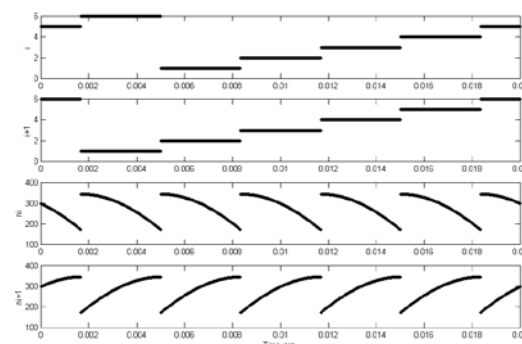
به درستی، شماره قطاع را بدست می دهد. در شکل ۸، شکل موجهای n_1 تا n_6 نشان داده شده اند که خروجی های شبکه عصبی شکل ۶ می باشند. در شکل ۹ اندیسها و شکل موجهای دو خروجی بیشینه شبکه عصبی نشان داده شده است. شکل موج i در شکل ۹ و شکل موج شماره قطاع در شکل ۷، کاملا یکسان هستند؛ بنابراین شبکه عصبی قادر است به درستی، شماره قطاع را بدست دهد و به جای محاسبه مستقیم و استفاده از نسبت های مثلثاتی که زمان یا حافظه زیادی از پردازشگر را به خود اختصاص می دهد؛ می توان با محاسبات ساده شبکه عصبی هم شماره قطاع را بدست آورد و هم خود نسبت های مثلثاتی را برای محاسبه زمان های کلیدزنی، بدست آورد.



شکل ۷: شکل موجهای ولتاژهای فازها، مولفه های مربوطه و شماره قطاع



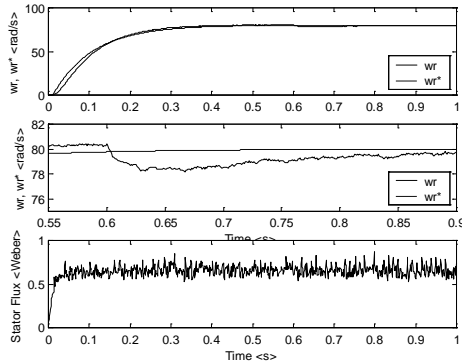
شکل ۸: شکل موجهای خروجی شبکه عصبی



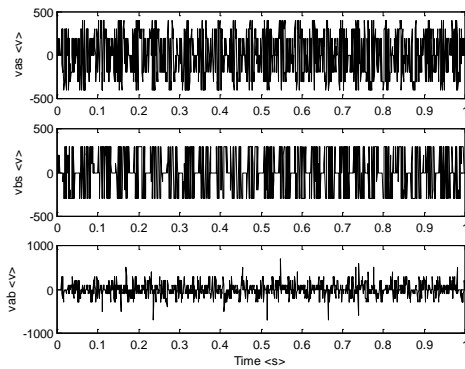
شکل ۹: اندیسها و شکل موجهای دو خروجی بیشینه شبکه عصبی

برای بررسی امکان تغییر شار دور استاتور، مقدار مرجع شار تغییر داده شده است. نتایج این آزمایش در شکل ۱۳ آورده شده است. دیده میشود علی رغم تغییر شار، سرعت ماشین روی مقدار مرجع مربوطه، تقریباً بدون تغییر، باقی مانده است.

این نتایج نشان میدهند که مجزاسازی که در کنترل یک موتور القایی مورد نیاز است محقق شده است. در کلیه این آزمایشها، از اینورتر شش فاز با مدولاسیون بردار فضایی استفاده شده است و تکنیک طبقه بندی عصبی بکار برده شده است. نتایج شبیه سازی نشان میدهند که اینورتر به نحو احسن وظیفه خود را انجام داده و ولتاژ تغذیه مورد نیاز ماشین را فراهم کرده است.

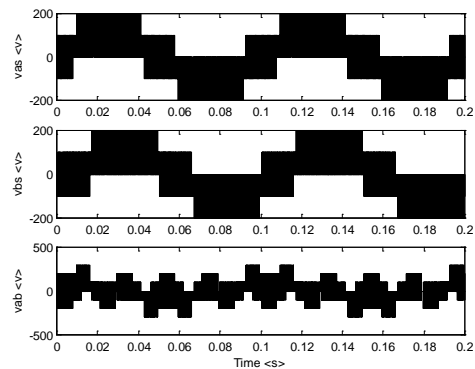


(الف)

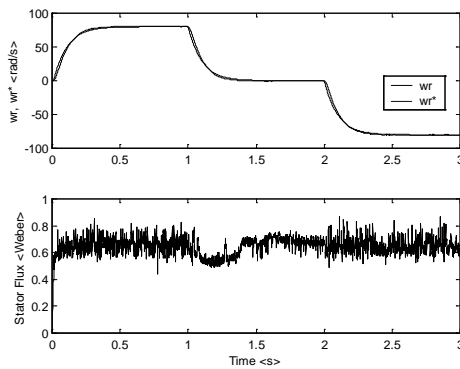


(ب)

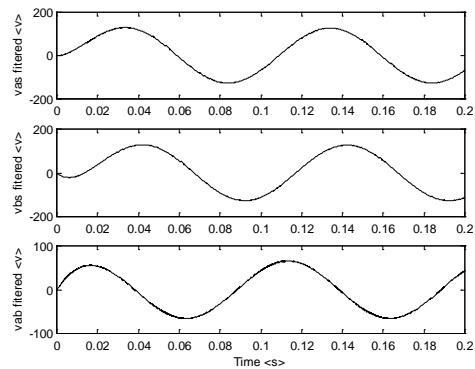
شکل ۱۱: (الف) سرعت و شار دور مغناطیسی استاتور برای آزمایش افزایش سرعت در راه اندازی (ب) ولتاژهای فازهای a و b و ولتاژ خط مربوطه



(الف)

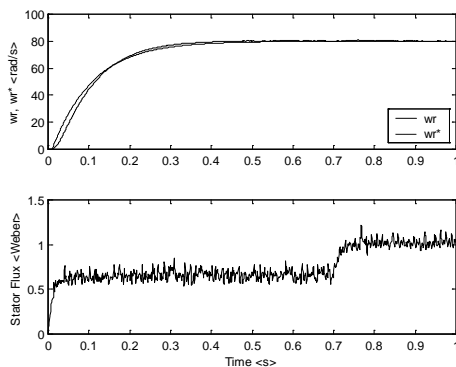


شکل ۱۲: سرعت و شار دور مغناطیسی استاتور برای آزمایش تغییر جهت سرعت



(ب)

شکل ۱۰: ولتاژهای فازهای a و b و ولتاژ خط (الف) شکل موجهای با مدولاسیون بردار فضایی (ب) شکل موجهای فیلتر شده



شکل ۱۳: سرعت و شار دور مغناطیسی استاتور برای آزمایش تغییر شار دور

- [7] N. R. Abjadi, J. Soltani, J. Askari, Nonlinear Sliding-mode Control of a Multi-motors Web Winding System Without Tension Sensor, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2008), pp. 1-6, 21-24 April 2008.
- [8] E. Levi, S. N. Vukosavic, M. Jones, Vector Control Schemes for Series-connected Six-phase Two-motor Drive Systems, IEE Proc.-Electr. Power Appl., vol. 152 no. 2, pp. 226-238, March 2005.
- [9] M. Jones, S. N. Vukosavic, E. Levi, A. Iqbal, A Six-Phase Series-Connected Two-Motor Drive With Decoupled Dynamic Control, IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. 41 no. 4, pp.1056-1066, July/August 2005.
- [10] K. K. Mohapatra, R. S. Kanchan, M. R. Baiju, P. N. Tekwani, K. Gopakumar, Independent Field-Oriented Control of Two Split-Phase Induction Motors From a Single Six-Phase Inverter, IEEE Trans. On Industrial Electr., vol. 52 no. 5, pp. 1372-1382, October 2005.
- [11] M. Jones, S. N. Vukosavic, E. Levi, Parallel-Connected Multiphase Multidrive Systems With Single Inverter Supply, IEEE Trans. on Ind. Electr., vol. 56, no. 6, pp. 2047-2057, June 2009.
- [12] E. Levi, M. Jones, S. N. Vukosavic, and H. A. Toliyat, A Five-phase Two-machine Vector Controlled Induction Motor Drive Supplied from a Single Inverter, EPE Journal, vol. 14, no. 3, pp. 38-48, Aug. 2004.
- [13] K. K. Mohapatra, M. R. Baiju, and K. Gopakumar, Independant Speed Control of Two Six-phase Induction Motors Using a Single Six-phase Inverter, EPE Journal, vol. 14, no. 3, pp.49-62, June/Aug. 2004.
- [14] M. Jones, E. Levi, A. Iqbal, A Five-Phase Series-Connected Two-Motor Drive with Current Control in the Rotating Reference, 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aochen, Gemany, pp. 3278-3284, 2004.
- [15] K. Gopakumar, V. T. Ranganathan, and S. R. Bhat, "An efficient PWM technique for split phase induction motor operation using dual voltage source inverters", Conf. of IEEE Ind. Appl. Society, vol. 1, Toronto, Ontario, Canada, pp. 582-587, Oct. 1993.
- [16] D. Yazdani, S. A. Khajehoddin, A. Bakhshai, and G. Joós, "Full utilization of the inverter in split-phase drives by means of a dual three-phase space vector classification algorithm", IEEE Trans. on Ind. Electr., vol. 56, no. 1, pp. 120-129, Jan. 2009.
- [۱۷] حمید رضا سلیقه راد، ۱۳۷۹، کنترل اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی سه فاز با استفاده از مدولاسیون بردار فضایی به کمک کلاس بندی بردارها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶- نتیجه گیری

با استفاده از دو اینورتر سه فاز سه سطحی با اختلاف فاز ۳۰ درجه، به راحتی میتوان یک اینورتر شش فاز سه سطحی را پیاده سازی کرد. برای کاهش حجم محاسبات از روش طبقه بندی عصبی استفاده شده است. اینورتر سه سطحی پیشنهادی در یک موتور درایو شش فاز نامتقارن با استفاده از روش موثر کنترل برداری در شارودور استاتور بکار گرفته شده است. نتایج شبیه سازی کامپیوتری نشان دهنده کارآیی روش پیشنهادی میباشد.

مراجع

- [1] S.M.J. Rastegar Fatemi, J. Soltani, N.R. Abjadi, and G.R. Arab Markadeh, 'Space-vector pulse-width modulation of a Z-source six-phase inverter with neural network classification', IET Power Electronics, vol 5, no. 9, pp. 1956-1967, Nov. 2012.
- [2] D. Dujic, G. Grandi, M. Jones, E. Levi, A Space Vector PWM Scheme for Multifrequency Output Voltage Generation With Multiphase Voltage-Source Inverters, IEEE Trans. on Industrial Electr., vol. 55 no. 5, pp. 1943-1955, May 2008.
- [3] E. Levi, D. Dujic, M. Jones, G. Grandi, Analytical Determination of DC-Bus Utilization Limits in Multiphase VSI Supplied AC Drives, IEEE Trans. on Energy Conv., vol. 23 no. 2, pp. 433-443, June 2008.
- [4] V. Oleschuk, F. Profumo, A. Tenconi, Analysis of Operation of Symmetrical Dual Three-Phase Converters with Hybrid Schemes of Synchronised PWM, International Review of Electrical Engineering (IREE), vol. 2 no. 6, Dec. 2007.
- [5] M. J. Duran, F. Salas, M. R. Arahal, Bifurcation Analysis of Five-Phase Induction Motor Drives With Third Harmonic Injection, IEEE Trans. on Ind. Electr., vol. 55 no. 5, pp. 2006-2014, May 2008.
- [6] R. Kianinezhad, B. Nahid-Mobarakeh, L. Baghli, F. Betin, G.-A. Capolino, Modeling and Control of Six-Phase Symmetrical Induction Machine Under Fault Condition Due to Open Phases, IEEE Trans. on Ind. Electr., vol. 55 no. 5, pp. 1966-1977, May 2008.