مدل‌سازی مجزا برای اتصال سری دو موتور القائی پنج‌فاز با عملکرد مستقل

سید محسن احمدی[۱]، مهرداد جعفربلند[۲]، غلامرضا عرب مارکده[۳]
۱- دانشجو : SMA_ESF@yahoo.com
۲- استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی مالک اشتر : J_mehrdad45@hotmail.com
۳- استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه شهرکرد : Arab_r@yahoo.co

چکیده

امروزه در بسیاری از صنایع از جمله صنعت نورد و یا بافندگی نیاز به کار توأم موتورهای الکتریکی توسط یک درایو و کنترل کننده است. کارکرد صحیح و مستقل این موتورها از طریق یک کنترل کننده مشترک از مشکلات عمده این روش است. جدیدترین تکنیک حل این مشکل سری کردن مدار سیم پیچ های الکتریکی استاتور موتورهای القایی است. استفاده از ماشین‌های پنج‌فاز به‌جای ماشین سه‌فاز این قابلیت را فراهم می‌کند که بتوان آنها را به‌طور سری به هم متصل نمود و با اعمال کلیدزنی مناسب روی کلیدهای اینورتر، ولتاژهای پنج‌فاز مناسب را برای تحریک ماشین‌ها به نحوی فراهم نمود که عملکرد آنها از یکدیگر مستقل باشد. در این مقاله روش جدیدی برای مدل‌سازی مجزای این دو ماشین سری شده ارائه گردید که بتوان با توجه به آن معادلات هر کدام از ماشین‌ها را در یک دستگاه گردان دلخواه شبیه‌سازی نمود. نتایج شبیه‌سازی صحت این مدل را در مقایسه با مدل پیوسته قبلی به اثبات رساند. تحقق مدل سازی مجزای ماشینها که در این مقاله ارائه شده است طراحی کنترل کننده را نسبت به مدل پیوسته قبلی ساده تر می کند.

کلمات کلیدی

اتصال سری موتورها - اینورتر پنج ساق – دستگاه مرجع گردان - ماشین آسنکرون پنج فاز

Archive of SID

۱– مقدمه

ایده استفاده از اتصال سری دو ماشین پنج‌فاز ناشی از این واقعیت بوده که وقتی از یک سیستم پنج‌فاز به‌جای سیستم سه‌فاز استفاده می‌شود، متناسب با افزایش تعداد فازها درجه آزادی برای کنترل یک ماشین پنج‌فاز نسبت به ماشین سه‌فاز افزایش می‌یابد [۱]. برای یک سیستم پنج‌فاز، دو درجه آزادی باتوجه به تبدیل متغیرهای آن به دستگاه‌های مرجع متعارف وجود دارد. به‌عبارت دیگر، با انتقال متغیرهای یک سیستم پنج‌فاز به دستگاه‌های مرجع، دو جفت مؤلفه $\alpha\beta$ و x_1y_1 و یک مؤلفه صفر بدست می‌آید. در چنین حالتی با فرض داشتن یک توالی $abcde$ برای متغیرهای پنج‌فاز (با اختلاف ۷۲° برای دو فاز متوالی) و شرط تعادل فازها، واضح است که تنها مؤلفه‌های $\alpha\beta$ دارای مقدار بوده و عامل ایجاد شار و گشتاور در ماشین پنج‌فازی هستند و درصورتی که توالی متعادل قبلی به $acebd$ تغییر کند، تنها مؤلفه‌های x_1y_1 دارای مقدار بوده و شار و گشتاور تولید می‌کنند [۲].

بنابراین موضوع فوق باعث شد که محققان ایده اتصال سری دو ماشین پنج‌فاز را پیشنهاد کنند. در چنین اتصالی سیم‌پیچ‌های استاتور یک ماشین با ماشین دیگر سری شده و از یک اینورتر پنج‌ساق تغذیه می‌شوند. البته با این فرض که توالی $abcde$ برای ماشین اول و توالی $acebd$ برای ماشین دوم درنظر گرفته شود بطوری‌که جفت مؤلفه $\alpha\beta$ برای ماشین اول و جفت مؤلفه x_1y_1

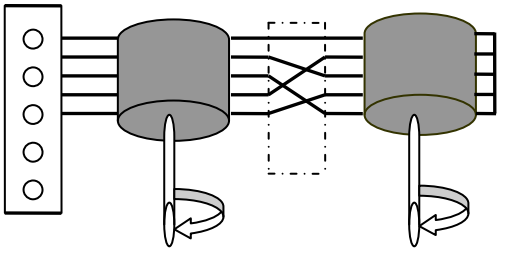
برای ماشین دوم عامل ایجادکننده شار و گشتاور باشند. این تغییر توالی برای ماشین دوم تنها با اعمال یک جابجایی فاز در خروجی ماشین اول صورت می‌گیرد.

در [۳] و [۴]، برای مدل‌سازی دو ماشین پنج‌فاز با اتصال سری از یک مدل یکپارچه استفاده شده‌است. درحالی‌که در این مقاله مدلی جدید (مدل مجزا) پیشنهاد شده که بتوان از آن در شبیه‌سازی‌ها برای اعمال مناسب‌تر روش‌های درایو استفاده نمود. از آنجایی‌که اتصال سری ماشین‌های چند فاز، مستقل از نوع ماشین‌ها است [۵]، یک امکان برای اتصال سری استفاده از ترکیب انواع ماشین‌ها (سنکرون، القائی، سنکرون رلوکتانسی و ...) می‌باشد که این موضوع در بعضی از موارد ایجاب می‌کند که معادلات هر ماشین به طور مجزا در یک دستگاه مرجع خاص بیان شوند. بنابراین لازمه این کار در دسترس بودن معادلات هر ماشین به‌طور مجزا است تا بتوان معادلات هر ماشین را به دستگاه مناسب مربوطه منتقل نمود. پس برای چنین حالتی، داشتن یک مدل مجزا برای اتصال سری دو ماشین ضروری به‌نظر می‌رسد. برای این منظور در این مقاله یک مدل مجزا برای اتصال سری دو ماشین پنج‌فاز ارائه شده‌است. در بخش دوم این مقاله مروری بر مدل یکپارچه قبلی شده و سپس در بخش سوم مدل پیشنهادی مورد تحلیل قرار می‌گیرد و درنهایت در بخش چهارم، نتایج شبیه‌سازی صحت مدل پیشنهادی را به اثبات خواهد رساند.

۲- مدل‌سازی یکپارچه برای سیستم دو موتوری پنج فاز با اتصال سری

۲-۱- معادلات ولتاژ و جریان بر اساس متغیرهای پنج‌فاز

اتصال سری دو ماشین پنج‌فاز همراه با یک اینورتر پنج‌ساق مطابق شکل (۱) درنظر گرفته می‌شود. باید اشاره نمود که لازمه استفاده از این نوع اتصال آن است که کلیدزنی اینورتر به‌گونه‌ای باشد تا ولتاژهای پنج‌فاز خروجی آن شامل مجموع توالی $abcde$ و $acebd$ برای هر دو ماشین باشد. در مدل‌های یکپارچه ارائه‌شده [۶]، روش‌های کنترل درایو به نحوی است که ولتاژهای مرجع تولیدی برای کلیدزنی اینورتر از جمع توالی مرجع $abcde$ برای موتور اول و توالی مرجع $acebd$ برای موتور دوم تشکیل شوند.



شکل (۱): اتصال سری دو ماشین پنج‌فاز با جابجایی فازها

برای مدل‌سازی یکپارچه ، ولتاژهای فاز به خنثی و جریان‌های اینورتر بر اساس شکل (۱) به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned} V_A &= V_{an} = V_{as1} + V_{as2} \\ V_B &= V_{bn} = V_{bs1} + V_{cs2} \\ V_C &= V_{cn} = V_{cs1} + V_{es2} \\ V_D &= V_{dn} = V_{ds1} + V_{bs2} \\ V_E &= V_{en} = V_{es1} + V_{ds2} \end{aligned} \quad (۱)$$

$$\begin{aligned} i_A &= i_{as1} = i_{as2} \\ i_B &= i_{bs1} = i_{cs2} \\ i_C &= i_{cs1} = i_{es2} \\ i_D &= i_{ds1} = i_{bs2} \\ i_E &= i_{es1} = i_{es2} \end{aligned} \quad (۲)$$

فرم ماتریسی معادلات ولتاژ چنین است:

$$\underline{V} = \underline{R} \times \underline{i} + \frac{d\,(\underline{L}.\underline{i}\,)}{dt} \quad (۳)$$

که در آن:

$$\underline{V} = [\underline{V}^{inv} \quad \underline{0} \quad \underline{0}]^T$$
$$\underline{i} = [\underline{i}^{inv} \quad \underline{i}_{r1} \quad \underline{i}_{r2}]^T \quad (۴)$$

$$\underline{V}^{inv} = [V_A \quad V_B \quad V_C \quad V_D \quad V_E]^T$$
$$\underline{i}^{inv} = [i_A \quad i_B \quad i_C \quad i_D \quad i_E]^T \quad (۵)$$

$$\underline{i}_{r1} = [i_{ar1} \quad i_{br1} \quad i_{cr1} \quad i_{dr1} \quad i_{er1}]^T$$
$$\underline{i}_{r2} = [i_{ar2} \quad i_{br2} \quad i_{cr2} \quad i_{dr2} \quad i_{er2}]^T$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} \underline{R}_{s1} + \underline{R}_{s2} & & \\ & R_{r1} & \\ & & R_{r2} \end{bmatrix} \quad (۶)$$

$$\underline{L} = \begin{bmatrix} \underline{L}_{s1} + L_{s2} & L_{sr1} & L_{sr2} \\ L_{rs1} & L_{r1} & 0 \\ L_{rs2} & 0 & L_{r2} \end{bmatrix}$$

Archive of SID

۲-۲- تبدیل متغیرهای پنج‌فاز به دستگاه مرجع ساکن

باتوجه به اینکه برای هر ماشین پنج‌فاز تنها یک جفت مؤلفه، عامل تولید شار و گشتاور است، بنابراین معادلات مربوط به شار و گشتاور در دستگاه مرجع، همانند ماشین سه‌فاز است با این تفاوت که مقاومت و اندوکتانس نشتی استاتور هر یک از ماشین‌های پنج‌فاز، جفت مؤلفه دوم که تاثیری در معادلات شار و گشتاور همان ماشین ندارند را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

برای تبدیل متغیرهای پنج‌فاز به دستگاه مرجع ساکن از ماتریس تبدیل مجزاسازی $\underline{C}$ استفاده می‌شود، تا ارتباط بین دستگاه مرجع و متغیرهای پنج‌فاز به فرم $f_{\alpha\beta x1y1o} = \underline{C} f_{abcde}$ برقرار شود.

$$\underline{C} = \sqrt{\frac{2}{5}} \begin{bmatrix} 1 & \cos\gamma & \cos(2\gamma) & \cos(3\gamma) & \cos(4\gamma) \\ 0 & \sin\gamma & \sin(2\gamma) & \sin(3\gamma) & \sin(4\gamma) \\ 1 & \cos(2\gamma) & \cos(4\gamma) & \cos(6\gamma) & \cos(8\gamma) \\ 0 & \sin(2\gamma) & \sin(4\gamma) & \sin(6\gamma) & \sin(8\gamma) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{matrix} \alpha \\ \beta \\ x1 \\ y1 \\ o \end{matrix} \qquad (۷)$$

$$\gamma = \frac{2.\pi}{5}$$

با اعمال ماتریس $\underline{C}$ روی ولتاژهای اینورتر:

$$\begin{bmatrix} V_\alpha^{inv} \\ V_\beta^{inv} \\ V_{x1}^{inv} \\ V_{y1}^{inv} \\ V_o^{inv} \end{bmatrix} = \underline{C}. \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ V_D \\ V_E \end{bmatrix} \qquad (۸)$$

و با اعمال $\underline{C}$ روی (۱) و (۲):

$$\begin{bmatrix} V_\alpha^{inv} \\ V_\beta^{inv} \\ V_{x1}^{inv} \\ V_{y1}^{inv} \\ V_o^{inv} \end{bmatrix} = \underline{C}. \begin{bmatrix} V_{as1} + V_{as2} \\ V_{bs1} + V_{cs2} \\ V_{cs1} + V_{es2} \\ V_{ds1} + V_{bs2} \\ V_{es1} + V_{ds2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{\alpha s1} + V_{xs2} \\ V_{\beta s1} - V_{ys2} \\ V_{xs1} + V_{\alpha s2} \\ V_{ys1} + V_{\beta s2} \\ V_o \end{bmatrix} \qquad (۹)$$

$$\begin{aligned} i_\alpha^{inv} &= i_{\alpha s1} = i_{xs2} \\ i_\beta^{inv} &= i_{\beta s1} = -i_{ys2} \\ i_{x1}^{inv} &= i_{xs1} = i_{\alpha s2} \\ i_{y1}^{inv} &= i_{ys1} = i_{\beta s2} \end{aligned} \qquad (۱۰)$$

که از مؤلفه صفر بدلیل عدم وجود سیم خنثی در اتصال ستاره صرفنظر می‌شود.

بنابراین معادلات مربوط به اینورتر (که با استاتورهای هر دو ماشین سری شده‌است) با توجه به (۵) ، (۶) ، (۹) و (۱۰) برای مدل یکپارچه دو موتوری با اتصال سری به فرم زیر است:

$$\begin{aligned} V_d^{inv} &= R_{s1}.i_d^{inv} + L_{s1}\frac{di_d^{inv}}{dt} + L_{m1}\frac{di_{dr1}}{dt} + R_{s2}.i_d^{inv} + L_{ls2}\frac{di_d^{inv}}{dt} \\ V_q^{inv} &= R_{s1}.i_q^{inv} + L_{s1}\frac{di_q^{inv}}{dt} + L_{m1}\frac{di_{qr1}}{dt} + R_{s2}.i_q^{inv} + L_{ls2}\frac{di_q^{inv}}{dt} \\ V_x^{inv} &= R_{s1}.i_x^{inv} + L_{ls1}\frac{di_x^{inv}}{dt} + R_{s2}.i_x^{inv} + L_{s2}\frac{di_x^{inv}}{dt} + L_{m2}\frac{di_{dr2}}{dt} \\ V_y^{inv} &= R_{s1}.i_y^{inv} + L_{ls1}\frac{di_y^{inv}}{dt} + R_{s2}.i_y^{inv} + L_{s2}\frac{di_y^{inv}}{dt} + L_{m2}\frac{di_{qr2}}{dt} \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

در اینجا لازم است اشاره شود که چون کوپلینگ استاتور با روتور در هر ماشین فقط روی جفت مؤلفه $\alpha\beta$ رخ می‌دهد مؤلفه‌های dq با اعمال ماتریس تبدیل مجزاسازی D_s فقط روی این مؤلفه‌ها حاصل می‌شوند.

$$D_s = \begin{bmatrix} \cos\theta_s & -\sin\theta_s & & \\ \sin\theta_s & \cos\theta_s & & \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{bmatrix} \qquad (۱۲)$$

$\theta_s = \int w_a dt$: موقعیت زاویه‌ای لحظه‌ای استاتور

معادلات ولتاژ روتور ماشین اول:

$$\begin{aligned} 0 &= R_{r1}.i_{dr1} + L_{m1}\frac{di_d^{inv}}{dt} + L_{r1}\frac{di_{dr1}}{dt} + w_1(L_{m1}.i_q^{inv} + L_{r1}.i_{qr1}) \\ 0 &= R_{r1}.i_{qr1} + L_{m1}\frac{di_q^{inv}}{dt} + L_{r1}\frac{di_{qr1}}{dt} - w_1(L_{m1}.i_d^{inv} + L_{r1}.i_{dr1}) \end{aligned} \qquad (۱۳)$$

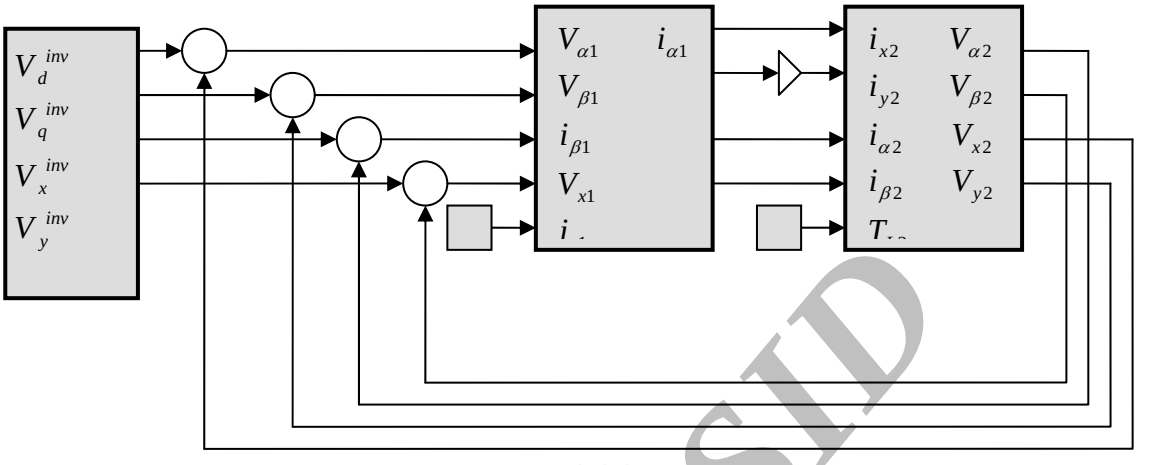
و معادلات ولتاژ روتور ماشین دوم:

$$\begin{aligned} 0 &= R_{r2}.i_{dr2} + L_{m2}\frac{di_x^{inv}}{dt} + L_{r2}\frac{di_{dr2}}{dt} + w_2(L_{m2}.i_y^{inv} + L_{r2}.i_{qr2}) \\ 0 &= R_{r2}.i_{qr2} + L_{m2}\frac{di_y^{inv}}{dt} + L_{r2}\frac{di_{qr2}}{dt} - w_2(L_{m2}.i_x^{inv} + L_{r2}.i_{dr2}) \end{aligned} \qquad (۱۴)$$

و درنهایت، معادلات گشتاور دو ماشین به فرم زیر حاصل می‌شوند:

Archive of SID

$$T_{e1} = P_1.L_{m1}[i_{dr1}.i_q^{inv} - i_d^{inv}.i_{qr1}]$$
$$T_{e2} = P_2.L_{m2}[i_{dr2}.i_y^{inv} - i_x^{inv}i_{qr2}] \quad (۱۵)$$



شکل (۲): مدل مجزا برای اتصال سری دو ماشین

۳–مدل پیشنهادی برای مجزاسازی معادلات دو ماشین

۳–۱–توصیف مدل مجزا برای اتصال سری دو ماشین پنج‌فاز

برای داشتن مدل هر دو ماشین پنج‌فاز به طور مجزا از هم لازم است به این نکته توجه شود که در مدل‌سازی، ولتاژ ورودی به ماشین اول باید ولتاژ دو سر سیم‌پیچ فازهای همان ماشین باشد که این ولتاژهای فاز از (۱) تعیین می‌شوند (تفاضل ولتاژهای اینورتر و فاز موتور دوم). به همین ترتیب بعد از اعمال ماتریس $\underline{C}$، ولتاژهای $\alpha\beta$ و x_1y_1 موتور اول در دستگاه مرجع را می‌توان از (۹) بدست آورد.

در معادلات موتور اول ولتاژها به‌عنوان متغیرهای ورودی و جریان‌ها به‌عنوان متغیرهای خروجی در نظر گرفته می‌شوند. از طرفی چون اتصال دو موتور به‌صورت سری است جریان‌های موتور اول با جریان های موتور دوم برابر هستند و در دستگاه مرجع طبق (۱۰) به هم مرتبط می‌شوند. همین‌طور در معادلات موتور دوم جریان‌ها به عنوان متغیرهای ورودی و ولتاژها به‌عنوان متغیرهای خروجی ظاهر خواهند شد که با ارتباط‌دادن ولتاژهای خروجی موتور دوم با ولتاژهای اینورتر طبق (۹) ولتاژهای ورودی موتور اول در دستگاه مرجع حاصل می‌شوند. این مدل در شکل (۲) نشان داده شده‌است.

۳–۲–معادلات مجزای توصیف‌کننده دو ماشین پنج‌فاز

وقتی مدل هر دو ماشین به‌طور مجزا فراهم شود می‌توان معادلات دیفرانسیل توصیف‌کننده هر یک از ماشین‌ها را در دستگاه مرجع مناسب مربوط به خود بیان نمود. از آنجایی که درهر ماشین پنج‌فاز با توجه به تغییر توالی فازها و وجود تعادل است، پس در مدل‌سازی یک ماشین پنج‌فاز برای محاسبه شار و در هر توالی، تنها یک جفت مؤلفه عامل ایجاد شار و گشتاور $\alpha\beta$ (x_1y_1) استفاده می‌شود. تاثیر هر ماشین روی گشتاور مشابه ماشین سه‌فاز فقط از جفت مؤلفه مؤلفه x_1y_1 $(\alpha\beta)$ تنها ناشی از مقاومت و اندوکتانس نشتی استاتور آن ماشین می‌باشد.

معادله‌های ولتاژ و شار پیوندی ایجادکننده شار و گشتاور در هر ماشین پنج‌فاز به فرم زیر است :

(جفت مؤلفه $\alpha\beta$ برای هر ماشین به dq برده می‌شود)

$$V_{qs} = R_s.i_{qs} + \frac{w}{w_b}\psi_{ds} + \frac{p}{w_b}\psi_{qs}$$
$$V_{ds} = R_s.i_{ds} - \frac{w}{w_b}\psi_{qs} + \frac{p}{w_b}\psi_{ds} \quad (۱۶)$$

$$V'_{qr} = R'_r.i'_{qr} + (\frac{w - w_r}{w_b}).\psi'_{dr} + \frac{p}{w_b}\psi'_{qr}$$
$$V'_{dr} = R'_r.i'_{dr} - (\frac{w - w_r}{w_b}).\psi'_{qr} + \frac{p}{w_b}\psi'_{dr} \quad (۱۷)$$

$$\psi_{qs} = x_{ls}.i_{qs} + x_m.(i_{qs} + i'_{qr})$$
$$\psi_{ds} = x_{ls}.i_{ds} + x_m.(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (۱۸)$$

Archive of SID

$$\psi'_{qr} = x'_{lr}.i'_{qr} + x_m.(i_{qs} + i'_{qr})$$
$$\psi'_{dr} = x'_{lr}.i'_{dr} + x_m.(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (۱۹)$$

تاثیر ماشین روی مؤلفه‌های $x_1 y_1$ به فرم زیر است:

$$V_{xs} = R_s.i_{xs} + \frac{p}{w_b}\psi_{xs}$$
$$V_{ys} = R_s.i_{ys} + \frac{p}{w_b}\psi_{ys} \quad (۲۰)$$

$$\psi_{xs} = x_{ls}.i_{xs}$$
$$\psi_{ys} = x_{ls}.i_{ys} \quad (۲۱)$$

w_b: سرعت مبنا و w: سرعت دستگاه مرجع اختیاری

و معادلات مکانیکی:

$$T_e = \frac{5}{2}.\frac{P}{2}.\frac{x_m}{w_b}.(i'_{dr}.i_{qs} - i'_{qr}.i_{ds})$$
$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{1}{J}.(T_e - T_L) - \frac{B}{J}.w_r \quad (۲۲)$$

از مؤلفه صفر بدلیل متعادل‌بودن ماشین‌ها و نداشتن سیم خنثی صرفنظر می‌شود.

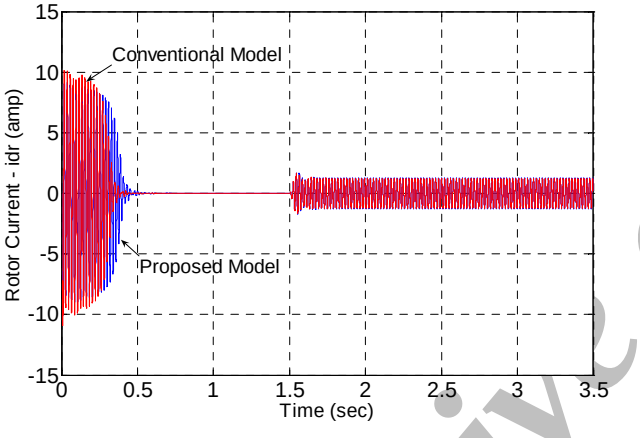
۴- نتایج شبیه‌سازی برای مدل‌های یکپارچه و مجزا

هر دو مدل پیوسته و مجزا که در بخش های قبل مورد بحث قرار گرفتند توسط نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده اند. نتایج شبیه سازی برای هر دو مدل عملکرد مستقل ماشین ها را با وجود اتصال سری آنها تایید می کند. از طرفی صحت مدل سازی مجزا با توجه به مقایسه نتایج شبیه سازی هر دو مدل به اثبات می‌رسد.

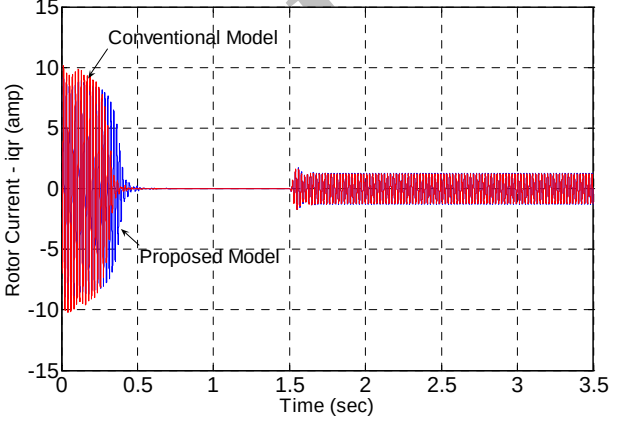
در شکل (۳) جریان‌های روتور یکی از ماشین ها (الف: i_{dr} و ب: i_{qr}) برای هر دو مدل نشان داده شده اند. گشتاور بار در $t = 1.5$ به موتور اعمال شده است. مشاهده می شود که رفتار شکل موج جریان روتور (i_{dr} و i_{qr}) در حالت دائمی برای هر دو مدل یکسان است. برای این شکل معادلات هر دو مدل در دستگاه ساکن شبیه سازی شده اند

شکل (۴) عملکرد مستقل دو ماشین پنج فاز با اتصال سری را به این صورت نشان می دهد که با اعمال گشتاور بار به موتور اول در $t = 1.5$، تنها سرعت موتور اول تحت تاثیر قرار می گیرد و سرعت موتور دوم در این لحظه بدون تغییر می ماند و همینطور با اعمال بار به موتور دوم در $t = 2.5$، سرعت موتور اول بدون تغییر باقی مانده و فقط سرعت موتور دوم تغییر می کند. این روال برای مدل پیوسته در شکل (۴- الف) و برای مدل مجزا در شکل (۴- ب) قابل مشاهده است.

برای اثبات صحت مدل پیشنهادی در این مقاله نحوه تغییرات سرعت موتور اول به ازای تغییر گشتاور بار برای هر دو مدل در شکل (۵- الف) و برای موتور دوم در شکل (۵- ب) نشان داده شده‌اند و همچنین تغییرات گشتاور تولیدی هر کدام از موتورها به ازای تغییرات گشتاور بار هر دو موتور در شکل (۶) مشخص شده‌است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود در شکل (۶- الف) با تغییر گشتاور بار موتور اول، رفتار گشتاور تولیدی در هر دو مدل برای آن موتور یکسان است. همین موضوع برای موتور دوم در شکل (۶- ب) ارائه شده است.

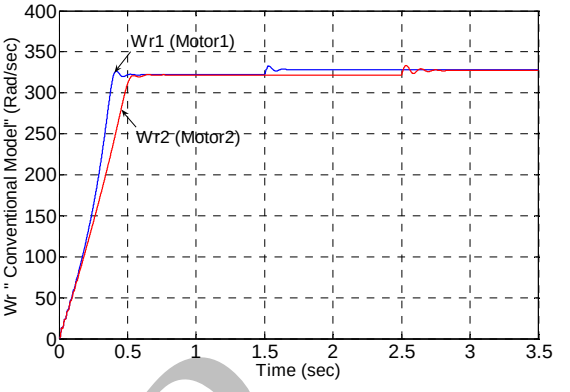


شکل(۳- الف): جریان i_{dr} روتور یکی از ماشین ها گشتاور بار در $t = 1.5$ برای دو مدل پیوسته و مجزا

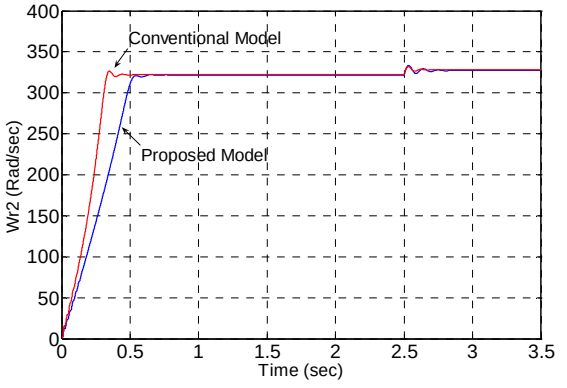


شکل (۳-ب): جریان i_{qr} روتور یکی از ماشین ها گشتاور بار در $t = 1.5$ برای دو مدل پیوسته و مجزا

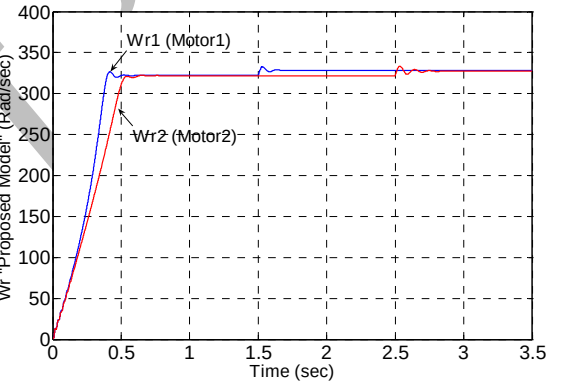
Archive of SID



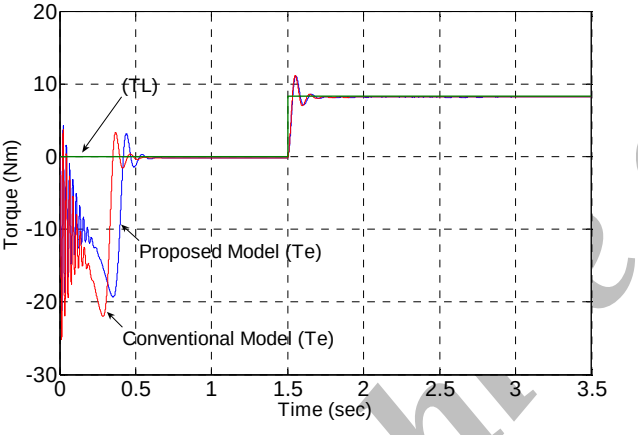
شکل (۴-الف): سرعت دو موتور با اعمال گشتاور بار به موتور اول در $t = 1.5$ و اعمال بار به موتور دوم در $t = 2.5$ برای مدل پیوسته



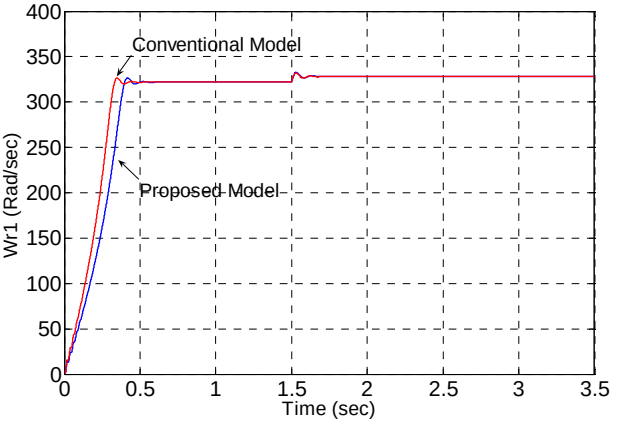
شکل (۵-ب): تغییرات سرعت موتور دوم به ازای تغییر گشتاور بار برای هر دو مدل پیوسته و مجزا



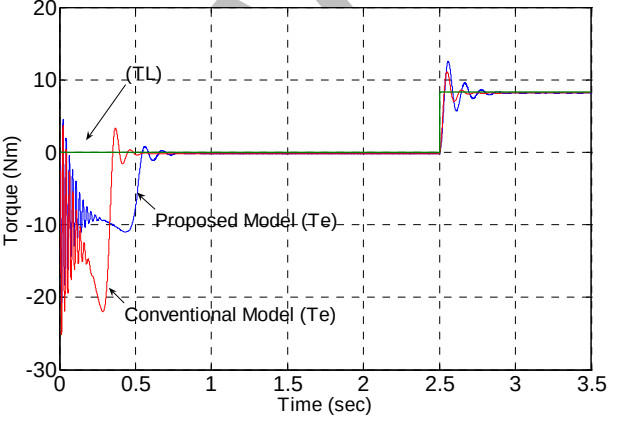
شکل (۴-ب): سرعت دو موتور با اعمال گشتاور بار به موتور اول در $t = 1.5$ و اعمال بار به موتور دوم در $t = 2.5$ برای مدل مجزا



شکل(۶- الف): اثر تغییر گشتاور بار موتور اول Te1 در رفتار گشتاور تولیدی موتور اول برای دو مدل پیوسته و مجزا



شکل (۵-الف): تغییرات سرعت موتور اول به ازای تغییر گشتاور بار برای هر دو مدل پیوسته و مجزا



شکل (۶-ب): اثر تغییر گشتاور بار موتور اول Te2 در رفتار گشتاور تولیدی موتور اول برای دو مدل پیوسته و مجزا

Archive of SID

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از ماشین‌های پنج‌فاز به‌جای سه‌فاز این قابلیت را فراهم می‌کند که بتوان آنها را به‌طور سری به هم متصل نمود و با اعمال کلیدزنی مناسب روی کلیدهای اینورتر، ولتاژهای پنج‌فاز مناسب که شامل مؤلفه‌های $\alpha\beta$ و xy هستند را برای تحریک ماشین‌ها به نحوی فراهم نمود که عملکرد آنها از یکدیگر مستقل باشد. در این مقاله روش جدیدی برای مدل‌سازی مجزای این دو ماشین ارائه شد که بتوان با توجه به آن معادلات هر کدام از ماشین‌ها را در یک دستگاه دلخواه شبیه‌سازی نمود. نتایج شبیه‌سازی صحت این مدل را در مقایسه با مدل پیوسته قبلی به اثبات رساند.

۵- مراجع

[۱] S . Gataric,“ **A Polyphase Cartesian Vector Approach to Control of Polyphase ac Machines**,” in proceeding. IEEE Industrial Application Society. Annual Meeting IAS 00. Rome Italy, 2000.

[۲] E. Levi, M. Jones & S. N. Vukosavic., “**Even-phase multi-motor vector controlled drive with single inverter supply and series connection of stator windings**.,” IEEE Proc. – Electric Power Applications., vol. 150- No 5., pp. 580-590, 2003

[۳] E. Levi, M.Jones, S.N. Vukosavic, H.A. Toliyat, “**A five-phase two-machine vector controlled induction motor drive supplied from a single inverter,**” Proc. European Conf. On Power Electronics and Application EPE, Toulousc, France, 2003, CD-ROM Paper No. 0001.

[۴] E Levi, A. Iqbal, S.N. Vukosavic and H.A.Toliyat, “**Modeling and control of a five-phase series-connected two-motor drive,**” IEEE Industrial Electronic Soc. Annual Meeting IECON, Roanoke, VA, pp. 208-213, 2003

[۵] E. Levi, M. Jones and S. N. Vukosavic, “**A series-connected two-motor six-phase drive with induction and permanent magnet machines,**” IEEE Trans. Energy Conversion, vol, 21, no. 1, pp. 121-129, Mar. 2006.

[۶] E. Levi, M. Jones and S. N. Vukosavic, “**A series-connected two-motor six-phase drive with induction and permanent magnet machines,**” IEEE Trans. Energy Conversion, vol, 21, no. 1, pp. 121-129, Mar. 2006.

[۷] M. Jones, E. Levi, and A. Iqbal, “**A five-phase series-connected two-motor drive with current control in rotating reference frame,**” in Proc. IEEE Power Elec. Spec. Conf. (PESC), Aachen, Germany, 2004, pp. 3278-3284.

Archive of SID