



دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران
ISCEE2004



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
تاسیس ۱۳۷۰

کنترل سرعت هوشمند موتورهای DC

حمید رضا شریف خضری

sharif_natanz@yahoo.com

دانشگاه یزد

علیرضا صدیقی انارکی

sedighi@yazduni.ac.ir

دانشگاه یزد

چکیده:

دامنه وسیع سرعت موتورهای DC و سهولت کنترل آنها باعث کاربرد فراوان آنها در صنعت شده است. عمدتاً سرعت موتورهای DC با کنترل ولتاژ آرمیچر و یا کنترل میدان صورت می پذیرد. روشهای کنترل سرعت ارائه شده برای موتورهای DC با شناخته شدن روشهای جدید در تئوری کنترل گسترش یافته اند. در این مقاله سرعت یک موتور DC تحریک جداگانه با استفاده از شبکه عصبی تطبیقی خطی کنترل شده است، اثر تغییرات بار، سرعت مرجع و ولتاژ آرمیچر در این کنترل کننده مد نظر قرار گرفته است. ویژگی روش پیشنهادی اصلاح ضرایب شبکه عصبی در حین کار کردن موتور و مقاوم بودن پاسخها نسبت به تغییرات ممان اینرسی (J) و اصطکاک (B) می باشد. برخلاف کنترل کننده PID که در اثر تغییر یکی از پارامترهای مدل، نظیر J و B کارایی بهینه خود را از دست می دهد و نیاز به تنظیم پارامترهای کنترل کننده دارد، روش پیشنهادی نیاز به طراحی مجدد نداشته و در برابر تغییرات پارامترها بطور خودکار اصلاح می شود. روش پیشنهادی با استفاده از اطلاعات یک ماشین DC توسط نرم افزار Matlab و در محیط Simulink شبیه سازی شده است. نتایج نشان می دهند که بواسطه استفاده از روش پیشنهادی هیچگونه نوسانی در پاسخها دیده نمی شود و زمان رسیدن به سرعت مطلوب نیز بسیار کم است.

واژگان کلیدی: موتورهای DC، کنترل سرعت، شبکه عصبی، کنترل هوشمند.

۱-مقدمه

موتورهای DC از اولین موتورهای الکتریکی در صنعت بوده اند که بواسطه سهولت کنترل سرعت آنها، در توانهای چندوات تا چندین هزار کیلووات و با رنج وسیع ولتاژ و درسرعتهای نامی مختلف شناخته شده اند [۱-۲]. روشهای ارائه شده برای کنترل سرعت موتورهای DC بطور کلی به سه دسته تقسیم می شوند. روشهای کلاسیک مثل استفاده از کنترل کننده های PI، PID [۳]، روشهای مدرن (تطبیقی، بهینه و ...) [۴-۵] و روشهای هوشمند مثل کاربرد تئوری فازی و شبکه های عصبی [۶-۷] روشهای ارائه شده برای کنترل سرعت موتورهای DC می باشد.

هدف این مقاله ارائه روشی جهت کنترل هوشمند سرعت موتور DC تحریک جداگانه ، با استفاده از شبکه عصبی تطبیقی خطی می باشد. روش پیشنهادی با استفاده از نرم افزار Matlab و در محیط Simulink با شبیه سازی یک موتور DC ، اجرا و حالت های مختلف آن بررسی شده اند.

در ادامه و در بخش دوم مدلسازی موتور DC عنوان شده است. بخش سوم به توضیح در مورد شبکه عصبی تطبیقی خطی می پردازد. روش پیشنهادی در بخش چهارم توضیح داده شده است و نتایج در بخش پنجم آمده اند.

۲-مدلسازی موتور DC

موتورهای جریان مستقیم انواع گوناگونی داشته و برای هر یک روش های متعددی جهت کنترل سرعت ارائه گردیده است در این مقاله موتور DC تحریک جداگانه جهت کنترل سرعت انتخاب شده است و با کنترل ولتاژ تغذیه اقدام به کنترل سرعت در سرعت های کمتر از سرعت نامی شده است. روابط حاکم بر این نوع موتور عبارتند از:

$$V_t = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + E_a \quad (1)$$

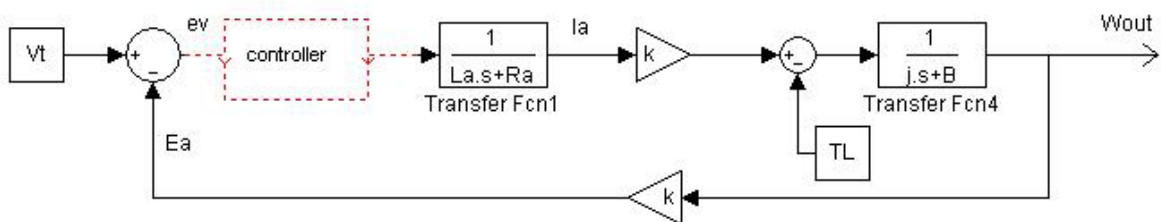
$$E_a = K \omega_m \quad (2)$$

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} - T_l = K i_a \quad (3)$$

که در آنها : R_a ، L_a ، i_a و V_t به ترتیب مقاومت، اندوکتانس، جریان و ولتاژ آرمیچر بوده، E_a نیروی ضد محرکه موتور، ω سرعت زاویه ای، T_l گشتاور بار، J و B نیز لختی دورانی و ضریب اصطکاک معادل در محور موتور می باشند. با انتخاب i_a و ω بعنوان متغیرهای حالت و همچنین V_t و T_l بعنوان ورودیها می توان روابط فوق را بفرم ماتریسی زیر نوشت:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_a}{L_a} & \frac{-K}{L_a} \\ \frac{+K}{J} & \frac{-B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_t \\ T_l \end{bmatrix} \quad (4)$$

در این روابط از اثر اشباع ، همچنین از تزویج بین سیم پیچهای میدان و آرمیچر و عکس العمل صرف نظر شده است. با توجه به روابط فوق مدل موتور DC مورد استفاده به همراه بلوک کنترل کننده در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱) مدل موتور DC تحریک جداگانه با کنترلر

مشخصات و پارامترهای موتور DC شبیه سازی شده به شرح زیر می باشد:

110v 2.5HP 1800rpm $i_a=20A$ $L_a=46mH$ $K=0.55V.s/rad$ $R_a=1\Omega$
 $J=0.093Kg.m^2$ $B=0.008N.m.s/rad$

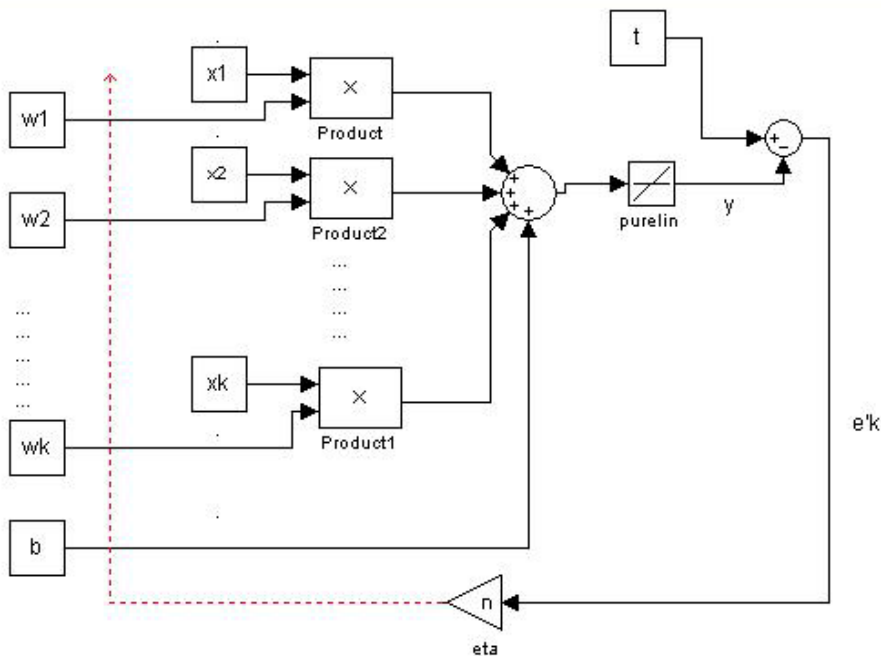
۳- شبکه عصبی تطبیقی خطی

شبکه های عصبی مصنوعی از جمله سیستم های دینامیکی هستند که با پردازش روی داده های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده ها را به ساختار شبکه متصل می سازند. قابلیت یادگیری و تعمیم، پردازش موازی اطلاعات و همچنین استحکام در برابر خطاها از جمله ویژگی های شبکه های عصبی مصنوعی هستند که آنها را در کاربردهایی نظیر تفکیک الگو، رباتیک و کنترل ممتاز می نماید.

شبکه پرسپترون نخستین شبکه ای بود که توانائی شناسایی الگوها را داشت به فاصله کوتاهی از طرح این شبکه، در سال ۱۹۶۰ برنالد ویدرو شبکه عصبی تطبیقی خطی را مطرح نمود که از لحاظ ساختار شباهت بسیاری به شبکه پرسپترون داشت. این شبکه ها تنها توانایی طبقه بندی الگوهائی را دارند که به طور خطی از هم متمایز باشند.

الگوریتم یادگیری شبکه عصبی تطبیقی خطی از نوع یادگیری با ناظر است در این نوع یادگیری شبکه به خطای یادگیری که همان اختلاف بین مقدار مطلوب و مقدار واقعی است دسترسی داشته و آن را بهینه می سازد. این نوع از شبکه ها معمولاً یک لایه نرون دارند. این نرون مجموع وزندار شده ورودیها را با یک بایاس جمع کرده و نتیجه را از یک تابع خطی عبور می دهد. نرون فوق آدلاین (Adline) نام دارد.

شکل (۲) شماتیک این نوع از شبکه ها را نشان می دهد.



شکل (۲) شبکه عصبی تطبیقی خطی

برای آموزش این نوع شبکه ها، در هر گام مقدار وزنها (w) و با یاسها (b) با استفاده از قانون widrow-Hoff به گونه ای تغییر می یابد که مجموع مربعات خطا حداقل گردد. مقدار خطای خروجی e^k برابر اختلاف بین مقدار مطلوب و خروجی شبکه می باشد.

برای حداقل شدن مجموع مربعات خطا بایستی ماتریس وزنها و بایاس، که بقرار زیر می باشند در هر مرحله اصلاح شوند تا خطا صفر گردد:

$$W(K+1) = W(K) + \eta e_k^T X_K^T \quad (5)$$

$$b(K+1) = b(K) + \eta e_k^T \quad (6)$$

که در آن η بهره آموزش و X_K نیز بردار ورودی شبکه می باشد.

۴-روش پیشنهادی

هدف از طراحی یک کنترل کننده افزایش پایداری و کاهش زمان رسیدن به حالت مطلوب در برابر اعمال یک اغتشاش، در یک پروسه می باشد. در این مقاله از کنترل کننده PID، جهت مقایسه پاسخ آن با نتایج روش پیشنهادی، استفاده شده است. این کنترل کننده در مسیر سیگنال خطای شکل (۱) قرار می گیرد و با رابطه (۷) نشان داده می شود:

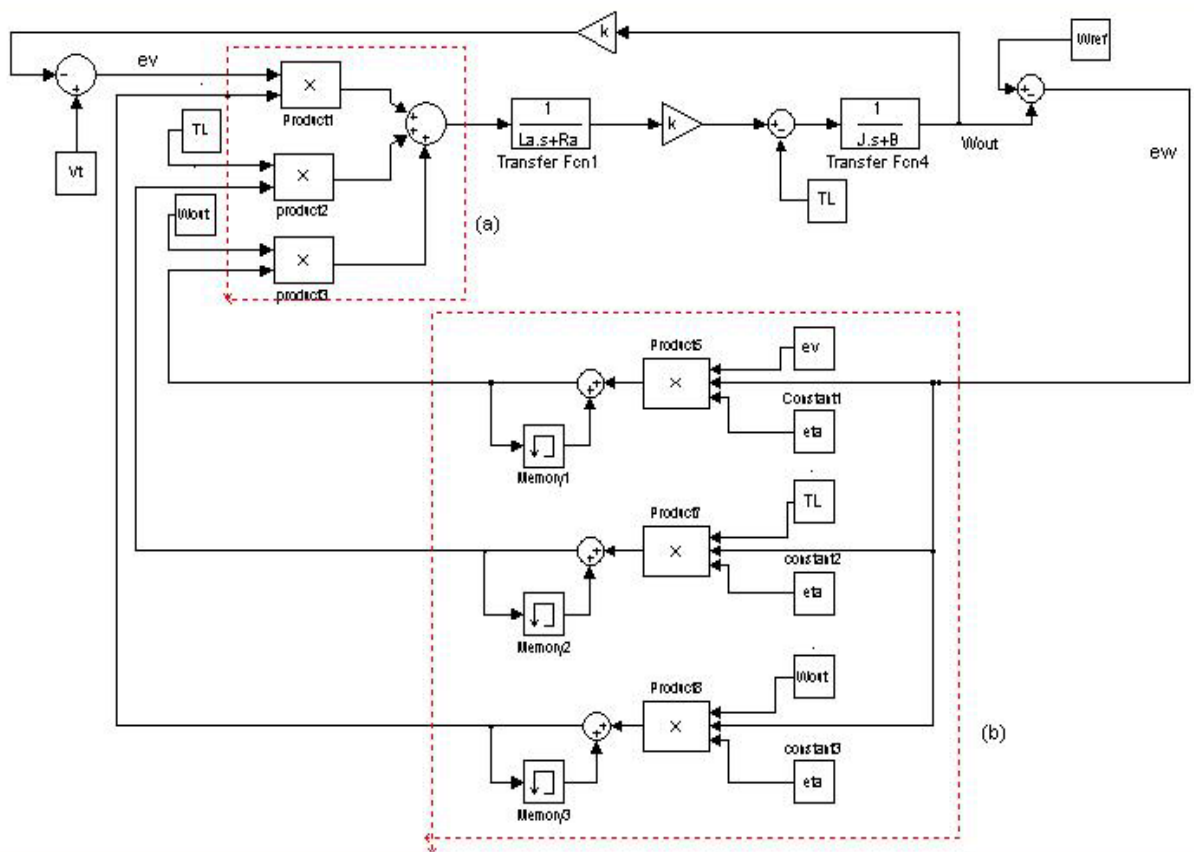
$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p + \frac{K_I}{S} + K_d S \quad (7)$$

که در آن K_p بهره تناسبی، K_I بهره انتگرالی و K_d بهره مشتقی می باشد. با تنظیم پارامترهای فوق می توان خطای حالت دائم و نوسانات خروجی را در پاسخ به ورودی پله کنترل نمود.

عمده اشکال این نوع کنترل کننده علاوه بر دشواری تنظیم پارامترها برای داشتن پاسخ مطلوب، نیاز به اصلاح آنها بواسطه تغییر شرایط کارکرد موتور می باشد که عملاً تنظیم مجدد پارامترها در حین کار کردن موتور امکانپذیر نیست.

جهت بر طرف کردن این مشکل روشهای کنترل هوشمند پیشنهاد می گردند. شبکه عصبی تطبیقی خطی بعنوان یک کنترلر هوشمند بعنوان روشی برای کنترل مطلوب سرعت در برابر تغییرات بار و پارامترهای ماشین معرفی می گردد. این کنترل کننده توانایی تنظیم خودکار وزنها را با توجه به شرایط بار و موتور دارا می باشد.

شکل (۳) چگونگی استفاده از این شبکه برای کنترل سرعت موتور DC را نشان می دهد.



شکل (۳) مدل پیشنهادی

همانطور که در شکل (۳-ا) ملاحظه می شود، شبکه عصبی تطبیقی خطی به کمک یک نرون آدالین و با استفاده از ورویهای سرعت، گشتاور بار و خطای ولتاژ با تنظیم خودکار وزنها اقدام به بهینه سازی سیگنال خطای ولتاژ می نماید تا در نهایت سرعت به حد مطلوب برسد.

به منظور اصلاح وزنها در شبکه عصبی مورد استفاده، سرعت خروجی با سرعت مرجع (مطلوب) مقایسه شده و سیگنال خطای سرعت (e_w) بدست آمده جهت تنظیم وزنها بکار می رود. با توجه به روابط (۵) و (۶)، بلوکهای نشان داده شده در شکل (۳-ب) عملیات لازم را جهت اصلاح ضرایب انجام می دهند. شایان ذکر است که در این قسمت پارامتر b صفر در نظر گرفته شده است.

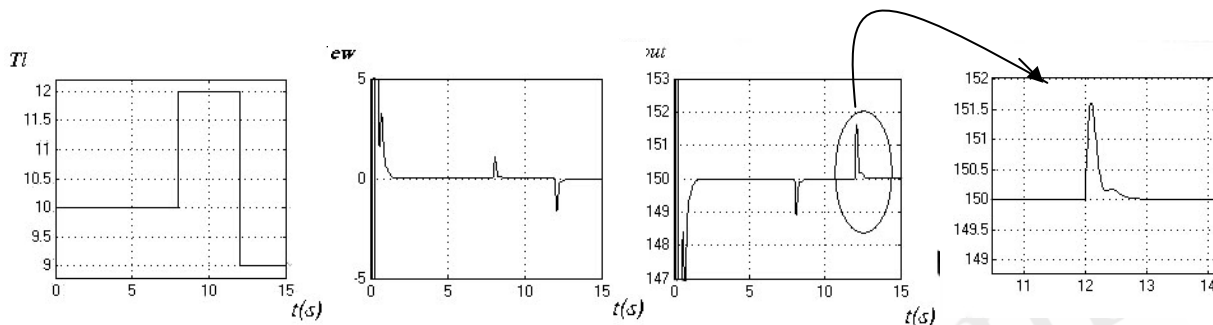
مقادیر اولیه وزنها قبل از راه اندازی موتور با استفاده از شبیه سازی بدست می آیند. در این مرحله تعیین پارامتر η در رابطه بصورت تجربی انجام می شود. مقادیر بالای η موجب کاهش زمان آموزش شبکه می شود ولی میزان فرابرجش و زمان رسیدن به پاسخ مطلوب در حین کار کردن موتور را افزایش می دهد. با تعیین این پارامتر برای یکبار و در حالت آموزش می توان میزان فرابرجش را صفر کرده و زمان رسیدن به پاسخ مطلوب را کاهش داد.

با اعمال تغییرات T_I ، ω_{ref} و V_t حالتیهای مختلف کارکرد موتور با استفاده از شبکه عصبی تطبیقی خطی بررسی شد، نتایج مربوطه در بخش پنجم آمده اند.

۵- نتایج

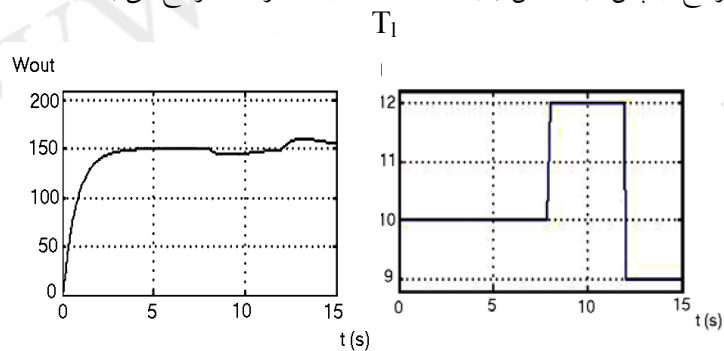
در این بخش نتایج مدل پیشنهادی در شرایط مختلف کارکرد موتور بررسی شده است .

الف) به منظور بررسی اثر تغییرات گشتاور بار بر سرعت خروجی هنگامی که ولتاژ تغذیه و سرعت مرجع ثابت می باشند، فرض شده، $V_t = 110\text{v}$ و $\omega_{ref} = 150 \text{ rad/s}$ بوده و با اعمال 20% افزایش در میزان بار و سپس 10% کاهش بار از مقدار نامی منحنی تغییرات سرعت و سیگنال خطای سرعت در شکل (۴) نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود در لحظه افزایش بار سرعت به میزان 7% کاهش یافته و در مدت زمان کمتر از 1 ثانیه مجدداً اصلاح و به میزان سرعت مرجع باز می گردد. همچنین در هنگام کاهش بار، سرعت به میزان 1% افزایش یافته و در زمان 1 ثانیه به میزان اولیه اش باز می گردد.



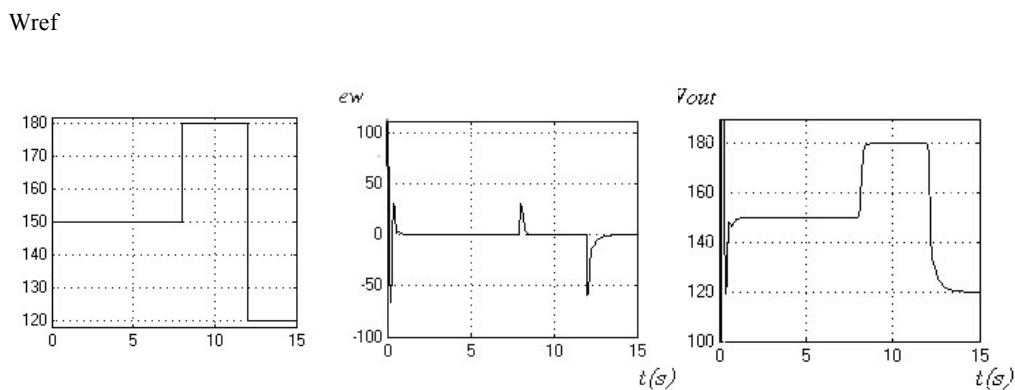
شکل (۴)

اگر به جای کنترل کننده شبکه عصبی تطبیقی خطی از کنترل کننده PID استفاده می شد پس از تنظیم پارامترهای آن و تحت شرایط یکسان همان گونه که در شکل (۵) نشان داده شده است میزان جهش سرعت در هنگام افزایش بار حد اقل $4/5\%$ سرعت مرجع و پس از کاهش بار 7% سرعت مرجع می باشد.



شکل (۵)

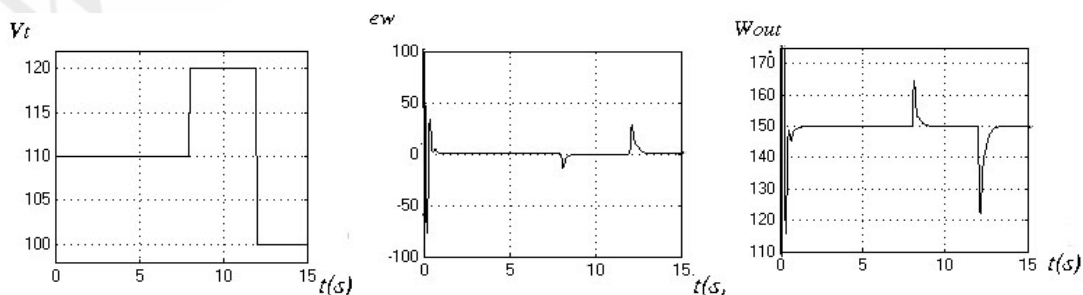
ب) به منظور بررسی اثر تغییرات سرعت مرجع بر سرعت خروجی هنگامی که ولتاژ تغذیه و گشتاور بار ثابت می باشند فرض شده $V_t = 110\text{v}$ و $T_l = 10\text{N.m}$ و با اعمال $\pm 20\%$ افزایش در سرعت مرجع و سپس $\pm 40\%$ کاهش سرعت مرجع، منحنی تغییرات سرعت خروجی و سیگنال خطای سرعت در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶)

همانگونه که مشاهده می شود پس از افزایش سرعت مرجع، سرعت خروجی بدون بالازدگی (overshoot) و در کمتر از ۱ ثانیه به سرعت مطلوب می رسد و هنگام کاهش سرعت مرجع سرعت خروجی بدون پائین زدگی (undershoot) و در مدت ۲ ثانیه به سرعت مطلوب می رسد.

ج) به منظور بررسی اثر تغییرات ولتاژ آرمیچر بر سرعت خروجی هنگامی که سرعت مرجع و گشتاور بار ثابت باشند، در $T_l = 10\text{N.m}$ و $\omega_{ref} = 150\text{rad/s}$ در نظر گرفته شده و با اعمال $\pm 10\%$ افزایش در میزان ولتاژ آرمیچر و سپس $\pm 10\%$ کاهش از مقدار نامی اش منحنی تغییرات سرعت خروجی و سیگنال خطای سرعت در شکل (۷) نشان داده شده است.



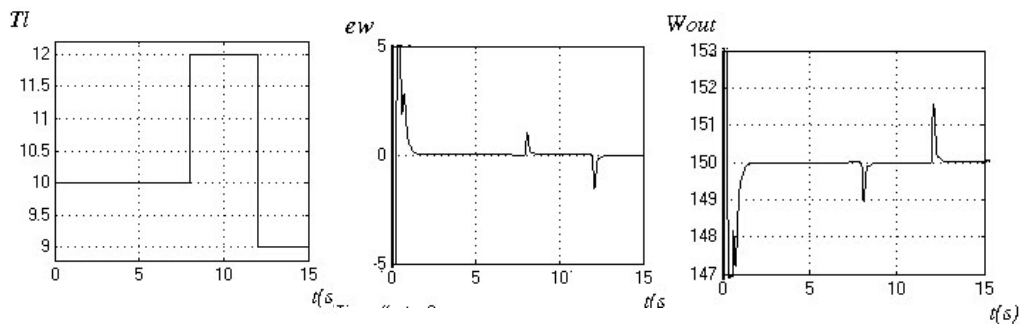
شکل (۷)

ولتاژ آرمیچر، افزایش $9/3\%$ سرعت خروجی را در

همان گونه که ملاحظه می شود افزایش

پی داشته که در کمتر از ۲ ثانیه اصلاح شده و به مقدار مرجع خود باز می گردد. همچنین هنگام کاهش ولتاژ آرمیچر سرعت خروجی ۱۸/۶٪ کاهش داشته که در مدت ۱/۲ ثانیه به مقدار مرجع خود باز می گردد.

(د) مدل ارائه شده در برابر تغییرات J و B در حین اعمال بار مقاوم می باشد. به منظور بررسی این ویژگی، در حین اعمال بار تغییرات ۱۰٪ برای J و B نیز در نظر گرفته شده است. فرض شده $\omega_{ref} = 150 \text{ rad/s}$ و $V_t = 110 \text{ v}$ و با اعمال ۲۰٪ افزایش در میزان بار و سپس ۱۰٪ کاهش آن از مقدار نامی، تغییرات سرعت خروجی و سیگنال خطای سرعت در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۸)

ملاحظه می شود که با افزایش گشتاور بار سرعت به میزان ۰/۷٪ کاهش یافته و در مدت ۱ ثانیه به سرعت مرجع باز می گردد. همچنین هنگام کاهش بار سرعت خروجی ۱٪ افزایش یافته و در مدت ۱ ثانیه اصلاح و به سرعت مرجع باز می گردد. لازم به ذکر است که اعوجاج های نشان داده شده در ابتدای سیگنال های خطای سرعت و سرعت خروجی مربوط به زمان آموزش بوده که موتور هنوز راه اندازی نشده است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله سرعت یک موتور DC تحریک جداگانه با استفاده از شبکه عصبی تطبیقی خطی کنترل شده است. اثر تغییرات بار، سرعت مرجع و ولتاژ تغذیه در این کنترل کننده مد نظر قرار گرفته است. ویژگی روش پیشنهادی اصلاح ضرائب شبکه عصبی در حین کار کردن موتور و مقاوم بودن پاسخها نسبت به تغییرات ممان اینرسی و اصطکاک می باشد. نتایج نشان می دهد روش پیشنهادی توانایی حذف کامل فراجهدش در شرایط مختلف کارکرد موتور و کاهش زمان رسیدن به پاسخ نهایی را در حد بالایی داراست.

مراجع:

- [۱] «ماشینهای الکتریکی و جریان مستقیم» تألیف ع. مطلبی، انتشارات قائم.
- [۲] «الکترونیک قدرت، مدارها - عناصر و کاربردها» تألیف ه. رشید، ترجمه ا. افجعی و م. مهاجر، انتشارات نوپردازان، چاپ چهارم، سال ۱۳۸۲.
- [۳] «مهندسی کنترل» تألیف ک. ه. اوگاتا، ترجمه م. دیانی، انتشارات نص، چاپ چهارم، سال ۱۳۸۱.

[۴] «کاربردهای Matlab و Simulink در مهندسی»، تألیف م. مختاری، ترجمه و. صمدی، انتشارات خراسان، چاپ اول، سال ۱۳۸۰.

[۵] «هوش محاسباتی، مبانی شبکه های عصبی» تألیف ب. منهای، انتشارات حسایی، چاپ اول، سال ۱۳۷۷.

[6] R. Rico martinez, J.S. Anderson and I. G. Kebrekidis, "Continuous-time nonlinear signal processing: a neural network based approach for griy box identification," in Proc. IEEE Workshop on neural network for signal Processing, pp. 596-605, Oct. 1994

[7] Y.F.La, C.C.Lau, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems". 1988 IEEE International Conference on Robotics and automation, Philadelphir, PA, April 24-29, PP.65-71.

www.teyef.com