

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کنترل

کنترل موقعیت عصبی پسگام تطبیقی غیرمستقیم یک سیستم سروو الکتروهیدرولیک

نگارنده :

مهدی صادقی

استاد راهنما :

آقای دکتر محمد حداد ظریف

استاد مشاور :

آقای دکتر جلیل ساداتی

شهریور ۱۳۹۵

تقدیم به:

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم و به
مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر و به
همسرم، اسطوره زندگی‌ام، پناه خستگی‌ام و امید بودنم و به باران دختر عزیزم.

تقدیر و تشکر:

از اساتید گرامی جناب آقای دکتر محمد حدادظریف و جناب آقای دکتر جلیل ساداتی بسیار سپاسگزارم چراکه بدون راهنمایی‌های ایشان تأمین این پایان‌نامه بسیار مشکل می‌نمود. از تمامی اساتید محترم گروه کنترل دانشگاه صنعتی شاهرود که طی تحصیل دوساله، افتخار شاگردیشان را داشته‌ام، نهایت تشکر را دارم.

مهدی صادقی ۱۳۹۵

تعهدنامه

اینجانب مهدی صادقی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق-کنترل دانشکده برق دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه " کنترل موقع عصبی پسیگام تطبیقی غیرمستقیم یک سیستم سروو الکتروهایدرولیک" تحت راهنمایی آقای دکتر محمد حداد ظریف متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود هست و مقالات مستخرج بانام « دانشگاه شاهرود » و یا « **Shahrood University** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ :

امضای دانشجو :

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود هست. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات

چکیده

در این پایان نامه یک روش تطبیقی غیرمستقیم پسگام برای کنترل موقعیت یک سیستم الکتروهیدرولیک سروو پیشنهاد می شود که از یک سوی به ما اجازه ی سود بردن از روش مقاوم پسگام را می دهد و از سوی دیگر تغییرات پارامترها را در نظر می گیرد. مزیت استفاده از تطبیقی غیرمستقیم در اینجا آن است که ضمن تضمین همگرایی پارامترها به مقادیر واقعی فیزیکی به طور همزمان پایداری سیستم نیز تضمین می شود. نگرانی اصلی در اینجا مسئله ی شناسایی و اختلاف پارامترهای سیستم با شرایط عملی است. در ابتدا شناسایی پارامترها را به روش RLS^1 انجام می دهیم و به نتایج نسبتاً دقیقی دست می یابیم و ردگیری موقعیت مطلوب و همگرایی پارامترها به درستی انجام می شود. در ادامه روش شناسایی پارامترها RLS ، با روش عصبی جایگزین می گردد و نتایج با یکدیگر مقایسه می شود.

در اینجا مسئله ی کنترل موقعیت سیستم سروو الکتروهیدرولیک بر اساس تئوری لیاپانوف و کنترل غیرخطی پسگام با دو روش مختلف شناسایی انجام می شود. روش اول شناسایی RLS است و روش دوم استفاده از شبکه های عصبی برای شناسایی است. در هر دو مورد نتایج بسیار خوب است و ردگیری موقعیت دلخواه و همگرایی پارامترها به خوبی صورت می گیرد.

کلمات کلیدی : کنترل تطبیقی غیرمستقیم- کنترل پسگام- کنترل عصبی- سیستم الکتروهیدرولیکی

سروو

¹ recursive least squares

فهرست مطالب

صفحه

فصل اول : مدل سازی سیستم الکترو هیدرولیک سروو - حل ریاضی مسئله برای شناسایی

پارامترها و کنترل موقعیت سیستم به روش پسگام

۱-۱ مقدمه..... ۱

۱-۲ مدل سازی سیستم الکترو هیدرولیک..... ۲

۱-۲-۱ کنترل کننده ی تطبیقی غیرمستقیم پسگام..... ۹

۱-۲-۲ نتایج تجربی..... ۱۶

۱-۳ شناسایی عصبی..... ۱۹

فصل دوم : تحلیل نتایج شبیه سازی برای کنترل کننده پسگام با دو روش شناسایی RLS و

شناسایی عصبی و مقایسه با کنترل کننده ی غیر تطبیقی

۲-۱ مقدمه..... ۲۱

۲-۲ نتایج شبیه سازی..... ۲۱

۲-۳ مقایسه کنترل کننده تطبیقی با کنترل کننده ی غیر تطبیقی..... ۲۷

نتیجه گیری..... ۲۸

ضمیمه: لیست ثابت ها و متغیرهای استفاده شده در پایان نامه..... ۲۹

مراجع..... ۳۱

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) شماتیک سیستم هیدرولیک سرو..... ۳
- شکل (۱-۲) محیط تجربی سیستم الکترو هیدرولیک..... ۴
- شکل (۱-۳) کنترل کننده تطبیقی غیرمستقیم پسگام..... ۹
- شکل (۱-۴) ساختار شبکه عصبی متناسب با معادلات سیستم الکترو هیدرولیک سرو..... ۱۸
- شکل (۲-۱) پارامترهای شناسایی شده به روش RLS..... ۲۲
- شکل (۲-۲) پارامترهای شناسایی شده به روش شبکه‌های عصبی..... ۲۲
- شکل (۲-۳) ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی RLS..... ۲۳
- شکل (۲-۴) ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی عصبی..... ۲۳
- شکل (۲-۵) خطای ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی RLS..... ۲۳
- شکل (۲-۶) خطای ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی عصبی..... ۲۳
- شکل (۲-۷) سیگنال کنترل - شناسایی RLS..... ۲۴
- شکل (۲-۸) سیگنال کنترل - شناسایی عصبی..... ۲۴
- شکل (۲-۹) مقایسه سایر متغیرهای حالت با مقدار مطلوب..... ۲۶
- شکل (۲-۱۰) مقایسه سایر متغیرهای حالت با مقدار مطلوب..... ۲۶
- شکل (۲-۱۱) مقایسه سایر متغیرهای حالت با مقدار مطلوب..... ۲۷
- شکل (۲-۱۲) موقعیت زاویه‌ای مطلوب و موقعیت زاویه‌ای و خطای ردگیری برای کنترل کننده‌ی غیر تطبیقی..... ۲۸

شکل (۲-۱۳) سیگنال کنترل برای کنترل کننده ی غیر تطبیقی..... ۲۸

فصل اول :

مدل سازی سیستم الکترو هیدرولیک سروو - حل ریاضی مسئله برای شناسایی پارامترها و کنترل موقعیت سیستم به روش پسگام

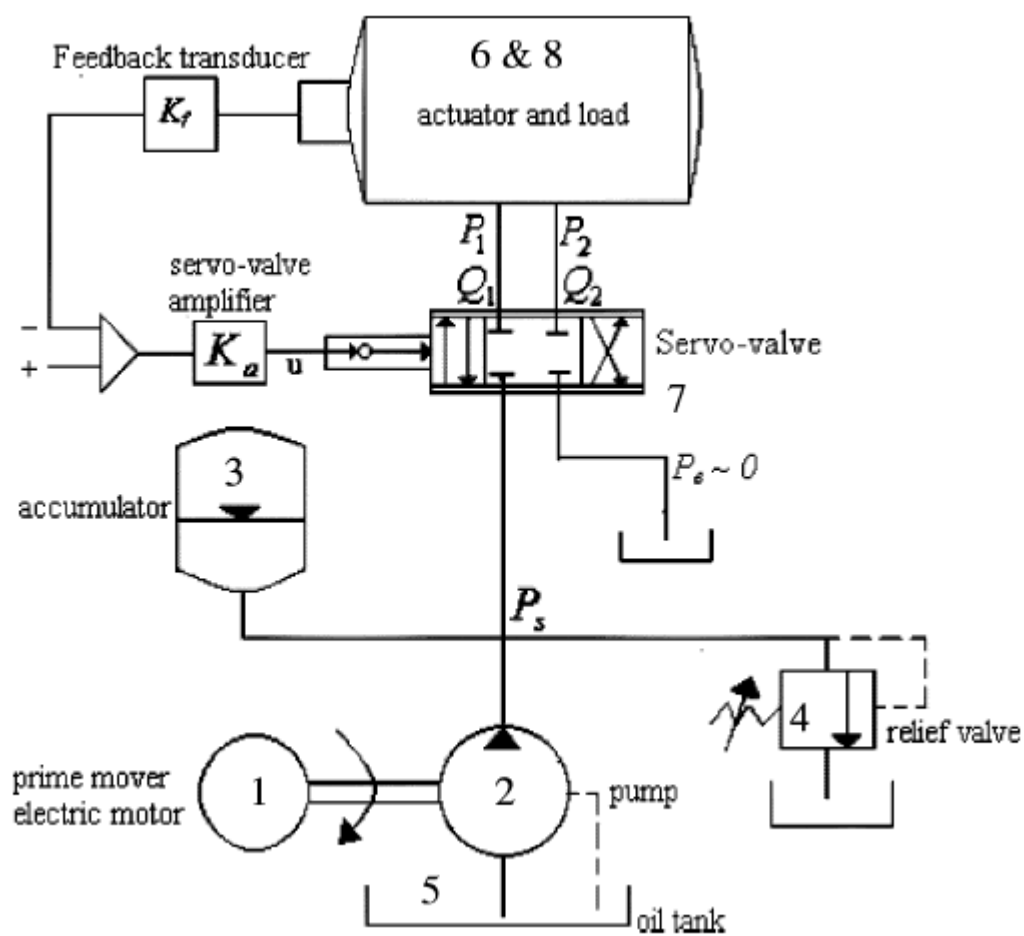
۱-۱ مقدمه

شیرهای سروو برای تنظیم دبی سیال هیدرولیک و به موجب آن کنترل حرکت سیستم‌های هیدرولیکی به کار می‌روند و برای کنترل محرک هیدرولیکی یا موتور هیدرولیکی استفاده می‌شود. سروو شیرهای الکترو هیدرولیک به دلیل استفاده از سیگنال الکتریکی برای کنترل سیستم کاربرد فراوان دارند، سروو شیرها زمانی که کنترل دقیق موقعیت مورد نیاز است استفاده می‌شوند. کنترل موقعیت از طریق یک سیستم حلقه بسته به دست می‌آید که شامل فرمان یا دستور، حسگر پس‌خوراند، کنترل‌کننده و سروو شیرها است. مزیت اصلی سروو شیرها استفاده از یک سیگنال الکتریکی کم‌توان برای تنظیم دقیق موقعیت یک محرک یا موتور هست. سیستم سروو الکترو هیدرولیک دارای مزایایی مانند کنترل دقیق و خوب، نسبت قدرت به وزن بالا، اندازه کوچک،

تطبیق بار خوب، محدوده سفتی بالا، عملکرد سریع دینامیکی و گستره محدوده سرعت قابل تنظیم است. در ابتدا، معادله جریان روزنه بیان شده و از آن برای مدل سازی شیر سروو الکترو هیدرولیک سه مرحله و محرک استفاده می شود. در فصل بعد سیستم با استفاده از بخش سیمولینک متلب شبیه سازی شده است.

۲-۱ مدل سازی سیستم الکترو هیدرولیک

سیستم الکترو هیدرولیک مورد آزمون ما که این پایان نامه براساس آن ارائه شده است در شکل های (۱-۱) و (۱-۲) نشان داده شده است. از سوی دیگر شکل های فوق تجهیزات استفاده شده در آزمایش رانشان می دهند. موتور الکتریکی DC {۱} پمپ {۲} را با یک سرعت ثابت راه اندازی می کند. پمپ یک مکان ثابت دارد و جریان روغن را از مخزن {۵} به بقیه سیستم تحویل می دهد. در حالت فرمان، فشار P_s در نقاط انفصال به وسیله ی انباشتگر اصلی {۳} و سوپاپ کمکی {۴} ثابت نگه داشته می شود. انباشتگر نصب شده به عنوان یک منبع اضافی سیال هیدرولیک و نیز یک جاذب چکه آب استفاده می شود. سوپاپ کمکی، P_s را تنظیم می کند و افزایش فشار ناشی از بارهای بزرگ را با برگشت مقدار اضافی از جریان سیال به مخزن جبران می کند. موتور هیدرولیکی {۶} که بار را راه اندازی می کند یک مکان ثابت دارد؛ جهت آن حرکت، سرعت و شتاب به وسیله ی سوپاپ خود تنظیم متقارن دو مرحله ای با سوراخ های همسان {۷} تعیین شده است.



شکل (۱-۱) شماتیک سیستم هیدرولیک سروو [۲۳]



شکل (۱-۲) محیط تجربی سیستم الکتروهیدرولیک [۲۳]

بار ایجاد شده به واسطه‌ی پمپ {8a} که به وسیله‌ی موتور هیدرولیکی راه اندازی شده و به وسیله‌ی سوپاپ خودتنظیم {8b} کنترل شده است. که این می‌تواند یک محدودیت در تخلیه‌ی پمپ {8a} ایجاد کند.

همه‌ی داده‌ها از طریق نصب سنسورها جمع آوری شده است: گشتاورسنج [۹] سرعت‌سنج [۱۰] و سنسور فشار [۱۱].

در زیر لیست پارامترهای سیستم الکتروهیدرولیک آورده شده است:

U : ورودی کنترل سوپاپ خودتنظیم (ولت V)

K : بهره‌ی ثابت سوپاپ خودتنظیم cm^2/v

T_x : ثابت زمانی سوپاپ خودتنظیم، s

A_v : ناحیه بازشو دریچه سوپاپ خودتنظیم ، cm^2

Q : شار جریان سیال ورودی و خروجی سوپاپ خودتنظیم cm^3/s

$P_{1,2}$: فشار در محفظه‌های محرک، bars (بار)

ρ_1 : اختلاف فشار با توجه به بار، bars (بار)

ρ_s : فشار تخلیه پمپ، bars (بار)

C_d : ضریب تخلیه جریان، بدون واحد

ρ : چگالی انباشتگی روغن g/cm^3

Cl : ضریب نشت بار، $\text{cm}^5/\text{dan.s}$

β : پیمانه‌ی انباشتگی مایع، bars

ϑ : حجم روغن در یک محفظه محرک ، cm^3

D_m : محرک جابجایی حجمی cm^3/rad

T_l : گشتاور بار dan.cm

B : ضریب میرایی ویسکوز dan.cm.s

J : اینرسی محرک ، $\text{dan.s}^2.\text{cm}$

θ_p : موقعیت زاویه‌ای محرک، رادیان rad

یکاهای سیستم به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که از اشتباهات عمومی اجتناب شود.

شار شیر سروو به صورت زیر داده شده است:

(۱-۱)

$$Q = C_d A_v \sqrt{\frac{P_s - P_l}{\rho}} \quad , \quad \text{if } \dot{\theta}_p > 0$$

(۱-۲)

$$Q = C_d A_v \sqrt{\frac{P_s + P_l}{\rho}} \quad , \quad \text{if } \dot{\theta}_p < 0$$

بنابراین چون $\text{sign}(A_v) = \text{sign}(\dot{\theta}_p)$ می توان نوشت:

(۱-۳)

$$Q = C_d A_v \sqrt{\frac{P_s - \text{sign}(A_v) P_l}{\rho}}$$

$$P_l = P_1 - P_2 \quad , \quad P_s = P_1 + P_2$$

زیرا شیر سروو متقارن بوده و سوراخ هایش برهم منطبق اند [۱]. به منظور اجتناب از مشکلات عددی غیرقابل تشخیص در (۱-۳)، ما تابع sign را بایک تابع حلقوی که ویژگی های زیر را دارد تقریب زده ایم:

$$\text{sigm}(x) = \frac{1 - e^{-ax}}{1 + e^{+ax}} \quad \forall x \in R \quad (۱-۴)$$

این یک تابع پیوسته است به صورت:

$$a > 0 \quad \text{and} \quad \text{sigm}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } ax \rightarrow \infty \\ 0 & \text{if } ax \rightarrow 0 \\ -1 & \text{if } ax \rightarrow -\infty \end{cases} \quad (1-5)$$

مشکل ایجاد یک مجموعه عددی ثابت در (1-4) می‌تواند با انتخاب یک مقدار مناسب برای ثابت مثبت a رفع شود. از این رو:

$$Q = C_d A_v \sqrt{\frac{P_s - \text{sigm}(A_v) P_l}{\rho}} \quad (1-6)$$

این تقریب وجود یک راه حل را خارج از جهت چرخش سیستم محرک تضمین می‌کند. از سوی دیگر از آن رو که روغن هیدرولیک قابل فشرده شدن تا اندازه‌ای محدود است باید این مسئله در دینامیک سیستم محرک در نظر گرفته شود. بنابراین ما معادلات ناشی از قابلیت فشرده شدن روغن را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$\frac{V}{2\beta} P_l = \frac{C_d A_v}{\sqrt{\rho}} \quad g(0) - D_m \dot{\theta} - C_l P_l \quad (1-7a)$$

که در آن

$$g(0) = \sqrt{P_s - \text{sigm}(A_v) R} \quad (1-7b)$$

حال معادلات حرکت سیستم محرک هیدرولیک را بر اساس قانون دوم نیوتون در نظر می‌گیریم؛ داریم:

$$(1-8)$$

$$J\ddot{\theta}_p = D_m(P_1 - P_2) - B\dot{\theta}_p - T_l$$

در (۸-۱)، از آن جا که موتور هیدرولیکی که استفاده شده در مقایسه با قدرت هیدرولیکی فراهم شده از جریان سیال حتی در سرعت های پایین نیز کوچک است از اصطکاک محرک صرف نظر شده است. آخرین جزء باقی مانده ی شیر سروو است. از اینرسی قرقره ی آن به خاطر ساده سازی صرف نظر شده است. با معادله زیر داده می شود:

$$T_v \dot{A}_v - A_v = ku \quad (۹-۱)$$

جزئیات بیشتر از اجرای سیستم الکتروهیدرولیک در کارهای قبلی یافت می شود. حال اگر، متغیرهای حالت را به صورت:

$$x_3 = P_l, \quad x_2 = w = \dot{\theta}_p, \quad x_1 = \theta_p$$

و $x_4 = A_v$ انتخاب کنیم، سیستم به صورت یک مدل غیرخطی مرتبه ۴ در فضای حالت نوشته می شود:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = w_a x_3 - w_b x_2 - w_c \\ \dot{x}_3 = p_a x_4 \sqrt{p_s - x_3} \text{sigm}(x_4) - p_b x_3 - p_c x_2 \\ \dot{x}_4 = -r_a x_4 + r_b u. \end{cases} \quad (۱۰-۱)$$

که در آن $w_c, w_b, w_a, p_c, p_b, p_a, r_b, r_a$ پارامترهای سیستم هستند و به صورت زیر داده شده اند:

$$(۱۱-۱)$$

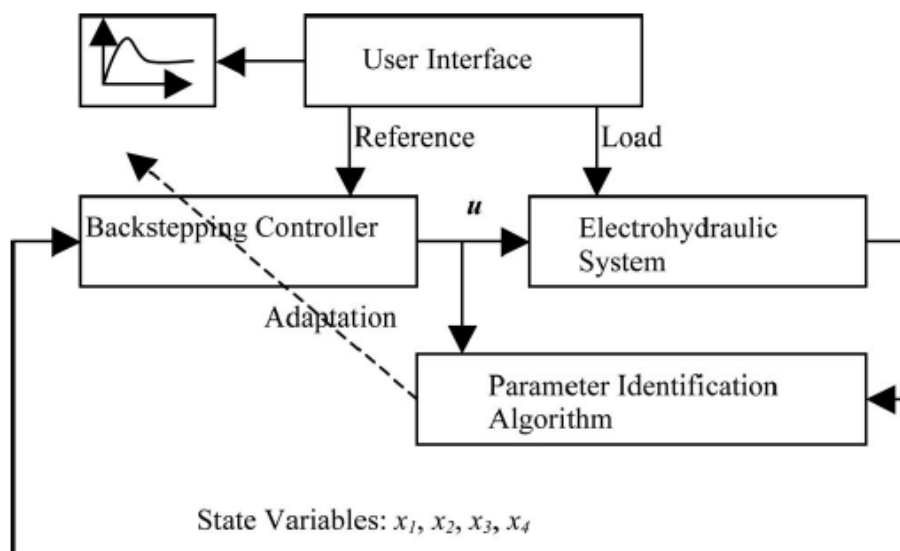
$$r_a = \frac{1}{T_v}, \quad r_b = \frac{K}{T_v}$$

$$P_a = \frac{2/3 C_d}{V \sqrt{p}}, \quad P_b = \frac{2/3 C_L}{V}, \quad P_c = \frac{2/3 D_m}{V}$$

$$W_a = \frac{D_m}{J}, \quad W_b = \frac{B}{J}, \quad W_c = \frac{T_L}{J}.$$

پارامترهای r_b, r_a شناخته شده هستند و در دیتا شیت شیرسروو آمده است. پارامترهایی که با پروسه‌ی شناسایی به دست می‌آیند عبارت‌اند از:

این پارامترها نامعلوم‌اند ولی ثابت بازمان می‌باشند و به‌طور پیوسته طی فرایند کنترل شناسایی می‌شوند، سپس به کنترل‌کننده پسگام ارجاع می‌شوند، آن‌گونه که در شکل (۱-۳) مشخص شده است. گام بعدی تنظیم و طراحی کنترل‌کننده تطبیقی غیرمستقیم پسگام هست.



شکل (۱-۳) کنترل‌کننده تطبیقی غیرمستقیم پسگام

۱-۲-۱ کنترل‌کننده‌ی تطبیقی غیرمستقیم پسگام

با توجه به شکل (۱-۳) کنترل سیستم الکتروهیدرولیک به‌صورت زیر هست:

(۱) متغیرهای حالت x_1, x_2, x_3, x_4 به همراه سیگنال کنترل u به بلوک شناسایی فرستاده می‌شوند.

(۲) زمانی که پارامترهای سیستم شناسایی شده‌اند آن‌ها به همراه متغیرهای چهارگانه‌ی حالت به بلوک کنترل‌کننده پسگام فرستاده می‌شوند تا سیگنال کنترل تولید گردد.

(۳) سیگنال کنترل به سیستم الکتروهیدرولیک می‌رود تا محرک هیدرولیکی مسیر مطلوب X_{ref} را با در نظر گرفتن مقاومت بار دنبال کند.

این مراحل برای هر دوره نمونه‌برداری تکرار می‌شود. توجه شود که سیگنال رفرنس X_{ref} باید حداقل تا مرتبه چهار مشتق‌پذیر باشد زیرا مشتق چهارم آن در سیگنال کنترل، آن‌گونه که در ادامه خواهیم دید ظاهر می‌شود.

بر اساس معادله (۱-۱۰) ما می‌توانیم (۱-۱۲) و (۱-۱۳) را بنویسیم:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = w_a x_3 - w_b x_2 - w_c \\ \dot{x}_3 = p_a x_4 \sqrt{p_s - x_3} \text{sigm}(x_4) - p_b x_3 - p_c x_2 \end{cases} \quad (1-12)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x_3 & 0 \\ -x_2 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & x_4 g(0) \\ 0 & -x_3 \\ 0 & -x_2 \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} w_a \\ w_b \\ w_c \\ p_a \\ p_b \\ p_c \end{bmatrix} \quad (1-13)$$

می‌توان دید که زیرسیستم (۱-۱۳) نسبت به پارامترهایش خطی است که این شرط کافی برای شناسایی شدن پارامترها توسط RLS هست. [۲۴]

با روش RLS و نیز در نظر گرفتن یک نویز سفید با توان کم در ورودی سیستم حلقه بسته، پارامترها به‌صورت مجانبی به مقدار واقعی خودشان همگرا خواهند شد.

حال در نظر می‌گیریم:

$$y(t) = \begin{pmatrix} \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix} \quad (1-14a)$$

$$(1-14b)$$

$$\varphi(t) = \begin{pmatrix} x_3 & -x_2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 g(0) & -x_3 & -x_2 \end{pmatrix}$$

$$\theta^T = [w_a \ w_b \ w_c \ p_a \ p_b \ p_c] \quad (1-14C)$$

که در آن $y(t)$ بردار مشاهدات، $\varphi(t)$ ماتریسی از رگرسیون‌ها و θ بردار پارامترهای نامعلوم است که به‌طور پیوسته شناسایی می‌شوند. بنابراین:

$$y(t) = \varphi(t)\theta \quad (1-15)$$

درگام بعد ما خطای حداقل مربعات $V(\theta)$ را تعریف می‌کنیم و ماتریس $P(t)$ نیز آن‌گونه که در مرجع [۲۳] آمده تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} V(\theta) = \int_0^t e^{\alpha(t-T)} (y(r) - \varphi(T)\theta(T))^2 dT \\ \alpha(t_A) = 1 - \gamma(1 - \alpha(t_n - 1)) \\ P(t) = L \int_0^t \varphi(T)\varphi^T(T) d(T)^{-1} \end{cases} \quad (1-16a)$$

ما همچنین پارامترهای تخمین زده شده سیستم را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\hat{\theta}^T = (\hat{w}_a \ \hat{w}_b \ \hat{w}_c \ \hat{p}_a \ \hat{p}_b \ \hat{p}_c) \quad (1-16b)$$

اگر $\tilde{\theta}$ خطای تخمین پارامتر باشد آنگاه $\tilde{\theta} = \hat{\theta} + \tilde{\theta}$ مقدار واقعی θ خواهد بود.

$$(1-16c)$$

$$\tilde{\theta} = \left(\underbrace{\hat{w}_a + \tilde{w}_a}_{\tilde{w}_a} \quad \underbrace{\hat{w}_b + \tilde{w}_b}_{\tilde{w}_b} \quad \underbrace{\hat{w}_c + \tilde{w}_c}_{\tilde{w}_c} \quad \underbrace{\hat{p}_a + \tilde{p}_a}_{\tilde{p}_a} \quad \underbrace{\hat{p}_b + \tilde{p}_b}_{\tilde{p}_b} \quad \underbrace{\hat{p}_c + \tilde{p}_c}_{\tilde{p}_c} \right)$$

شناسایی تا جایی که مقدار $\tilde{\theta}$ خطای حداقل مربعات مینیمم شود ادامه می‌یابد. طبق [۲۳] و شرایط زیر برقرار می‌شود:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{\theta}(t)}{dt} = p(t)\varphi(t)^T e(t) \\ e(t) = y(t) - \varphi(t)\hat{\theta} = \varphi(t)(\theta - \hat{\theta}) = \varphi(t)\tilde{\theta} \\ \frac{dp(t)}{dt} = \alpha p(t) - p(t)\varphi(t)^T \varphi(t)p(t) \end{cases} \quad (1-17)$$

با انتگرال‌گیری از معادله اول در (۱-۱۷)، ما تخمین پارامترهای سیستم را به دست می‌آوریم. سرانجام برای بسته شدن حلقه در شکل (۱-۴)، بلوک کنترل‌کننده پسگام براساس مرجع [۱۵] طراحی می‌شود؛ پارامترهای تنظیم شونده آن در ضمیمه ذکر شده است.

خطای ردگیری بین هر متغیر حالت با مقدار مطلوب آن را به صورت $e_i = x_i - x_{id}$ در نظر می‌گیریم و $f_i = (\tilde{\theta}, \tilde{\theta}.)$ به عنوان تابعی از مجموعه خطاهای تخمین پارامترها و مشتقات آن‌هاست.

گام اول:

تابع $V_1 = \frac{1}{2p_1} e_1^2$ به عنوان تابع پیشنهادی لیاپانوف زیرسیستم $\dot{x}_1 = x_2$ در معادله (۱-۱۰)

انتخاب می شود. بنابراین:

$$\dot{V}_1 = \frac{e_1}{p_1} (\dot{x}_1 - \dot{x}_{1d}) = \frac{e_1}{p_1} (x_2 - \dot{x}_{1d}) \quad (1-18)$$

اگر ما تابع پایدارکننده زیر را به عنوان مقدار مطلوب x_2 در (۱-۱۸) انتخاب نماییم:

$$x_{2d}(e_1, x_{1d}) = \dot{x}_{1d} - \rho_1 e_1 \quad (1-19)$$

$$\dot{V}_1 = -e_1^2 + \frac{e_1 e_2}{\rho_1} \quad (1-20)$$

گام دوم:

تابع $V_2 = \left(\frac{1}{2\rho_1} \right) e_1^2 - \left(\frac{1}{2\rho_2} \right) e_2^2$ به عنوان تابع پیشنهادی لیاپانوف برای زیرسیستم

$\dot{x}_2 = w_a x_3 - w_b x_2 - w_c$ انتخاب می شود، بنابراین:

$$(1-21)$$

$$\dot{V}_2 = -e_1^2 + e_2 \left[\frac{w_a}{\rho_2} x_3 + \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{(w_b - \rho_1)\rho_1}{\rho_2} \right) e_1 + \frac{(\rho_1 - w_b)}{\rho_2} e_2 - \frac{w_b}{\rho_2} \dot{x}_{1d} - \frac{\ddot{x}_{1d}}{\rho_2} - \frac{w_c}{\rho_2} \right]$$

اگر تابع تثبیت کننده زیر را به عنوان مقدار مطلوب x_3 در (۱-۲۱) انتخاب کنیم:

$$(1-22a)$$

$$x_{3d}(e_1, e_2, \dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}) = \left\{ -a_1 e_1 - a_2 e_2 + \frac{\hat{w}_b}{\hat{w}_a} \dot{x}_{1d} + \frac{\ddot{x}_{1d}}{\hat{w}_a} + \frac{\hat{w}_c}{\hat{w}_a} \right\}$$

که در آن مقادیر a_1, a_2 به صورت زیر هست:

$$a_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1 \hat{w}_a} + \frac{(\hat{w}_b - \rho_1) \rho_1}{\hat{w}_a}, \quad a_2 = \frac{\rho_1 - \hat{w}_b + \rho_2}{\hat{w}_a} \quad (1-22b)$$

بنابراین:

$$\dot{V}_2 = -e_1^2 - e_2^2 + \frac{\hat{w}_a}{\rho_x} e_2 e_3 + e_2 f_2(\tilde{\theta}) \quad (1-23)$$

گام سوم:

$$V_3 = \left(\frac{1}{2\rho_1}\right) e_1^2 + \left(\frac{1}{2\rho_2}\right) e_2^2 + \left(\frac{1}{2\rho_3}\right) e_3^2, \quad e_3 = x_3 - x_{1d}$$

برای زیرسیستم $\dot{x}_3 = \check{\rho}_a x_4 g(0) - \check{\rho}_b x_3 - \check{\rho}_c x_2$ باشد.

بنابراین:

$$(1-24)$$

$$\dot{V}_3 = -e_1^2 - e_2^2 + e_3 \times \left\{ \frac{\hat{p}_a c_d x_4 g(0)}{\rho_3} + \frac{b_1}{\rho_3} e_1 + \left(\frac{b_2}{\rho_3} + \frac{\hat{w}_c}{\rho_2}\right) e_2 + \frac{b_3}{\rho_3} e_3 - \right.$$

$$\left. \frac{b_4}{\rho_3} \dot{x}_{1d} - \frac{b_5}{\rho_3} \dot{x}_{1d} - \frac{\ddot{x}_{1d}}{\rho_3 w_a} - \frac{p_b \hat{w}_c}{\rho_3 \hat{w}_a} + f_3(\tilde{\theta}, \dot{\tilde{\theta}}) \right\}$$

که مقادیر b_1 تا b_5 در جدول ضمیمه ذکر شده است.

اگر مقدار مطلوب x_4 به صورت زیر باشد:

$$(1-25)$$

$$x_{4d}(e_1, e_2, e_3, \dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}) = \frac{1}{\hat{p}_a C_d g(0)} \left\{ -(b_1 - b_6)e_1 - (b_2 - b_7 + \frac{p_3 \hat{w}_a}{\rho_2})e_2 - b_3 e_3 - (b_8 - b_4)\dot{x}_{1d} + \left(b_5 + \frac{\hat{w}_a}{\hat{w}_a^2}\right)\ddot{x}_{1d} + \frac{\ddot{x}_{1d}}{\hat{w}_a} + b_{10} - \rho \right\}$$

بنابراین:

$$\dot{V}_4 = -e_1^2 - e_2^2 - e_3^2 + \frac{\hat{p}_a C_d g(0)}{\rho_3} e_3 e_4 + e_3 f_3(\bar{\theta}, \ddot{\theta}) \quad (1-26)$$

در این مرحله تابع‌های پایدارساز که مسیرهای مطلوب همه‌ی متغیرهای حالت هستند، طراحی شده‌اند. هر تابع پایدارساز برحسب خطای ردیابی متغیرهای حالت قبل و موقعیت مطلوب (x_{1d}) و مشتقات موقعیت مطلوب هست.

گام نهایی:

گام نهایی شامل طراحی سیگنال کنترل است که یک سیگنال الکتریکی برای تحریک بیشتر سروو هست. تابع لیاپانوف پیشنهادی برای زیرسیستم $\dot{x}_4 = -r_a x_4 + r_b u$ به صورت زیر است:

$$\dot{V}_4 = \left(\frac{1}{2\rho_1}\right)e_1^2 + \left(\frac{1}{2\rho_2}\right)e_2^2 + \left(\frac{1}{2\rho_3}\right)e_3^2 + \left(\frac{1}{2\rho_4}\right)e_4^2$$

بنابراین:

$$(1-27)$$

$$\dot{V}_4 = -e_1^2 - e_2^2 - e_3^2 + e_4 \left[\frac{r_b}{\rho_x} \left(1 - \frac{x_3 f(0) h(0)}{2\rho_r C_d g(0)^3} \right) u + \frac{p_a C_d g(0) e_3}{\rho_3} - \frac{r_a}{\rho_x} x_4 - \frac{g(0)}{\rho_a p_a C_d g(0)} - \frac{1}{2\rho_a C_d \rho_x \rho g(0)^3} (\dot{x}_3 + \dot{g}_m(x_4) - r_a x_3 x_4 f(0)) \right]$$

مقادیر $d_3, d_2, d_1, e_2, e_1, g(0), h(0), f(0)$ در جدول ضمیمه آمده است.

اکنون، u را از (۱-۲۷) به گونه‌ای به دست می‌آوریم که داشته باشیم:

$$\dot{V}_4 = -e_1^2 - e_2^2 - e_3^2 - e_4^2 + f_4(\tilde{\theta}, \dot{\tilde{\theta}}, \ddot{\tilde{\theta}}) \quad (1-28)$$

u به شکل زیر به دست می‌آید:

$$(1-29)$$

$$u(e_1, e_2, e_3, e_4, \dot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, \ddot{x}_{1d}, x_{1d}^{(4)}) = \frac{\left\{ -\frac{\rho_b}{\rho_2} p_a C_d g(0) e_3 + r_a x_4 + \frac{g(0)}{q_a w g(0)} + \frac{1}{2 \rho_a C_d \rho g(0)^3} (\dot{x}_3 \text{sigm}(x_4) - r_a x_3 x_4 - f(0)) - \rho \right\}}{r_b \left(1 - \frac{x_3 f(0) h(0)}{2 p_a C_d \rho g(0)^3} \right)}$$

می‌توان نشان داد که $f_4(\tilde{\theta}, \dot{\tilde{\theta}}, \ddot{\tilde{\theta}})$ زمانی که θ به $\hat{\theta}$ همگرا شود صفر خواهد شد [۲۵]. در این لحظه (۱-۲۸) به طور مؤکد منفی می‌شود. این نشان می‌دهد دینامیک خطابه صورت مجانبی فراگیر پایدار هست زیرا همه‌ی سیگنال‌های خطابه صفر همگرا خواهند شد.

۱-۲-۲ نتایج تجربی:

بر طبق جزئیات محاسبات سیستم به هنگام [۱۱]، ثابت زمانی شیر سروو ۰/۰۲ ثانیه هست؛ این کوچک‌ترین ثابت زمانی در بین همه‌ی اجزای سیستم است. بنابراین برای اینکه داده‌ها به‌خوبی بازیابی شوند، سرعت نمونه‌برداری برای چنین سیستمی باید ۱۰ مرتبه کوچک‌تر یعنی ۱ ms باشد. اگرچه به دلیل محاسبات و روش‌های گسسته سازی که استفاده شده (روش رانگ کوتا مرتبه چهارم) زمان نمونه‌برداری بزرگ‌تر از ۰/۱ ms در نظر گرفته شده است و سیگنال‌های کنترل نیز با همین

سرعت به هنگام می‌شود. سرعت زاویه‌ای محرک به وسیله‌ی یک سرعت‌سنج 48 r/min/v اندازه‌گیری می‌شود. موقعیت زاویه‌ای از انتگرال سرعت زاویه‌ای به دست می‌آید.

فشار P_s روی 7 mpa تنظیم شده است؛ فشار p_1, p_2 در ورودی و خروجی محرک هیدرولیک، با دو فشارسنج الکتریکی 2 مگاپاسگال / ولت اندازه‌گیری می‌شوند. دهانه‌ی شیر سروو توسط سنسور موقعیت قرقره آن با بهره‌ی ثابت cm^2/v 0.0265 اندازه‌گیری شد. مسیر موقعیت زاویه‌ای مطلوب یک تابع سینوسی با دامنه‌ی 2π و فرکانس 10 Hz هست. یک نویز سفید با قدرت پایین 0.2 dB به موقعیت مطلوب اضافه شد تا یک سیگنال با رنج وسیع فرکانسی بدون تخریب خروجی ایجاد شود. این کار برای شناسایی پارامترهای بایاس نشده بسیار مهم است. همچنین برای یک شناسایی سریع مقدار اولیه‌ی p باید به اندازه کافی بزرگ باشد و روی $I_6 \times 5000$ تنظیم شده است.

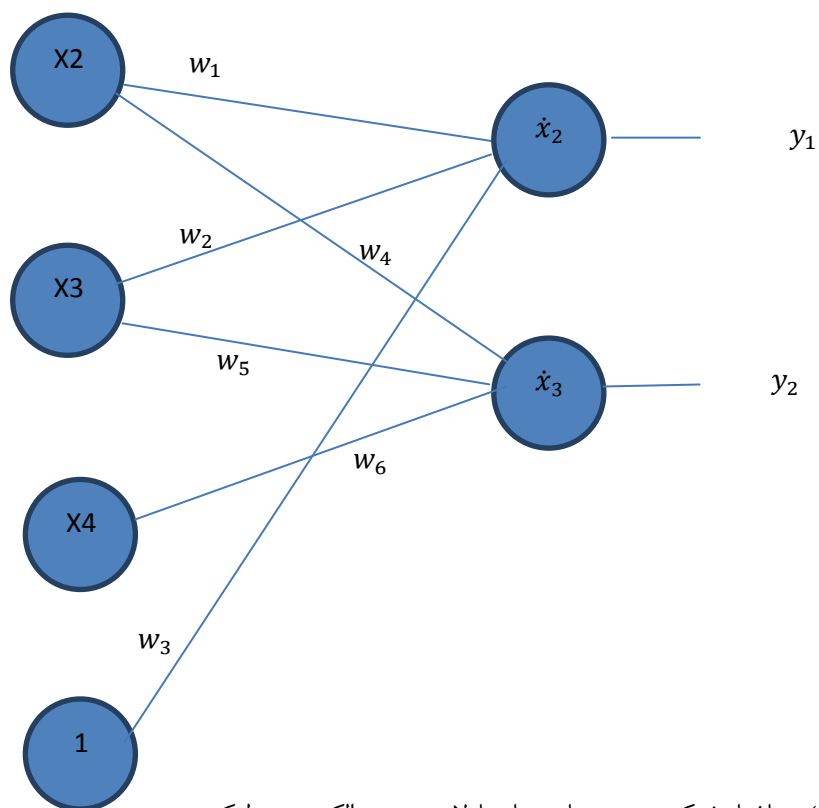
در زمان $12/24 \text{ s}$ ، مقدار بار متصل به محرک به‌طور ناگهانی زیاد می‌شود و 10 برابر مقدار نامی آن (57 N.m) می‌شود. آن‌گونه که خواهیم دید کنترل‌کننده‌ی تطبیقی به تعقیب خیلی خوبی دست می‌یابد. با این وجود به دلیل کنترل تطبیقی، موقعیت مطلوب تنها پس از 0.07 s به دست می‌آید.

۱-۳ شناسایی عصبی

روابط سیستم هیدرولیک به شکل زیر است:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = w_a x_3 - w_b x_2 - w_c \\ \dot{x}_3 = p_a x_4 \sqrt{p_s - x_3 \text{sigm}(x_4)} - p_b x_3 - p_c x_2 \\ \dot{x}_4 = -r_a x_4 + r_b u. \end{cases} \quad (1-30)$$

در روابط بالا اگر $\dot{x}_2$ و $\dot{x}_3$ را به عنوان خروجی در نظر بگیریم، می‌توانیم با استفاده از ساختار یک شبکه عصبی دولایه خروجی‌ها را به دست آوریم. به این شکل که x ها به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند و ضرایب نیز به عنوان وزن‌های شبکه. در شکل (۴-۱) ساختار این شبکه مشخص است:



شکل (۴-۱) - ساختار شبکه عصبی متناسب با معادلات سیستم الکتروهیدرولیک سروو

حال می‌توان با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا وزن‌ها را اصلاح کرد. یعنی اگر خطا را به صورت زیر در نظر بگیریم:

$$e = 0.5(y_{dj} - y_j)^2 \quad (1-31)$$

آنگاه اصلاح وزن‌ها با استفاده از روابط زیر انجام می‌شود:

$$\frac{\partial e}{\partial w_i} = \frac{\partial e}{\partial y_j} \frac{\partial y_j}{\partial w_i} \quad (1-32a)$$

$$\Delta w_i = \eta \frac{\partial e}{\partial w_i}$$

در نتیجه داریم:

$$(1-33b)$$

$$\Delta w_1 = -(y_{d1} - y_1)x_2$$

$$\Delta w_2 = -(y_{d1} - y_1)x_3$$

$$\Delta w_3 = -(y_{d1} - y_1)$$

$$\Delta w_4 = -(y_{d2} - y_2)x_2$$

$$\Delta w_5 = -(y_{d2} - y_2)x_3$$

$$\Delta w_6 = -(y_{d2} - y_2)x_4$$

در روابط بالا y_{d1} و y_{d2} به ترتیب $\dot{x}_2$ و $\dot{x}_3$ در سیستم اصلی هستند. دلیل استفاده از شبکه عصبی این است که مقدار دقیق پارامترهایی که ممکن است نامعینی داشته باشند یا در اثر اغتشاشات یا تغییر بار تغییر کنند را به دست آوریم. در نتیجه با استفاده از این پارامترها بتوانیم کنترلر بهتری برای

سیستم طراحی کنیم. نتایج در مقایسه با روش مقاله تفاوت چندانی ندارد، چون هر دو روش خیلی خوب و سریع پارامترها را شناسایی می کنند.

فصل دوم :

تحلیل نتایج شبیه‌سازی برای کنترل‌کننده پسگام با دو روش شناسایی RLS و شناسایی عصبی و مقایسه با کنترل‌کننده‌ی غیر تطبیقی

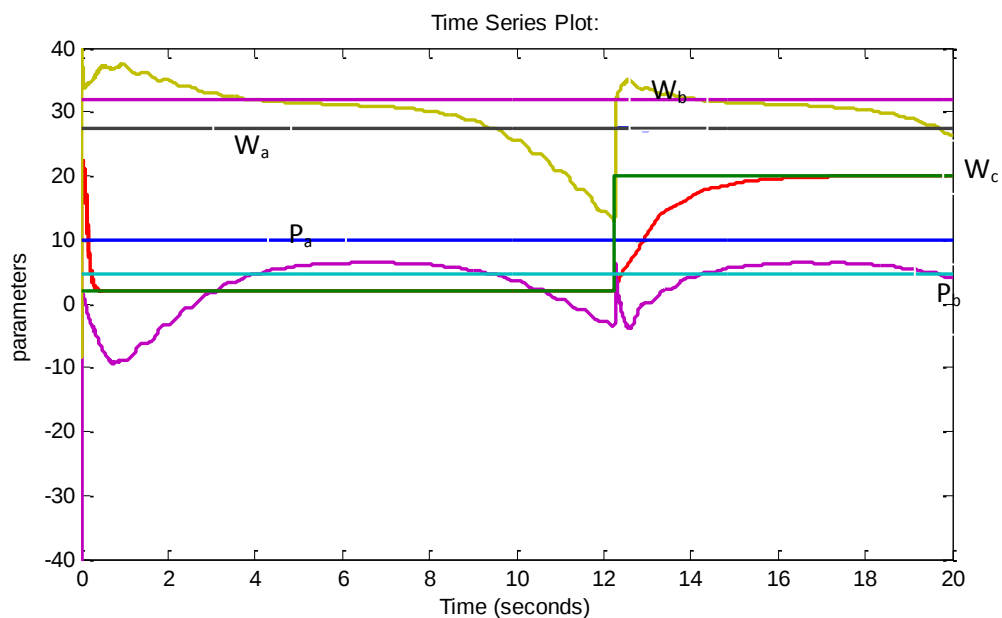
۲-۱ مقدمه

در فصل ۱ فرمول‌های ریاضی مسئله‌ی شناسایی و کنترل سیستم الکتروهیدرولیک سروو استخراج گردید. اکنون در این فصل نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه‌شده و در دو حالت شناسایی عصبی و شناسایی RLS با یکدیگر مقایسه می‌گردد و در نهایت نتایج با حالتی که کنترل‌کننده غیر تطبیقی باشد مقایسه می‌شود.

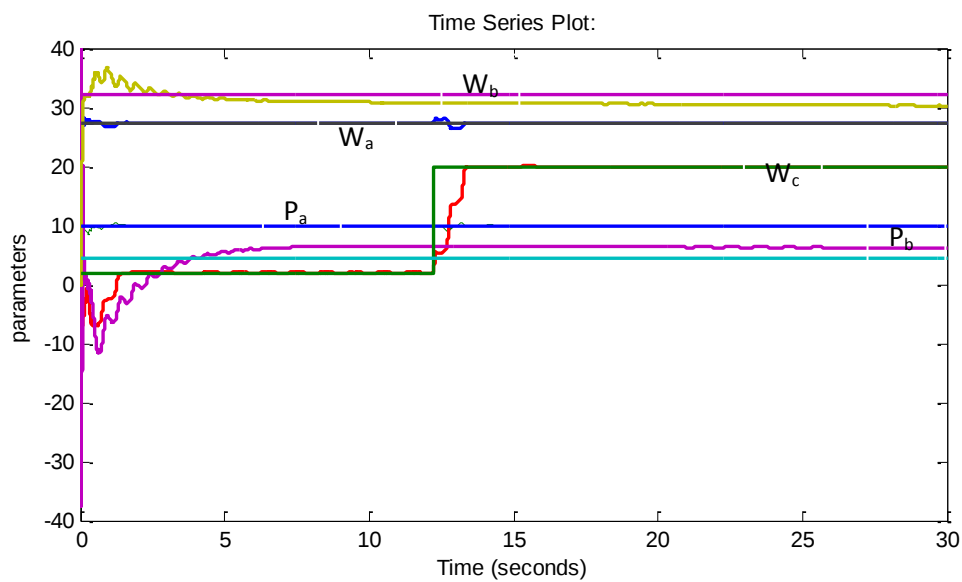
۲-۲ نتایج شبیه‌سازی

در شکل (۴-۱) و (۴-۲) همگرایی پارامترهای شناسایی‌شده به مقادیر واقعی‌شان نشان داده‌شده است. همان‌گونه که معلوم است پارامترها در هر دو روش شناسایی به‌خوبی به مقدار نهایی خود نزدیک شده‌اند و واگرا نشده‌اند.

-در شکل‌های زیر خطوط ثابت مقادیر واقعی پارامترها و خطوط مقطع مقادیر شناسایی شده پارامترها می‌باشد.



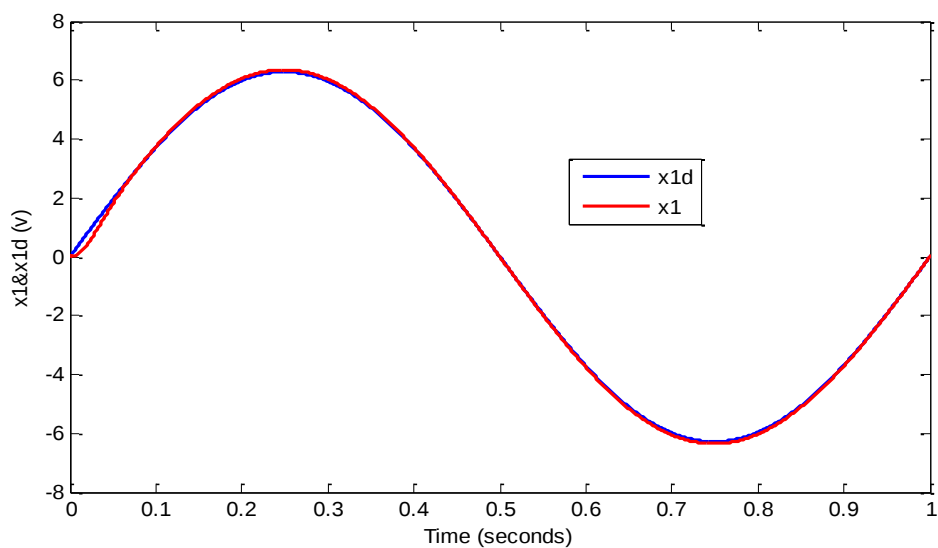
شکل (۲-۱) پارامترهای شناسایی شده به روش RLS



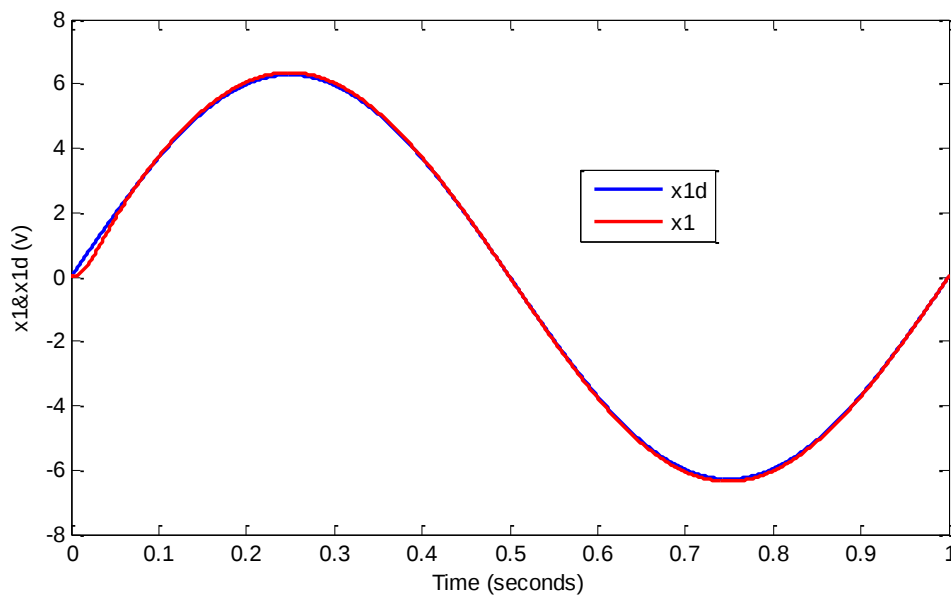
شکل (۲-۲) پارامترهای شناسایی شده به روش شبکه‌های عصبی

آن گونه که از شکل ها پیداست در روش شناسایی عصبی سرعت همگرایی کمی بیشتر است.

حال نتایج را برای ردیابی موقعیت مطلوب x_{1d} بررسی می نماییم: شکل های (۲-۳) و (۲-۴) نشان می دهند که در هر دو روش ردیابی موقعیت مطلوب به درستی و با دقت بالا صورت گرفته است.

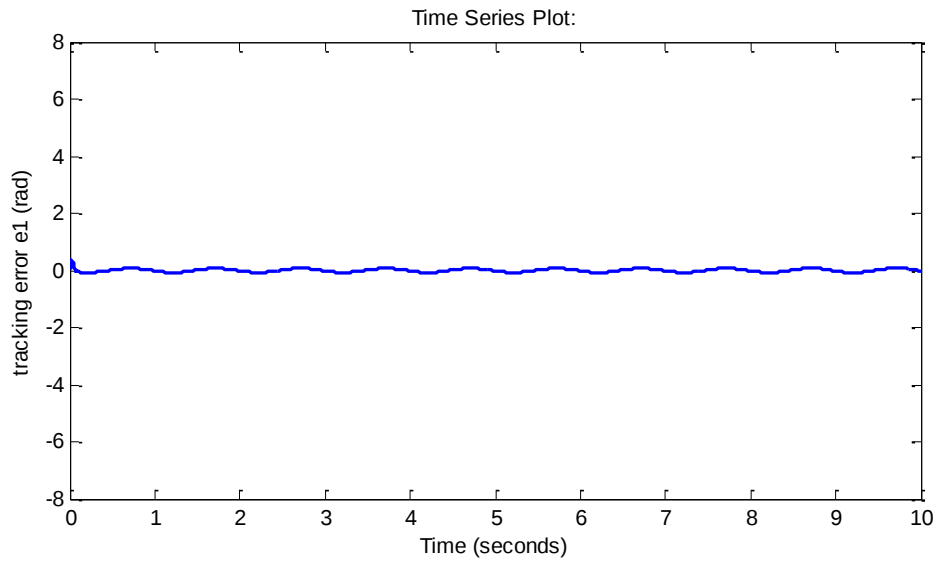


شکل (۲-۳) ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی RLS

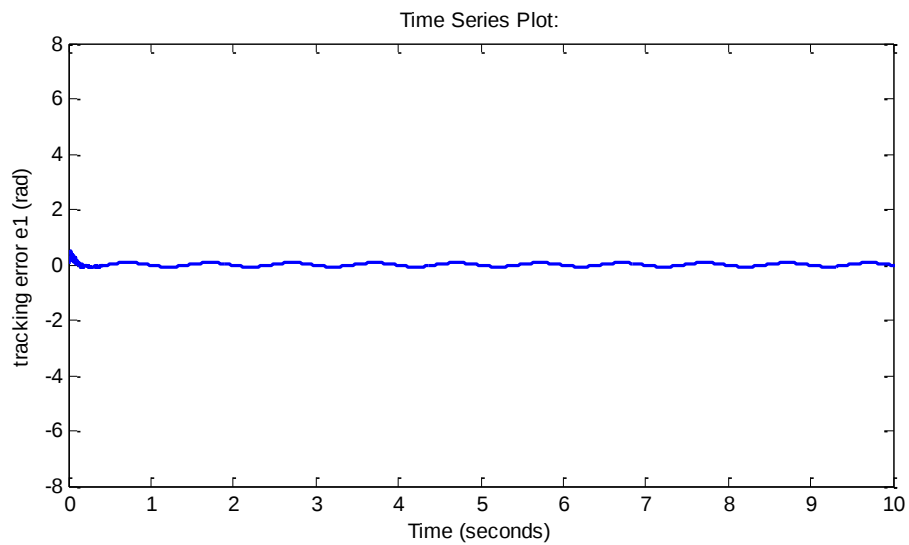


شکل (۲-۴) ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی عصبی

در شکل‌های (۲-۵) و (۲-۶) خطای ردگیری هر دو روش آورده شده است.



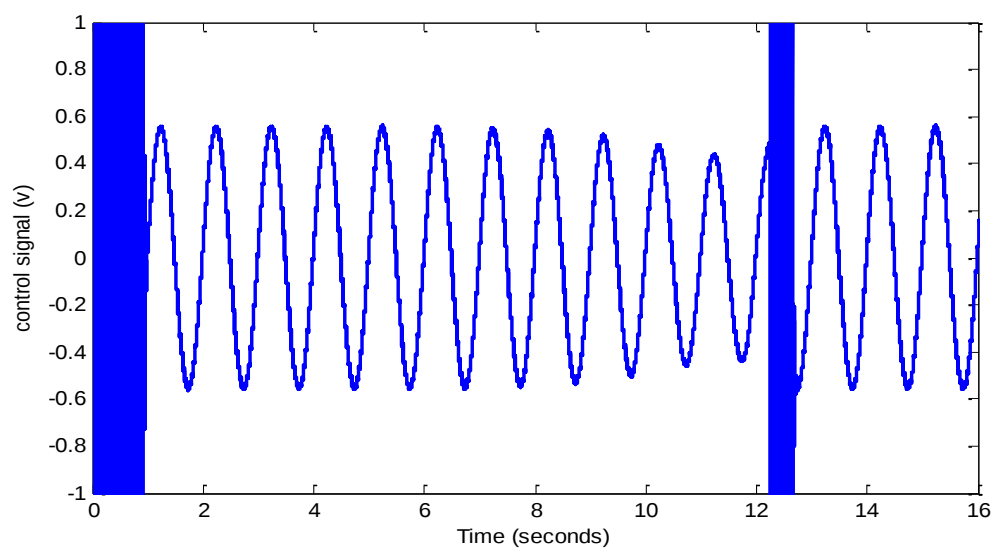
شکل (۲-۵) خطای ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی RLS



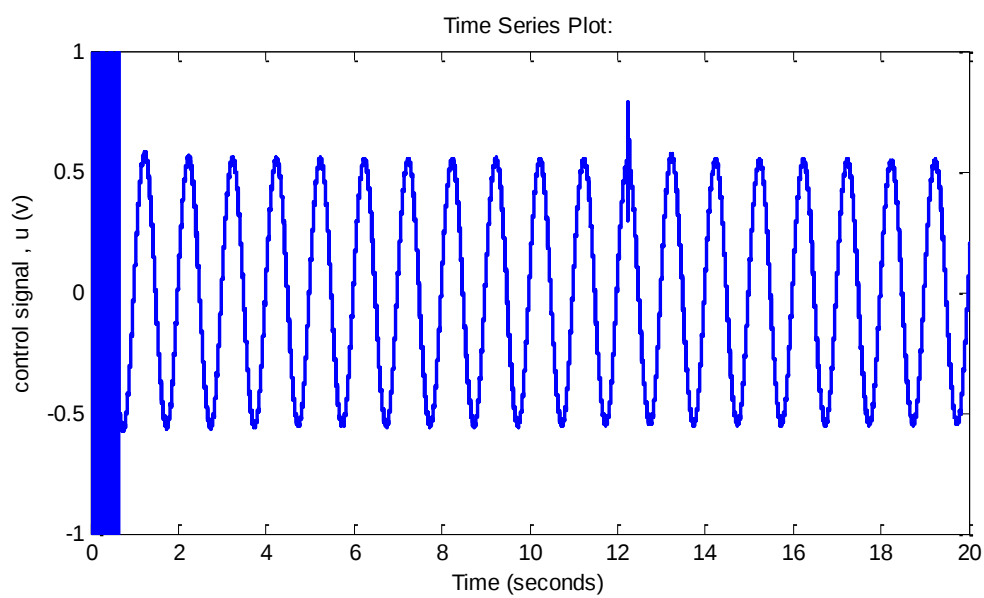
شکل (۲-۶) خطای ردگیری موقعیت مطلوب با شناسایی عصبی

سیگنال کنترل در شکل‌های (۲-۷) و (۲-۸) آورده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشخص است سیگنال کنترل در هر دو روش پایدار است و پس از اینکه در زمان ۱۲/۲۴ ثانیه گشتاور بار به‌طور ناگهانی ۱۰ برابر مقدار نامی آن (۵۷ نیوتون متر) می‌شود یک جهش ناگهانی در سیگنال کنترل رخ می‌دهد ولی سیستم تطبیقی به‌درستی عمل کرده و این جهش را در زمان کمتر از ۰/۰۷ ثانیه جبران

می کند.

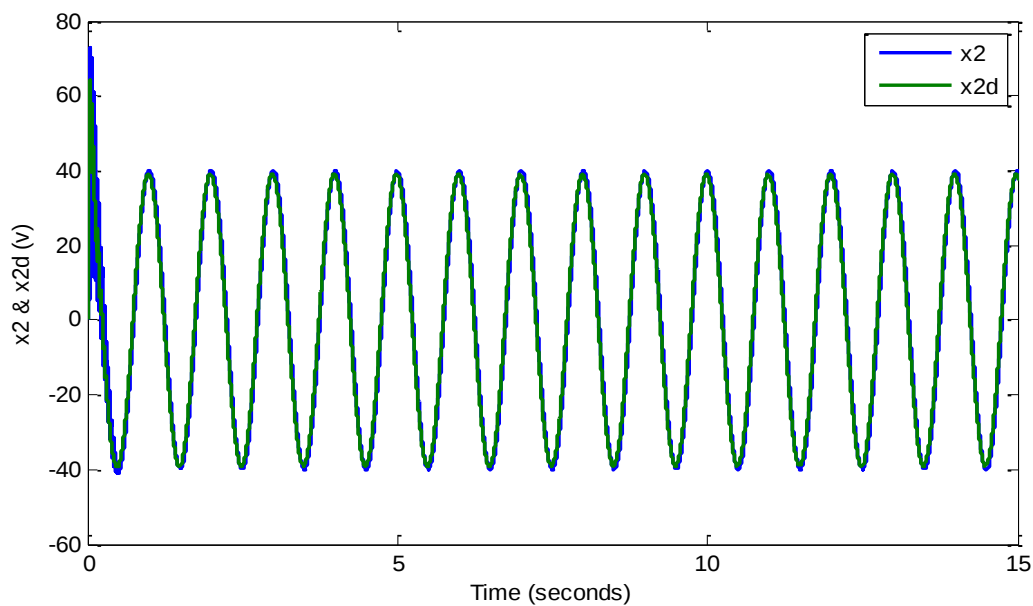


شکل (۲-۷) سیگنال کنترل - شناسایی RLS

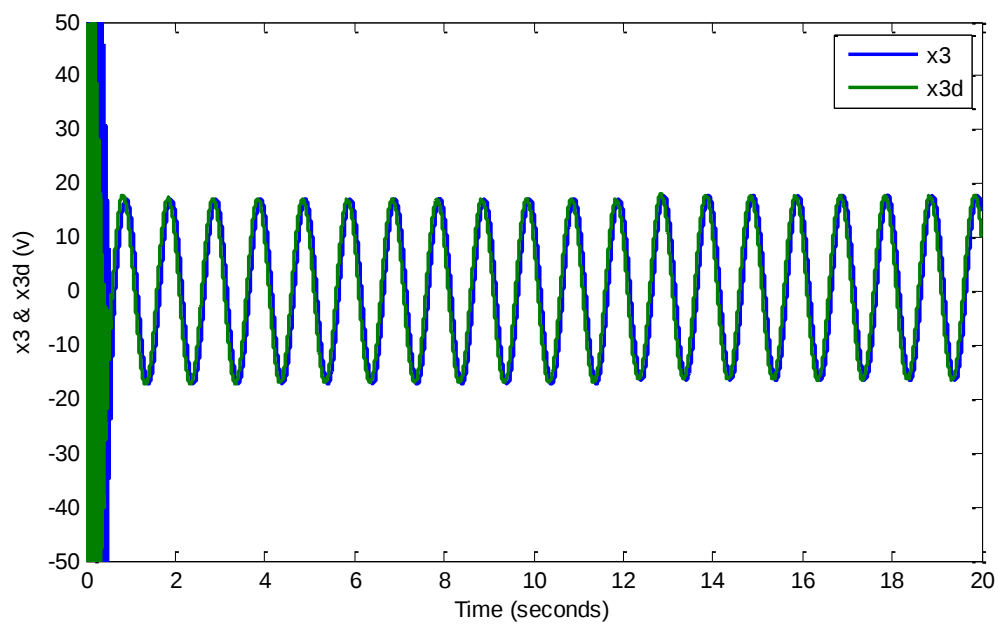


شکل (۲-۸) سیگنال کنترل - شناسایی عصبی

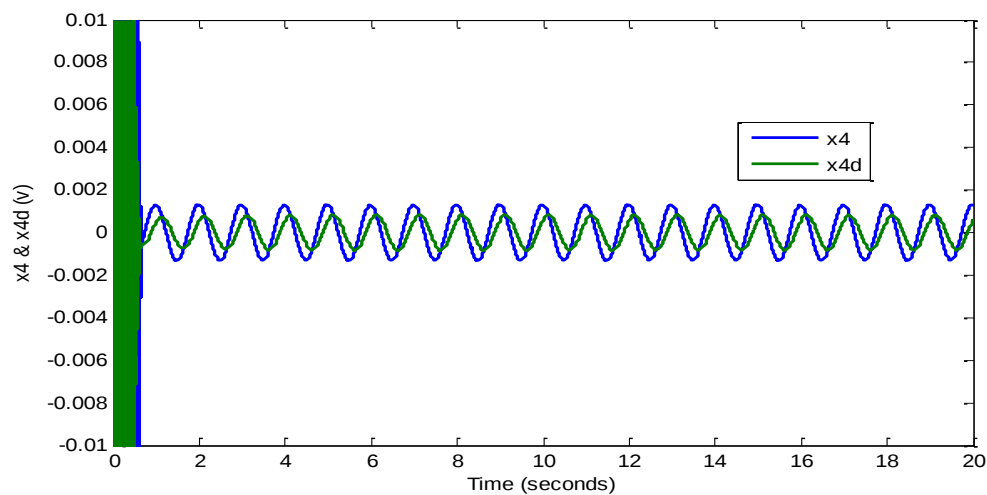
در ادامه سایر متغیرهای حالت با مقدار مطلوب آن‌ها مقایسه شده و شکل‌ها حاکی از ردگیری کامل آن‌ها هست.



شکل (۲-۹)



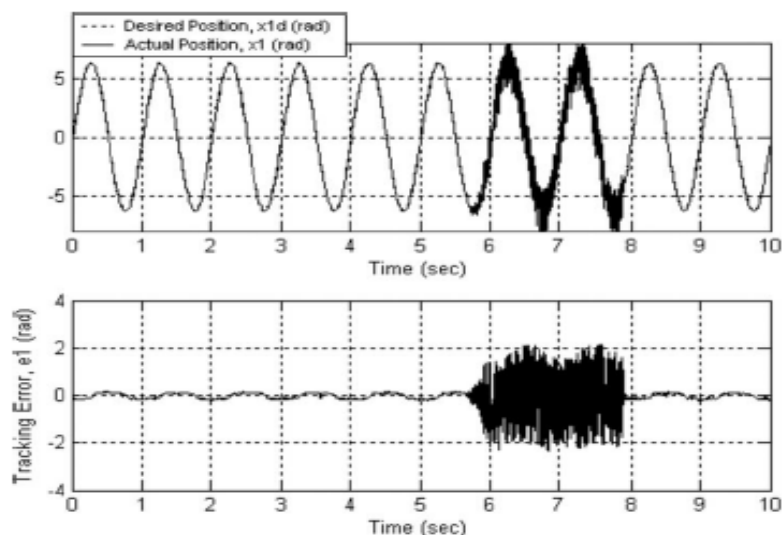
شکل (۲-۱۰)



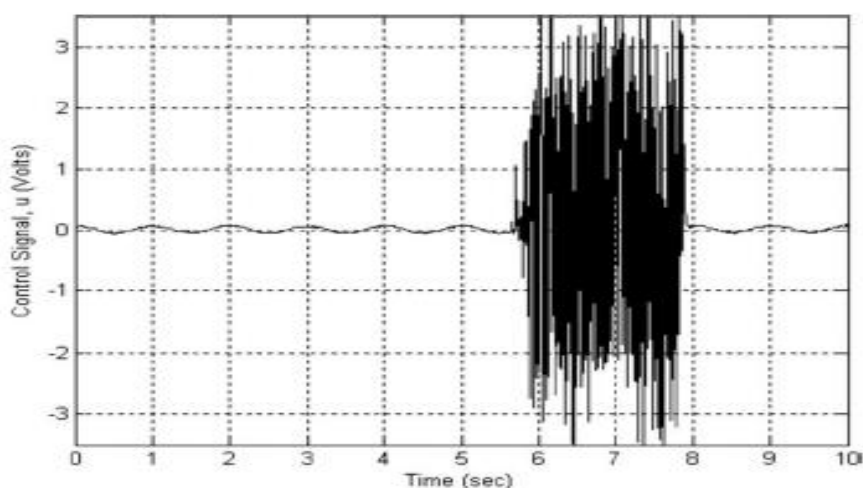
شکل (۲-۱۱)

۲-۳ مقایسه کنترل کننده‌ی تطبیقی با کنترل کننده‌ی غیر تطبیقی

در ادامه نتایج شبیه‌سازی در این پایان‌نامه برای سیگنال کنترل و ردگیری موقعیت مطلوب با نتایج حاصل از کنترل غیر تطبیقی (شکل‌های (۲-۱۲) و (۲-۱۳)) که در مرجع [۴۰] شبیه‌سازی شده است مقایسه گردیده است.



شکل (۲-۱۲) موقعیت زاویه‌ای مطلوب و موقعیت زاویه‌ای و خطای ردگیری برای کنترل‌کننده‌ی غیر تطبیقی



شکل (۲-۱۳) سیگنال کنترل برای کنترل‌کننده‌ی غیر تطبیقی

در شکل‌های (۲-۱۲) و (۲-۱۳) سیگنال کنترل، سیگنال خطای ردگیری، سیگنال موقعیت زاویه‌ای و سیگنال موقعیت مطلوب برای حالتی که کنترل‌کننده‌ی ما غیر تطبیقی است آورده شده است. از همان مقادیر پارامترهایی استفاده شده است که در کنترل تطبیقی سیستم استفاده شد. آن گونه که مشخص است اگرچه سیگنال موقعیت مطلوب نرم و هموار است ولی زمانیکه گشتاور بار محرک به ۱۰ برابر

مقدار نامی آن افزایش می‌یابد ردگیری از بین رفته و محرک به‌طور پیوسته نوسان می‌کند و سیگنال کنترل نیز به اشباع می‌رود.

نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه، یک کنترل‌کننده‌ی پسگام تطبیقی غیرمستقیم برای یک سیستم الکتروهایدرولیک با مشخصات تجربی طراحی شد.

پارامترهای سیستم‌های الکتروهایدرولیک بسته به بار سیستم، فشار و درجه حرارت در معرض تغییرات می‌باشند. نتایج به‌دست‌آمده با کنترل‌کننده‌ی پسگام غیر تطبیقی و نیز سایر روش‌های مشابه مقایسه شد.

ما دیدیم که در طول تغییرات پارامتر، کنترل‌کننده‌ی تطبیقی قادر بود با یک رفتار گذرای سریع سیگنال مرجع را ردگیری کند و از سوی دیگر کنترل‌کننده‌ی غیر تطبیقی با تغییرات پارامترها قادر نیست سیستم را در حالت ردگیری نگه دارد و با نوسانات بزرگ و ناپایداری متوقف می‌شود.

این پایان‌نامه یک مکمل افزوده برای نوشته‌های پیشین است چراکه مرجع‌های بسیار کمی موجود است که در آن از روش IARC، برای کنترل سیستم‌های الکتروهایدرولیک استفاده شده باشند به دلیل پیچیدگی و چالش‌برانگیزی این نوع کنترل. ما توانستیم نشان دهیم که روش IARC ایده‌آل‌ترین روش برای کنترل سیستم‌های الکتروهایدرولیک است چراکه با ارائه‌ی مقادیر فیزیکی پارامترها زمینه‌ی نظارت بر سیستم را فراهم می‌کند.

ضمیمه : لیست ثابت‌ها و متغیرهای استفاده‌شده در پایان‌نامه

Name	Symbol	Unit
Valve orifice opening area	A_v	cm^2
Viscous damping coefficient	B	$daN.cm.sec$
Discharge coefficient	C_d	<i>dimensionless</i>
Leakage coefficient	C_L	$cm^5 / daN.s$
Actuator displacement	D_m	cm^3 / rad
Actuator and load inertia	J	$daN.s^2.cm$
Servo valve constant gain	K	$cm^2/Volt$
Pressures in actuator chambers	$P_{1,2}$	daN/cm^2
Load pressure	P_L	daN/cm^2
Supply pressure	P_s	daN/cm^2
Flow rates in/out of actuators	$Q_{1,2}$	cm^3/sec
Actuator load torque	T_L	$daN.cm$
Servo valve control input	u	<i>Volt</i>
Oil volume under compression	V	cm^3
Fluid bulk modulus	β	daN/cm^2
Fluid mass density	ρ	g/cm^3
Servo valve time constant	τ_v	<i>sec</i>
Actuator angular position	θ	<i>rad</i>

جدول ۱ – لیست ثابت‌ها و متغیرهای توابع پایدارساز و سیگنال کنترل

Tuning parameters	Value	Observations
ρ_1	50	---
ρ_2	150	$\rho_2 > \rho_1$ for speed must converge faster than position
ρ_3	40	$\rho_3 < \rho_2$ to minimize the effect of $w_a = 27.34$
ρ_4	0.001	$\rho_4 \ll \rho_3$ to minimize the effect of $p_a C_d g(.) \sim 10^4$

جدول ۲- لیست پارامترهای سیستم

Constant /variable	Value	Constant /variable	Value
a_1	$\frac{\rho_2}{\rho_1 w_a} + \frac{(w_b - \rho_1)\rho_1}{w_a}$	c_2	$b_3 + \rho_3$
a_2	$\frac{\rho_1 - w_b + \rho_2}{w_a}$	$h(.)$	$-b_1 e_1 - c_1 e_2 - c_2 e_3$ $+ b_4 \dot{x}_{1d} + b_5 \ddot{x}_{1d}$ $+ \frac{\ddot{x}_{1d}}{w_a} + \frac{p_b w_c}{w_a}$
b_1	$p_b a_1 + p_c \rho_1$ $- a_1 \rho_1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}$	$f(.)$	$\frac{2ae^{-ax_4}}{(1 + e^{-ax_4})^2}$
b_2	$p_b a_2 - p_c + a_1$ $- \rho_2 a_2$	d_1	$b_1 \rho_1 + \frac{\rho_2 c_1}{\rho_1}$
b_3	$w_a a_2 - p_b$	d_2	$-b_1 + c_1 \rho_2 + \frac{\rho_3 c_2 w_a}{\rho_2}$
b_4	$\frac{p_b w_b}{w_a} + p_c$	d_3	$-c_1 w_a + c_2 \rho_3$
b_5	$\frac{p_b + w_b}{w_a}$	$J(.)$	$d_1 e_1 + d_2 e_2 + d_3 e_3$ $- c_2 p_a C_d g(.) e_4$ $+ b_4 \ddot{x}_{1d} + b_5 \ddot{x}_{1d} + \frac{x_{1d}^{(4)}}{w_a}$
c_1	$b_2 + \frac{\rho_3 w_a}{\rho_2}$	$g(.)$	$\sqrt{P_s - x_3 \cdot \text{sigm}(x_4)}$

جدول ۳- لیست پارامترهای کنترل کننده

REFERENCES

- [١] H. E. Merritt, *Hydraulic Control Systems*. New York: Wiley, 1967.
- [٢] S. Habibi and A. Goldenberg, "Design of a new high-performance electrohydraulic actuator," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 5, no. 2, pp. 158–164, Jun. 2000.
- [٣] P. Y. Li, "Dynamic Redesign of a Flow Control Servovalve Using a Pressure Control Pilot," *J. Dyn. Syst., Meas. Control*, vol. 124, pp. 428–34, 2001.
- [٤] M. K. Zavarehi, P. D. Lawrence, and F. Sassani, "Nonlinear modeling and validation of solenoid-controlled pilot-operated servovalves," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 4, no. 3, pp. 324–334, Sep. 1999.
- [٥] S. LeQuoc, R.M.H. Cheng, and K.H. Leung, "Tuning an electrohydraulic servovalve to obtain a high amplitude ratio and a low resonance peak," *J. Fluid Control*, vol. 20, pp. 30–49, 1990.
- [٦] T. J. Lim, "Pole placement control of an electro-hydraulic servo motor," in *Proc. 1997 2nd Int. Conf. Power Electron. Drive Syst.*, Part 1, vol. 1, Singapore, May 26–29, 1997, pp. 350–356.
- [٧] M. J. Plahuta, M. A. Franchek, and H. Stern, "Robust controller design for a variable displacement hydraulic motor," in *Proc. 1997 ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo.* Vol. 4, Nov. 16–21, pp. 169–176.
- [٨] W. Zeng and J. Hu, "Application of intelligent PDF control algorithm to an electrohydraulic position servo system," in *Proc. IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics*, Atlanta, GA, Sep. 19–23, 1999, pp. 233–238.
- [٩] W.-S. Yu and T.-S. Kuo, "Robust indirect adaptive control of the electrohydraulic velocity control systems," *Proc. Inst. Elect. Eng.: J. Control Theory Appl.*, vol. 143, no. 5, pp. 448–454, Sep. 1996.

- [١٠] “Continuous-time indirect adaptive control of the electrohydraulic servo systems” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 163–177, Mar. 1997.
- [١١] A. Fink and T. Singh, “Discrete sliding mode controller for pressure control with an electrohydraulic servovalve,” in *Proc. 1998 IEEE Int.Conf. Control Appl.*, vol. 1, Trieste, Italy, pp. 378–382.
- [١٢] H.-M. Chen, J.-C. Renn, and J.-P. Su, “Sliding mode control with varying boundary layers for an electro-hydraulic position servo system,” *Int. J.Adv. Manuf. Technol.*, vol. 26, pp. 117–123, 2005.
- [١٣] A. Alleyne and J. K. Hedrick, “Nonlinear adaptive control of active suspensions” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 94–101, Mar. 1995.
- [١٤] H. Hahn, A. Piepenbrink, and K.-D. Leimbach, “Input/output linearization control of an electro servo-hydraulic actuator” in *Proc. 3rd IEEE Conf. Control Appl.*, vol. 2, Glasgow, U.K., Aug. 1994, pp. 995–1000.
- [١٥] B. Ayalew and B. T. Kulakowski, “Nonlinear decentralized position control of electrohydraulic actuators in road simulation” presented at the Int.Mechanical Engineering Congr. Exposition:ASME Design Eng. Division, Orlando, FL, Nov. 5–11, 2005.
- [١٦] R. Liu and A. Alleyne, “Nonlinear force/pressure tracking of an electrohydraulic actuator” *J. Dyn. Syst. Meas. Control-Trans. ASME*, vol. 122, pp. 232–237, 2000.
- [١٧] I. Ursu, F. Popescu, and F. Ursu, “Control synthesis for electrohydraulic servo mathematical model” presented at 11th Int. Conf. Applied and Industrial Mathematics CAIM 2003, Oradea, Romania.
- [١٨] C. Kaddissi, J.-P. Kenné, and M. Saad, “Position control of an electrohydraulic servosystem—A non-linear backstepping approach,” presented at Int. Conf. Informatics in Control, Automation and Robotics-ICINCO, Setubal, Portugal, 2004.
- [١٩] J.-S. Lin and I. Kanellakopoulos, “Nonlinear design of active suspensions” *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 17, no. 3, pp. 45–59, Jun. 1997.

[٢٠] C. Kaddissi, J.-P. Kenné, and M. Saad, “Drive bywire control of an electrohydraulic active suspension, a backstepping approach” in *Proc. 2005 IEEE Conf. Control Appl. CCA*, Toronto, Canada, Aug. 28–31, pp. 1581–1587.

[٢١] Z. Yongqian, S. LeQuoc, and M. Saad, “Nonlinear fuzzy control on a hydraulic servo system” presented at the American Control Conf., Philadelphia, PA, 1998.

[٢٢] N. Kandil, S. LeQuoc, and M. Saad, “On-line trained neural controllers for nonlinear hydraulic system” in *Proc. 14th World Congr. Int. Fed. Autom. Control*, 1999, pp. 323–328.

[٢٣] S. J. Lee and T.-C. Tsao, “Nonlinear backstepping control of an electrohydraulic material testing system” presented At the IEEE Int. Symp. Industrial Electronics., Montreal, QC, Canada, 2006

[٢٤] H. Khalil, *Non-Linear Systems*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2002.

[٢٥] K. J. Astrom and B. Wittenmark, *Adaptive Control*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

[٢٦] M. Krstic, I. Kanellakopoulos, and P. V. Kokotovic, *Nonlinear and Adaptive Control Design*. New York: Wiley, 1995.

[٢٧] O. Harkegard. Flight Control Design Using Backstepping, Division of Automatic Control, 2001.

[٢٨] P.V. Kokotovic. The joy of feedback: Nonlinear and adaptive. IEEE Control Systems Magazine, 12(3): 7-17, June 1992.

[۳۹] Kanellakopoulos, P. V. Kokotovic, and A. S. Morse. A toolkit for nonlinear feedback design. *System & Control Letters*, 18(2) : 83-92, February 1992.

[۴۰] M. Krstic, Ioannis Kanellakopoulos, and Petar Kokotovic. *Nonlinear and Adaptive Control Design*. John Wiley & Sons, 1995.

[۴۱] R. A. Freeman and Petar V. Kokotovic. *Robust Nonlinear Control Design : state-Space and Lyapunov Techniques*. Birkhauser, 1996.

[۴۲] R. Sepulchre, M. Jankovic, and P. V. Kokotovic. Interlaced Systems and recursive design for global Stabilization. In *Proceedings of the 1997 European Control Conference*, 1997.

[۴۳] P.V. Kokotovic. Constructive nonlinear control: Progress in the 90's. In *IFAC 1999 Proceeding*, Pages 49-77, 1999.

[۴۴] H. K. Khalil. *Nonlinear Systems: 2nd Edition*

[۴۵] W.W. McCulloch and W. Pitts(1943), “Logical Calculus of the Ideas Inminent in Nervous Activity”, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115–133, 1943.

[۴۶] Hebb, D.O. (1949). “*The Organization of Behavior*”. New York: Wiley & Sons.

[۴۷] F. Rosenblatt,(1962) “*Principles of Neurodynamics*”, Science Editions, New York.

[٣٨] T. Marcu and L. Mirea(1997) “Robust detection and isolation of process faults using neural networks’’, IEEE Contr. Syst., 17, pp. 72–79,

[٣٩]A.B.Trunov and M.M. Polycarpou,(2000)“Automated fault diagnosis in nonlinear multivariable systems using a learning methodology’’,IEEE Trans. Neural Networks, 11, pp. 91–101.

[٤٠] C. Kaddissi and J. Kenne,(2011) “Indirect Adaptive Control of an Electro-Hydraulic Servo System Based on Nonlinear Backstepping”,IEEE/ASME ,VOL.16,NO.6,DECEMBER2011

abstract

In this study, an indirect adaptive backstepping method for electro-hydraulic servo position control system recommended that On the one hand allows us to benefit from robust backstepping method and on the other hand, Considers changes in parameters. The advantage employing an indirect adaptive here is that while ensuring the convergence of physical parameters to actual values at the same time also guarantes the system stability . The main concern here is the problem of identifying and different system parameters with practical conditions .First, identify the parameters with RLS method and relatively we find accurate results and track the desired position and convergence parameters to actual values correctly . The following identification parameters method(RLS) is replaced by the neural network approach and the results are compared with each other.

In fact, the question of electrohydraulic servo position control system based on Lyapunov theory and nonlinear backstepping control is performed with two different methods of identification . first method is RLS and the second method is to identify the neural network . In both cases, the results are very good and well done to track the desired position and convergence parameters.

Keywords : adaptive control , backstepping control , neural network , electrohydraulic servo system



Faculty of Electrical Engineering and Robotic

M.Sc. Thesis in control Engeeniering

Indirect Adaptive backstepping neural network control of electro-hydraulic position servo system

By:

Mahdi sadeghi

Supervisor:

Dr Mohammad hadad zarif

Advisor:

Dr jalil sadati

Septamper 2016