





دانشکده: برق و رباتیک

گروه: کنترل

شناسایی مدل غیرخطی عملگر سرو نیوماتیکی با روش کمترین مربعات غیرخطی

دانشجو: علی غلامپور

استاد راهنما:

دکتر حیدر طوسی‌ان شاندیز

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار: بهمن ماه ۱۳۹۲



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

شماره: ۷۱۱۲۹.ت.ب

تاریخ: ۹۲/۱۱/۱۵

ویرایش: ———

بسمه تعالی

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای :
علی غلامپور رشته : برق گرایش : کنترل
تحت عنوان : شناسایی مدل غیر خطی عملکرد سرو نیوماتیکی با روش کمترین مربعات غیر خطی
که در تاریخ ۹۲/۱۱/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

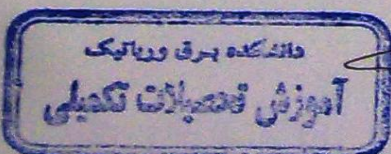
قبول (با درجه : خوب) امتیاز (۱۷/۷۳۵) ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	حمید محمدیان شافعی	دانشیار	
۲- استاد مشاور	—	—	—
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	حسین قلی زاده	استاد	
۴- استاد ممتحن	محمد علی صدرینا	استادیار	
۵- استاد ممتحن	محمدی بامداد	استادیار	



رئیس دانشکده :

تقدیم به:

پدر و مادر و همسر عزیز و امیدبخش

و تقدیم به:

تمام دانش پژوهان

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش بی انتهای خدایی را سزااست که در همه زیبایی ها و معرفت های جهان هستی متجلی است.

پایان نامه حاضر نیز قطره ای از دریای بیکران رحمت اوست و گرنه بی لطف آن یگانه عالم "این راه را نه آغازی بود و نه انجामी" پروردگارا تو بی نیازی از ستایش " اما لطف ذکر نامت و لذت تشکر از نعمت هایت " این بنده را بر آن داشت تا سرآغاز سخن را با نام و یاد تو زیور دهم.

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

سزاوار است که مراتب تشکر و قدردانی خود را از استاد گرانقدر و بزرگوار جناب آقای دکتر حیدر طوسیان شاندیز که با ارایه نظرات اندیشمندانه خویش من را در انجام این پایان نامه به بهترین وجه راهنمایی فرموده به جا آورم. همچنین از اساتید محترم مهندس محمد جواد اسماعیل زاده و مهندس سید محسن سعیدجلالی در دانشگاه فنی مشهد شهید محمد منتظری که مرا در امر انجام آزمایش یاری نمودند کمال تشکر را دارم. از جناب آقای دکتر محمدعلی صدرنیا و دکتر مهدی بامداد که قبول زحمت نموده و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته اند تشکر می نمایم. در پایان از آقای یونسیان و آقای عرب مسئولین تحصیلات تکمیلی دانشکده نهایت تشکر را دارم.

علی غلامپور

دی ماه ۹۲

تعهد نامه

اینجانب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته دانشکده

دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه

..... تحت راهنمایی.....متعهد می شوم .

- 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 صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- 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 ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

در این پایان نامه قصد شناسایی مدل غیرخطی عملگر سرونووماتیکی با روش کمترین مربعات غیرخطی^۱ را داریم. روش‌های مختلفی برای شناسایی سیستم‌های^۲ غیرخطی پیشنهاد شده، که هر کدام براساس کاربرد دارای خصوصیات می‌باشند. عملگر سرونووماتیکی^۳ دارای ویژگی‌های مهمی مانند نسبت نیرو به وزن بالا، سرعت پاسخ دهی، مقاومت در برابر بار خارجی و پهنای باند می‌باشد که بهبود و بهینه‌سازی هر کدام از آنها نیاز به شناخت رفتار این سیستم دارد. رابطه حاکم بر مدل موقعیت عملگر از قانون دوم نیوتن بدست می‌آید، که هر کدام از پارامترهای^۴ این مدل فیزیکی دارای مفهوم خاصی می‌باشند. ابتدا ورودی و خروجی سیستم سرونووماتیکی را در آزمایشگاه اندازه‌گیری کرده و سپس با استفاده از داده‌های بدست آمده پارامترهای مدل غیرخطی موقعیت عملگر سرونووماتیکی را به روش کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت^۵ شناسایی کرده‌ایم. ضریب تعدیل‌گری به نام ضریب تعدیل‌گر توانی^۶ پیشنهاد داده‌و با ضریب تعدیل‌گر استاندارد^۷ مقایسه نموده‌ایم. در پایان مدل بدست آمده از دو ضریب تعدیل‌گر را با مدل واقعی مقایسه کرده که نشان می‌دهد شناسایی به روش کمترین مربعات غیرخطی با هر دو ضریب تعدیل‌گر به خوبی انجام گرفته است.

کلمات کلیدی: مدل غیرخطی، عملگر سرونووماتیک، کمترین مربعات غیرخطی، الگوریتم لونبرگ-مارکوارت،

ضریب تعدیل‌گر استاندارد، ضریب تعدیل‌گر توانی

¹ -Nonlinear least squares method

² -System Identification

³ -Electro-pneumatic servo actuator

⁴ -Parameters

⁵ - Levenberg-Marquardt algorithm

⁶ Power damping parameter

⁷ Standard damping parameter

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

غلامپور ع، طوسی‌ان شان‌دیز ح، (۱۳۹۲) "شناسایی پارامترهای مدل غیرخطی موقعیت عملگر سروونیوماتیکی با روش کمترین مربعات غیرخطی"، پذیرفته شده در سیزدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران، دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، تهران

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱) تاریخچه کارهای انجام شده..... ۲
- ۱-۱-۱) شناسایی عملگر سرونیماتیکی..... ۲
- ۱-۱-۲) روش کمترین مربعات غیرخطی..... ۷
- ۲-۱) اهداف پایان نامه..... ۸
- ۳-۱) اشاره به مطالب فصل های بعدی..... ۸

فصل دوم : شناسایی سیستم

- ۱-۲) مقدمه ۱۲
- ۲-۲) شناسایی سیستم چیست..... ۱۲
- ۳-۲) هدف از شناسایی سیستم..... ۱۲
- ۴-۲) روش های مختلف شناسایی..... ۱۳
- ۴-۲-۱) جعبه سفید یا مدلسازی تحلیلی..... ۱۴
- ۴-۲-۲) جعبه سیاه یا مدلسازی آزمایشی..... ۱۴
- ۴-۲-۳) جعبه خاکستری یا مدلسازی ترکیبی..... ۱۵
- ۵-۲) تقسیم بندی روش های مختلف شناسایی..... ۱۵
- ۵-۲-۱) روش های یکباره..... ۱۶
- ۵-۲-۲) روش های تکراری..... ۱۶
- ۵-۲-۳) روش های بازگشتی..... ۱۶

- ۶-۲) ساختار برای شناسایی سیستم ها..... ۱۶
- ۷-۲) شناسایی سیستم های غیرخطی..... ۱۷
- ۱-۷-۲) شناسایی غیرخطی وقتی معادله فیزیکی معلوم است (مدلسازی ترکیبی)..... ۱۸
- ۲-۷-۲) شناسایی غیرخطی وقتی معادله فیزیکی معلوم نیست..... ۱۸

فصل سوم : عملگر سرونوماتیکی

- ۱-۳) مقدمه..... ۲۰
- ۲-۳) عملگر سرونوماتیکی چیست..... ۲۰
- ۳-۳) کاربردها..... ۲۱
- ۴-۳) عوامل غیرخطی ساز عملگر سرونوماتیکی..... ۲۲
- ۵-۳) مدل عملگر سرونوماتیکی..... ۲۲
- ۱-۵-۳) معادله موقعیت..... ۲۲
- ۲-۵-۳) معادله فشار..... ۲۳
- ۳-۵-۳) معادلات فضای حالت..... ۲۵
- ۶-۳) ویژگی ها فیزیکی سیستم مورد آزمایش..... ۲۵

فصل چهارم: آزمایش اندازه گیری

- ۱-۴) مقدمه..... ۲۸
- ۲-۴) متغیرهای فیزیکی سیستم..... ۲۸
- ۳-۴) محاسبه ثابت زمانی سیستم..... ۲۹

۳۱	نوع دستگاه اندازه گیری
۳۳	تعیین فرکانس اندازه گیری
۳۴	انتخاب سیگنال ورودی
۳۶	حذف داده های پراکنده

فصل پنجم: روش کمترین مربعات غیرخطی

۳۸	مقدمه
۳۸	روش کمترین مربعات غیرخطی
۴۲	روش کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت
۴۴	ضریب تعدیل گر استاندارد
۴۴	ضریب تعدیل گر توانی
۴۷	بدست آوردن پارامترهای مدل موقعیت عملگر سرونیماتیکی و نوع آنها

فصل ششم: برنامه کمترین مربعات غیرخطی و شبیه سازی

۵۰	مقدمه
۵۰	برنامه کمترین مربعات غیرخطی
۵۱	ورودی اعمالی به عملگر جهت شناسایی
۵۱	محاسبه فشار سیلندر
۵۳	خطا
۵۸	اصطکاک

- ۶-۷) مقدار پارامترهای شناسایی شده..... ۶۰
- ۶-۸) شبیه‌سازی..... ۶۱
- ۶-۸-۱) مقایسه مدل واقعی و شبیه‌سازی..... ۶۳
- ۶-۹) تعیین اعتبار عملکرد روش کمترین مربعات غیرخطی..... ۷۰
- ۶-۱۰-۱) نداشتن بایاس..... ۷۰
- ۶-۱۰-۲) حداقل واریانس..... ۷۱
- ۶-۱۰-۳) سازگار بودن..... ۷۲
- ۶-۱۰-۴) تطابق مناسب..... ۷۳

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۷-۱) نتیجه گیری..... ۷۶
- ۷-۲) پیشنهادات..... ۷۶

پیوست‌ها

- پیوست شماره ۱: آزمایشگاه اندازه‌گیری..... ۷۸
- پیوست شماره ۲: پردازش داده‌های ورودی..... ۸۲
- پیوست شماره ۳: برنامه روش کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت وضریب تعدیل‌گر استاندارد..... ۸۳
- پیوست شماره ۴: برنامه روش کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت وضریب تعدیل‌گر توانی..... ۸۶
- منابع..... ۹۰
- چکیده انگلیسی..... ۹۳

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲) بلوک دیاگرام ساختار شناسایی..... ۱۷
- شکل ۱-۳) سیستم عملگر سرونئوماتیکی..... ۲۰
- شکل ۲-۳) کاربردهای عملگر سرونئوماتیکی..... ۲۱
- شکل ۳-۳) سیلندر نیوماتیکی..... ۲۵
- شکل ۴-۳) شیر نیوماتیکی..... ۲۶
- شکل ۱-۴) آزمایشگاه اندازه گیری..... ۲۸
- شکل ۲-۴) پاسخ پله (خروجی با حذف داده های پراکنده، محور X تبدیلات دارد)..... ۳۰
- شکل ۳-۴) مدار اندازه گیر..... ۳۱
- شکل ۴-۴) مدار ارتباط سریال RS232..... ۳۲
- شکل ۵-۴) مدار اتصال میکرو به برق ۲۲۰ ولت..... ۳۲
- شکل ۶-۴) سیگنال prbs..... ۳۵
- شکل ۷-۴) حذف داده های پراکنده..... ۳۷
- شکل ۱-۵) میل به سمت مقدار بهینه $(MSE = 0.015)$ (خطا نسبت به تغییرات Kc و Mt با فرض ثابت b)..... ۴۶
- شکل ۲-۵) میل به سمت مقدار بهینه $(MSE = 0.015)$ (خطا نسبت به تغییرات Kc و b با فرض ثابت Mt)..... ۴۶
- شکل ۳-۵) اصطکاک استاتیک و کلمب [۱۲]..... ۴۷
- شکل ۱-۶) ورودی یک و دو برای شناسایی..... ۵۱
- شکل ۲-۶) شار خروجی از شیر به سمت مخزن B و A سیلندر..... ۵۲

- شکل ۳-۶) فشار مخزن A و B..... ۵۲
- شکل ۴-۶) بزرگ نمایی فشار مخزن A و B (قسمت G,H)..... ۵۳
- شکل ۵-۶) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی یک..... ۵۴
- شکل ۶-۶) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر توانی به ورودی یک..... ۵۵
- شکل ۷-۶) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی دو..... ۵۵
- شکل ۸-۶) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر توانی به ورودی دو..... ۵۶
- شکل ۹-۶) خطای مقایسه مدل واقعی و شبیه سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد..... ۵۷
- شکل ۱۰-۶) خطای مقایسه مدل واقعی و شبیه سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی..... ۵۷
- شکل ۱۱-۶) سیمولینک اصطکاک..... ۵۸
- شکل ۱۲-۶) اصطکاک شبیه سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد..... ۵۸
- شکل ۱۳-۶) بزرگ نمایی اصطکاک شکل (۶-۱۲)..... ۵۹
- شکل ۱۴-۶) اصطکاک شبیه سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی..... ۵۹
- شکل ۱۵-۶) بزرگ نمایی اصطکاک شکل (۶-۱۴)..... ۵۹
- شکل ۱۶-۶) بلوک دیاگرام کلی عملگر سرونیمو ماتیکی..... ۶۱
- شکل ۱۷-۶) بلوک دیاگرام معادله موقعیت..... ۶۲

شکل ۵-۱۸) بلوک دیاگرام معادله فشار و شار ورودی از شیرها..... ۶۲

شکل ۶-۱۹) ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی یک به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$,

$Kc=45$ و میانگین مربع خطای 0.01 ۶۳

شکل ۶-۲۰) ضریب تعدیل گر توانی به ورودی یک به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$, $Kc=45$ و

میانگین مربع خطای 0.01 ۶۳

شکل ۶-۲۱) ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$, $Kc=55$

و میانگین مربع خطای 0.01 ۶۴

شکل ۶-۲۲) ضریب تعدیل گر توانی به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$, $Kc=55$ و

میانگین مربع خطای 0.01 ۶۴

شکل ۶-۲۳) ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=130$, $Kc=50$

و میانگین مربع خطای 0.002 ۶۵

شکل ۶-۲۴) ضریب تعدیل گر توانی به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=130$, $Kc=50$ و

میانگین مربع خطای 0.002 ۶۵

شکل ۶-۲۵) مقایسه موقعیت برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی

یک..... ۶۶

شکل ۶-۲۶) مقایسه موقعیت برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی به ورودی

یک..... ۶۶

شکل ۶-۲۷) مقایسه موقعیت برای پارامترهای نامعتبر به ورودی ۶۷

شکل ۶-۲۸) شبیه سازی موقعیت, سرعت, شتاب برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر

استاندارد..... ۶۷

شکل ۶-۲۹) بزرگ نمایی سرعت و شتاب شکل (۶-۲۸)..... ۶۸

- شکل ۳۰-۶) شبیه‌سازی موقعیت, سرعت, شتاب برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل -
 گرتوانی ۶۸
- شکل ۳۱-۶) بزرگ نمایی سرعت و شتاب شکل (۳۰-۵) ۶۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۶) پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد ۶۰
- جدول ۲-۶) پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی ۶۰
- جدول ۳-۶) مقدار بایاس هر دو ضریب تعدیل گر ۷۰
- جدول ۴-۶) بررسی سازگاری هر دو ضریب تعدیل گر ۷۳

فصل اول

مقدمه

❖ تاریخچه کارهای انجام شده

❖ اهداف پایان نامه

❖ اشاره به مطالب فصل‌های بعدی

۱-۱) تاریخچه کارهای انجام شده

۱-۱-۱) شناسایی عملگر سرونووماتیکی

عملگر سرونووماتیکی زمانی که نیاز به کنترل موقعیت یا سرعت با شرایط تمیزی، سادگی، مقرون به صرفه بودن و ایمنی باشد کاربرد وسیعی دارد. در سالهای اخیر با توجه به هزینه کم تجهیزات نیوماتیکی و ریزپردازنده‌ها این سیستم در صنعت کاربرد زیادی پیدا کرده است. عملگر سرونووماتیکی در شرایط محیطی مختلف رفتار متفاوتی نشان می‌دهد، بطور مثال در باله موشک و هواپیما به دلیل تغییرات شدید دما رفتار عملگر غیرخطی می‌شود. از مهمترین عوامل غیرخطی شدن عملگر سرونووماتیکی می‌توان از: جریان غیرخطی هوا در شیرها، فشردگی هوا در سیلندر، اتصالات، زمان تاخیر، میرایی ضعیف، تاثیر دما، موقعیت سیلندر، زمان مورد نیاز برای ثابت شدن زیر بار نام برد [۱]، [۲]. از اینرو نیاز به یک مدل دقیق از این عملگر داریم. کارهای قابل توجه‌ای برای شناسایی مدل عملگر سرونووماتیکی انجام گرفته است. مدل فیزیکی این عملگر از قانون دوم نیوتن بدست می‌آید در [۱] مدل موقعیت، فشار و معادله حالت به طور کامل آورده شده است.

در [۱] مدل از قانون دوم نیوتن بدست آمده است و از الگوریتم ژنتیک برای شناسایی پارامترهای نامشخص استفاده شده است. الگوریتم با استفاده داده‌های تولیدی از شبیه‌سازی توسعه داده و امتحان شده است. پس از انجام این کارها الگوریتم را با استفاده از داده‌های واقعی گسترش داده شده است. اصطکاک استاتیک و کلمب^۱ در نظر گرفته شده است. تابع هزینه کمترین مربعات خطا^۲ در نظر گرفته شده است. با مقایسه مقادیر بدست آمده از واقعیت با مقادیر شبیه‌سازی اعتبار مدل بدست آمده بررسی شده است.

¹ Static and Coulomb friction

² Mean square Error

شیرنیوماتیکی از نوع ۵/۳ تناسبی و سیلندر مورد استفاده از نوع بدون میله پیستون^۳ در نظر گرفته شده است.

در [۲] مدل موقعیت عملگر را با توجه به دلایل: ۱- مدل غیرخطی سیستم می‌تواند با یک مدل خطی با پارامترهای متغیر با زمان تخمین زده شود. ۲- مجموع پارامتر دما، پارامتر نامشخص دشارژ، تغییرات دما در مدل سیلندر نیوماتیکی تاثیر می‌گذارد، بنابراین این فرض پارامترهای سیلندر نیوماتیکی رندم یا عبارتی پارامترها اتفاقی هستند. ۳- در شرایط واقعی اغتشاش غیرگوسی داریم، یک مدل خطی اتفاقی با پارامترهای متغیر با زمان پیشنهاد داده و با استفاده از فیلتر ماسریلاز-مارتین^۴ پارامترها شناسایی شده است. اصطکاک استاتیک و کلمب و تابع هزینه میانگین مربعات خطا در نظر گرفته شده است. از سیگنال باینری^۵ برای ورودی شناسایی استفاده شده است. اعتبار مدل بدست آمده با مقایسه میانگین مربعات خطا تعیین گردیده است. سیلندر از نوع دوطرفه و شیر از نوع ۴/۳ تناسبی می‌باشد. مطرح گردیده که در عمل اغتشاش غیرگوسی وجود دارد از اینرو اغتشاش غیرگوسی در نظر گرفته شده است.

در [۳] مدل را آریکس^۶ گسسته خطی در نظر گرفته شده است، پارامترهای سیستم متغیر با زمان فرض نموده شده که با پیاده سازی یک کنترلگر خود تنظیم^۷ پارامترها کنترل شده است. پارامترها با روش کمترین مربعات بازگشتی^۸ شناسایی شده و تابع هزینه ریشه میانگین مربعات خطا^۹ در نظر گرفته شده است. با استفاده از معیار آکایاک^{۱۰} و سه معیار زیر اعتبار مدل بدست آمده بررسی شده است: ۱- معیار

³ rodless

⁴ Masreliez-Martin filter

⁵ binary sequence of generated pseudo bandlimited

⁶ Auto-Regressive with External Input (ARX)

⁷ Self-Tuning Control

⁸ Recursive Least Square (RLS)

⁹ Root mean square error (RMSE)

¹⁰ Akaike's criteria

بیشترین تطابق^{۱۱} ۲-کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ۳-کمترین خطای پیش بینی نهایی^{۱۲}. سیلندر یک طرفه و شیر ۵/۳ استفاده شده است.

در [۴] مدل آرمکس^{۱۳} بصورت خطی حلقه باز و گسسته در زمان از مرتبه ۳ را برای عملگرسرونیوماتیکی پیشنهاد شده است. مدل بدست آمده پایدار بوده و برای طراحی کنترلگر کنترل مدل گسسته آن به پیوسته شده است. مدل با استفاده از جعبه‌ابزار متلب با داده‌های واقعی ورودی-خروجی حلقه باز عملگر شناسایی شده است. سیلندر دو طرفه و دو شیر جداگانه ۲/۲ استفاده شده است.

در رساله [۵] و مقاله [۶] عملگر از نوع یک طرفه و شیر از نوع مبدل فشار الکتروپنوماتیکی^{۱۴} است، بدلیل یک طرفه بودن عملگر آن را خطی‌سازی کرده و با یک سیستم درجه ۲ در حوزه زمان معادل و با روش کمترین مربعات پارامترها شناسایی شده است. مدل شیر مبدل فشار الکتروپنوماتیکی که یک طرف آن فنر و طرف دیگر با فشار باد عمل می‌کند با روش کمترین مربعات غیرخطی شناسایی شده است. بدلیل آنکه سیستم پنوماتیکی مورد استفاده در داخل یک توربوژنراتور استفاده می‌شود به بررسی کامل اصطکاک استاتیک و دینامیک برای این سیستم پرداخته شده است. اصطکاک دینامیک مورد استفاده در دو حالت داهول^{۱۵} و لوگر^{۱۶} می‌باشد. برای اعتبار سنجی موقیت واقعی و شبیه‌سازی در شکل با هم مقایسه شده است. عملگر در داخل توربوژنراتور استفاده شده و در نتیجه تغییرات دما بسیار محسوس می‌باشد از اینرو تغییرات دما در داخل معادلات تاثیر داده شده است.

در مقاله [۷] برای فشار عملگر یک مدل دینامیکی برمبنای تحلیل فیزیکی و آزمایشگاهی پیشنهاد داده شده است. ابتدا مدل فیزیکی فشار برای قسمت های مختلف عملگر نیوماتیکی بیان شده و بعد به تحلیل

¹¹ Highest fit

¹² Final Prediction Error (FPE)

¹³ Auto-Regressive Moving Average with Exogenous Input (ARMAX)

¹⁴ Electropneumatic Pressure Converter

¹⁵ Dahl Friction

¹⁶ LuGre Friction

معایب آن پرداخته شده است. پارامترها با استفاده از کمترین مربعات غیرخطی شناسایی شده است. بیان گردیده که اصطکاک ناچیز است و در نتیجه به بررسی آن پرداخته است. با مقایسه مقادیر اندازه گیری شده واقعی و شبیه سازی اعتبار مدل بررسی شده است. شیرهای مورد استفاده تناسبی بوده و خطی فرض شده است. تاخیر در این مدل در نظر گرفته شده است.

در مقاله [۸] مدل برمبنای بهینه سازی مسیر و شناسایی سیستم ارائه گردیده است. برای این هدف دو مدل که یکی جعبه سیاه^{۱۷} برای دینامیک سیستم شامل دینامیک سیال و دینامیک شیر و دیگری جعبه-خاکستری^{۱۸} برای اصطکاک سیستم پیشنهاد شده است. مدل جعبه سیاه آریکس خطی، مرتبه دو، متغیر و گسسته در زمان در نظر گرفته شده و پارامترهای جعبه سیاه با استفاده از جعبه ابزار متلب به روش کمترین مربعات شناسایی شده است. برای مدل جعبه خاکستری یک چندجمله ای پیشنهاد داده و برای تخمین پارامترهای آن از روش پیش بینی خطا^{۱۹} استفاده شده است. نوع اصطکاک مورد استفاده کلمب-ویسکوز^{۲۰} می باشد. اعتبار مدل بدست آمده را با استفاده ریشه میانگین مربعات خطا نرمایزه شده^{۲۱} بررسی نمودند. از یک سیلندر دوطرفه و دو عدد شیرتناسبی برای این سیستم استفاده شده است.

در مقاله [۹] یک مدل خطی آرمکس مرتبه ۳ گسسته در زمان و حلقه باز برای عملگر سرونوماتیکی پیشنهاد داده شده است. پارامترهای این مدل با استفاده از جعبه ابزار متلب شناسایی شده است. از سیگنال پله برای شناسایی سیستم استفاده شده است. البته بیان گردیده که سیگنال باینری شبه تصادفی^{۲۲} و سینوسی هم وجود دارد ولی باز هم از سیگنال پله استفاده شده است. برای بررسی اعتبار

¹⁷ black-box

¹⁸ gray-box

¹⁹ prediction error

²⁰ Coulomb-viscous friction

²¹ normalized root mean square error (NRMSE)

²² Pseudo-Random Binary Sequences (PRBS)

مدل بدست آمده موقعیت اندازه‌گیری شده واقعی با شبیه‌سازی مقایسه شده است. سیلندر دوطرفه و دو عدد شیر قطع و وصل ۲/۲ استفاده شده است.

در [۱۰] یک مدل خطی‌سازی شده از سیستم غیرخطی عملگر سرونوماتیکی ارائه شده است. پیش‌بین‌کننده ساختارمتغیر^{۲۳} که بر مبنای مود لغزشی^{۲۴} کار می‌کند برای تخمین حالت و پارامتر استفاده شده است. برای اصطکاک از اصطکاک استاتیک و کلمب استفاده شده و تابع هزینه ریشه میانگین مربعات خطا است. سیلندر دوطرفه و پنج شیر تناسبی برای سرومکانیزم استفاده شده است.

در [۱۱] برای عملگر سرونوماتیکی یک مدل جعبه‌سیاه غیرخطی که بوسیله یک شبکه عصبی چندلایه پرسپترون^{۲۵} بهینه‌سازی شده پیشنهاد گردیده است. پارامترها بوسیله الگوریتم لوببرگ-مارکورات پس انتشار^{۲۶} بهینه‌سازی (شناسایی) شده است. سیستم به صورت حلقه باز شناسایی شده است. سیگنال ورودی برای شناسایی سیگنال چیرپ^{۲۷} با شکل سینوسی بصورت افزایش خطی فرکانس می‌باشد. سیلندر دوطرفه و شیر تناسبی ۵/۳ استفاده شده است.

مدل مورد مطالعه در [۱۲] از قانون دوم نیوتن بدست آمده یعنی مدل فیزیکی است. شناسایی پارامترهای اصطکاک با الگوریتم ژنتیک انجام گرفته است. اصطکاک مورد استفاده از نوع استاتیک و کلمب می‌باشد. تابع هزینه کمترین مربعات خطا می‌باشد. برای اعتبار مدل بدست آمده مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی مقایسه شده است. سیلندر از نوع دوطرفه و شیر از نوع تناسبی می‌باشد. بیان نموده است که با توجه به شکل‌ها کمی تاخیر داریم ولی به بررسی آن پرداخته است.

²³ Smooth Variable Structure Filter (SVSF)

²⁴ Sliding Mode

²⁵ Multi-layer perceptron neural network (MLPNN),

²⁶ Lervenberg-Marquardt Back Propagation (LMBP)

²⁷ chirp signal

در [۱۳] مدل خطی محلی تاکاگی-سوگنو پیشنهاد داده شده است. دو مدل که یکی جعبه‌سیاه مربوط به تغییرات بار و جابجایی پیستون، و دیگری جعبه‌خاکستری که مربوط به اصطکاک و فشار داخل سیلندر است با کمترین مربعات تخمین زده شده است. اصطکاک کلمب و ویسکوز در نظر گرفته شده است.

۱-۱-۲) روش کمترین مربعات غیرخطی

شناسایی سیستم یکی از مهمترین گامهای کنترل می‌باشد. روش حداقل مربعات یک روش بنیادی در شناسایی سیستم‌ها می‌باشد که با موفقیت در شناسایی سیستم‌های استاتیکی و دینامیکی بکار گرفته شده است. اما این سیستم برای ساختارهای مناسب می‌باشد که مدل آن نسبت به پارامترها خطی باشد. اما زمانی که پارامترها نسبت به مدل غیرخطی باشند این روش کارایی ندارد. روش کمترین مربعات غیرخطی برای زمانی که پارامترها نسبت به مدل غیرخطی باشند کاربرد زیادی دارد. در [۳۸] بطور کامل به مبحث کمترین مربعات خطی و غیرخطی پرداخته شده و بیان گردیده که برای روش کمترین مربعات غیرخطی الگوریتم‌های بزرگ‌ترین شیب^{۲۸}، گوس-نیوتن^{۲۹}، لونبرگ-مارکوارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در [۷] یک مدل فیزیکی برای فشار عملگر سرونوماتیکی پیشنهاد داده است. این مدل غیرخطی با استفاده از روش کمترین مربعات غیرخطی شناسایی شده است. در [۳۹] مدل صفحه بال‌اسکریو^{۳۰} را با دو روش کمترین مربعات خطی و غیرخطی شناسایی نموده و نشان داده که برای شناسایی سیستم غیرخطی روش کمترین مربعات غیرخطی کارایی بیشتری دارد. [۴۰] بطور کامل به تاریخچه، بهبود دادن و کاربردهای کمترین مربعات پرداخته است و مبحث کمترین مربعات غیرخطی را مفصل شرح داده است.

²⁸ -Trust-region

²⁹ Gauss-Newton

³⁰ XY Table ballscrew

۱-۲ اهداف پایان نامه

عملگر سرونویماتیکی کاربردهای گسترده‌ای در صنعت دارد. با توجه به کاربرد وسیع و غیرخطی بودن نیاز به مدل دقیق از عملکرد این عملگر داریم. مدل‌های مختلفی برای این عملگر پیشنهاد شده ولی بیشتر آنها به پیشنهاد یک مدل خطی از این سیستم غیرخطی بسنده کرده‌اند که این عیب قابل ملاحظه برای این عملگر می باشد. بدین دلیل مدل غیرخطی این عملگر را که از قانون دوم نیوتن بدست می آید شناسایی می‌کنیم. روش شناسایی کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت برای شناسایی مدل عملگر سرونویماتیکی استفاده شده است، این روش بطور مفصل توضیح داده شده و نتایج بدست آمده نشان از قابلیت در شناسایی مدل غیرخطی عملگر سرونویماتیکی دارد. با بررسی‌های که بروی روش کمترین مربعات غیرخطی انجام شد، یک ضریب تعدیل‌گر به نام ضریب تعدیل‌گر توانی پیشنهاد داده و با اثبات ریاضی و پیاده‌سازی بروی مدل این پایان نامه این ضریب تعدیل‌گر را ارائه داده‌ایم. مدل بدست آمده را هم از نظر کیفی با مقایسه شکل موقعیت واقعی و شبیه سازی و همچنین خطا و هم از نظر کمی با بررسی بایاس، واریانس، سازگاری و تطابق اعتبار سنجی می‌کنیم. با توجه به آنکه انجام آزمایش شناسایی سیستم نیاز به تجهیزات گران قیمتی دارد و دسترسی به این تجهیزات را نداشتیم برآن شدیم تا این تجهیزات را بسازیم که در بخش‌های بعد توضیح داده می شود.

۱-۲ اشاره به مطالب فصل‌های بعدی

فصل دوم (شناسایی سیستم): در این فصل شناسایی سیستم و هدف از این کار را معرفی کرده‌ایم. مدلسازی که یک امر مهم در کنترل می‌باشد را بیان نموده و مراحل شناسایی یک سیستم را نشان می‌دهیم. در پایان نیز انواع سیستم‌های غیرخطی را معرفی می‌نماییم.

فصل سوم (عملگر سرونووماتیکی): در فصل سوم عملگر سرونووماتیکی را معرفی و کاربردهای آن را بیان می‌نماییم. عوامل غیرخطی شدن عملگر سرونووماتیکی را بررسی و مدل غیرخطی موقعیت و فشار عملگر سرونووماتیکی را نشان می‌دهیم. در پایان نیز تجهیزات مورد استفاده را معرفی می‌کنیم.

فصل چهارم (آزمایش اندازه‌گیری): در این فصل مراحل اصلی برای انجام یک آزمایش اندازه‌گیری داده را بیان می‌نماییم. متغیرهای فیزیکی عملگر سرونووماتیکی را بیان می‌نماییم. برای اندازه‌گیری داده نیاز به ثابت زمانی سیستم داریم که آن را از پاسخ پله سیستم بدست آورده‌ایم. فرکانس اندازه‌گیری داده را با استفاده از قضیه شانون تعیین کرده و در پایان هم نوع سیگنال ورودی برای شناسایی را معرفی کرده‌ایم که این سیگنال از اهمیت بالایی برای شناسایی برخوردار می‌باشد.

فصل پنجم (روش کمترین مربعات غیرخطی): در این فصل روش کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت را معرفی کرده‌ایم. ابتدا ضریب تعدیل‌گر استاندارد را بررسی آنگاه ضریب تعدیل‌توانی را پیشنهاد داده‌ایم.

فصل ششم (برنامه کمترین مربعات غیرخطی و شبیه‌سازی): در این فصل برنامه کمترین مربعات غیرخطی را در متلب پیاده‌سازی کرده و به شناسایی پارامترها پرداخته‌ایم. فشار، اصطکاک و خطا را در این روش نشان داده و بعداز بدست آمدن پارامترها، آنها را در سیمولینک متلب قرار داده و به بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده پرداخته‌ایم. در پایان نیز صحت مدل بدست آمده را نشان داده‌ایم.

فصل هفتم (نتیجه‌گیری و پیشنهادات): در پایان از کارهای انجام گرفته نتیجه‌گیری کرده و پیشنهاداتی ارائه نموده‌ایم.

فصل دوم:

شناسایی سیستم

❖ مقدمه

❖ شناسایی سیستم چیست

❖ هدف از شناسایی سیستم

❖ روش های مختلف مدلسازی ریاضی

❖ تقسیم بندی روش های مختلف شناسایی

❖ ساختار برای شناسایی سیستم ها

❖ شناسایی سیستم های غیر خطی

۲-۱) مقدمه

شناسایی سیستم یک علم و مهارت در ساخت مدل ریاضی سیستم دینامیکی با استفاده از مشاهده ورودی و خروجی می‌باشد. شناسایی سیستم می‌تواند رابطه دنیایی واقعی و دنیای ریاضی در نظریه کنترل را بیان نماید. شناسایی سیستم یک موضوع بسیار مهم با فنون مختلف است که بستگی به ویژگی سیستم دارد [۱۴]. در شناسایی دو حالت برای مدل فیزیکی سیستم متصور می‌باشد: الف- اگر مدل فیزیکی مشخص بوده و پارامترهای آن نامشخص باشد ب- مدل فیزیکی برای سیستم مشخص نباشد و یک مدل برای سیستم با استفاده از روشهای از قبیل شبکه عصبی یا فازی پیشنهاد داده شود [۱۵].

۲-۲) شناسایی سیستم چیست

شناسایی سیستم یعنی اینکه بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده یک مدل ریاضی برای سیستم ساخته شود [۱۴]. مدل‌سازی به معنی یافتن یک رابطه (خصوص ریاضی)، بین ورودی (علت تغییر) با خروجی (نتیجه تغییر) سیستم می‌باشد. شناسایی سیستم یک روش خاص از مدل‌سازی سیستم است که با استفاده از نتایج یک آزمایش عملی صورت می‌گیرد. این می‌تواند رابطه بین کاربرد در دنیای واقعی و دنیای ریاضی نظریه کنترل را نشان دهد. بدین جهت برای استفاده بهتر از سیستم‌ها برای کنترل، پیش‌بینی و ساخت به شناسایی سیستم نیاز می‌باشد [۱۶]، [۱۷].

۲-۳) هدف از شناسایی سیستم

هدف از شناسایی سیستم به سه حالت زیر تقسیم می‌شود [۱۶]:

۱- مدیریت فرآیندها (کنترل)^{۳۸}

۲- پیش‌بینی آینده^{۳۹}

۳- شبیه‌سازی^{۴۰}

۴-۲) روش‌های مختلف مدل‌سازی ریاضی

در واقعیت با سیستم‌ها و مدل‌های متفاوتی سروکار داریم، روش‌های شناسایی نیز بسته به نوع سیستم می‌تواند متفاوت باشد. مدل‌سازی ریاضی یعنی بدست آوردن یک رابطه ریاضی بین ورودی و خروجی سیستم، به طوری که اگر یک سیگنال ورودی مشابه به سیستم واقعی و مدل شبیه‌سازی شده اعمال کنیم، خروجی هر دو با مقداری اختلاف مشابه یکدیگر گردد. در مدل‌سازی همواره باید بین دقت^{۴۱} و سادگی^{۴۲} مصالحه‌ای^{۴۳} برقرار کرد. اگر بخواهیم سیستم را آنطور که در واقعیت است مدل کنیم عموماً مدل بدست آمده بسیار پیچیده می‌شود. لذا در شناسایی سیستم از مدل ساده‌تر شروع می‌کنیم اگر مدل بدست آمده به اندازه کافی دقت نداشت به سراغ ساختارهای پیچیده‌تر می‌رویم.

مدل‌سازی ریاضی را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود [۱۵]:

الف) جعبه سفید یا مدل‌سازی تحلیلی^{۴۴}

ب) جعبه سیاه یا مدل‌سازی آزمایشی

ج) جعبه خاکستری یا مدل‌سازی ترکیبی

³⁸-Process Management

³⁹-Predicting the future

⁴⁰-simulink

⁴¹-accuracy

⁴²-Simplicity

⁴³- tradeoff

⁴⁴-white-box

۲-۴-۱) جعبه سفید یا مدل سازی تحلیلی

مدل سازی تحلیلی به معنی بدست آوردن رابطه ریاضی بین متغیرهای سیستم براساس قوانین فیزیکی است. مسئله اصلی در مدل سازی تحلیلی تعیین پارامترها می باشد. به دلیل متنوع بودن پارامتر سیستم های مختلف، روش مشخصی برای تعیین پارامتر، در مدل سازی تحلیلی وجود ندارد. با توجه به نوع پارامتر و سیستم مورد بررسی روش های مختلفی تعریف می گردد. در مدل سازی تحلیلی اینگونه عمل می کنیم که با سیگنال ورودی وارد سیستم شده و با سیگنال خروجی از سیستم خارج می شویم و بررسی می کنیم که در این مسیر از چه فرآیندها و مراحل عبور می کنیم و قوانین فیزیکی حاکم بر آنها چیست. اشکال عمده روش مدل سازی تحلیلی این است که باید تک تک پارامترها سیستم را با آزمایش های (اندازه گیری های) جداگانه بدست آوریم. از آنجا که قوانین فیزیکی تقریبی هستند لذا خطاهای محاسباتی وجود خواهند داشت. همه اینها باعث می شوند که مدل سازی تحلیلی هرچند که مفهوم فیزیکی خاصی داشته باشد، اما دقیق نباشد.

۲-۴-۲) جعبه سیاه یا مدل سازی آزمایشی

مدل سازی آزمایشی، بدست آوردن یک مدل ریاضی برای سیستم با استفاده از نتایج انجام یک آزمایش است. در مدل سازی آزمایشی کاری نداریم که در داخل سیستم چه خبر است. در مدل سازی آزمایشی لازم نیست که تک تک پارامترها را از طریق آزمایش های جداگانه بدست آوریم و قوانین فیزیکی حاکم بر آنها نوشته شود. در این روش با اندازه گیری از سیگنال ورودی و خروجی، مقادیر عددی آنها در اختیار کامپیوتر قرار می گیرد. این اعداد حاصل اندازه گیری با تناوب های مناسب است که در حین انجام آزمایش ثبت می شوند. این اعداد در کامپیوتر ذخیره می شوند و بعد دو بردار داریم که یکی بردار اطلاعات ورودی و دیگری بردار اطلاعات خروجی می باشد. در مدل سازی آزمایشی هنر آن است که یک مدل ریاضی یا معادله دیفرانسیل بین دو بردار برازش کنیم، به طوری که اگر یک

ورودی دیگر به سیستم اعمال شود، بتوانیم خروجی را توسط مدل ریاضی بدست آمده تخمین^{۴۵} بزنیم و خروجی تخمین زده شده از طریق مدل ریاضی بسیار نزدیک به خروجی واقعی باشد. بدلیل وجود نویز خطای اندازه گیری وجود دارد بنابراین مدل بدست آمده صددرصد بر مدل واقعی انطباق ندارد.

۲-۴-۳) جعبه خاکستری یا مدلسازی ترکیبی

در این روش مدل با استفاده از قوانین فیزیکی بدست می آید. ولی بجای بدست آوردن مقادیر تک تک پارامترها از طریق آزمایش های جداگانه، سیگنال های ورودی و خروجی را اندازه گیری کرده و بردار ورودی و خروجی را بدست می آوریم و براساس این بردار ورودی و خروجی مقدار پارامترهای مدل را تخمین می زنیم. مدل سازی عملگرسرونیوماتیکی از این نوع می باشد. دو مرحله مدل سازی ترکیبی:

۱. تعیین ساختار با استفاده از روش مدل سازی تحلیلی

۲. تخمین پارامترهای ساختار با استفاده از اندازه گیری از ورودی و خروجی

۲-۵) تقسیم بندی روش های مختلف شناسایی

در یک تقسیم بندی کلی روش های شناسایی سیستم به سه دسته تقسیم می شوند [۱۵]:

(۱) روش های یکباره^{۴۶}

(۲) روش های تکراری^{۴۷}

(۳) روش های بازگشتی^{۴۸}

⁴⁵-Estimate

⁴⁶-En-bloc

⁴⁷-Iterative

⁴⁸-Recursive

۲-۵-۱) **روش‌های یکباره:** این دسته از روش‌های شناسایی، این گونه می‌باشد که ابتدا بر روی سیستم ناشناخته یکبار آزمایش نموده و ورودی و خروجی سیستم را اندازه‌گیری می‌کنیم، سپس سیستم را خاموش کرده و از اطلاعات بدست آمده، یک بار و فقط یک بار به صورت برداری و ماتریسی در روابط استفاده می‌کنیم.

۲-۵-۲) **روش‌های تکراری:** در این دسته از روش‌ها برای بهبود تخمین، از تمامی اطلاعات و روابط، چندین بار در یک حلقه تکراری استفاده می‌شود. یک بار اندازه‌گیری کرده و با استفاده از روابط، مقدار پارامترها را تخمین می‌زنیم. سپس مجدداً از تمامی اطلاعات استفاده کرده و با استفاده از تخمین‌های قبلی بدست آمده، مقدار تخمین را بهتر یا بهینه‌تر می‌کنیم و این روال را ادامه می‌دهیم و در هر مرحله، با استفاده از تخمین قبلی، تخمین بهتری می‌زنیم.

۲-۵-۳) **روش‌های بازگشتی:** در این روش‌ها با اطلاعات گرفته شده از ورودی و خروجی سیستم نامشخص تا لحظه N ، پارامترهای مجهول سیستم (θ) تخمین زده می‌شوند ($\hat{\theta}_N$)، حال با اطلاعات جدید در لحظه $N+1$ ، تخمین بهتری بدست می‌آوریم ($\hat{\theta}_{N+1}$).

۲-۶) ساختار برای شناسایی سیستم‌ها

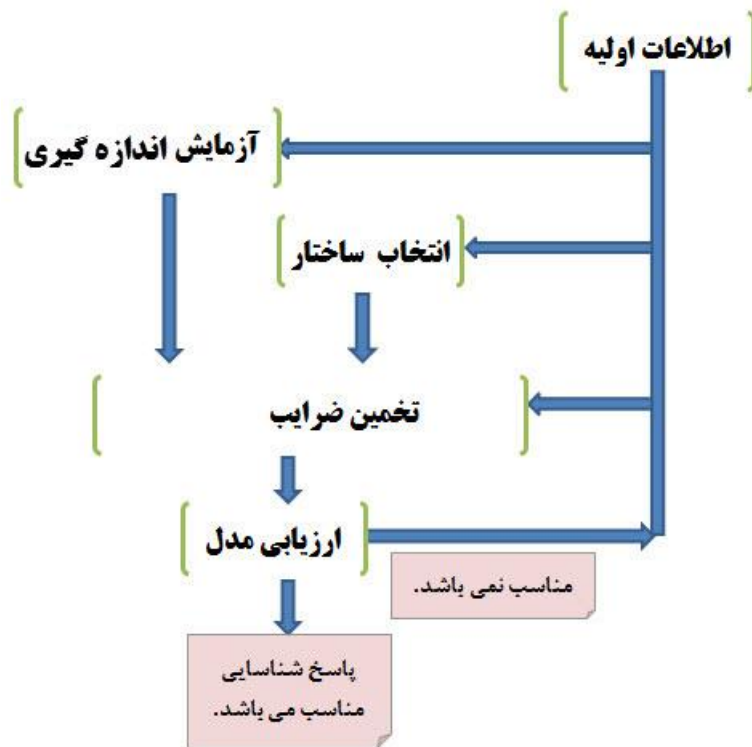
شناسایی سیستم دارای پنج مرحله اساسی است [۱۶]، [۱۷]:

۱. تعریف سیستم و ورودی و خروجی آن^{۴۹}
۲. تعریف ساختار (مدل) برای سیستم مورد مطالعه^{۵۰}
۳. انجام آزمایش و جمع‌آوری اطلاعات ورودی و خروجی^{۵۱}
۴. تخمین پارامترها^{۵۲}

⁴⁹- Experiment Design

⁵⁰-Model structure selection

⁵¹-Calculate Model



شکل ۱-۱) بلوک دیاگرام ساختار شناسایی

۷-۲) شناسایی سیستم‌های غیر خطی [۱۹]

برای شناسایی سیستم‌های غیر خطی دو حالت متصور است:

الف- معادله فیزیکی معلوم است ولی پارامترهای آن نامعلوم است.

ب- معادله فیزیکی معلوم نیست.

⁵²-Estimate Parameters

⁵³-Validate Model

۲-۷-۱) شناسایی سیستم غیرخطی وقتی معادله فیزیکی معلوم است (مدل سازی

ترکیبی)

ممکن است از طریقی مثلاً با نوشتن قوانین فیزیکی حاکم بر سیستم و یا اطلاعات قبلی موجود، معادله فیزیکی معلوم ولی پارامترهای آن مجهول باشد. در این حالت می‌خواهیم با اطلاعات اندازه‌گیری شده به تخمین پارامترهای مجهول در ساختار غیرخطی معلوم بپردازیم. با فرض معلوم بودن معادله فیزیکی سه حالت پیش می‌آید:

الف) معادله فیزیکی غیرخطی باشد، پارامترهای نسبت به معادله فیزیکی خطی و قابل تفکیک باشد.

ب) معادله فیزیکی غیرخطی باشد، ولی بتوان از خطی سازی یا چندجمله‌ای‌ها استفاده کرد.

ج) معادله فیزیکی غیرخطی باشد، پارامترهای نیز نسبت به معادله فیزیکی غیرخطی باشد.

۲-۷-۲) شناسایی غیرخطی وقتی معادله فیزیکی معلوم نیست.

در حالتی که معادله فیزیکی مشخص نیست باید ابتدا از ساختارهای ساده شروع کرده ولی اگر آن ساختار دقت مورد نظر را پاسخگو نبود سراغ ساختار پیچیده‌تر می‌رویم. در اینجا از چند نمونه ساختار غیرخطی نام می‌بریم: رگرسیون غیرخطی، شبکه عصبی، سری ولترا، موجک، سری وینر و هامرشتاین، مدل‌های فازی...

فصل سوم :

عملگر سرونئوماتیکی

❖ مقدمه

❖ عملگر سرونئوماتیکی چیست

❖ کاربردها

❖ عوامل غیر خطی ساز عملگر سرونئوماتیکی

❖ مدل عملگر سرونئوماتیکی

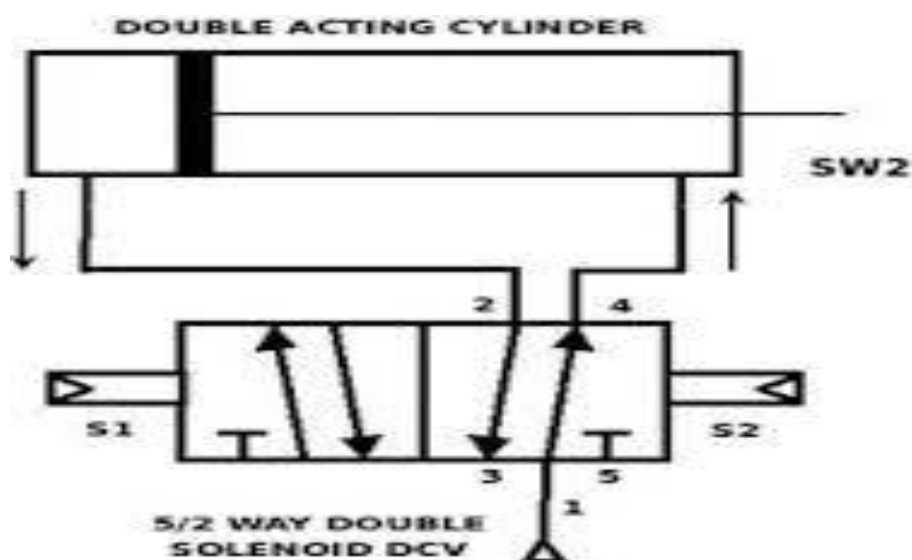
❖ ویژگی‌های فیزیکی سیستم مورد آزمایش

۱-۳) مقدمه

سیستم مورد بررسی عملگر سرونوماتیکی می باشد که رفتار غیرخطی دارد. امروزه این سیستم در صنایع مختلفی از قبیل هواپیما، موشک، سیستم ابزار دقیق، ربات کاربرد وسیعی دارد. پارامترهای مهم عملکردی عملگر سرونوماتیکی سرعت پاسخ دهی، دقت، مقاومت در برابر خارجی و پهنای باند می باشد که بهبود و بهینه سازی هر کدام از آنها نیازمند شناخت کامل رفتار این سیستم می باشد.

۲-۳) عملگر سرونوماتیکی چیست

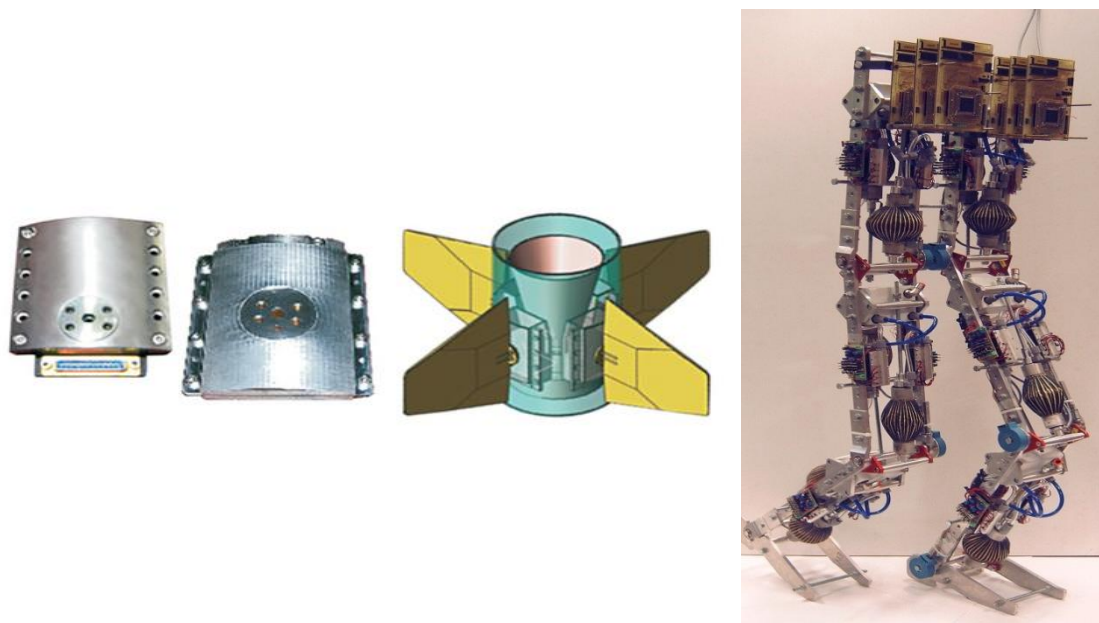
عملگر سرونوماتیکی از یک شیر برقی-نیوماتیکی و یک عملگر (سیلندر دو طرفه) تشکیل شده است. وظیفه اصلی شیر برقی-نیوماتیکی تقسیم مناسب و تعریف شده دبی ورودی سیال عامل (یا همان انرژی محرک) به دو طرف سیلندر عملگر، متناسب با سیگنال اعمالی می باشد. عملگر نیز سیگنال اعمالی به شیر را به اختلاف فشار بین دو سمت سیلندر تبدیل می نماید [۲۰]، [۲۱].



شکل ۱-۳) سیستم عملگر سرونوماتیکی

۳-۳) کاربردها

سرونیوماتیک دارای کاربرد وسیعی در بخش‌های صنعتی و نظامی دارد. عملگر سرونیوماتیکی در صنایع غذایی و دارویی به دلیل پاکیزگی کاربرد وسیعی دارد [۲۰]. در محیط‌های صنعتی، ربات‌ها کاربرد وسیعی دارند و یکی از قسمت‌های اصلی این ربات‌ها بازوهای نیوماتیکی می‌باشد [۲۱]. از دیگر کاربردهای عملگر سرونیوماتیکی می‌توان به کاربرد در جک‌های چکشی، دریل‌های قدرت اشاره کرد [۲۲]. سرونیوماتیک در محیط‌های هسته‌ای که ایمنی بسیار اهمیت دارد نیز کاربرد دارد. همچنین در صنایع هوایی، هواپیما، موشک به دلیل سبک بودن و دلایل دیگر در باله‌ها کاربرد دارد.



شکل ۳-۲) کاربردهای سرونیوماتیک

۴-۳) عوامل غیر خطی ساز عملگر سرونیوماتیکی

مزایای فراوان سیستم‌های نیوماتیکی موجب شده تا جایگاه ویژه‌ای در صنعت اتوماسیون، هوافضا، پزشکی، هسته‌ای پیدا کنند. از جمله این مزایا می‌توان به سرعت بالای عملگرهای سرونیوماتیکی، نسبت نیرو به وزن بالا، نسبت نیرو به حجم بالا، تمیزی عناصر نیوماتیکی به علت کار با هوا، ارزان بودن عناصر و سیال مورد استفاده اشاره کرد. عملگر سرونیوماتیکی رفتار غیر خطی دارد [۴] از اینرو نیاز به شناسایی دقیق مدل آن را بسیار با اهمیت می‌سازد. عملگر سرونیوماتیکی در شرایط محیطی مختلف رفتار متفاوتی دارد. از مهمترین عوامل غیر خطی شدن عملگر سرونیوماتیکی می‌توان از: جریان غیر خطی هوا در شیرها، فشردگی هوا در سیلندر، اتصالات، زمان تاخیر، میرایی ضعیف، تاثیر دما، موقعیت سیلندر، زمان مورد نیاز برای ثابت شدن زیر بار، نام برد [۷]، [۸].

۵-۳) مدل عملگر سرونیوماتیکی

برای شناسایی دقیق‌تر مدل غیر خطی لازم است تا تمامی حالت‌های سیستم اندازه‌گیری شود. موقعیت، سرعت و فشار هوای ورودی و خروجی به عملگر از جمله این حالت‌ها هستند [۹]، [۱۲]. سیگنال ورودی PRBS را که قابل اندازه‌گیری است به شیر نیوماتیکی که در معادله (۳-۶)، (۳-۷) آمده داده و از آنجایی که اندازه‌گیری فشار داخل سیلندر مقرون به صرفه و امکان پذیر نیست، استفاده از معادلات موجود بدست آمده است [۱۰] که در معادله (۳-۸)، (۳-۹) آورده شده است، بعد از بدست آمدن فشار داخل سیلندر در معادله موقعیت (۳-۱) قرار داده شده است.

۳-۵-۱) معادله موقعیت:

معادله موقعیت سیلندر میله بار را می‌توان به صورت زیر نشان داد [۱۱]، [۱۲]:

$$(M_l + M_p)\ddot{X} + \beta\dot{X} + F_f + F_l = P_a A_a - P_b A_b$$

(۳-۱)

M_1 جرم بارخارجی (Kg)، M_p جرم میله پیستون (Kg)، β ضریب وسیکوزیته، واحد ندارد، X موقعیت پیستون (m)، F_f نیروی اصطکاک بین سیلندر و پیستون (N)، F_1 نیروی خارجی (N)، P_a فشار مخزن A. $(\frac{N}{m^2})$ ، P_b فشار مخزن B. $(\frac{N}{m^2})$ ، A_a سطح موثر مخزن A، (m^2) ، A_b سطح موثر مخزن B، (m^2) می‌باشند. این معادله از قانون دوم نیوتن بدست می‌آید.

۳-۵-۲) معادله فشار:

برای بدست آوردن معادله فشار ابتدا باید معادلات شیر برقی-نیوماتیکی تعریف گردد. ثابت‌های فشار اینگونه تعریف می‌شوند [۱۲]:

$$C_r = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (-۳)$$

۲)

K ضریب دمای ویژه، واحد ندارد

$$C_0 = \left[\frac{k}{R} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (-۳)$$

۳)

R ثابت عمومی گازها، واحد ندارد

$$C_k = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left(\frac{k+1}{k} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (۴-۳)$$

$$\tilde{f}(p_r) = \begin{cases} 1 & \frac{P_{atm}}{P_u} < p_r < C_r \\ C_k \left[p_r^{\frac{2}{k}} - p_r^{\frac{(k+1)}{k}} \right]^{\frac{1}{2}} & C_r < p_r < 1 \end{cases} \quad (-۳)$$

۵)

P_{atm} فشار اتمسفر $(\frac{N}{m^2})$ ، P_u فشار حداکثر مخزن $(\frac{N}{m^2})$

$$f(P_a, P_s, P_e) = \begin{cases} P_s \frac{\tilde{f}(\frac{P_a}{P_s})}{\sqrt{T_s}} & \text{مخزن A باعث موقعیت شود سیلندر} \\ P_a \frac{\tilde{f}(\frac{P_e}{P_a})}{\sqrt{T_a}} & \text{مخزن B باعث موقعیت شود سیلندر} \end{cases} \quad (۶-۳)$$

$$f(P_b, P_s, P_e) = \begin{cases} P_b \frac{\tilde{f}(\frac{P_e}{P_b})}{\sqrt{T_b}} & \text{مخزن A باعث موقعیت شود سیلندر} \\ P_s \frac{\tilde{f}(\frac{P_b}{P_s})}{\sqrt{T_s}} & \text{مخزن B باعث موقعیت شود سیلندر} \end{cases} \quad (۷-۳)$$

(۷)

P_s فشار تغذیه ($\frac{N}{m^2}$)، P_e فشار خروجی از سیلندر ($\frac{N}{m^2}$)، T_s دمای منبع (k)، T_a دمای سمت مخزن A، T_b دمای سمت مخزن B (k)

$$V_a = A_a \left(\frac{1}{2} + x + \Delta \right) \quad (۸-۳)$$

$$V_b = A_b \left(\frac{1}{2} + x - \Delta \right) \quad (۹-۳)$$

(۹)

معادله تغییرات فشار به صورت زیر بیان می شود :

$$\dot{P}_a = -\frac{kV_a}{V_a} P_a + \frac{k}{V_a} RT_s C_d C_0 W_a X_a f(P_a, P_s, P_e) \quad (۱۰-۳)$$

(۱۰)

$$\dot{P}_b = \frac{kV_b}{V_b} P_b + \frac{k}{V_b} RT_s C_d C_0 W_b X_b f(P_b, P_s, P_e) \quad (۱۱-۳)$$

(۱۱)

$V_{a,b}$ حجم هر سمت سیلندر (m^3)، C_d ضریب تخلیه هوا. واحد ندارد، $W_{a,b}$ پهنای اورفیس (m)، $X_{a,b}$

میزان جابجایی ماسوره شیر (m) می باشند.

۳-۵-۳) معادلات فضای حالت:

معادلات فضای حالت عملگر سرونیوماتیکی با انتخاب موقعیت، سرعت و فشار عملگر به عنوان متغیرهای حالت بصورت زیر استخراج شده است.

$$\dot{X}_1 = X_2$$

$$\dot{X}_2 = \frac{1}{(M_1 + M_p)} [-F_1 - F_f - \beta X_2 + A_a X_3 - A_b X_4]$$

$$\dot{X}_3 = \frac{1}{V_a} [-kX_3 X_2 + RTC_d C_0 W_a X_a f(P_a, P_s, P_e)]$$

$$\dot{X}_4 = \frac{1}{V_b} [kX_4 X_2 + RTC_d C_0 W_b X_b f(P_b, P_s, P_e)]$$

(۱۲-۳)

برای بخش‌های دیگر سیلندر مانند دما، اصطکاک، بار نیز مدل‌های مختلفی پیشنهاد داده شده است [۲۳]، [۲۴]. در این پایان‌نامه هدف بدست آوردن پارامترهای معادله موقعیت می‌باشد.

۳-۶) ویژگی‌های فیزیکی سیستم مورد آزمایش



شکل ۳-۳) سیلندر نیوماتیکی

سیلندر نیوماتیکی :

Festo, DSNN-25-100 PPV-A & Serie 2 90 R , Pressure: 145psi, 10bar, r=11mm, L=140mm



شکل ۳-۴ شیر نیوماتیکی

شیر نیوماتیکی:

HPC pneumatics, 5/2way, 220V AC, 5.5VA, 25mA, 100%ED, IP65, 4v210-08, 1.5-8 kgf/cm

فصل چهارم:

آزمایش اندازه‌گیری

❖ مقدمه

❖ متغیرهای فیزیکی سیستم

❖ محاسبه ثابت زمانی سیستم

❖ نوع دستگاه اندازه‌گیری

❖ تعیین فرکانس اندازه‌گیری

❖ انتخاب سیگنال ورودی

❖ حذف داده‌های پراکنده

۴-۱) مقدمه

مدل (۳-۱) را در نظر بگیرید، با انجام آزمایش پارامترهای آن باید تعیین گردد. انجام آزمایش مراحل متعددی دارد که باید رعایت شوند در غیر این صورت به نتیجه مطلوبی نخواهیم رسید، در ادامه به مراحل انجام آزمایش اشاره نموده ایم.



شکل ۴-۱) آزمایشگاه اندازه گیری

۴-۲) متغیرهای فیزیکی سیستم

در سرونوماتیک چند متغیر فیزیکی را به عنوان ورودی و خروجی می توان در نظر گرفت ولی به دلیل وجود محدودیت های مانند نبود حسگر اندازه گیری، عدم دسترسی به متغیر فیزیکی در واقعیت نمی-توان تمام این متغیرهای فیزیکی را اندازه گیری نمود. ورودی های سیستم سرونوماتیک سیگنال

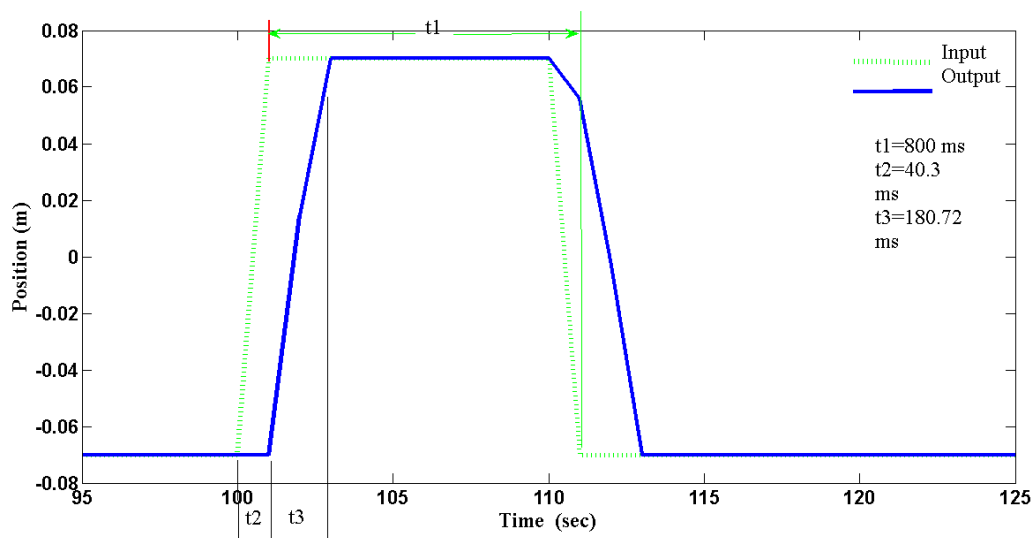
الکتریکی، فشار باد می باشد. اما بدلیل محدودیت، فقط سیگنال الکتریکی را اندازه گیری کرده ایم. خروجی نیز موقعیت سیلندر، سرعت، شتاب، نیروی تولیدی می باشد. از متغیرهای فیزیکی داخلی نیز می توان فشار داخل سیلندر، اصطکاک، تاخیر، دما را نام برد. در ورودی بدلیل مقرون به صرفه نبودن استفاده از حسگر فشار ابتدا سیگنال الکتریکی را اندازه گیری نموده و با فرض خطی [۷] بودن شیربرقی نیوماتیکی فشار ورودی را بدست آورده ایم. از خروجی های سیستم نیز فقط موقعیت خطی سیلندر را با پتانسیومتر اندازه گیری کرده ایم و باقیمانده متغیرهای فیزیکی مانند فشار داخل سیلندر، اصطکاک، سرعت را با توجه به معادلات موجود بدست آورده و در شبیه سازی استفاده نموده ایم [۲۸].

۳-۴) محاسبه ثابت زمانی^{۵۴} سیستم

شناسایی معادله فیزیکی دقیق یک سیستم درجه n ، با استفاده از پاسخ پله آن بسیار مشکل می باشد. اما سیستم های LTI^{۵۵} از هر درجه ای که باشند، معمولاً پاسخ پله ای شبیه به سیستم درجه یک یا درجه دو دارند. لذا چنانچه بخواهیم از روی پاسخ پله، یک سیستم درجه n را شناسایی کنیم، عموماً معادله فیزیکی آن سیستم را بسته به اینکه نوسانی است یا خیر، با یک معادله فیزیکی درجه دو تقریب می - زنیم. با توجه به پاسخ پله موجود که بسیار شبیه به سیستم های درجه یک می باشد، برای بدست آوردن ثابت زمانی سیستم را درجه یک فرض می کنیم.

⁵⁴Time Constant

^{۵۵}توجه داشته باشید برخی مقالات این عملگر را متغیر با زمان در نظر گرفته اند، البته این بدلیل کاربرد خاص آن می باشد.



شکل ۴-۲) پاسخ پله (خروجی با حذف داده های پراکنده، محور x تبدیلات دارد)

در این روش به سیستم یک تابع پله اعمال و خروجی را ثبت می‌نماییم، که شکل بالا بدست می‌آید. درصد بالایی از سیستم‌ها را وقتی تابع پله اعمال کنیم رفتاری شبیه سیستم بالا دارند. خیلی از سیستم‌ها یا واقعا درجه یک هستند یا رفتاری مشابه با یک سیستم درجه یک دارند. لذا با یک سیستم درجه یک می‌توان آنها را تقریب زد و مدل نمود. در بسیاری از سیستم‌ها تاخیر وجود دارد که در ثابت زمانی سیستم دخیل می‌باشد. در اکثر سیستم‌ها تشخیص دقیق مقدار تاخیر از روی نمودار پاسخ پله کار ساده‌ای نیست. در عمل تمامی سیستم‌ها دارای تاخیر هستند، اگرچه ممکن است مقدار تاخیر آنها کم باشد، اما اغلب اوقات از مقدار تاخیر صرف‌نظر کرده و سیستم را بدون تاخیر فرض کرده‌اند [۳۰]، [۳۱].

اگر τ را ثابت زمانی و t_0 را تاخیر و τ_t زمان خیز سیستم در نظر بگیریم، خواهیم داشت [۳۷]:

$$\tau = \frac{\tau_t - t_0}{4} \quad (۱-۴)$$

با توجه به تعداد اندازه‌گیری مربوط به پاسخ پله و میانگین‌گیری از ضرایب اعداد زیر بدست آمده‌اند:

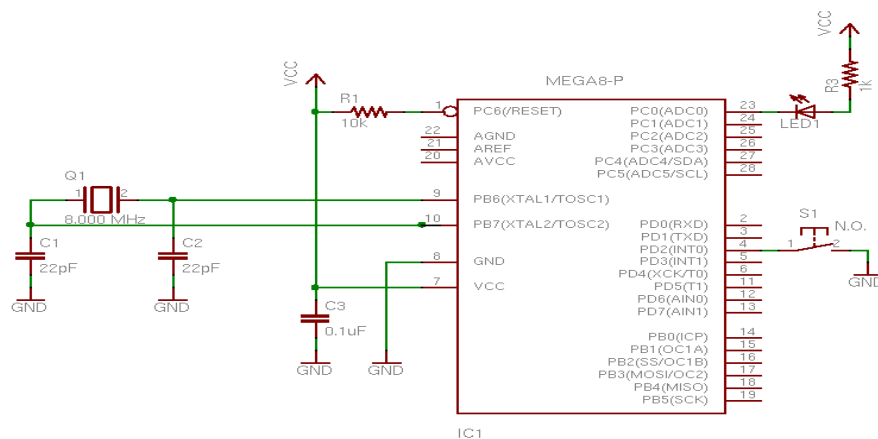
$$\tau_t = 180.72 \text{ ms}$$

$$t_0 = 40.3 \text{ ms}$$

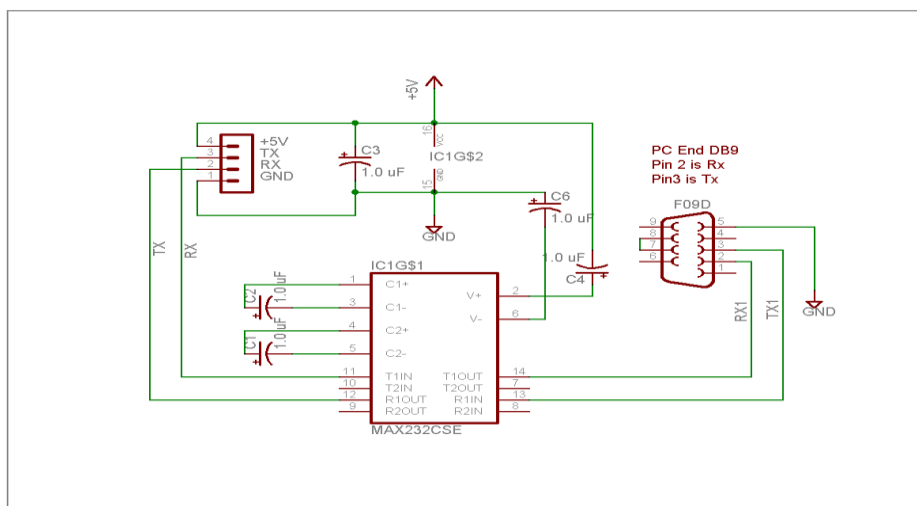
$$\tau = \frac{\tau_t - t_0}{4} = \frac{180.72 - 40.3}{4} = 35.105 \text{ ms}$$

۴-۴) نوع دستگاه اندازه‌گیری

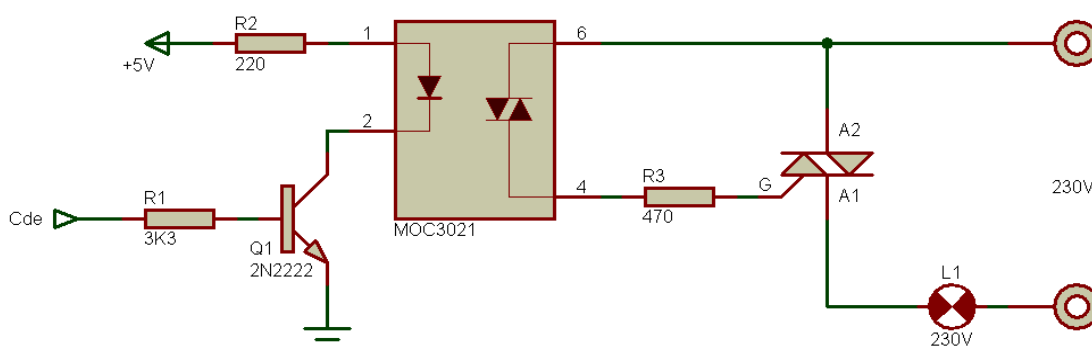
دستگاه اندازه‌گیری باید پاسخ‌گوی نیاز آزمایش از نظر تعداد ورودی و خروجی و فرکانس اندازه‌گیری مورد نظر باشد. برای اندازه‌گیری در این سیستم از میکروکنترل‌کننده AVR با برنامه بسکام^{۵۶} استفاده نموده‌ایم. نوع میکروکنترل‌کننده ATmega32 و برای اتصال میکرو به ۲۲۰ ولت از ترانزیستور BT136 و اپتوکوپلر Moc3021 استفاده نمودیم. مدار بسته شده به شکل زیر می‌باشد:



شکل ۴-۳) مدار اندازه‌گیر



شکل ۴-۴) مدار ارتباط سریال RS232



شکل ۴-۵) مدار اتصال میکرو به برق ۲۲۰ ولت

موقعیت خطی سیلندر را با پتانسیومتر اندازه‌گیری می‌کنیم. مقادیر را با استفاده از ADC میکروکنترلر گرفته و بلافاصله به کامپیوتر با استفاده از ارتباط سریال RS232 ارسال می‌کنیم. در همان حال و بدون هیچ وقفه‌ای سیگنال PRBS را با استفاده از ارتباط سریال از کامپیوتر به میکروکنترلر ارسال می‌نماییم. برای سرعت بالا و جلوگیری از وقفه در ارسال و دریافت داده از برنامه ویژوال بیسیک در کامپیوتر استفاده نمودیم. زیرا اگر به تنهایی از برنامه بسکام برای ارسال و دریافت داده استفاده کنیم، اگر در کامپیوتر برنامه هرچند کوچک اجرا شود در اندازه‌گیری اشکال ایجاد می‌کند. تصاویر آزمایشگاه اندازه‌گیری در پیوست شماره ۱ آورده شده است.

۴-۵) تعیین فرکانس اندازه‌گیری^{۵۷}

تعیین فرکانس اندازه‌گیری برای یک سیستم خاص از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. باید به این نکته مهم توجه نمود که لزوماً فرکانس اندازه‌گیری بیشتر به تخمین بهتر منجر نمی‌شود. از طرف دیگر محدودیت دستگاه اندازه‌گیری در دسترس، ممکن است انتخاب دیگری تحمیل کند. فرکانس اندازه‌گیری را از روی ثابت زمانی که از پاسخ پله بدست آوردیم می‌توان تعیین نمود. به قضیه زیر برای تعیین فرکانس اندازه‌گیری توجه کنید:

قضیه شانون^{۵۸}

براساس قضیه شانون، باید فرکانس اندازه‌گیری از سیستم بزرگتر یا مساوی دو برابر بزرگترین فرکانس موجود در سیستم باشد، یعنی:

$$\frac{2}{\tau} = 2f \leq \frac{1}{T_0} = f_s$$

(۴-۲)

τ ثابت زمانی سیستم، f بزرگترین فرکانس سیستم، T_0 زمان اندازه‌گیری، f_s فرکانس اندازه‌گیری می‌باشند.

این قضیه برای رفع اثر الیاسینگ^{۵۹} می‌باشد [۱۵].

با استفاده از قضیه شانون ثابت زمانی سیستم ۳۵.۱۰۵ میلی ثانیه یا ۱۴.۲۸ هرتز است. باید فرکانس اندازه‌گیری حداقل دو برابر فرکانس سیستم یا زمان اندازه‌گیری حداقل نصف این زمان باشد که این نکته را در نظر گرفته‌ایم. برای هر بار اندازه‌گیری، فرکانس را ثابت گرفته و این کار را برای دفعات مختلف با فرکانس‌های مختلف انجام داده‌ایم [۲۰]، [۲۱].

⁵⁷Sample Frequency

⁵⁸Shannon's Theory

⁵⁹Aliasing effect

۴-۶) انتخاب سیگنال ورودی^{۶۰}

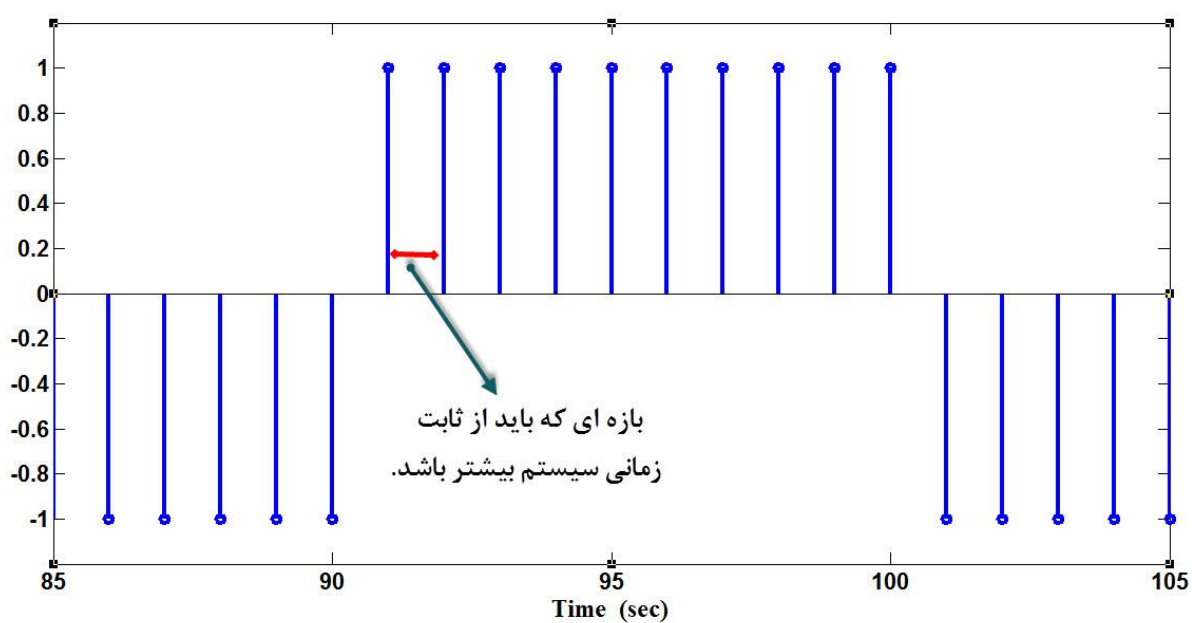
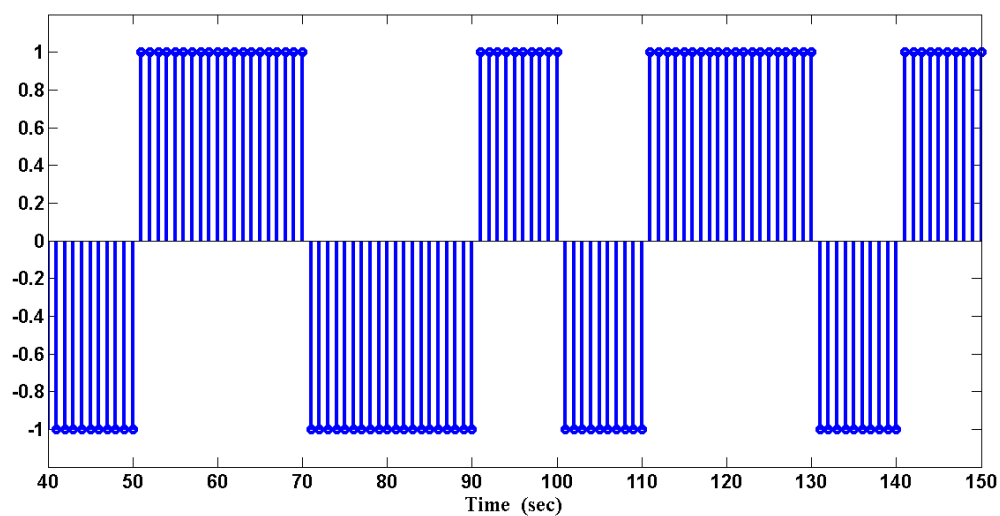
یکی از مهمترین مسایلی که در بحث شناسایی سیستم باید در نظر گرفته شود، انتخاب نوع سیگنال ورودی است. از لحاظ دید شناسایی، تغییرات بسیار شدید در ورودی که تمامی فرکانسهای سیستم را تحریک نماید ایده آل است، ولی در اکثر سیستمهای فیزیکی اعمال چنین سیگنال ورودی مجاز نیست و ممکن است به سیستم آسیب برساند و یا اعمال آن مقدور نباشد. اگر ورودی مناسب انتخاب نشود، شناسایی با موفقیت همراه نخواهد بود. یکی از سیگنالهایی که در شناسایی سیستم به عنوان یک ورودی مناسب شناخته شده است، سیگنال باینری شبه تصادفی PRBS است [۲۸]، [۳۹]. این سیگنال عملی تر، اعمال آن راحت تر، ذخیره سازی در کامپیوتر بهتر است.

سیگنال PRBS یک سیگنال شبه تصادفی باینری (صفر و یک) و متناوب است که معروفترین نوع آن توالی m^{61} نام دارد. یک توالی m دارای دوره تناوب $2^n - 1$ است که در یک دوره تناوب آن هر عدد باینری n بیتی (بجز صفر) یک بار اتفاق می افتد. اگر n ، تعداد بیت های عدد باینری باشد، $(2^n - 1)$ عدد باینری خواهیم داشت. در نتیجه توالی m ، توالی از اعداد باینری می باشد که به نظر بطور تصادفی انتخاب شده اند (هر چند هدفمند انتخاب شده اند بگونه ای که بتوان اعداد باینری n بیتی را در آن ایجاد کرد) لذا به آن توالی باینری شبه تصادفی می گویند. سیگنال PRBS را با استفاده از دستورات زیر که کتابخانه Contsid را باز نموده و سیگنال را می سازیم.

```
path(path,'C:\Contsid5_0\Contsid5_0')
U = PRBS(4,5,[-1 1]);
plot(U)
```

⁶⁰-Input selection

⁶¹-Maximal-length Sequence

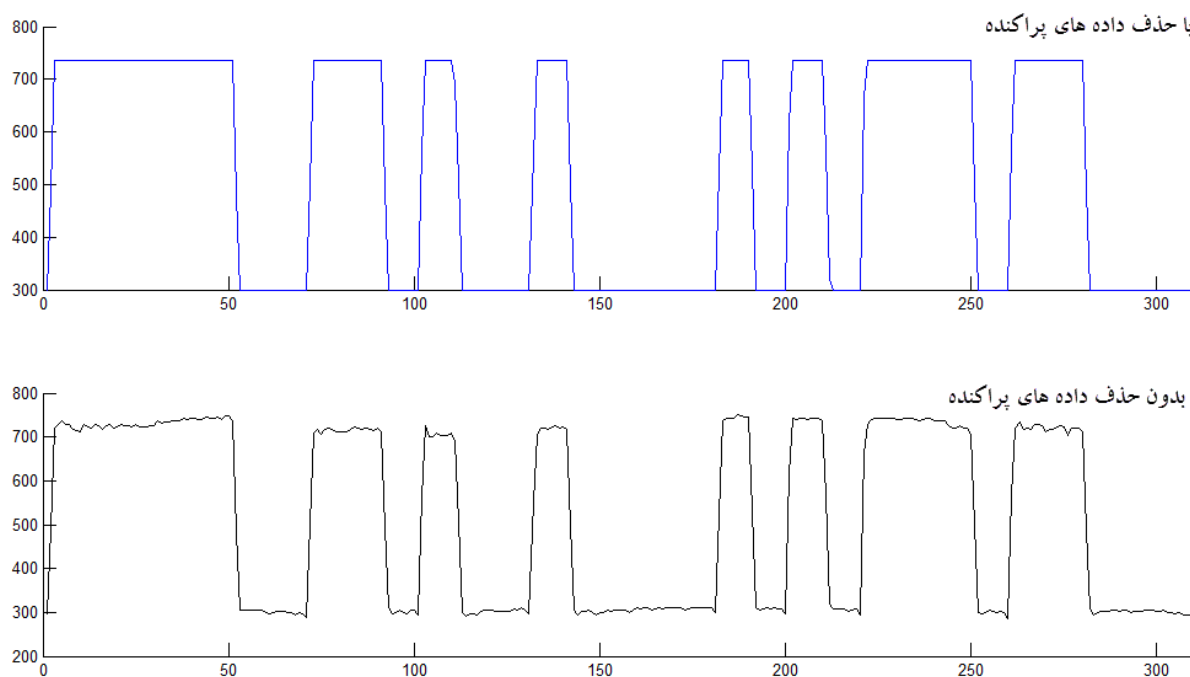


شکل ۴-۶) سیگنال PRBS

در این سیگنال ۱- به معنی آن است که سیلندر در نقطه ۷۰- میلی متری قرار بگیرد و ۱ به معنی آن است که سیلندر در نقطه ۷۰ میلی متری قرار بگیرد.

۷-۴ حذف داده‌های پراکنده

به طور طبیعی بدلیل خیلی دقیق نبودن میکروکنترل کننده مقدار نویز و پراکندگی در اندازه‌گیری ایجاد می گردد که باید آنها را حذف نمود. همچنین برای داده‌های بهتر و در نتیجه شناسایی بهتر این کارها را بر روی سیستم انجام می‌دهیم زیرا در زمانی که از این سیگنال مشتق می‌گیریم مشکل ایجاد می‌شود. دستگاه اندازه گیر ۱۰ بیت دقت دارد یعنی از ۰ تا ۱۰۲۴ می‌تواند بشمارد که البته ممکن است ۲۰ تا بیشتر یا کمتر خطا در اندازه‌گیری داشته باشد. به همین دلیل داده ها کمی خطا دارند که این خطا را به صورت دستی اصلاح می نماییم. در زیر می توانید این عمل را روی شکل‌ها ببینید:



شکل ۷-۴ حذف داده‌های پراکنده

فصل پنجم:

روش کمترین مربعات غیر خطی

❖ مقدمه

❖ روش کمترین مربعات غیر خطی

❖ روش کمترین مربعات غیر خطی با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت

❖ ضریب تعدیل گر توانی

❖ بدست آوردن پارامترهای معادله موقعیت عملگر سرونو ماتیکی و نوع

آنها

یکی از مسایل مبتلا به در حوزه مهندسی، مساله بهینه‌سازی می‌باشد که روشهای عددی مختلفی برای حل آن پیشنهاد شده است. روشهای عددی بهینه‌سازی غیرخطی به دو دسته کلی بهینه‌سازی سراسری^{۶۲} و بهینه‌سازی محلی^{۶۳} تقسیم بندی می‌شوند. در فنون و روش‌های بهینه‌سازی محلی غیرخطی الگوریتم‌های مبتنی بر گرادیان از مهمترین و عمومی‌ترین روش‌های شناسایی غیرخطی می‌باشند. از روش تخمین کمترین مربعات غیرخطی برای شناسایی غیرخطی معادلات موقعیت عملگر سرونوماتیکی که در فصل دوم بدست آمد و به شکل کلی (۳-۱) می‌باشد، استفاده می‌شود. در این الگوریتم‌ها با فرض یک تابع هزینه که میانگین مربعات خطا می‌باشد، گرادیان تابع هزینه نسبت به پارامترها سیستم که در روابط فصل دوم آورده شده است، استفاده می‌شود.

۵-۲) روش کمترین مربعات غیر خطی

یک مدل غیرخطی اینگونه توصیف می‌شود که یا در پارامترها غیرخطی باشد و یا ترکیبی از پارامترهای خطی و غیرخطی باشد. برای مثال گوسین، چند جمله‌ای، توانی همگی غیرخطی می‌باشند [۳۳]، [۳۴].

مدل‌های غیرخطی معمولاً به سختی با مدل‌های خطی تطبیق داده می‌شوند زیرا به سادگی نمی‌توان با فنون ماتریسی پارامترها را تخمین زد. روش تکراری کمترین مربعات غیرخطی به صورت زیر توصیف می‌گردد:

۱. ابتدا با یک پیش فرض مقادیر اولیه پارامترها را مشخص می‌نماییم.
۲. مقادیر پارامترها با استفاده از فرمول زیر تطبیق داده می‌شوند:

⁶²-Global Optimization

⁶³-Local Optimization

$$f(\underline{u}_t^T, \underline{\theta})$$

(۱-۵)

ژاکوبین معادله (۱-۵) را محاسبه می‌کنیم، که یک ماتریس مشتقات جزئی نسبت به پارامترها بدست می‌آید.

۳. بهنگام‌سازی پارامترها و تشخیص بهبود تطبیق به الگوریتم تطبیق بستگی دارد. الگوریتم‌ها

بدین شرح می‌باشند:

- بزرگترین شیب
- لونیبرگ-مارکوارت
- گوس-نیوتن

۴. تکرار فرآیند با بازگشت مرحله ۲ تا زمانی که تطبیق به معیار همگرایی مشخص

شده برسیم یا بعد از تعداد تکرار وفق دادن مشخص که دیگر تغییرات زیادی در

مقدار پارامترها نداشته باشیم، می‌توانیم از وزن دهی برای تطبیق مدل‌های

غیرخطی و تطابق فرآیند استفاده کنیم. زیرا این طبیعت فرآیند تخمین است، هیچ

الگوریتمی بدون خطا و اشتباه برای همه مدل‌های غیرخطی، با داده و نقطه شروع

مختلف نیست. بنابراین اگر به نتیجه قابل قبولی برای تطبیق با استفاده از نقطه

شروع، الگوریتم، و معیار همگرایی نرسیدیم، باید با مقادیر و الگوریتم‌های دیگر

آزمایش را تکرار کنیم.

روابط ریاضی روش حداقل مربعات غیرخطی بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$y_t = f(\underline{u}_t^T, \underline{\theta}) + e_t \quad (۵-)$$

(۲)

• y_t بردار پاسخ که $n \times 1$ ، f تابعی بر حسب $\underline{\theta}$ و $\underline{u}_t^T$ ، $\underline{\theta}$ بردار پارامترها که $m \times 1$ ، $\underline{u}_t^T$ ماتریس

طراحی برای مدل که $m \times n$ ، e_t بردار خطاها که $n \times 1$ می باشد.

تخمین پارامترها از رابطه زیر در یک حلقه تکراری بهینه می شود:

$$\theta_k = \theta_{k-1} - s_{\theta\theta}^{-1} \cdot s_{\theta|_{\theta=\theta_{k-1}}} \quad (5-)$$

(۳)

خطا را اینگونه تعریف می کنیم:

$$e_t = y_t - f(\underline{u}_t^T, \underline{\theta}) \quad (4-5)$$

مربعات خطا را نیز اینگونه تعریف می کنیم:

$$s = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^N e_t^2 = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^N [y_t - f(\underline{u}_t^T, \underline{\theta})]^2 \quad (5-5)$$

که در آن :

$$s_{\theta} = \sum_{t=1}^N \frac{\partial e_t}{\partial \underline{\theta}} \cdot e_t = J^T \cdot \underline{e} \quad (5-)$$

(۶)

$$\underline{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_N \end{bmatrix} \quad (5-)$$

(۷)

$$\frac{\partial e_t}{\partial \underline{\theta}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_t}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial e_t}{\partial \theta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_t}{\partial \theta_p} \end{bmatrix} \quad (8-5)$$

ماتریس ژاکوبین نیز اینگونه تعریف می‌شود:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_N}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial e_N}{\partial \theta_p} \end{bmatrix} \quad (9-5)$$

$$S_{\theta\theta} = \underbrace{\sum_{t=1}^N \left(\frac{\partial e_t}{\partial \theta} \right) \left(\frac{\partial e_t}{\partial \theta} \right)^T}_{J^T J} + \underbrace{\sum_{t=1}^N \frac{\partial^2 e_t}{\partial \theta^2} \cdot e_t}_R \quad (10-5)$$

به عبارت دیگر:

$$\theta_k = \theta_{k-1} - (J^T J + R)^{-1} \cdot J^T e \quad (11-5)$$

وقتی از معادله (۱-۳) ژاکوبین می‌گیریم ژاکوبین به پارامترها وابسته می‌باشد به همین دلیل باید از روش غیرخطی برای شناسایی پارامترها استفاده کنیم [۴۱]. معمولاً می‌خواهیم از محاسبه مشتق دوم (R) اجتناب کنیم. در این حالت بعضی روش‌های تقریبی استفاده می‌کنیم. روش‌های معروف در این حالت عبارتند از:

الف) گوس-نیوتن

$$\theta_k = \theta_{k-1} - (J^T J)^{-1} \cdot J^T e \quad (12-5)$$

ب) لونبرگ-مارکوارت

$$\theta_k = \theta_{k-1} - (J^T J + \alpha I)^{-1} \cdot J^T e \quad (13-5)$$

ج) بزرگترین شیب

$$\theta_k = \theta_{k-1} - \alpha \cdot J^T e \quad (14-5)$$

در روش‌های فوق مقدار α انتخابی است. که البته علاوه بر روش‌های بالا در این پایان نامه از روش جدیدی استفاده شده که نتایج در فصل ششم نمایش داده شده است.

۳-۵) روش کمترین مربعات غیر خطی با الگوریتم لوببرگ-مارکوارت

الگوریتم لوببرگ-مارکوارت اینگونه بدست می‌آید:

معادله غیر خطی را در نظر بگیرید:

$$y = f(X, \theta) \quad (۱۵-۵)$$

خطا

$$f(X, \theta) - y = e \quad (۱۶-۵)$$

مربعات خطا

$$\|e\|_2^2 = e^T e \quad (۱۷-۵)$$

تغییرات خطا نسبت به پارامترها را بدست می‌آوریم

$$\frac{\partial \|e\|_2^2}{\partial \theta} = 2 \frac{\partial e^T}{\partial \theta} e = 2J^T e \quad (۱۸-۵)$$

زمانی که به نقطه بهینه رسیدیم باید معادله (۴-۱۹) برابر صفر شود، این بعد از k تکرار اتفاق می‌افتد.

$$\theta^{(k+1)} = \theta^k + \Delta \theta^k \quad (۱۹-۵)$$

حالا اگر حول نقطه k بست تیلور بنویسیم، خواهیم داشت:

$$e^{(k+1)} = e^{(k)} + \frac{\partial e^{(k)}}{\partial \theta^{(k)}} \Delta \theta^k + \dots \quad (۲۰-۵)$$

از مشتق دوم به بعد بدلیل ناچیز بودن، صرفه نظر می‌کنیم.

$$e^{(k+1)} = e^{(k)} + J^{(k)} \Delta \theta^k \quad (21-5)$$

$$J^{(k)T} e^{(k+1)} = J^{(k)T} e^{(k)} + J^{(k)T} J^{(k)} \Delta \theta^k \quad (22-5)$$

$$J^{(k)T} J^{(k)} \Delta \theta^k - J^{(k)T} e^{(k+1)} = -J^{(k)T} e^{(k)} \quad (23-5)$$

در (24-5) برای بهینه کردن مقدار k ام جمله $-J^{(k)T} e^{(k+1)}$ را اینگونه در نظر می گیریم:

$$-J^{(k)T} e^{(k+1)} = \gamma \Delta \theta^k \quad (24-5)$$

$$J^{(k)T} J^{(k)} \Delta \theta^k + \gamma \Delta \theta^k = -J^{(k)T} e^{(k)} \quad (25-5)$$

$$\Delta \theta^{(k)} (J^{(k)T} J^{(k)} + \gamma) = -J^{(k)T} e^{(k)} \quad (26-5)$$

$$\Delta \theta^{(k)} = -(J^{(k)T} J^{(k)} + \gamma)^{-1} J^{(k)T} e^{(k)} \quad (27-5)$$

معادله (24-5) را در نظر بگیرید، $\Delta \theta^{(k)}$ معادله (27-5) می باشد.

5-3-1) ضریب تعدیل گر استاندارد:

در این ضریب تعدیل گر برای γ های اولیه این فرض را در نظر می گیریم:

$$\gamma_0 = \tau \times \max(J^T J_{ii}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (28-5)$$

m تعداد پارامترها است و برای بقیه γ ها عددی را خودمان مقداردهی می کنیم. البته روش های مختلفی برای تعیین مقدار γ ها پیشنهاد شده است. برای اطلاع بیشتر از این γ ها می توانید به مقالات [34], [35], [36] مراجعه نمایید.

5-4) ضریب تعدیل گر توانی:

با استفاده از معادله (28-5)، معادله زیر را برای ضریب تعدیل گر توانی خواهیم داشت:

جمله $J^{(k)T} J^{(k)}$ را در نظر بگیرید، ضریبی که برای این ضریب تعدیل گر پیشنهاد داده‌ایم در ادامه آورده شده است:

$$\gamma = -\text{diag}(J^{(k)T} J^{(k)}) + \left| \text{diag}(J^{(k)T} J^{(k)}) \right|^\beta \quad (29-5)$$

$$1 \leq \beta < \infty$$

β : عددی است که در صورت نیاز بزرگتر از یک و یا برابر یک می‌شود و اگر نیازی به تغییر نباشد همان عدد قبل باقی می‌ماند. تغییرات اینگونه اعمال می‌شود که اگر خطای جدید از خطای گذشته بیشتر باشد β را بزرگتر از یک (یک عدد تجربی) قرار می‌دهیم، اگر در این حالت خطا کمتر از خطای گذشته شد عدد درستی قرار داده‌ایم و اگر خطا بیشتر از خطای گذشته شد در این صورت β را برابر یک یا از یک کوچکتر می‌کنیم. اگر هم خطا کوچکتر از خطای گذشته شود دیگر β را تغییری نمی‌دهیم.

ویژگی‌های ضریب تعدیل گر توانی:

همانند ضریب تعدیل گر استاندارد، به طور مستقیم درایه قطر اصلی را در تغییرات تاثیر می‌دهیم و هر درایه قطر اصلی به نسبت مقدار خود تاثیر در تغییرات می‌گذارد. یعنی اگر درایه اصلی عدد بزرگی باشد با به توان رسیدن تاثیر بیشتری در تغییرات پارامتر خود خواهد داشت و اگر عدد کوچک باشد باز به اندازه خود در تغییر پارامتر خود تاثیر می‌گذارد. معادله (۲۰-۵) را در نظر بگیرید، باید معادله (۲۷-۵) را در آن قرار دهیم و با تکرارهای که تعیین می‌کنیم به سمت مقدار بهینه حرکت کنیم. با توجه به معادله پیشنهادی (۲۹-۵)، که آن را در (۲۷-۵) قرار می‌دهیم به نتیجه زیر می‌رسیم:

$$\Delta \theta^{(k)} = -(J^{(k)T} J^{(k)} - \text{diag}(J^{(k)T} J^{(k)}) + \left| \text{diag}(J^{(k)T} J^{(k)}) \right|^\alpha)^{-1} J^{(k)T} e^{(k)} \quad (30-5)$$

برای مشهود بودن عملکرد این روش به مثال (۱-۵) توجه نمایید.

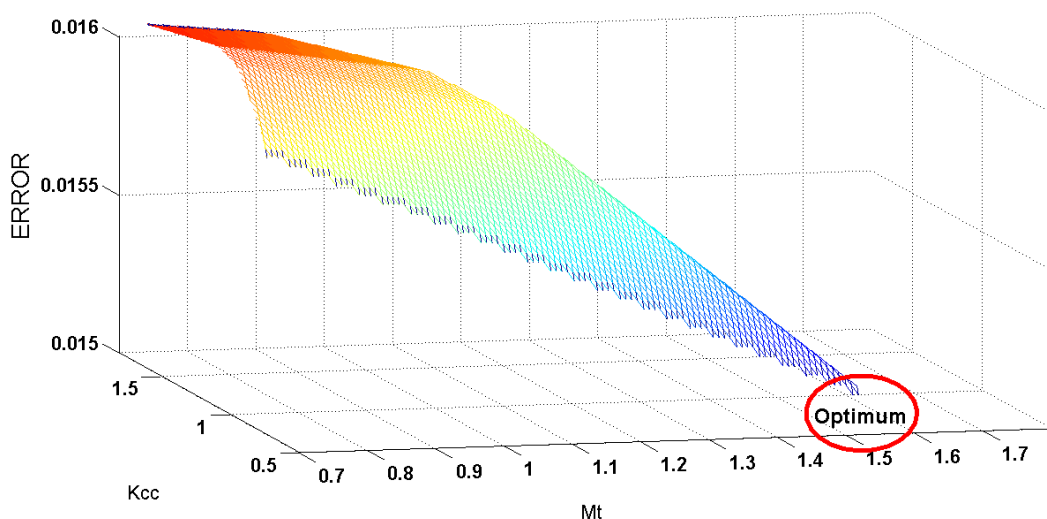
مثال ۵-۱) در این مثال سه پارامتر برای شناسایی داریم، یعنی ماتریس ژاکوبین پارامترها $۱*۳$ است.

$$J^{(k)T} J^{(k)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

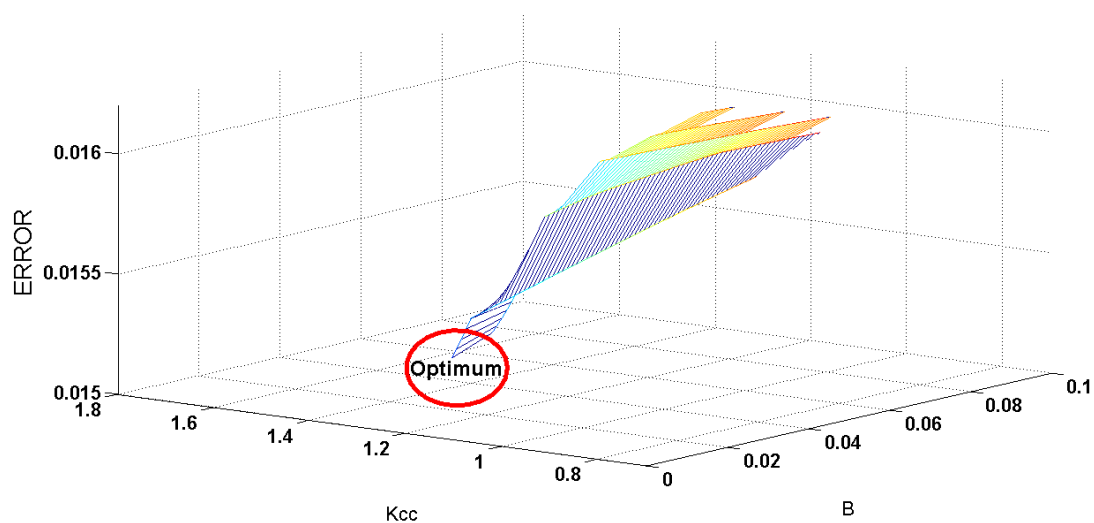
پس از اعمال معادله (۵-۲۹)

$$(J^{(k)T} J^{(k)} + \gamma) = \begin{bmatrix} a_{11}^\beta & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22}^\beta & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33}^\beta \end{bmatrix}$$

مفهوم این می‌شود که اگر توان را از یک بزرگتر کنیم سرعت موقعیت برای رسیدن به نقطه مینیمم بیشتر می‌شود یا به عبارتی گام‌های پرش در رسیدن به نقطه مینیمم بزرگتر می‌شود و هرچه توان به یک نزدیکتر شود سرعت موقعیت برای رسیدن به نقطه مینیمم کمتر می‌شود یا به عبارتی گام‌های پرش در رسیدن به نقطه مینیمم کوچکتر می‌شود. به شکل‌های سه بعدی زیر توجه فرمایید، در این شکل‌ها نحوه میل کردن مقدار بهینگی به سمت معیار بهینگی را نشان داده‌ایم:



شکل ۵-۱) میل به سمت مقدار بهینه $MSE = ۰.۰۱۵$ خطا نسبت به تغییرات Mt و Kc با فرض ثابت b

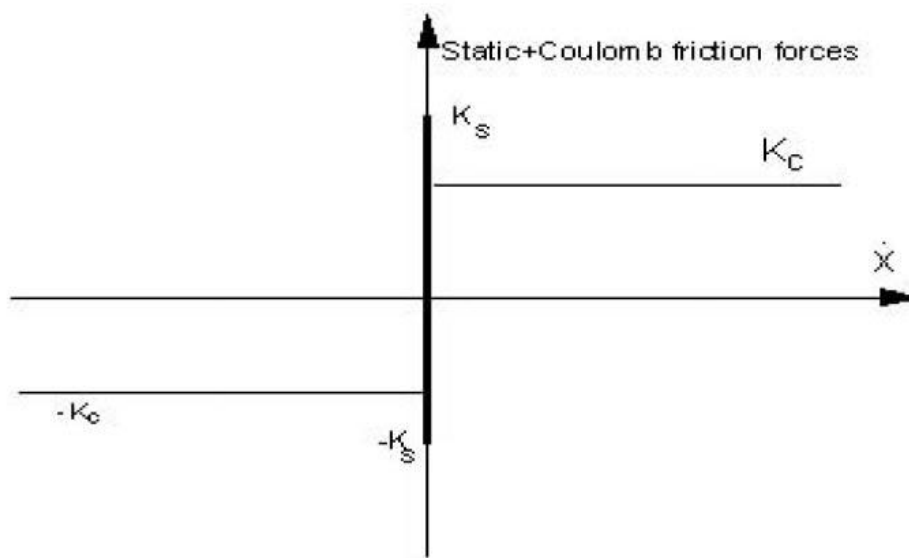


شکل (۲-۵) میل به سمت مقدار بهینه $MSE = (0.015)$ خطا نسبت به تغییرات b و Kc با فرض ثابت Mt

معیار بهینگی در این پایان نامه رسیدن به مقدار خطای معین می‌باشد که در شکل‌های (۱-۵) و (۲-۵) مشاهده می‌کنید.

(۴-۵) بدست آوردن پارامترهای مدل موقعیت عملگر سرونوماتیکی و نوع آنها

معادله موقعیت عملگر سرونوماتیکی که در (۱-۳) آمده است را در نظر بگیرید، نیروی اصطکاک را ترکیبی از اصطکاک استاتیک و کلمب که در (۳۱-۵) آمده در نظر می‌گیریم [۱۲]:



شکل ۳-۵) اصطکاک استاتیک و کلمب [۱۲]

$$F_f + F_l = k_{s-c}(x)S(\dot{x}, P_a, P_b) = \begin{cases} -(A_a P_a - A_b P_b), & \dot{x} = 0, |A_a P_a - A_b P_b| \leq k_s(x) \\ k_c(x)\text{sign}(\dot{x}), & \dot{x} \neq 0 \end{cases}$$

(۳۱-۵)

آنگاه معادله موقعیت به صورت زیر خواهد بود:

$$(M_l + M_p) = M_t$$

(۳۲-۵)

$$\ddot{X} = \frac{1}{M_t} (-\beta \dot{X} - k_{s-c}(x)S(\dot{x}, P_a, P_b) + P_1 A_1 - P_2 A_2)$$

(۳۳-۵)

با این تفاسیر پارامترهای سیستم غیرخطی بدین صورت می‌باشند: M_t مجموع جرم میله سیلندر و بار ،

B پارامتر ویسکوزیته، K_c پارامتر نیروی اصطکاک کلمب می‌باشد.

مدل فیزیکی عملگرسرونیوماتیکی مشخص می‌باشد ولی پارامترهای آن مجهول است. در این حالت می‌خواهیم با اطلاعات اندازه‌گیری شده، پارامترهای مجهول در ساختار غیرخطی را تخمین بزنیم. بدلیل آنکه ژاکوبین پارامترها وابسته به پارامترها می‌باشد لذا از روشهای خطی نمی‌توان استفاده نمود [۴۱].

از اینرو در این پایان‌نامه از روش کمترین مربعات غیرخطی استفاده کرده‌ایم.

فصل ششم:

برنامه کمترین مربعات غیر خطی و شبیه سازی

❖ مقدمه

❖ برنامه کمترین مربعات غیر خطی

❖ ورودی اعمالی به عملگر جهت شناسایی

❖ محاسبه فشار سیلندر

❖ خطا

❖ اصطکاک

❖ مقدار پارامترهای شناسایی شده

❖ شبیه سازی

❖ مقایسه مدل واقعی و شبیه سازی

❖ بررسی صحت عملکرد روش کمترین مربعات غیر خطی

۶-۱) مقدمه

مدل سازی و شبیه سازی کمک به درک بهتر از چگونگی عملکرد سیستم های دنیای واقعی می کنند، همچنین آنها برای پیش بینی رفتار سیستم، پیش از ساخته شدن واقعی آن و تحلیل سیستم ها تحت شرایط عملیاتی متفاوت کمک می نماید. مدل سازی و شبیه سازی با استفاده از نرم افزار MATLAB پوشش جامعی بر جنبه های مهم مدل سازی و شبیه سازی در هر دو سیستم های فیزیکی و مفهومی ارائه می دهد. شبیه سازی را با استفاده از سیمولینک که نرم افزاری برای مدل سازی، شبیه سازی و تجزیه و تحلیل سیستم های دینامیکی در نرم افزار MATLAB انجام می دهیم. شبیه سازی و روش کمترین مربعات غیرخطی در ادامه آورده شده است.

۶-۲) برنامه کمترین مربعات غیرخطی

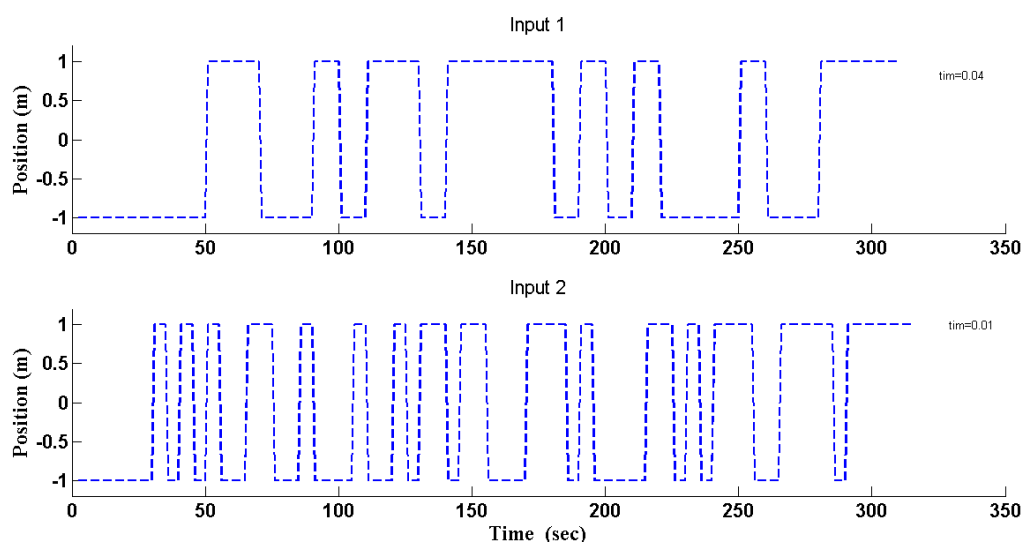
توجه نمایید، ابتدا با استفاده از M-file در متلب پارامترهای معادله حرکت (۲-۱) را با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت شناسایی کرده و بعد پارامترهای شناسایی شده را در محیط سیمولینک شبیه سازی می کنیم تا با مقایسه خروجی مدل واقعی با شبیه سازی شده به کارآمدی این روش برسیم. با توجه به آنکه روش کمترین مربعات غیرخطی در فصل پنجم اشاره گردید، در پیوست شماره ۲ برنامه متلب آورده شده است. ابتدا ورودی های و خروجی های اندازه گیری شده را بصورت پیوست شماره ۲ پیش پردازش کرده تا برای استفاده در الگوریتم ها آماده شوند.

اکنون که ورودی ها و خروجی های سیستم واقعی برای استفاده در روش کمترین مربعات غیرخطی آماده می باشد، به برنامه الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر استاندارد در پیوست شماره ۳ اشاره می کنیم که نتایج این الگوریتم در ادامه آورده شده است.

عملکرد الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر توانی در فصل پنجم توضیح داده شد، همچنین برنامه متلب آن در پیوست شماره ۴ آورده شده است.

۳-۶ ورودی اعمالی به عملگر جهت شناسایی

همانگونه که در فصل ۳ توضیح دادیم باید ورودی برای شناسایی مدل عملگر سرونوماتیکی از نوع PRBS باشد. در ورودی یک، فاصله زمانی اعمال یک عدد تا عدد^{۶۴} بعد ۴۰ میلی ثانیه و در ورودی دو ۱۰ میلی ثانیه است. در زیر شکل هر دو ورودی آورده شده است:



شکل ۶-۱) ورودی یک و دو برای شناسایی

۴-۶ محاسبه فشار سیلندر

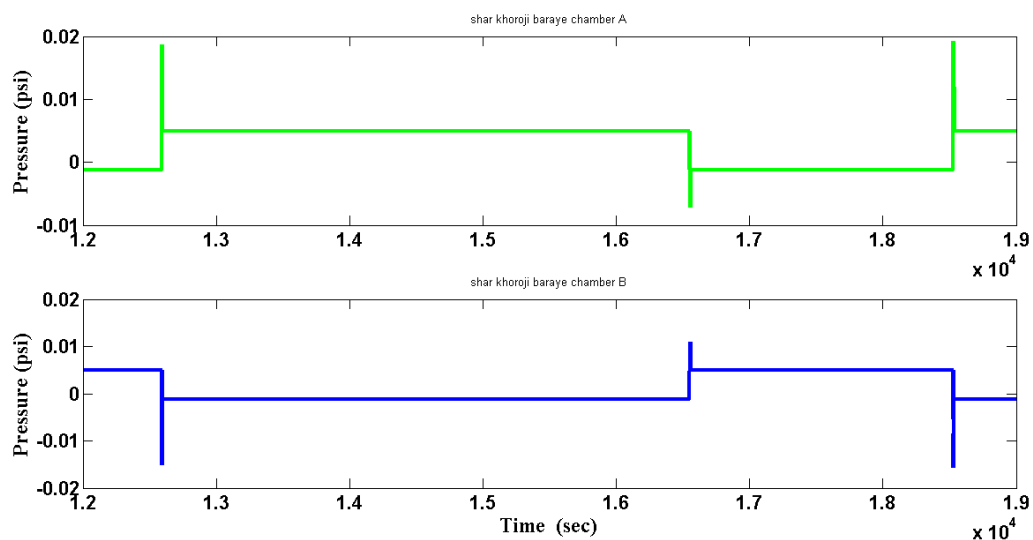
معادلات فشار عملگر سرونوماتیکی در (۳-۲) تا (۳-۱۱) آورده شده است، در اینجا به مقادیر پارامترهای و شکل فشار در شیر و عملگر اشاره می کنیم:

$$P_e = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2, P_{atm} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2, T_s = 293 \text{ K}, R = 287 \frac{\text{J/kg}}{\text{K}}, K=1.2$$

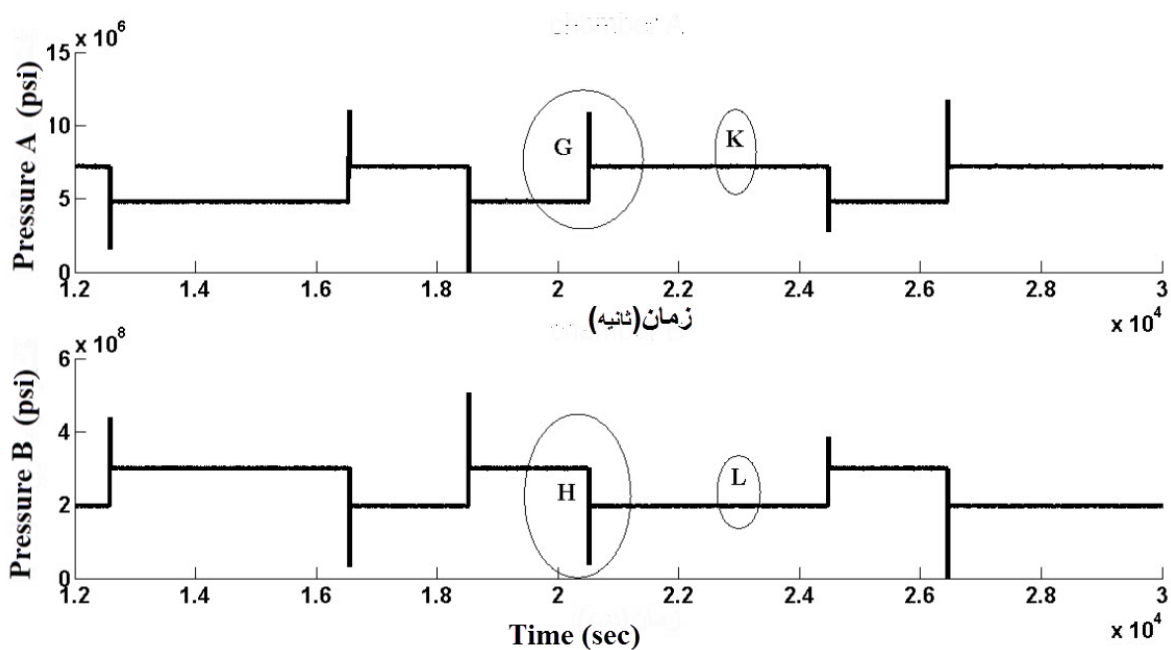
$P_s = 2.2 \text{ N/m}^2$ می باشد. براساس معادلاتی که در بالا بیان گردید خواهیم داشت [۱۲]:

^{۶۴}منظور از یک عدد تا عدد بعد اعداد ۱ و ۱- است برای اطلاعات بیشتر به فصل ۳ مراجعه شود.

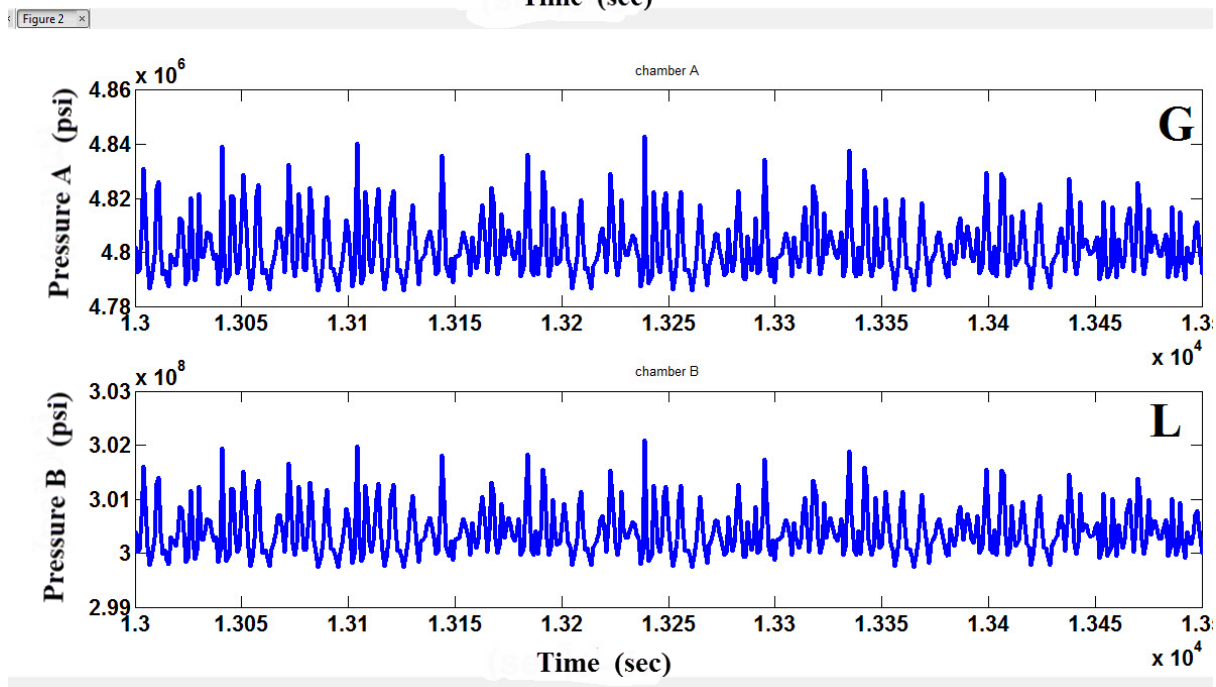
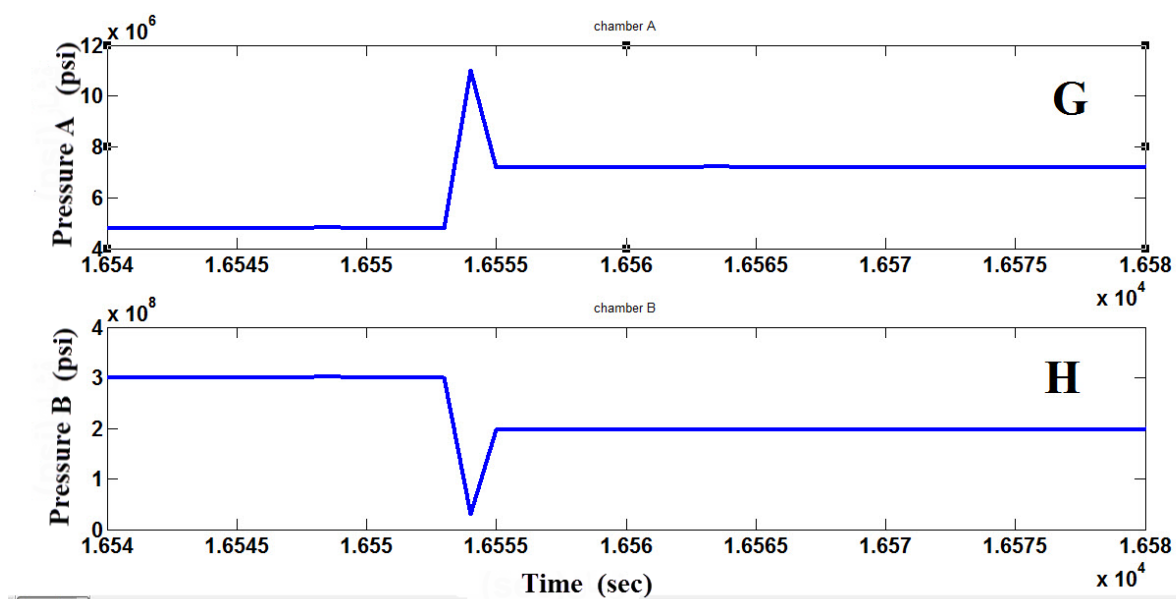
$$C_d = 0.2, \quad C_k = 3.864, \quad C_0 = 0.04, \quad C_r = 0.525$$



شکل ۶-۲) فشار خروجی از شیر به سمت مخزن A و B سیلندر



شکل ۶-۳) فشار مخزن A و B



شکل ۴-۶) بزرگ نمایی فشار مخزن A و B (قسمت G,H)

۵-۶) خطا

ابتدا با استفاده از داده‌های واقعی و الگوریتم لونبرگ-مارکوارت پارامترهای معادله حرکت (۱-۳) را شناسایی کرده، سپس این پارامترهای شناسایی شده را در سیمولینک متلب گذاشته و نتایج شبیه‌سازی را با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی مقایسه می‌کنیم. پس توجه داشته باشید که خطای الف

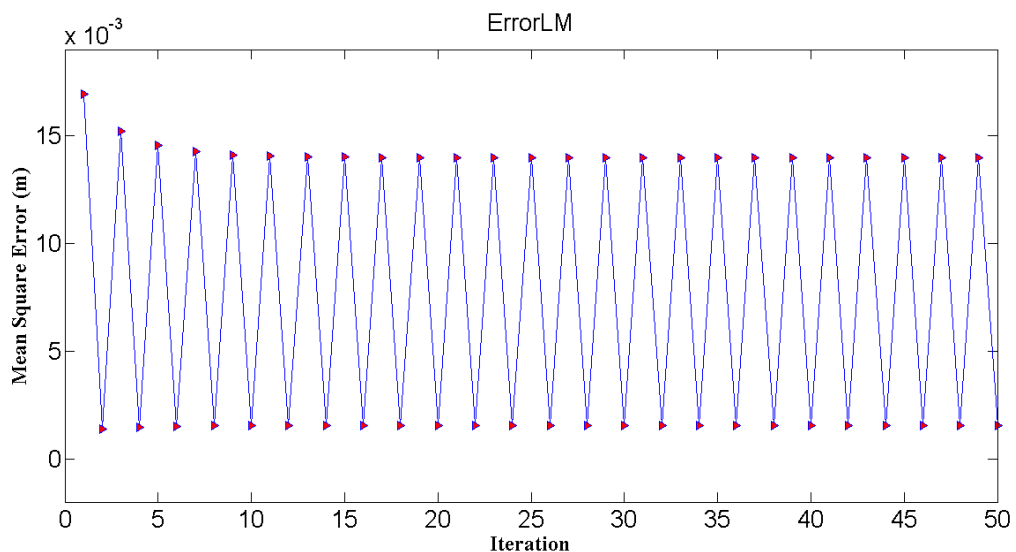
مربوط به الگوریتم لونبرگ-مارکورات به روش میانگین مربعات خطا می‌باشد و خطای ب مربوط به مقایسه موقعیت اندازه‌گیری شده واقعی و موقعیت اندازه‌گیری شده در سیمولینک می‌باشد:

خطای الف) معیار سنجش خطا در این پایان نامه میانگین مربعات خطا می‌باشد. که در زیر به آن اشاره شده است [۳]:

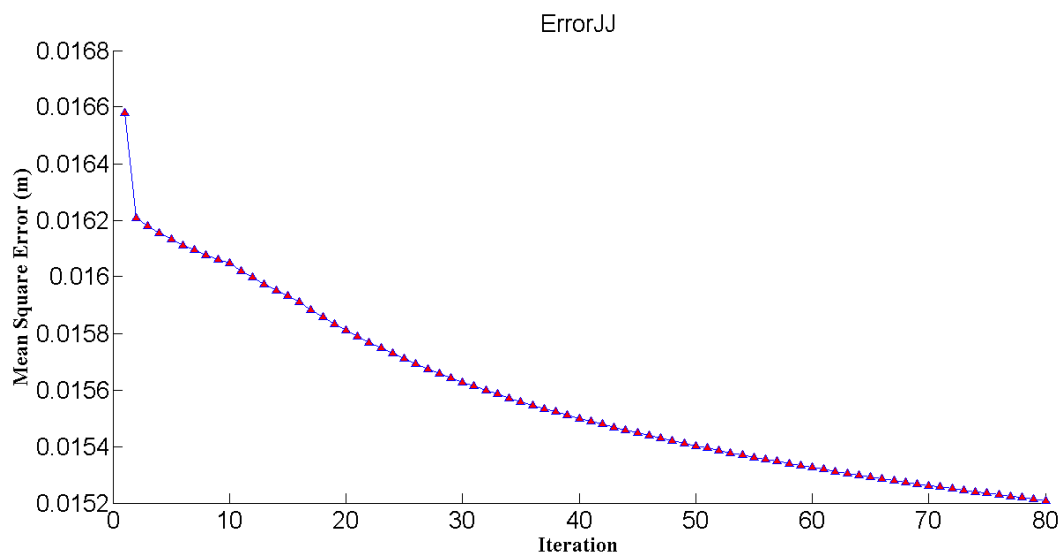
$$MSE(\hat{x}) = E[(\hat{x} - x)^2]$$

(۱-۶)

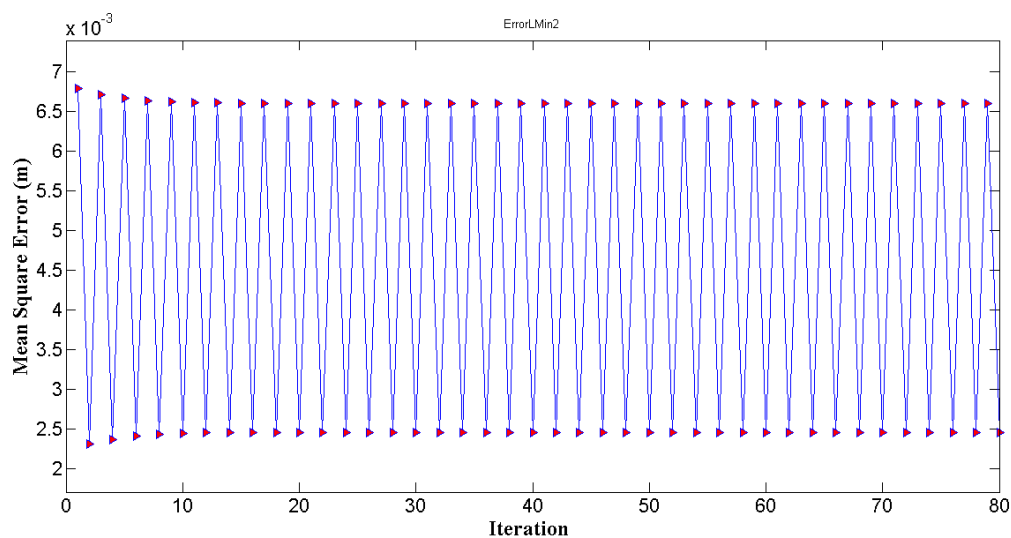
خطای موقعیت الگوریتم لونبرگ-مارکورات را برای دو ضریب تعدیل گر استاندارد و توانی برای دو ورودی شکل (۱-۶) و به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$ ، $b=120$ ، $Kc=45$ در زیر نشان داده‌ایم.



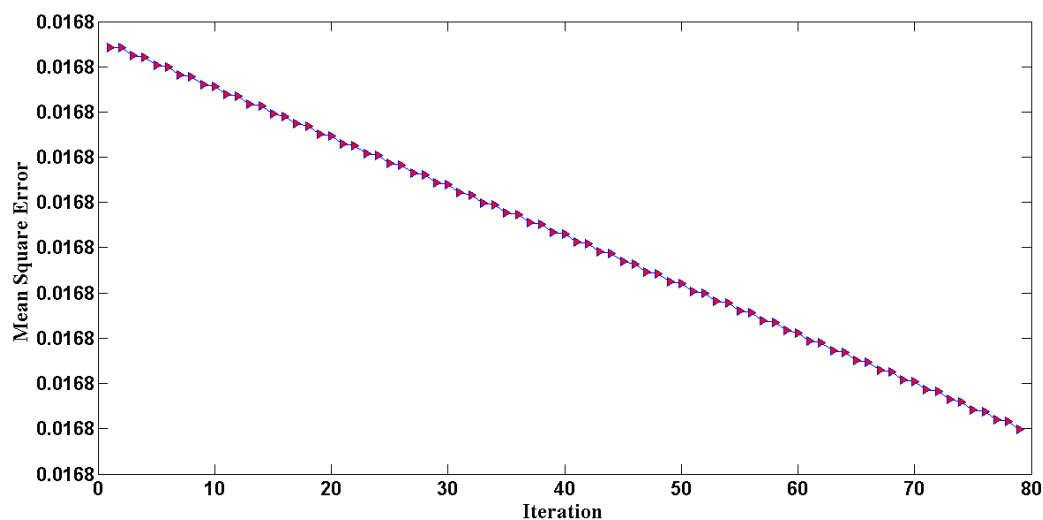
شکل ۵-۶) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکورات با ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی یک



شکل ۶-۶) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر توانی به ورودی یک



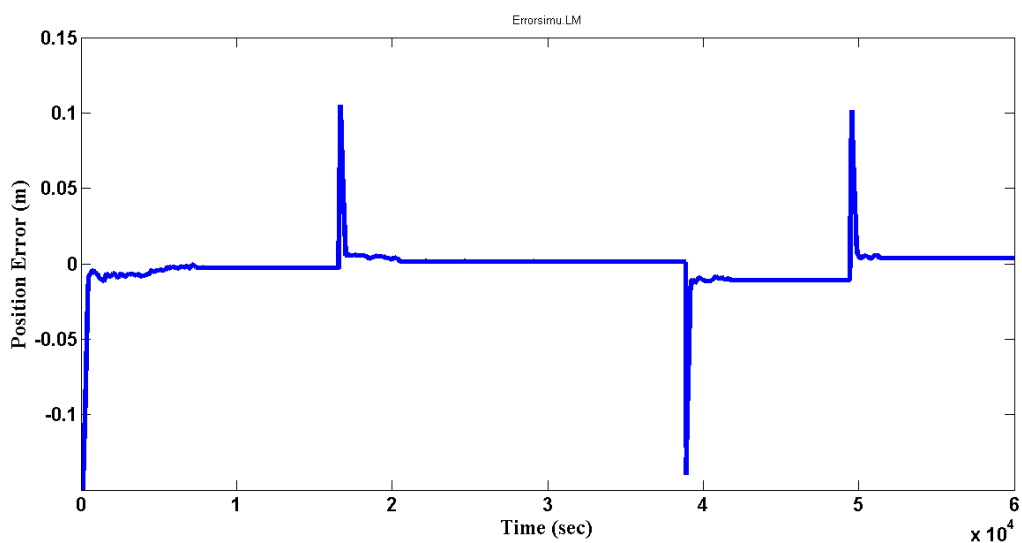
شکل ۶-۷) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گراستANDARD به ورودی دو



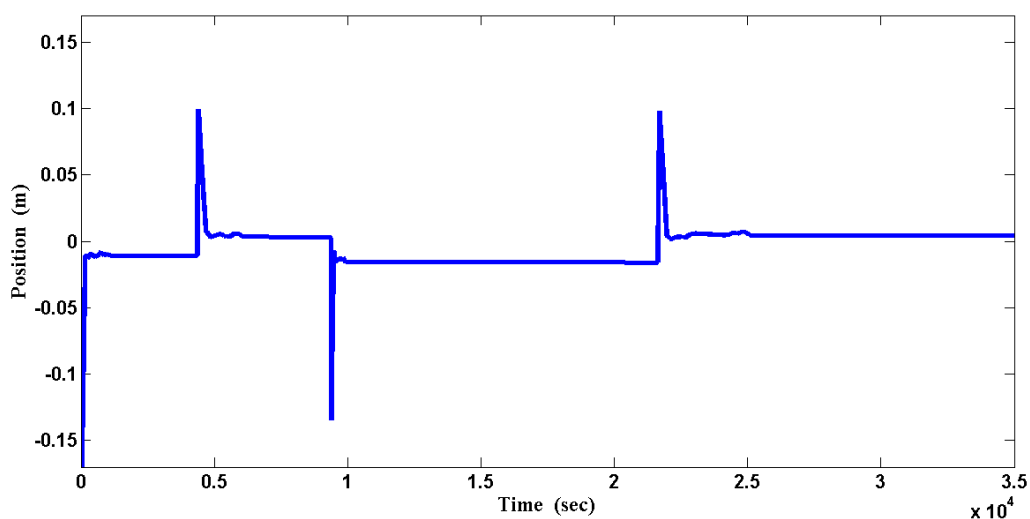
شکل ۶-۸) خطای موقعیت در الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گرتوانی به ورودی دو

می‌بینیم که خطای موقعیت ضریب تعدیل گر استاندارد به ازای ورودی یک ۰.۰۱۵ است و با توجه به اینکه طول حرکت پیستون عملگر ۰.۱۴ متر است، پس خطا در این حالت ۱۰٪ است. همین طور خطای موقعیت ضریب تعدیل گرتوانی به ازای ورودی یک نیز ۱۰٪ است. خطای موقعیت ضریب تعدیل گر استاندارد به ازای ورودی دو نیز ۵٪ است. خطای موقعیت ضریب تعدیل گرتوانی به ازای ورودی یک نیز ۵٪ است.

خطای ب) حالا خطای مربوط به مقایسه موقعیت اندازه‌گیری شده واقعی با موقعیت اندازه‌گیری شده شبیه‌سازی می‌پردازیم:



شکل ۶-۹) خطای مقایسه مدل واقعی و شبیه‌سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد

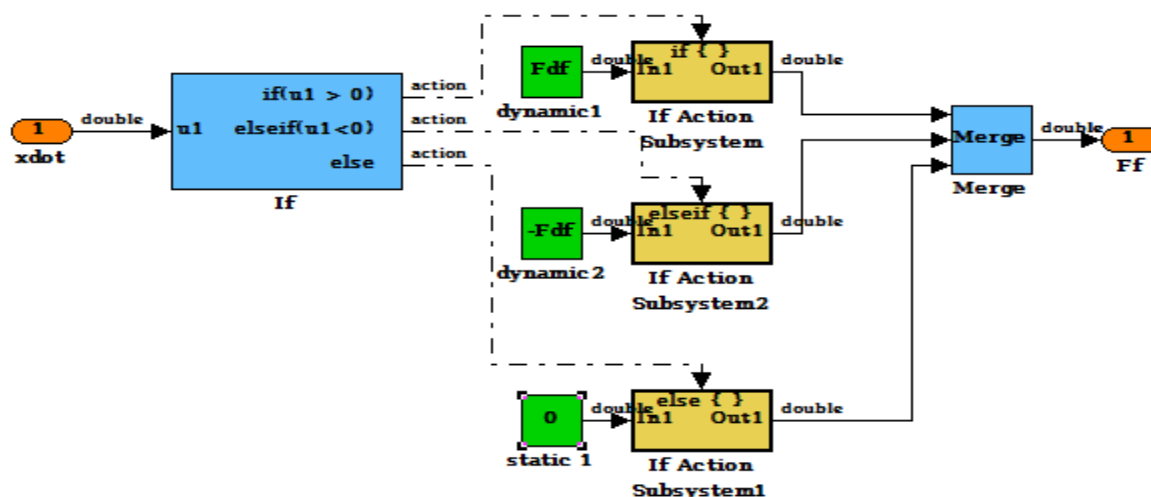


شکل ۶-۱۰) خطای مقایسه مدل واقعی و شبیه‌سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی

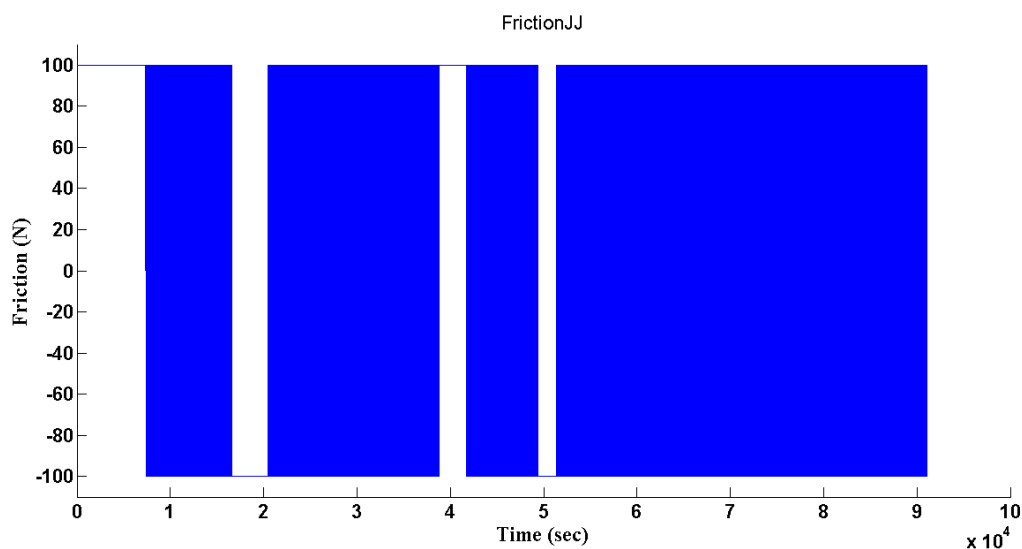
با توجه به شکل‌های (۶-۹) و (۶-۱۰) می‌توان دریافت که الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر استاندارد نسبت به الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با ضریب تعدیل گر توانی خطای کمتری دارد .

۶-۶ اصطکاک

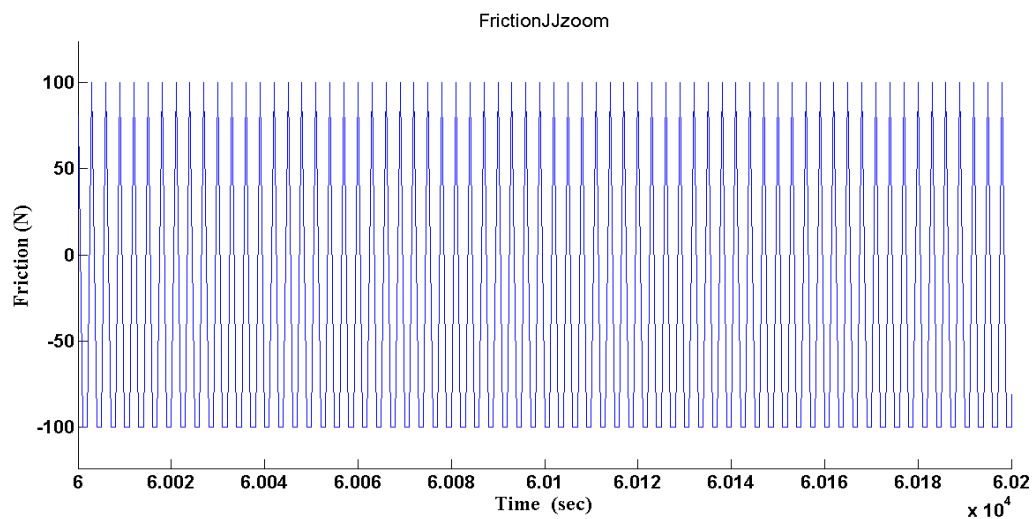
اصطکاکی که برای شناسایی این عملگر در نظر گرفتیم در فصل ۴ به آن اشاره شد. در زیر اصطکاک در شبیه‌سازی را برای دو ضریب تعدیل گر نشان می‌دهیم:



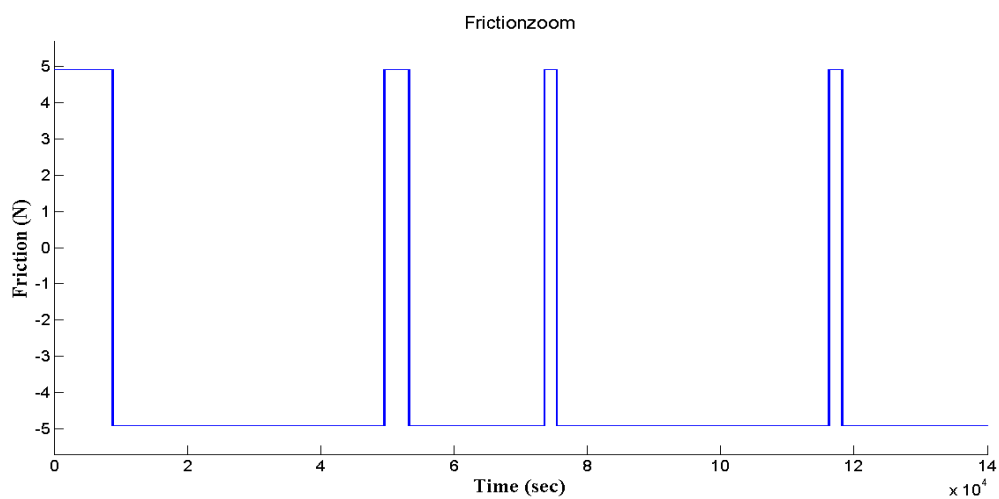
شکل ۶-۱۱) سیمولینک اصطکاک



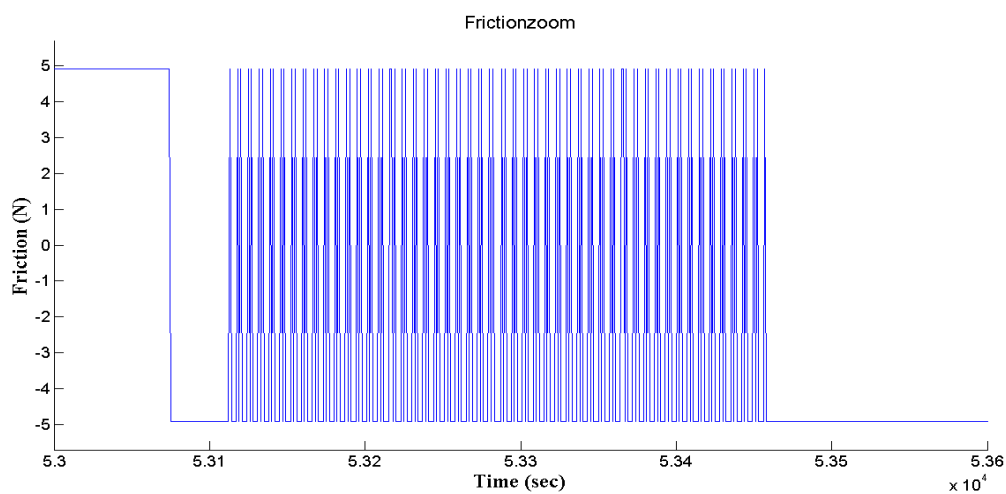
شکل ۶-۱۲) اصطکاک شبیه‌سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد



شکل ۶-۱۳) بزرگ نمایی اصطکاک شکل (۶-۱۲)



شکل ۶-۱۴) اصطکاک شبیه سازی برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی



شکل ۶-۱۵) بزرگ نمایی اصطکاک شکل (۶-۱۴)

۷-۶ مقدار پارامترهای شناسایی شده

جدول پارامترهای شناسایی شده با استفاده از الگوریتم لونبرگ-مارکوارت به ازای معیار

$$\text{خطای MSE} = 0.01$$

جدول ۱-۶) پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد

شرایط اولیه	mt	b	Kc
$Kc=50, b=120, mt=0.7$	0.3035	131.9341	54.1346
$Kc=45, b=120, mt=0.7$	0.3041	130.5844	54.8586
$Kc=45, b=125, mt=0.7$	0.3044	131.0156	53.4372
$Kc=50, b=130, mt=0.7$	0.3040	132.0276	52.8940
$Kc=45, b=130, mt=0.7$	0.3035	131.3810	55.0266
$Kc=55, b=130, mt=0.7$	0.3038	131.2591	54.4967
میانگین پارامترها	0.3039	131.87	53.51

جدول ۲-۶) پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی

شرایط اولیه	mt	b	Kc
$Kc=50, b=120, mt=0.7$	0.267	111.3	48.3
$Kc=45, b=120, mt=0.7$	0.287	109.4	49.6
$Kc=45, b=125, mt=0.7$	0.28	107	48.8
$Kc=50, b=130, mt=0.7$	0.26	112.3	52.3
$Kc=45, b=130, mt=0.7$	0.274	108.8	50.2
$Kc=55, b=130, mt=0.7$	0.25	110.5	50.1
میانگین پارامترها	0.28	110.9	49.8

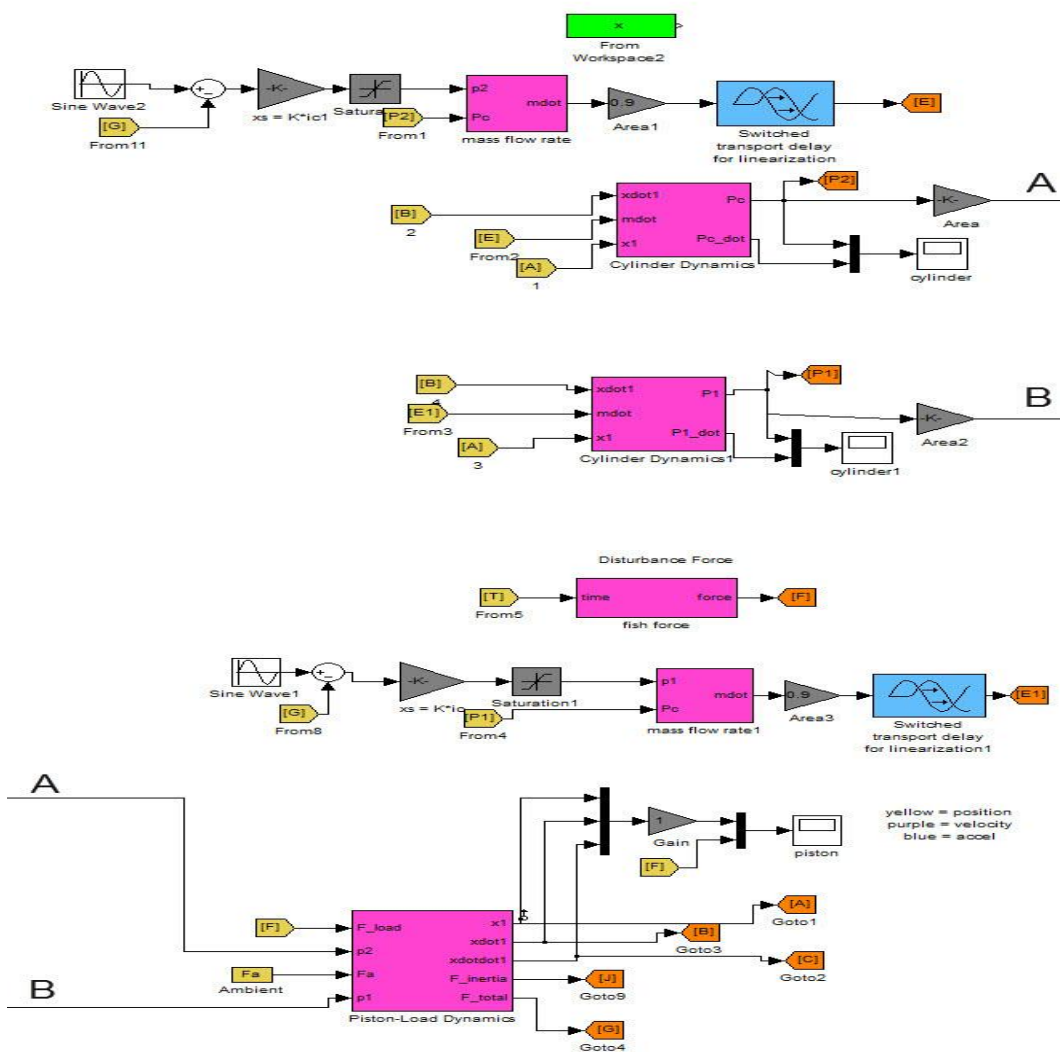
پارامترهای شناسایی شده در دو روش کمی متفاوت می باشد اما تقریباً به هم نزدیک می باشند.

۸-۶ شبیه سازی

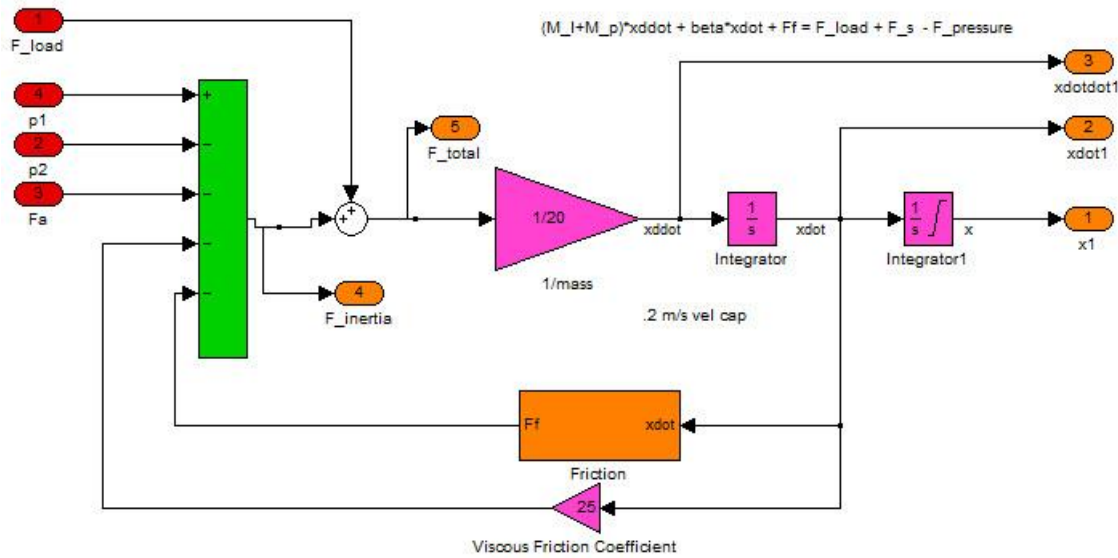
شبیه سازی عملگر سرونوماتیکی به قسمت های اصلی زیر تقسیم می شود:

- معادلات موقعیت
- معادلات فشار
- معادلات شیر نیوماتیکی

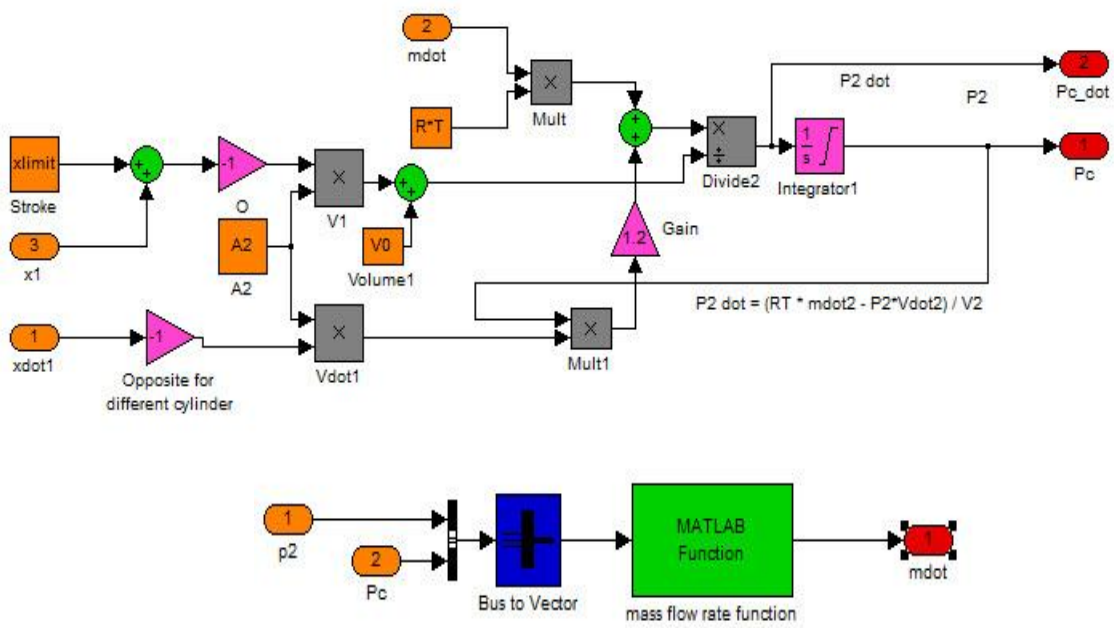
ابتدا همان ورودی های را که برای شناسایی عملگر سرونوماتیکی اعمال نمودیم را به سیستم شبیه سازی شده اعمال می کنیم.



شکل ۱۶-۶) بلوک دیاگرام کلی عملگر سرونوماتیکی



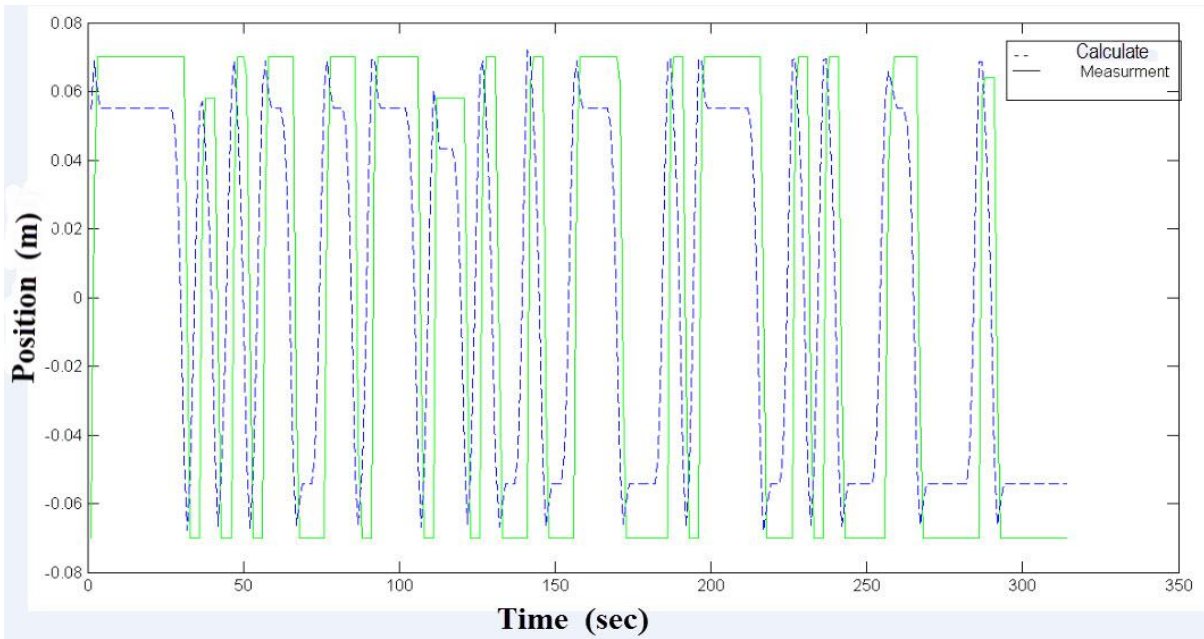
شکل ۶-۱۷) بلوک دیاگرام معادله موقعیت



شکل ۵-۱۸) بلوک دیاگرام معادله فشار و شار ورودی از شیرها

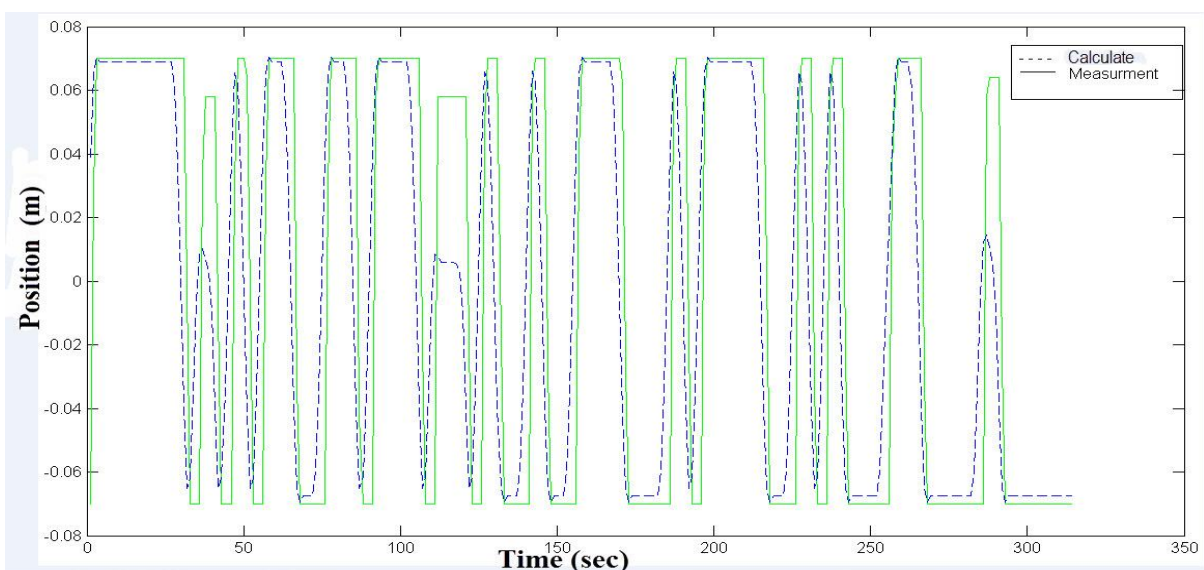
۶-۸-۱) مقایسه مدل واقعی و شبیه سازی

در این بخش موقعیت اندازه گیری شده در واقعیت را با موقعیت بدست آمده از الگوریتم لونبرگ-مارکوارت و همچنین شبیه سازی مقایسه می کنیم. در شکل های زیر خط ممتد موقعیت اندازه گیری شده در واقعیت و خط چین موقعیت محاسبه شده در الگوریتم ها می باشد.

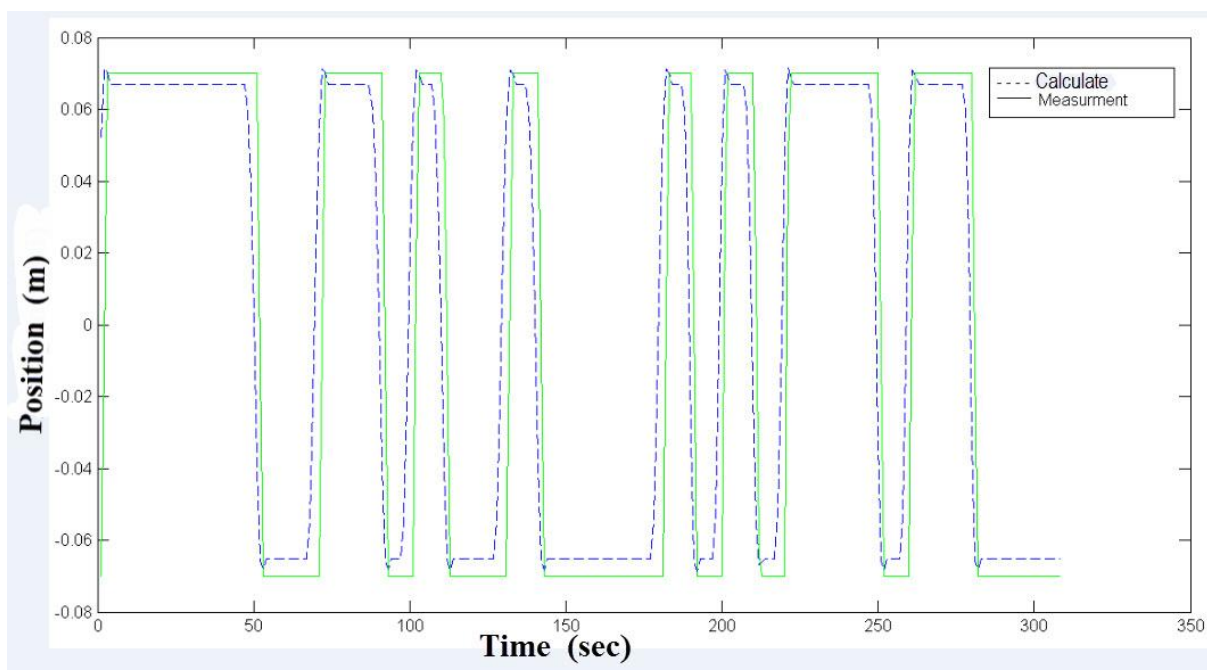


شکل ۶-۱۹) ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی یک به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$, $Kc=45$ و میانگین مربع خطای

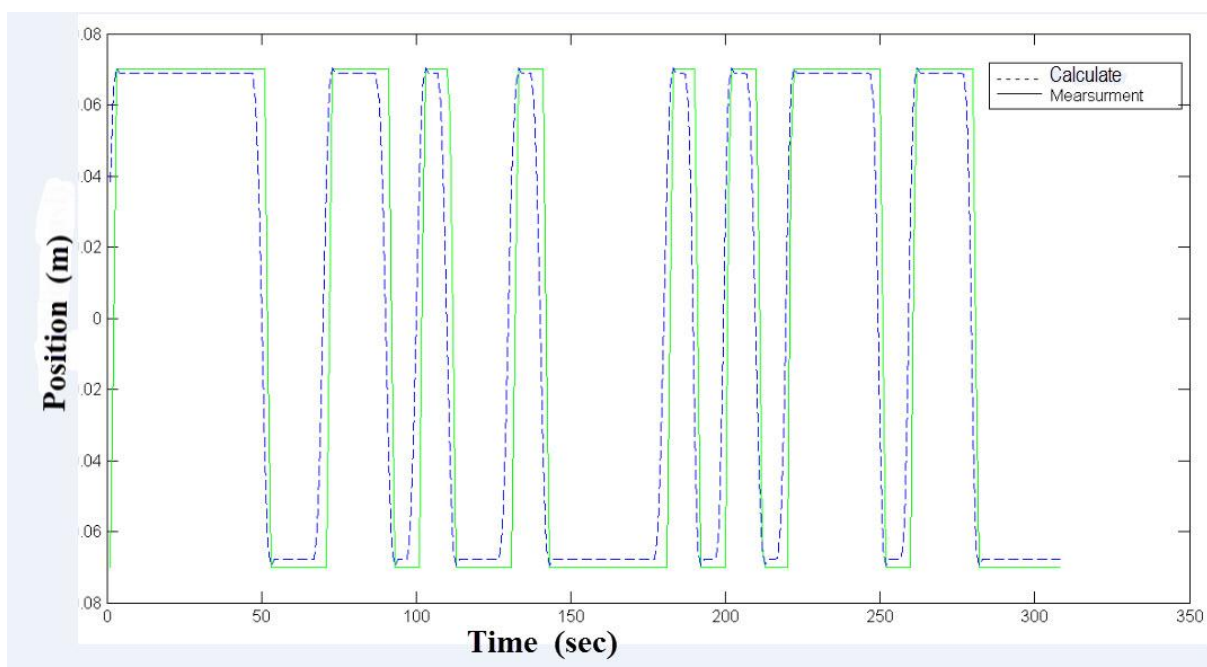
۰.۰۱



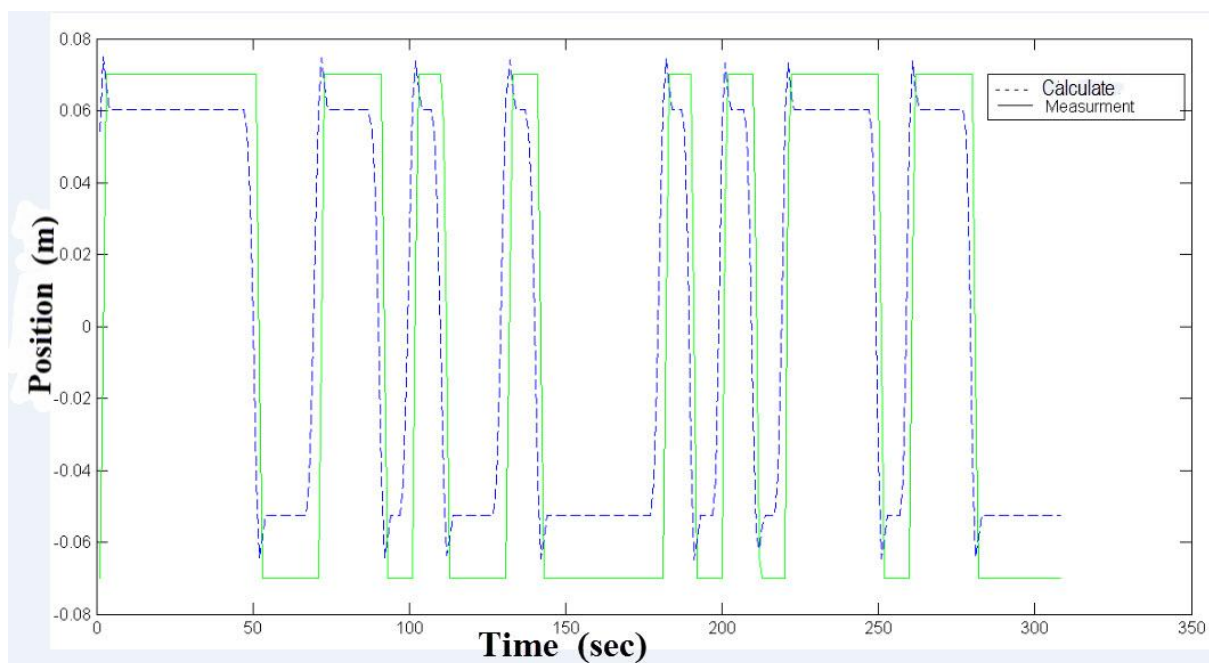
شکل ۶-۲۰) ضریب تعدیل گر توانی به ورودی یک به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$, $Kc=45$ و میانگین مربع خطای ۰.۰۱



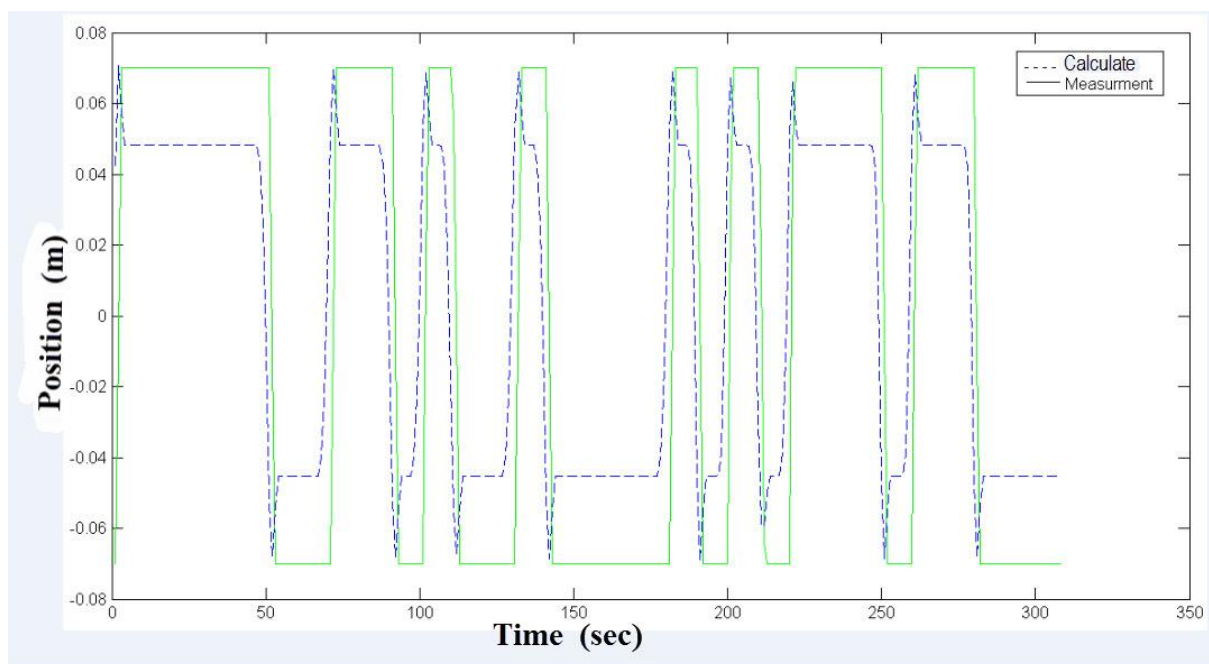
شکل ۶-۲۱) ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$, $Kc=55$ و میانگین مربع خطای ۰.۰۱



شکل ۶-۲۲) ضریب تعدیل گر توانی به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=120$, $Kc=55$ و میانگین مربع خطای ۰.۰۱



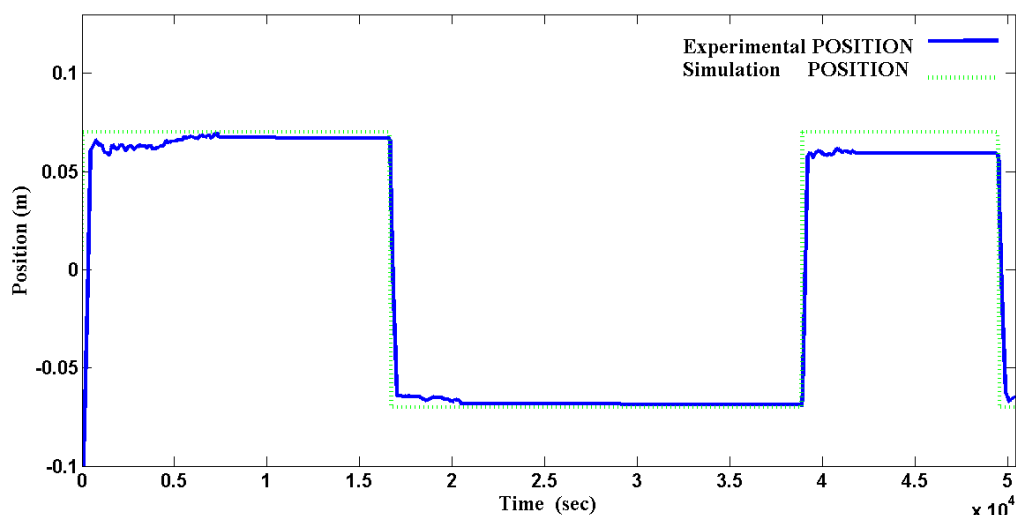
شکل ۶-۲۳) ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=130$, $K_C=50$ و میانگین مربع خطای 0.0002



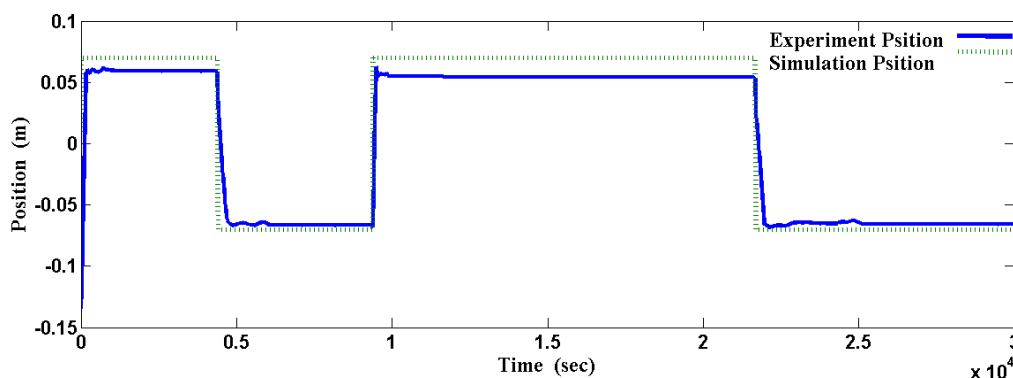
شکل ۶-۲۴) ضریب تعدیل گر توانی به ورودی دو به ازای شرایط اولیه $mt=0.7$, $b=130$, $K_C=50$ و میانگین مربع خطای 0.0002

در شکل‌های بالا دو ضریب تعدیل گر را به ازای ورودی و شرایط اولیه مختلف بررسی کردیم. می‌توان از مقایسه شکل‌ها کارآیی ضریب تعدیل‌گرتوانی را تشخیص داد. توجه هم دارید برای شناسایی هر سیستمی ممکن است روشی به خوبی عمل نماید اما روش‌های دیگر پاسخگو نباشد. در اینجا هم اینگونه است یعنی ضریب تعدیل گر توانی پیشنهاد شده جواب مطلوبی داده است، البته برای بعضی ورودی‌ها ضریب تعدیل گر استاندارد بهتر از ضریب تعدیل گر توانی شناسایی را انجام می‌دهد و برای بعضی ورودی‌ها بلعکس می‌باشد.

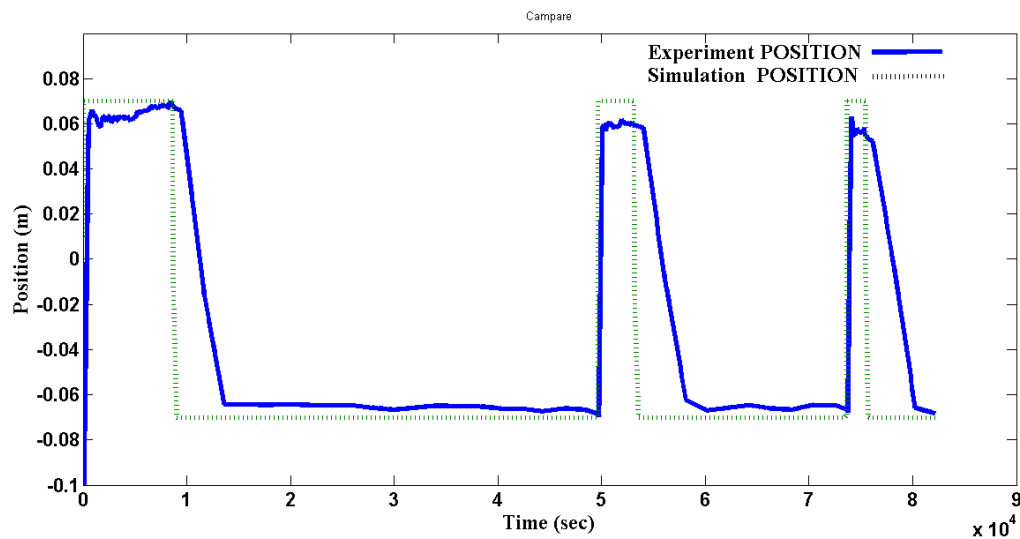
در شکل‌های زیر موقعیت اندازه‌گیری شده در واقعیت را با موقعیت اندازه‌گیری شده از شبیه‌سازی را مقایسه نموده‌ایم:



شکل ۶-۲۵) مقایسه موقعیت برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد به ورودی یک

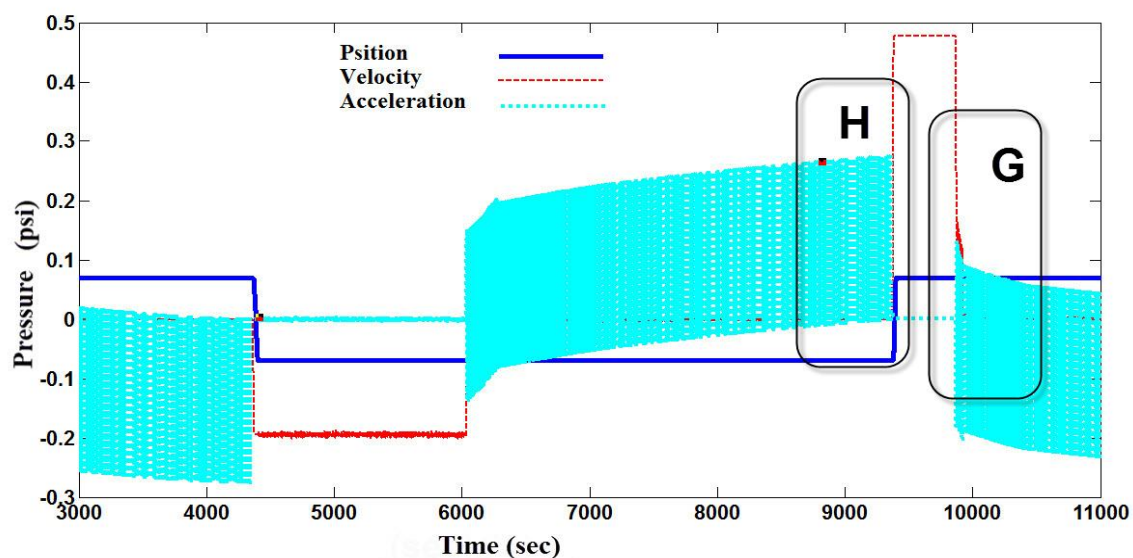


شکل ۶-۲۶) مقایسه موقعیت برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی به ورودی یک

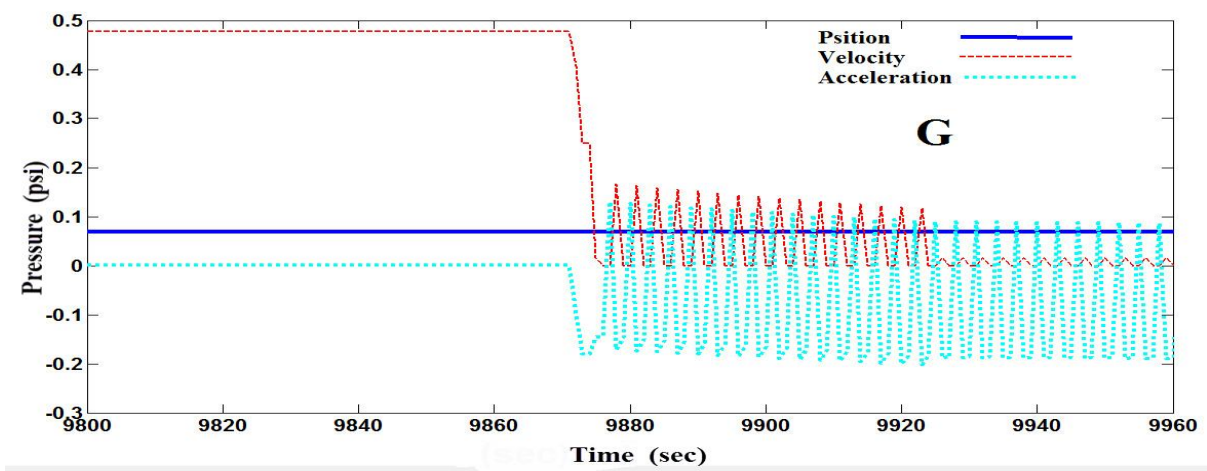
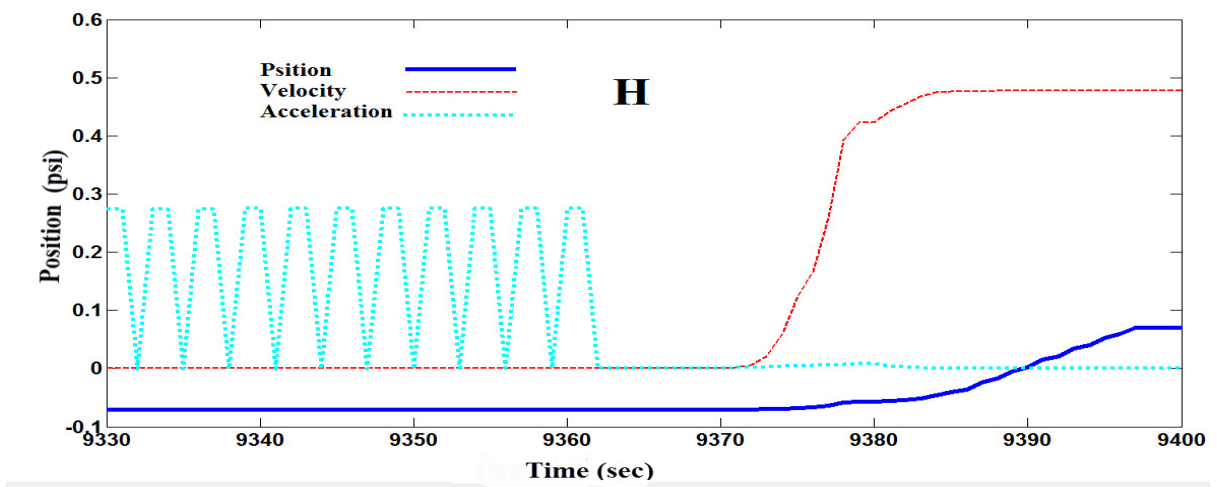


شکل ۶-۲۷) مقایسه موقعیت برای پارامترهای نامعتبر به ورودی یک

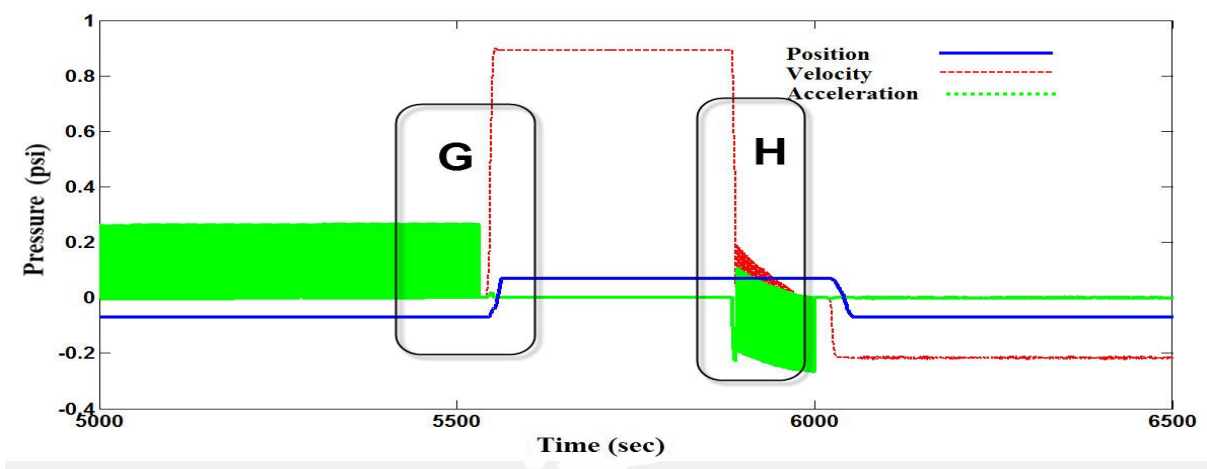
در شکل‌های (۶-۲۵) و (۶-۲۶) نتایج موقعیت اندازه‌گیری شده واقعی را با موقعیت بدست آمده از شبیه‌سازی مقایسه کرده‌ایم. می‌بینید که در شکل (۶-۲۵) موقعیت برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل‌گر استاندارد مشابه موقعیت واقعی می‌باشد. در شکل (۶-۲۶) موقعیت برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل‌گر توانی نیز مشابه موقعیت واقعی می‌باشد.



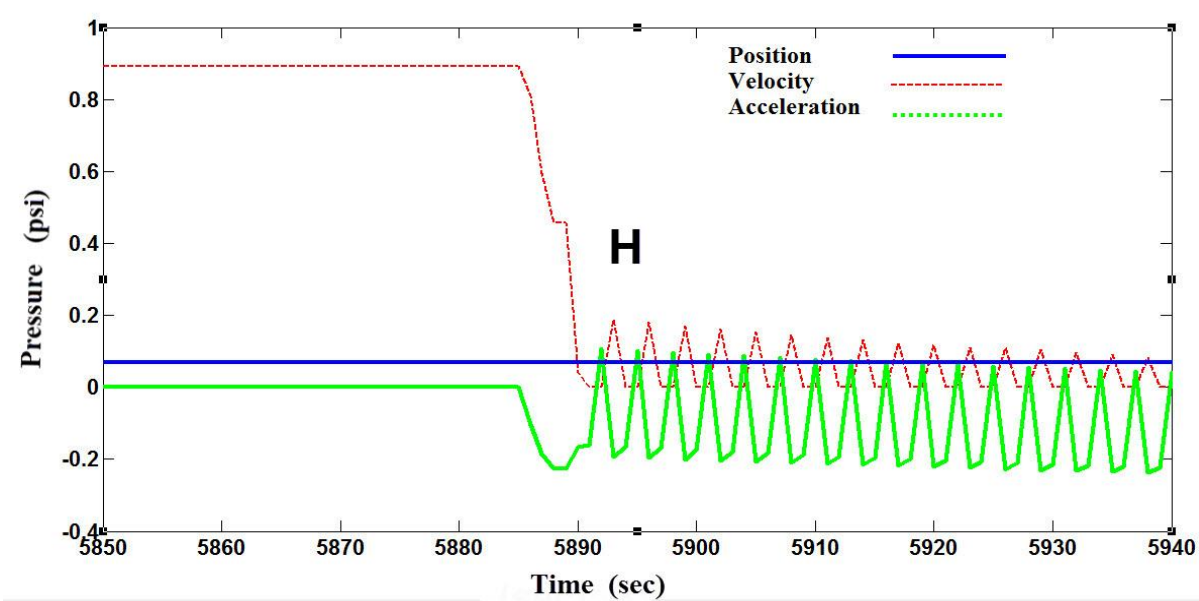
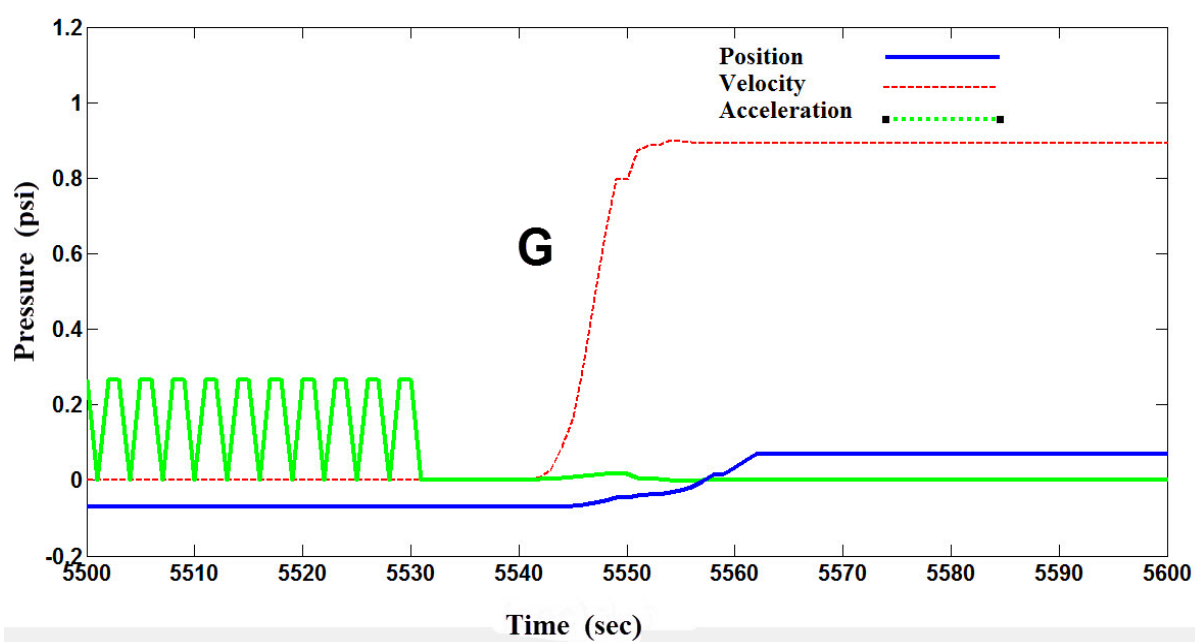
شکل ۶-۲۸) شبیه سازی موقعیت، سرعت، شتاب برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر استاندارد



شکل ۶-۲۹) بزرگ نمایی سرعت و شتاب شکل (۶-۲۸)



شکل ۶-۳۰) شبیه سازی موقعیت، سرعت، شتاب برای پارامترهای شناسایی شده با ضریب تعدیل گر توانی



شکل ۶-۳۱) بزرگ نمایی سرعت و شتاب شکل (۵-۳۰)

۹-۶) تعیین اعتبار عملکرد روش کمترین مربعات غیر خطی

تعیین اعتبار عبارتست از جهت گیری به سمت اینکه معین شود آیا مدل در حیطه مقصود تعیین شده، موفقیت آمیز عمل خواهد کرد. یک تخمینگر مناسب باید چند ویژگی داشته باشد. این ویژگی ها را بررسی می کنیم [۳].

۶-۱۰-۱) نداشتن بایاس^{۶۵}

حداقل انتظاری که از یک تخمینگر خوب می رود آن است که بایاس نداشته باشد. با عمل تخمین، هیچگاه انتظار نمی رود که به مقدار واقعی پارامتر برسیم، اما اگر تعداد تکرار را بی نهایت کنیم باید به مقدار واقعی پارامتر رسید. برای بیان ریاضی این مطلب به مطالب زیر توجه نمایید:

$$b = E(\hat{x}) - x \quad (۲-۶)$$

b مقدار بایاس، X پارامتر اصلی، $E(\hat{x})$ امید ریاضی (میانگین) پارامتر تخمین زده شده می باشد. وقتی بایاس وجود نداشته باشد یا عبارتی $b=0$ ، آنگاه می گوئیم که تخمین گر بایاس ندارد. یعنی برای یک تخمینگر خوب باید امید ریاضی پارامتر با مقدار واقعی پارامتر برابر باشد.

مقدار بایاس:

جدول ۳-۶) مقدار بایاس هر دو ضریب تعدیل گر

	Mt	b	Kc
لونبرگ-مارکوارت	۰.۰۰۱	۱.۶	۳.۲
ضریب تعدیل گر توانی	۰.۰۰۲	۱.۸	۴.۳

^{۶۵}bias

می‌بینیم که مقدار بایاس در ضریب تعدیل‌گر توانی بیشتر از ضریب تعدیل‌گر استاندارد است، ولی با این وجود بایاس‌ها در مقابل پارامترهای مربوط به آنها ناچیز می‌باشد. بعنوان مثال برای ضریب تعدیل‌گر توانی $Mt = 0.28$ می‌باشد که بایاس 0.002 در مقابلش قابل قبول می‌باشد.

۶-۱۰-۲) حداقل واریانس^{۶۶}

انتظار بعدی از یک تخمین‌گر مناسب آن است که واریانس تخمین آن حداقل باشد. در نظر داشته باشید که هیچگاه نمی‌توان واریانس تخمین را به صفر رساند. پس عبارتی هر تخمین‌گری که واریانس آن کمتر باشد بهتر است.

$$\text{var}(x) = \delta_x^2 = E[(x - \mu_x)^2] = E(x^2) - (E[x])^2 \quad (۶-)$$

(۳)

$$\text{var}(x) = \{\sum_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x)\} - \{\sum_{-\infty}^{\infty} x f(x)\}^2$$

(۴-۶)

البته زمانی که پارامترها بیش از یکی است و عبارتی بردار پارامترها داریم باید کواریانس تخمین را محاسبه کنیم و بعد بگوییم که هرچه درایه‌های قطر اصلی کواریانس تخمین کوچکتر باشد تخمین بهتر می‌باشد. ماتریس کواریانس تخمین بیان می‌کند که بردار پارامترها تخمین زده شده چقدر قابل اعتماد است.

$$\text{Cov}(\theta) \cong E[(\theta - \mu_\theta) \cdot (\theta - \mu_\theta)^T] = \begin{bmatrix} E(\theta_1 - \mu_{\theta_1})^2 & \cdots & E[(\theta_1 - \mu_{\theta_1})(\theta_n - \mu_{\theta_n})] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E[(\theta_n - \mu_{\theta_n})(\theta_1 - \mu_{\theta_1})] & \cdots & E(\theta_n - \mu_{\theta_n})^2 \end{bmatrix} \quad (۶-)$$

(۵)

کواریانس ضریب تعدیل‌گر استاندارد:

$$\begin{bmatrix} 0.0002 & 0 & 0 \\ 0 & 2.7187 & 0.019 \\ 0 & 0.019 & 2.1551 \end{bmatrix}$$

کواریانس ضریب تعدیل‌گر توانی:

^{۶۶}Minimum variance

$$\begin{bmatrix} -0.0004 & -0.0017 & 0 \\ -0.0017 & 2.9923 & 0.00238 \\ 0 & 0.00238 & 2.251 \end{bmatrix}$$

می بینیم که قطر اصلی ضریب تعدیل گر توانی و ضریب تعدیل گر استاندارد تقریباً مشابه می باشند، مقادیر قطر اصلی نسبت به پارامترها مربوط به آن بررسی می گردند و یعنی کواریانس ضریب تعدیل گر استاندارد و ضریب تعدیل گر توانی نسبت پارامتر مربوط قابل قبول می باشند. بعنوان مثال برای ضریب تعدیل گر توانی درایه اول روی قطر اصلی مربوط به $Mt=0/28$ که واریانس $-0/0004$ در مقابلش قابل قبول می باشد.

۶۷ سازگار بودن (۳-۱۰-۶)

یعنی با افزایش مشاهدات ماتریس کواریانس خطا کم شود [۲].

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \text{Cov}(e) \rightarrow 0 \quad \text{Cov}(e) = \begin{bmatrix} \delta^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \delta^2 \end{bmatrix}$$

(۵-۵)

البته این بدان مفهوم نیست که با تعداد داده محدود (N) تخمینگر نمی تواند سازگار باشد. بلکه با تعداد داده محدود نیز می توان سازگاری را بررسی نمود. عبارتی با افزایش داده بایاس کمتر شود.

جدول ۶-۴) بررسی سازگاری هر دو ضریب تعدیل گر

		mt	B	Kc
n=۲۰۰	ضریب تعدیل گر استاندارد	۰.۰۰۱	۶.۳	۱۶.۲
	ضریب تعدیل گر توانی	۰.۰۰۲	۵.۹	۱۷.۱
n=۲۶۵	ضریب تعدیل گر استاندارد	۰.۰۰۱	۰.۲	۷.۹۲
	ضریب تعدیل گر توانی	۰.۰۰۲	۰.۳	۷.۲
n=۳۰۹	ضریب تعدیل گر استاندارد	۰.۰۰۱	۱.۶	۳.۲
	ضریب تعدیل گر توانی	۰.۰۰۲	۱.۲	۳.۴

n تعداد داده می باشد. با توجه به مقایسه بالا در کل می توان گفت که هر دو روش سازگار می باشند.

۶-۱۰-۴) تطابق مناسب

برای بررسی تطابق مدل بدست آمده می توانیم از ریشه میانگین مربعات نرمالیزه شده (NRMSE) که به صورت زیر است استفاده کنیم [۸]:

$$fit = 100 \times \left(1 - \frac{\|y - \hat{y}\|}{\|y - \bar{y}\|}\right) \quad (۶-۶)$$

در این فرمول y مقدار واقعی، $\hat{y}$ مقدار تخمین زده شده و $\bar{y}$ میانگین مقدار واقعی می باشد. با استفاده از این معیار برای شناسایی با ضریب تعدیل گر استاندارد میزان ۷۶.۳٪ و برای ضریب تعدیل گر توانی میزان ۷۳.۱٪ خواهیم داشت.

فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

❖ نتیجه گیری

❖ پیشنهادات

۷-۱) نتیجه گیری

در این پایان نامه ابتدا به بررسی کارهای انجام گرفته در حوزه شناسایی عملگر سرونوماتیکی پرداخته و سپس سعی بر آن بوده است تا مدل غیرخطی عملگر سرو نیوماتیکی به روش کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت با دو ضریب تعدیل گر استاندارد و توانی شناسایی شود. ضریب تعدیل گر توانی برای الگوریتم لونبرگ-مارکوارت جهت شناسایی پیشنهاد شده که جواب مناسبی را برای این عملگر ارایه نموده است. داده های واقعی با استفاده از آزمایش بر روی عملگر سرونوماتیکی اندازه گیری شده است. نتایج بدست آمده از شناسایی مدل غیرخطی با توجه به مقدار بایاس ها، واریانس ها، سازگاری و همچنین تطابق ۷۶.۳٪ برای ضریب تعدیل گر استاندارد و ۷۳.۱٪ در فصل ششم برای ضریب تعدیل گر توانی نشانگر کارآیی روش کمترین مربعات غیرخطی می باشد.

۷-۲) پیشنهادات

شناسایی سیستم جزو مهمترین بحث های مهندسی کنترل می باشد و هر چه علم پیشرفت می کند نیاز به این بحث بیشتر می شود و درهای بیشتری به روی شناسایی سیستم باز می گردد. همچنین با توجه به کاربرد عملگر سرونوماتیکی در سیستم های مختلف نیاز زیادی به داشتن مدل دقیق این سیستم غیرخطی احساس می شود. با توجه به این نکات موارد زیر پیشنهاد می گردد:

✓ مطالعه بیشتر پیرامون ضریب تعدیل گر توانی و گسترش آن که قابلیت عملکرد خود را در این پایان نامه نشان داد.

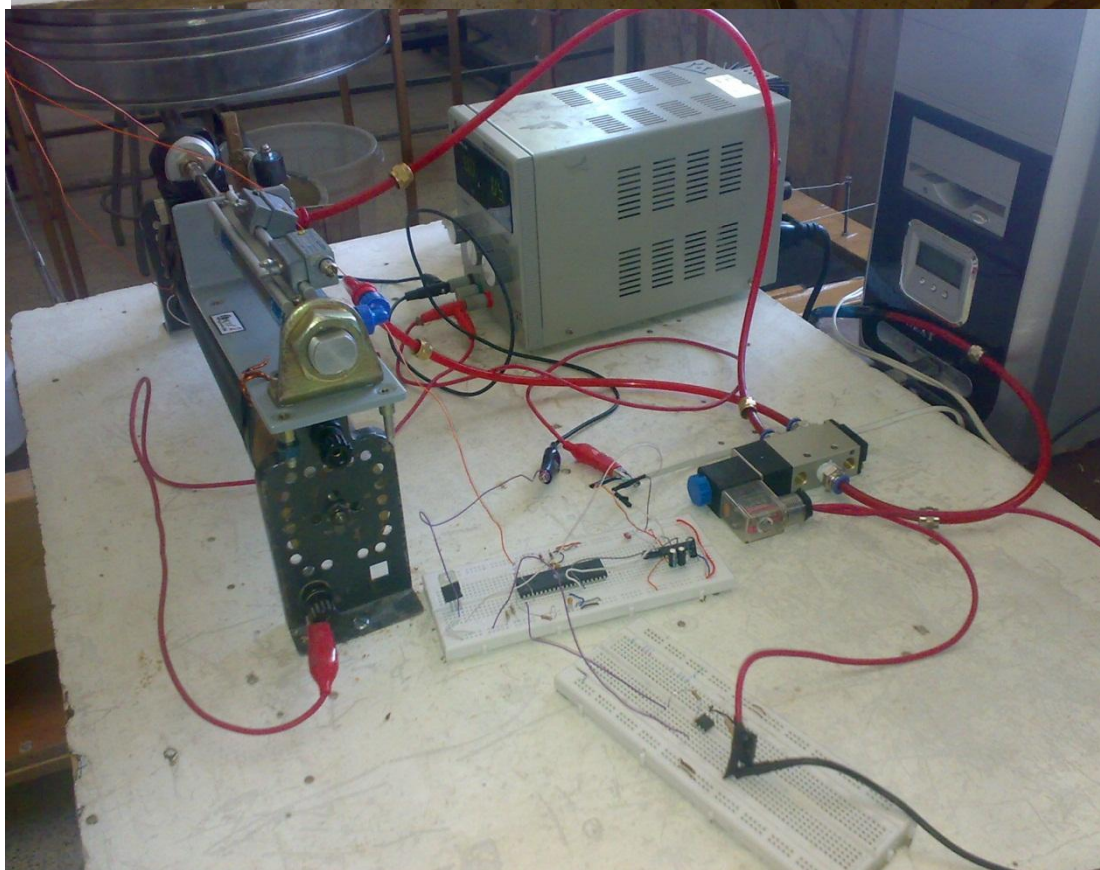
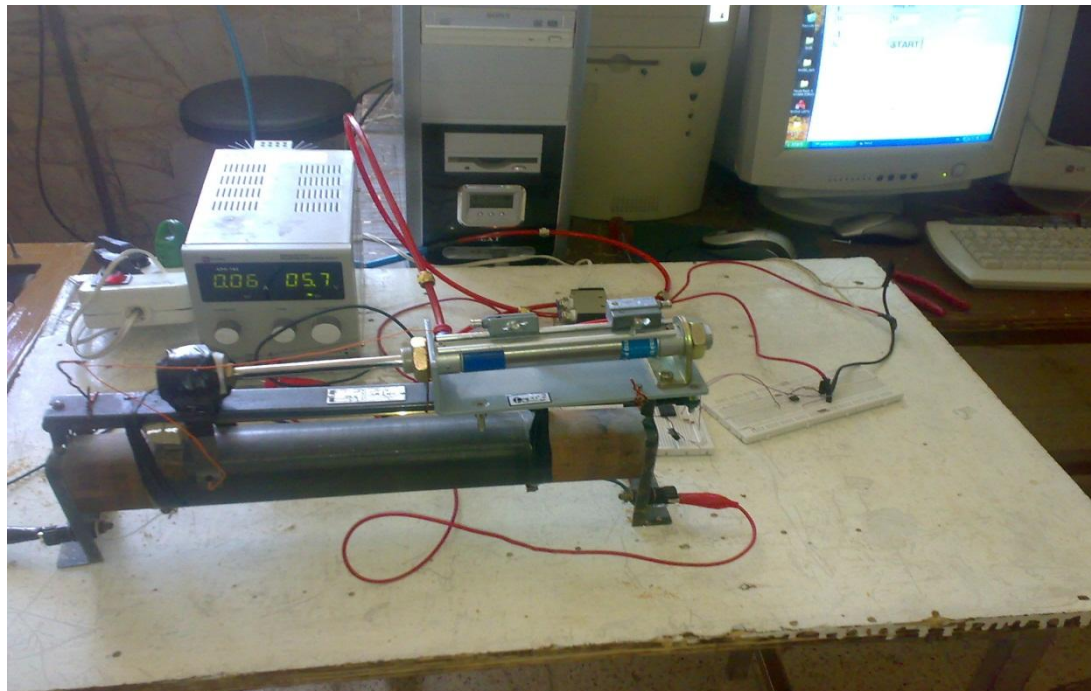
✓ تبدیل روش ضریب تعدیل گر توانی به روش های توان کسری ، بدلیل اینکه این توان باید نزدیک یک باشد پس بجای استفاده از اعداد صحیح، بسیار بهتر است که از اعداد کسری نزدیک یک استفاده شود و این کار نیازمند استفاده از روش های توان کسری است.

✓ با توجه به اینکه در این پایان نامه از اصطکاک استاتیک و کلمب استفاده کرده‌ایم، پیشنهاد می‌شود از گزینه‌های دیگری مانند [۳۷] برای اصطکاک در شبیه‌سازی این عملگر استفاده گردد.

پیوست شماره ۱

The screenshot shows a Windows application window titled "Form1". The interface includes several text boxes and buttons. At the top left, there are two text boxes: the first contains the number "1" and the second contains "10". Below the first box is another text box containing "-1", and below the second is a text box containing "0". To the right of these is a label "delay_ms" above a text box containing "10". Further right are two stacked text boxes labeled "Text5" and "Text6". In the center is a large button labeled "START". Below it is a button labeled "Command2". To the right of "Command2" is a text box labeled "Text7". At the bottom left is a large text box labeled "Text4". The Windows taskbar at the bottom shows the "start" button, the "Form1" window, and the system clock showing "20:15".

صفحه ویژوال بیسیک برای اندازه‌گیری: در این صفحه اعداد ۱ و -۱ با فاصله delay_ms به میکروکنترلر ارسال می‌گردد و در Text4 نتایج اندازه‌گیری در یافت می‌شود.







پیوست شماره ۲

برنامه پردازش داده های ورودی (تبدیل الکتریکی به نیوماتیکی در شیر نیومات)

```
FP=[322 653 686 676 676 696 703 691 695 696 697 694 699 687 694 677 292 305 316
304 307 656 686 688 688 697 311 318 316 319 315 315 327 315 316];
```

```
l=1;
```

```
while l<(length(FP))
```

```
if FP(l)>=700
```

```
y(l)=700; %disp('ya ali')
```

```
elseif FP(l)<=290
```

```
y(l)=313;
```

```
else
```

```
y(l)=FP(l); % disp('ya ali')
```

```
end
```

```
l=l+1;
```

```
end
```

```
h=1;
```

```
while h<length(FP)
```

```
A=max(y); %maximom adad ke moadele 0.14 m ast
```

```
B=min(y); %minimom adad ke moadele 0.14 m ast
```

```
C=A-B;
```

```
D=C/0.14; %yaftane hadeagal tgyir
```

```
if (y(h)-min(y)-C/2)>0
```

```
X(h)=(y(h)-min(y)-C/2)/D;
```

```
elseif (y(h)-min(y)-C/2)<0
```

```
X(h)=(y(h)-min(y)-C/2)/D;
```

```
elseif (y(h)-min(y)-C/2)==0
```

```
X(h)=(y(h)-min(y)-C/2)/D;
```

```
end
```

```
%megyas bandi aadad
```

```
%mohasebeye harekate piston bar hasb meter
```

```
h=h+1;
```

```
end
```

```
X=X';
```

```
h
```

```
prbs=[-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
```

```
% 500 ms ex2
```

```
i=1;
```

```
while i<length(prbs)
```

```
if prbs(i)==1 ;
```

```
p1(i)=1.4; %feshar ba tabdil az psi be pa
```

```
p2(i)=1.01;
```

```
elseif prbs(i)==-1;
```

```
p1(i)=1.01;
```

```
p2(i)=1.4; %feshar ba tabdil az psi be pa
```

```
end
    i=i+1;
end
```

پیوست شماره ۳

برنامه روش کمترین مربعات غیرخطی با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت وضریب تعدیل گر استاندارد

```
clc
mt=0.7; b=120; Kc=45; Ks=65; A2=4.8400e-004*pi; A1=4.8400e-004*pi;    %--taarif
parameterhaye avvalieh moadelye harekat
teta=[mt b Kc]';    %--matrix parameterhaye avvalieh
.....
k=1.4; R=287; Ts=293; T1=298; T2=299; Cd=0.2; W1=0.001; W2=0.001;
Xa=0.001; Xb=0.001; Delta=0.01; %--taarif parameterhaye avvalieh moadelye feshar
ps=2.2*10^5; patm=1; pe=1.001;
Cr=0.528;    %((2/(k+1))^(k/(k-1)));
C0=0.04;    %sqrt((k/R)*(2/(k+1))^(k+1)/(k-1)));
Ck= 3.864;    %sqrt((2/(k-1))*((k+1)/2)^(k+1)/(k-1)));
V1=A1*(0.5*(0.14)+X+Delta); Diffv1=diff(V1); z1=length(Diffv1);
Diffv1(z1+1)=Diffv1(z1);
V2=A2*(0.5*(0.14)-X+Delta); Diffv2=diff(V2); z2=length(Diffv2);
Diffv2(z2+1)=Diffv2(z2);

j=1;
while j<length(p1)+1
if p1(j)==min(p1);
pu=p1(j);
pr=pe/p1(j);
F1pout(j)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(T1);
elseif p1(j)==max(p1);
pu=ps;
pr=p1(j)/ps;
F1pout(j)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(Ts);
end
j=j+1;
end

g=1;
while g<length(p2)+1
if p2(g)==min(p2);
pu=p2(g);
pr=pe/p2(g);
F2pout(g)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(T2);
elseif p2(g)==max(p2);
pu=ps;
pr=p2(g)/ps;
F2pout(g)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(Ts);
end
g=g+1;
end

q=1;
while q<=length(X)
p1d(q)=-k*(Diffv1(q)/V1(q))*p1(q)+(k/V1(q))*(R*Ts*Cd*C0*W1*Xa*F1pout(q));
sds(q)=(k/V1(q))*(R*Ts*Cd*C0*W1*Xa*F1pout(q));
p2d(q)=k*(Diffv2(q)/V2(q))*p2(q)+(k/V2(q))*(R*Ts*Cd*C0*W2*Xb*F2pout(q));
q=q+1;
end
```

```

d=1;
while d<=length(p1d)
if p1d(d)<2*10^4
p1d(d)=2*10^4;
end
if p2d(d)>5*10^5
p2d(d)=5*10^5;
elseif p2d(d)<100
p2d(d)=100;
end
d=d+1;
end

for n=1:(length(p1d)-1)
P1A(n)=trapz(p1d(n:n+1));
end
P1A(n+1)=P1A(n);
P1AT=P1A';
for m=1:(length(p2d)-1)
P2A(m)=trapz(p2d(m:m+1));
end
P2A(m+1)=P2A(m);
P2AT=P2A';

for s_i=1:1

Alpha(s_i)=1;
Landa(s_i)=1;
myu(s_i)=1;
end
er_X_mse=0;
K_error=0.014;
K_Landa=0.099;
K_myu=2;
x1_z=0;
H_i=1;
i=1;

x1=X;
ej=1;
while ej<=length(x1)
if ej==1
x2(ej)=(x1(ej)-(x1_z))/tim;
else
x2(ej)=(x1(ej)-x1(ej-1))/tim;
end
ej=ej+1;
end
x2=x2';
%.....
while (i<200) & ((er_X_mse)>K_error)
z=1;
while z<length(P1AT)
if x2(z)~=0
S(z)=sign(x2(z)); %-----taarif tabee
elseif x2(z)==0
S(z)=0.1; %-----taarif tabee
end
z=z+1;

```

```

end
S(z)=S(z-1);
ST=S';
x2d=(1/(mt+1))*(-b*x2-Kc*ST+1*(P1AT*A1-P2AT*A2)); %--taarif tabee
drd(i)=norm(x2d);
for r=1:(length(x2d)-1)
    XE(r)=trapz(x2d(r:r+1));
end
XE(r+1)=XE(r);
XET=XE';

for c=1:(length(XET)-1)
    XEE(c)=trapz(XET(c:c+1));
end
XEE(c+1)=XEE(c);
XEF=XEE';
Max_XEF=max(XEF);
Min_XEF=min(XEF);
Max_Min_XEF=(Max_XEF)-(Min_XEF);
XEF_scal=0.14/(Max_Min_XEF);
XEF_final=(XEF_scal)*XEF;

error_X=X-(XEF_XEF_final);
er_X_mse(i)=mse(error_X,inf); %Mean Square Error

if i>1
if er_X_norm(i)-er_X_norm(i-1)>K_Alpha
Alpha(i)=100;
else
Alpha(i)=-10;
end
end
Ji1=(-1/(2*((mt+1))^2))*(-b*x2-Kc*ST+P1AT*A1-P2AT*A2); %--bedast avardan jacobian tabee
Ji2=(1/(mt+1))*(-x2);
Ji3=(1/(mt+1))*(-ST);
J=[Ji1 Ji2 Ji3]; %---matrix Jacobian
tetaE=((J'*J+Alpha(i)*eye(size(J,2)))^-1)*J'*(X- XEF_final);
teta=teta-tetaE; %--raveshe Gauss-Newton
i=i+1;
mt=teta(1); b=teta(2); Kc=teta(3); %
mtt(i)=mt; bb(i)=b; Kcc(i)=Kc;
D=[mt b Kc];
end
D
plot(X,'g')
hold on
plot(-XEF_final+0.013,'-')

```

پیوست شماره ۴

```

mt=0.7; b=130; Kc=50; Ks=65; A2=4.8400e-004*pi; A1=4.8400e-004*pi;    %--taarif
parameterhaye avvalieh moadelye harekat
teta=[mt b Kc]';    %--matrix parameterhaye avvalieh
%.....
k=1.4; R=287; Ts=293; T1=298; T2=299; Cd=0.2; W1=0.1; W2=0.1;
Xa=0.001; Xb=0.001; Delta=0.001; %--taarif parameterhaye avvalieh moadelye feshar
ps=2.2; patm=1; pe=1.001;
Cr=0.528;    %((2/(k+1))^(k/(k-1)));
C0=0.04;    %sqrt((k/R)*(2/(k+1))^(k+1)/(k-1)));
Ck= 3.864;    %sqrt((2/(k-1))*((k+1)/2)^(k+1)/(k-1)));
V1=A1*(0.5*(0.14)+X+Delta); Diffv1=diff(V1); z1=length(Diffv1);
Diffv1(z1+1)=Diffv1(z1);
V2=A2*(0.5*(0.14)-X+Delta); Diffv2=diff(V2); z2=length(Diffv2);
Diffv2(z2+1)=Diffv2(z2);

j=1;
while j<length(p1)+1
if p1(j)==min(p1);
pu=p1(j);
pr=pe/p1(j);
F1pout(j)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(T1);
elseif p1(j)==max(p1);
pu=ps;
pr=p1(j)/ps;
F1pout(j)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(Ts);
end
j=j+1;
end

g=1;
while g<length(p2)+1
if p2(g)==min(p2);
pu=p2(g);
pr=pe/p2(g);
F2pout(g)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(T2);
elseif p2(g)==max(p2);
pu=ps;
pr=p2(g)/ps;
F2pout(g)=pu*Fpr(Ck,pr,pu,patm,Cr)/sqrt(Ts);
end
g=g+1;
end

q=1;
while q<=length(X)
p1d(q)=-k*(Diffv1(q)/V1(q))*p1(q)+(k/V1(q))*(R*Ts*Cd*C0*W1*Xa*F1pout(q));
p2d(q)=-k*(Diffv2(q)/V2(q))*p2(q)+(k/V2(q))*(R*Ts*Cd*C0*W2*Xb*F2pout(q));
q=q+1;
end

for n=1:(length(p1d)-1)
P1A(n)=trapz(p1d(n:n+1));
end
P1A(n+1)=P1A(n);
P1AT=P1A';

```

```

for m=1:(length(p2d)-1)
P2A(m)=trapz(p2d(m:m+1));
end
P2A(m+1)=P2A(m);
P2AT=P2A';

for s_i=1:1
Alpha(s_i)=1;
Landa(s_i)=1;
myu(s_i)=1;
end
er_X_mse=1;
K_error=0.014;
K_Landa=-100;
K_myu=0;
x1_z=0;
i=1;
gs=1;
x1=X;
ej=1;
while ej<=length(x1)
if ej==1
x2(ej)=(x1(ej)-(x1_z))/tim;
else
x2(ej)=(x1(ej)-x1(ej-1))/tim;
end
ej=ej+1;
end
x2=x2';
%.....
while (i<200) & ((er_X_mse)>K_error)
z=1;
while z<length(P1AT)
if x2(z)~=0
S(z)=sign(x2(z)); %-----taarif tabee
elseif x2(z)==0
S(z)=0.1; %-----taarif tabee
end
z=z+1;
end
S(z)=S(z-1);
ST=S';
x2d=(1/(mt+1))*(-b*x2-Kc*ST+P1AT*A1-P2AT*A2); %--taarif tabee
drd(i)=norm(-Kc*ST);
for r=1:(length(x2d)-1)
XE(r)=trapz(x2d(r:r+1));
end
XE(r+1)=XE(r);
XET=XE';

for c=1:(length(XET)-1)
XEE(c)=trapz(XET(c:c+1));
end
XEE(c+1)=XEE(c);
XEF=XEE';
Max_XEF=max(XEF);
Min_XEF=min(XEF);
Max_Min_XEF=(Max_XEF)-(Min_XEF);
XEF_scal=0.14/(Max_Min_XEF);

```

```

XEF_final=(XEF_scal)*XEF;

error_X=X-(XEF_final);
er_X_mse(i)=mse(error_X,inf);    %mean square error

Ji1=(-1/(2*(mt)^2))*(-b*x2-Kc*ST+P1AT*A1-P2AT*A2);    %--bedast avardan jacobian tabee
Ji2=(1/(mt))*(-x2);
Ji3=(1/(mt))*(-ST);
J=[Ji1 Ji2 Ji3] ; %---matrix Jacobian
Jt_J=J'*J;

if i>1
if er_X_mse(i)-er_X_mse(i-1)>0
if gs==1
if Jt_J(1,1)>1
    Jt_J(1,1)=abs((Jt_J(1,1))^ K_myu);
elseif Jt_J(1,1)<1 && Jt_J(1,1)>0
    Jt_J(1,1)=abs((Jt_J(1,1))^K_Landa);
elseif Jt_J(1,1)<-1
    Jt_J(1,1)=-abs((Jt_J(1,1))^K_Landa);
elseif Jt_J(1,1)>-1 && Jt_J(1,1)<0
    Jt_J(1,1)=-abs((Jt_J(1,1))^K_myu);
elseif Jt_J(1,1)==0
    Jt_J(1,1)=abs((Jt_J(1,1))^K_myu);
end
if Jt_J(2,2)>1
    Jt_J(2,2)=abs((Jt_J(2,2))^ K_Landa);
elseif Jt_J(2,2)<1 && Jt_J(2,2)>0
    Jt_J(2,2)=abs((Jt_J(2,2))^K_myu);
elseif Jt_J(2,2)<-1
    Jt_J(2,2)=-abs((Jt_J(2,2))^K_myu);
elseif Jt_J(2,2)>-1 && Jt_J(2,2)<0
    Jt_J(2,2)=-abs((Jt_J(2,2))^K_Landa);
elseif Jt_J(2,2)==0
    Jt_J(2,2)=abs((Jt_J(2,2))^K_Landa);
end
if Jt_J(3,3)>1
    Jt_J(3,3)=abs((Jt_J(3,3))^ K_Landa);
elseif Jt_J(3,3)<1 && Jt_J(3,3)>0
    Jt_J(3,3)=abs((Jt_J(3,3))^K_myu);
elseif Jt_J(3,3)<-1
    Jt_J(3,3)=-abs((Jt_J(3,3))^K_myu);
elseif Jt_J(3,3)>-1 && Jt_J(3,3)<0
    Jt_J(3,3)=-abs((Jt_J(3,3))^K_Landa);
elseif Jt_J(3,3)==0
    Jt_J(3,3)=abs((Jt_J(3,3))^K_Landa);
end
gs=gs+1;
end

if gs==2
if Jt_J(1,1)>1
    Jt_J(1,1)=abs((Jt_J(1,1))^ K_Landa);
elseif Jt_J(1,1)<1 && Jt_J(1,1)>0
    Jt_J(1,1)=abs((Jt_J(1,1))^K_myu);
elseif Jt_J(1,1)<-1
    Jt_J(1,1)=-abs((Jt_J(1,1))^K_myu);
elseif Jt_J(1,1)>-1 && Jt_J(1,1)<0
    Jt_J(1,1)=-abs((Jt_J(1,1))^K_Landa);

```

```

elseif Jt_J(1,1)==0
    Jt_J(1,1)=abs((Jt_J(1,1))^K_Landa);
end
if Jt_J(2,2)>1
    Jt_J(2,2)=abs((Jt_J(2,2))^K_myu);
elseif Jt_J(2,2)<1 && Jt_J(2,2)>0
    Jt_J(2,2)=abs((Jt_J(2,2))^K_Landa);
elseif Jt_J(2,2)<-1
    Jt_J(2,2)=-abs((Jt_J(2,2))^K_Landa);
elseif Jt_J(2,2)>-1 && Jt_J(2,2)<0
    Jt_J(2,2)=-abs((Jt_J(2,2))^K_myu);
elseif Jt_J(2,2)==0
    Jt_J(2,2)=abs((Jt_J(2,2))^K_myu);
end
if Jt_J(3,3)>1
    Jt_J(3,3)=abs((Jt_J(3,3))^K_myu);
elseif Jt_J(3,3)<1 && Jt_J(3,3)>0
    Jt_J(3,3)=abs((Jt_J(3,3))^K_Landa);
elseif Jt_J(3,3)<-1
    Jt_J(3,3)=-abs((Jt_J(3,3))^K_Landa);
elseif Jt_J(3,3)>-1 && Jt_J(3,3)<0
    Jt_J(3,3)=-abs((Jt_J(3,3))^K_myu);
elseif Jt_J(3,3)==0
    Jt_J(3,3)=abs((Jt_J(3,3))^K_myu);
end
gs=1;
end
end
end

tetaE=((((Jt_J)^-1)*J*(X-XEF)); %--Alpha(i)*eye(size(J'*J,2))
teta=teta-tetaE; %--raveshe Gauss-Newton
i=i+1;
mt=teta(1); b=teta(2); Kc=teta(3); %
Kc=teta(3);
mtt(i)=mt; bb(i)=b; Kcc(i)=Kc;
%Kcc(i)=Kc;
D=[mt b Kc]; %
end
i
D
plot(X,'g')
hold on
plot( -XEF_final,'--')

```

منابع

1. N.A. Daw, J.Wang, Q.H.Wu, J. Chen, and Y. Zhao, 2003, "*Parameter identification for nonlinear pneumatic cylinder actuators*" , Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCIS 281, pp. 77-88
2. V. Filipovic · N. Nedic · V. Stojanovic, 2011, "*Robust identification of pneumatic servo actuators in the real situations*", Springer-Verlag, DOI 10.1007/s10010-011-0144-5
3. N.H Sunar, M.F.Rahmat, A.A.M.Faudzi, Z.H. Ismail, N. Salim, 2013, "*Identification and Self-Tuning Control of Electro-Pneumatic Actuator System with Control Valve*", 2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, 19 - 20 Aug., Shah Alam, Malaysia
4. M.A.Azman,A.A.M.Faudzi,M.O.Elnimair, O.F.Hikmat, K.Osman, C.C.Kai, 2013, "*P-Adaptive Neuro-Fuzzy and PD-Fuzzy Controller Design for Position Control of a Modified Single Acting Pneumatic Cylinder*", 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM) Wollongong, Australia, July 9-12
5. A.MEHMOOD, 2013, "*Modeling simulation and robust control of an electro-pneumatic actuator for a variable geometry turbocharger*", Grade of Doctorate University of Technology Belfort-Montb1 - 29 May
6. A.Mehmood, S.Laghrouche, M.El.Bagdouri, 2011, "*Modeling identification and simulation of pneumatic actuator for VGT system*", Elsevier, Sensors and Actuators A 165 () 367–378
7. Y.Tassa,T.Wu,J.Movellan&E.Todorov, 2013,"*Modeling and Identification of Pneumatic Actuators*" IEEE ,International Conference onMechatronics and Automation.August4-7,Takamatsu,Japan
8. Ryuma Niiyama. , 2012, "*Model-based Trajectory Control of Robots with Pneumatic Actuator Dynamics*" , IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 7-12. Vilamoura, Algarve, Portugal
9. A.A.Mohd Faudzia, K.b.Osman, M.F. Rahmat, N. Mustafaa, M.A.Azmana, K.Suzumori, 2012, "*Controller Design for Simulation Control of Intelligent Pneumatic Actuators (IPA) System*", 1877-7058, Published by Elsevier Ltd
10. M.Al-Shabi, A.Saleem,T. A. Tutunji, 2011, "*Smooth Variable Structure Filter for Pneumatic System Identification*" IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)
11. N.T.Trung,D.Q.Truong, K.K.Ahn, 2011, "*Identification of a Pneumatic Actuator using Non-linear Black-Box Model*", 11th International Conference on Control, Automation and Systems ICROS,,Oct. 26-29, 2011 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea
12. J. Wang, J. D.Wang, N.Daw,Q. H.Wu, 2004, "*Identification of Pneumatic Cylinder Friction Parameters Using Genetic Algorithms*" , IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 9, NO. 1, MARCH
13. H. Schulte, H. Hahn, 2004, "*Fuzzy state feedback gain scheduling control of servo-pneumatic actuators*", Control Engineering Practice 12 , 639–650, Elsevier

14. Lennart Ljung , 2010, " Perspectives on system identification" . *Annual Reviews in Control*34 (2010) 1–12
15. Rolf Isermann , Marco Münchhof, 2011, " *Identification of Dynamic Systems* ." , Printed on acid-free paper, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 15-21
16. Karel J. Keesman, 2011 "*System Identification An Introduction*.", Printed on acid-free paper , Springer London Dordrecht Heidelberg New York
17. Toresten Soderstrom & Petre Stoica ,2001, " *System Identification*". First published ,Printed and bound in Great Britain at the University Press,Cambridge.5-7
18. Oliver Nelles, 2001, " *Nonlinear system identification*", Printed on acid-free paper , Springer,Germany, 1-18
19. Lennart Ljung, 1999, " *System Identification Theory For The User*" ,Second Edition, A Simon & Schuster Company,13-15
20. James W. Kamman & Jennings A, 2005, " *System Identification and Control of a Pneumatic Cylinder* " , PhD. Thesis, Mechanical Engineering University of Akron, Akron, Ohio
21. V. Geleževičius, A. Grigaitis, 2006, " *Investigation of Dynamic Behaviour of Nonlinear Electropneumatic Acting System*"I, SSN 1392 – 1215, Dept. of Control Technology, Kaunas University of Technology
22. M. F. Rahmat, H Sunar and , Najib Sy Salim, Mastura Shafinaz Zainal Abidin , A Mohd Fauzi and, H. Ismail, 2011, " *REVIEW ON MODELING AND CONTROLLER DESIGN IN PNEUMATIC ACTUATOR CONTROL SYSTEM* . "INTERNATIONAL JOURNAL ON SMART SENSING AND INTELLIGENT SYSTEMS VOL. 4, NO. 4, DECEMBER
23. J. Wang, et al.,1999, " *Accurate position control of servo pneumatic actuator systems: an application to food packaging*," Control Engineering Practice, vol. 7, pp. 699-706,.
24. H.-S. Choi, et al.,2005, " *Development of hybrid robot for construction works with pneumatic actuator*," Automation in Construction, vol. 14, pp. 452-459,.
25. Y. Shaojuan, et al., 2008," *A New Iterative Learning Controller for Electro-Pneumatic Servo System*," in Intelligent Systems Design and Applications, 2008. ISDA '08. Eighth International Conference on, , pp. 101-105.
26. A. Zinober and D. Owens ,2003. " *Sliding-mode bilateral teleoperation control design for master–slave pneumatic servo systems* ". Nonlinear and Adaptive Control, LNCIS 281, pp. 77-88, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
27. Mohamed Smaoui, Xavier Brun, and Daniel Thomasset, 2006, " *Systematic Control of an Electropneumatic System: Integrator Backstepping and Sliding Mode Control* ". IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 14, NO. 5, SEPTEMBER
28. Stacy S. Wilson, 2012," *Optimizing the Performance of the Wavelet-Correlation System Identification Method*, IEEE
29. Stacy S. Wilson.2002, " *Using a Pseudo-Random Binary Sequence as Mother Wavelet in the Wavelet-Correlation System Identification Method* ",IEEE Proceedings IEEE SoutheastCon

30. J.Y. Liu, C.H. Yang, C.H. Tsai, 2011, " *Correlation-based System Identification of Digitally Controlled SMPS* ", IEEE
 31. E. Laskin and Sorin P. Voinigescu, 2006, " *A 60 mW per Lane, 4*23-Gb/s 2^7-1 PRBS Generator* ". IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 41, NO. 10, OCTOBER
 32. H. Lee, 2006, " *A Plant-Friendly Multivariable System Identification Framework Based on Identification Test Monitoring* ". ARIZONA STATE UNIVERSITY
 33. C.T. Kelley. 1999, " *Iterative Methods for Optimization* ". Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia. Copyright © by the Society for Industrial and Applied Mathematics. 32-43
 34. Yu He, Kim-Hui Yap and Li Chen and Lap-Pui Chau. 2007, " *A Nonlinear Least Square Technique for Simultaneous Image Registration and Super-Resolution* ". IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 16, NO. 11
 35. Manolis I.A. Lourakis and Antonis A. Argyros. " *Is Levenberg-Marquardt the Most Efficient Optimization Algorithm for Implementing Bundle Adjustment?* ". Stelios C. Orphanoudakis. Work partially supported by the EU FP6-507752 NoE MUSCL
 36. K. Madsen, H.B. Nielsen, O. Tingleff, 2004, " *METHODS FOR NON-LINEAR LEAST SQUARES PROBLEMS* ", Informatics and Mathematical Modelling Technical University of Denmark, 2nd Edition, April
 37. J. C. Basilio and S. R. Matos. 2002. " *Design of PI and PID Controllers With Transient Performance Specification* ". IEEE transactions on education, vol. 45, no. 4
Karim Khayati a*, Pascal Bigras b, Louis-A. Dessaint
 38. A.A. Nielsen, 2013, " *Least Squares Adjustment: Linear and Nonlinear Weighted Regression Analysis* ", Technical University of Denmark Applied Mathematics and Computer Science,
 39. L. Abdullah, Z. Jamaludin, Chiew.T.H, N.A Rafan, M.S Syed Mohamed, 2012, " *System Identification of XY Table ballscrew drive using parametric and non parametric frequency domain estimation via deterministic approach* ", International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, Published by Elsevier Ltd
 40. Y. Nievergelt, 2000, " *A tutorial history of least squares with applications to astronomy and geodesy* ", Journal of Computational and Applied Mathematics 121 (2000) 37{72}, Elsevier Science,
۴۱. داگلاس مونتهگمری، الیزابت پک، ۱۳۸۲، "مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون خطی"، جلد یک، ترجمه سیدابراهیم رضوی پاریزی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

Abstract

The study aims to identify non-linear model of servo actuator pneumatic with the nonlinear least squares (NLS) method. There are various methods to identify nonlinear systems, each based on application has particular features. Important factors of electro-pneumatic servo-actuator are high strength-to-weight ratio, response speed, bandwidth, and resistance against external load, the improvement and optimization of each of which require a thorough understanding of the behavior of the system. The equations governing the operator derived from Newton's Second Law are clear, so any parameter of the physical model will have a specific meaning. At first place the input and output of the pneumatic servo system were measured at the laboratory, Then, using the data, the parameters of a nonlinear model of actuator pneumatic servo system were identified through nonlinear least squares method and Levenberg-Marquardt algorithm. A damping parameter called Power Damping Parameter is proposed and compared with Standard Damping Parameter. Finally, the model is compared with the experimental model and they show that the identification through nonlinear least squares with both adjustment factors is good.

Keywords: non-linear model, pneumatic servo actuator, nonlinear least squares, Levenberg-Marquardt algorithm, Standard damping parameter, Power damping parameter.



Shahrood university of technology

Faculty of electrical and robotic engineering

Nonlinear Model Identification of Electro-pneumatic servo

Actuator with nonlinear least square

Thesis

Submitted in partical fulfillment of the requirements for the Degree of

Master of Science (M.Sc.)

in Electrical Engineering control systems

Ali Gholampour

Supervisor

Dr.Hidar tossian shandiz

February(2014)

