**طراحی و ساخت سیستم کنترل بلادرنگ موقعیت عملگر پنوماتیکی برای یک پرنده هوایی**

سید کمال الدین موسوی مشهدی1، سعید شمقدری2، بهروز یونسی3

1عضو هیأت علمی دانشكده مهندسي برق، گروه کنترل، دانشگاه علم و صنعت ايران، sk\_mousavi@iust.ac.ir

2عضو هیأت علمی دانشكده مهندسي برق، گروه کنترل، دانشگاه علم و صنعت ايران، shamaghdari@iust.ac.ir

3دانشجوی کارشناسی، دانشكده مهندسي برق، گروه کنترل، دانشگاه علم و صنعت ايران، behrooz\_yonesie@yahoo.com

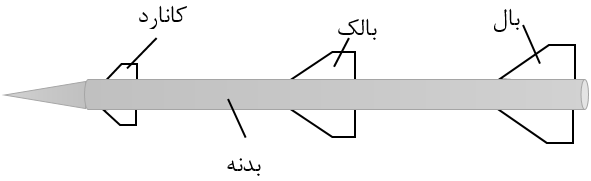
چکيده- در سیستم‌های پرنده، کنترل باله از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا جهت تغییر مسیر، کنترل جهت پرواز و پایداری از باله استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی جهت کنترل موقعیت باله‌ی وسایل پرنده وجود دارد که هریک مزایا و معایب خود را دارند. در این مقاله با استفاده از نیروی هوای فشرده و پیستون پنوماتیکی، یک سیستم کنترل موقعیت باله‌ی موشک طراحی و پیاده سازی می‌شود. یکی از مزایای مهم استفاده از نیروی پنوماتیکی، بیشتر کردن توان تحمل اغتشاشات توسط باله و قدرت زیادتر است. در این سیستم کنترلی از هوای فشرده به عنوان منبع توان مکانیکی و از پیستون پنوماتیکی به عنوان عملگر، جهت تغییر موقعیت باله استفاده می‌شود. مدارات راه‌انداز و conditioning هم وظیفه‌ی ارتباط بین کنترل‌کننده و عملگر و افزایش قابلیت اطمینان سیستم نسبت به تداخل سیگنال‌ها را دارند. به منظور افزایش دقت کنترل موقعیت سیستم، مدارات conditioning به صورت نرم‌افزاری خطی‌سازی می‌شوند. عملیات کنترل موقعیت باله‌ی موشک به صورت کنترل زمان واقعی انجام می‌گیرد که توسط نرم افزار متلب پیاده سازی می‌شود. پس از طراحی و ساخت، با روش حلقه بسته ی زیگلر نیکولز با معیار میرایی یک چهارم بهترین کنترل کننده PID طراحی می‌گردد و ضرایبP، I و D با دقت سه رقم اعشار محاسبه می‌شوند.

كليد واژه- پیستون پنوماتیکی، شیربرقی، کنترل بلادرنگ، PID، مدارات راه‌انداز

# مقدمه

هدف اصلي بيشتر موشك‌ها، رساندن محموله‌ی مشخص به يك هدف تعيين شده مي‌باشد؛ برای این کار سیستم کنترلی موشک باید امکان دنبال کردن یک مسیر مشخص و از پیش تعیین شده را فراهم سازد. سرجنگي به همراه «سامانه‌ي هدايت و كنترل» درون بدنه ي موشك قرار می‌گیرد كه نهايتا بايستي به هدف تعيين شده اصابت کند. سیستم کنترل و هدایت یک موشک، سیستمی حلقه بسته است که در آن اطلاعات به صورت پیش‌خور و پس‌خور در فازهای مختلف سیستم مبادله می‌شود و باعث ایجاد پایداری در بخش‌های مختلف و اصلاح مسیر می‌گردد[1]. بيشتر موشك‌ها از سطوح آيروديناميكي براي كنترل استفاده مي‌كنند كه اغلب از عبارت كلي پره براي اشاره به اين سطوح استفاده می‌شود[2]. عموما این سطوح آیرودینامیکی به سه دسته‌ی کاناردها، بال‌ها و بالک‌ها تقسیم بندی می‌شوند (شکل1)[3]. هر یک از این سطوح مزایا و معایب خود را دارند و طراح باید با توجه به نوع تهدیدات و محیط عملیاتی به صورت بهینه‌ای از این سطوح جهت تحقق اهداف استفاده کند[4]. متداول‌ترین نوع سطوح آیرودینامیکی بالک‌ها می‌باشند که به دلیل قرار گرفتن پیش از مرکز ثقل موشک، مانورپذیری زیادی را برای موشک فراهم می‌آورند. به عنوان مثال موشک Sparrow از بال‌ها‌ی متحرک جهت کنترل و از بالک‌های ثابت برای پایداری بهره می‌برد[4].

روش‌های مختلفی جهت کنترل باله‌ی موشک وجود دارد، که مهم‌ترین آن‌ها موتورهای الکتریکی DC، نیروی پنوماتیکی و نیروی هیدرولیکی می‌باشد. نیروی پنوماتیکی به دلیل مزایای آن بر سایر نیروها در سیستم‌های کنترلی مختلف نظیر کنترل بازوی ربات‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد[5]. از جمله مزیت‌های استفاده از نیروی پنوماتیکی اشغال فضای کمتر نسبت به سایر نیروها در یک توان برابر، نیاز به استفاده از منابع انرژی الکتریکی کمتر در سیستم و توانایی ازبین بردن سریع‌تر اغتشاشات نسبت به برخی نیروهای دیگر مثل نیروی هیدرولیکی می‌باشد[6].

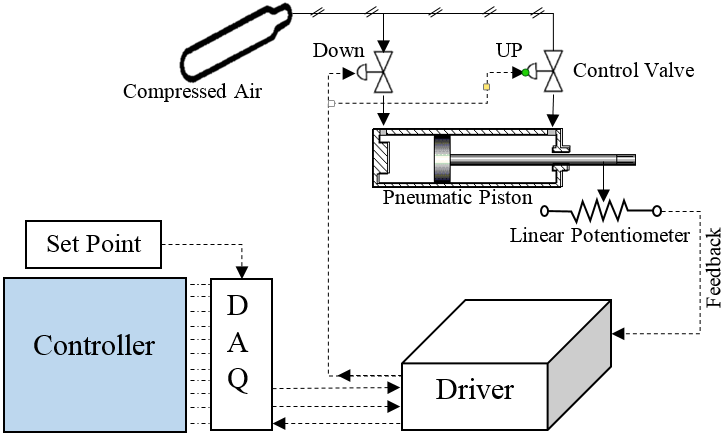


شکل 1:موقعیت قرار گیری سطوح آیرودینامکی جهت کنترل موشک بر بدنه‌ی آن[7]

در این مقاله سیستم کنترلی جدیدی برای کنترل بلادرنگ[[1]](#footnote-2) سطوح آیرودینامیکی موشک با استفاده از پیستون پنوماتیکی معرفی می‌شود. در سیستم ارائه شده، از طریق کنترل فشار هوای ورودی به پیستون پنوماتیکی، زاویه‌ی سطوح آیرودینامیکی متصل به موشک کنترل می‌شود. علیرغم سادگی و هزینه‌ی کم، مدارهای راه‌انداز[[2]](#footnote-3) و conditioning به گونه ای طراحی شده‌اند که سیستم دارای دقت زیاد و قابلیت اطمینان بالا باشد. در این پژوهش به منظور افزایش دقت کنترل موقعیت جک پنوماتیکی مدارات conditioning به صورت نرم‌افزاری خطی‌سازی می‌گردند. همچنین انواع کنترل‌کننده‌هایP، PI و PID به روش حلقه بسته‌ی زیگلر نیکولز طراحی می‌شوند و بهترین کنترل‌کننده، که دارای زمان خیز[[3]](#footnote-4) حداقل و بدون فراجهش[[4]](#footnote-5) است، پیاده‌سازی می‌گردد.

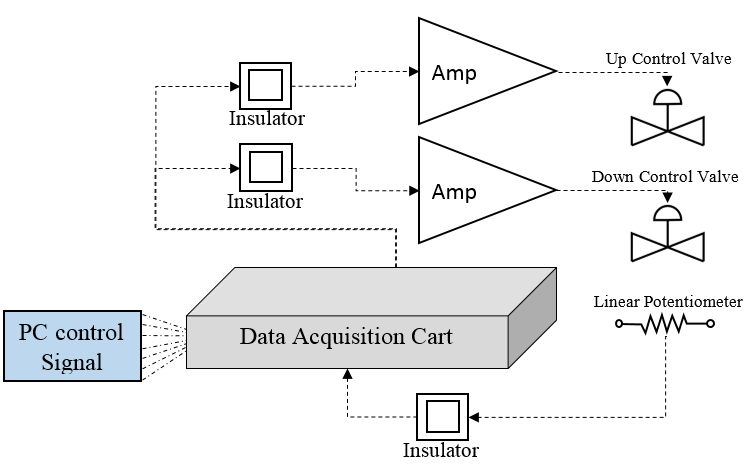
# توضیح سخت افزار ، نرم افزار و نکات نصب

سخت‌افزار سیستم کنترل باله‌ی موشک، شامل اجزایی است که وظیفه‌ی ثابت نگه داشتن موقعیت باله‌ی موشک در راستای مطلوب و اعمال نیروی جبران‌ساز برای جبران اغتشاشات وارد شده به باله را بر عهده دارند. این اجزا عبارتند از: 1) منبع هوای فشرده که تغذیه‌ی قدرت شیرهای کنترلی سیلندر پنوماتیکی می‌باشد. 2) شیرهای برقی که وظیفه‌ی کنترل دبی هوای فشرده‌ی ورودی به پیستون پنوماتیکی را بر عهده دارند. 3)پیستون پنوماتیکی که خروجی سیستم می‌باشد، در واقع هدف نهایی سیستم کنترل باله‌ی موشک کنترل موقعیت جک پیستون پنوماتیکی است که موجب تغییر در زاویه‌ی باله‌ و در نتیجه تغییر مسیر حرکت موشک می‌شود. 4)حسگر که وظیفه‌ی اندازه‌گیری موقعیت جک را بر عهده دارد. این حسگر در سیستم ارائه شده یک پتاسیومتر متصل شده به جک می‌باشد، به منظور فیدبک گرفتن از موقعیت جک، برای بستن حلقه‌ی کنترلی و اصلاح موقعیت فعلی استفاده می‌شود. 5)راه‌انداز که وظیفه‌ی ایزوله کردن عملگر از بخش پردازشی، دریافت فیدبک از موقعیت جک، تقویت سیگنال کنترلی اعمال شده از طرف پردازشگر و اعمال سیگنال کنترلی تقویت شده به پیستون را به عهده دارد. 6)کارت جمع آوری داده[[5]](#footnote-6) که وظیفه‌ی دریافت سیگنال فیدبک از راه‌انداز و دادن آن به پردازشگر و اعمال سیگنال‌های کنترلی توسط پردازشگر به راه‌انداز را به عهده دارد. 7)رایانه که به عنوان پردازشگر در این سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل 2 بلوک دیاگرام سیستم پیشنهادی برای کنترل موقعیت باله‌ی موشک توسط پیستون پنوماتیکی و نحوه‌ی اتصال بخش‌های مختلف آن به یکدیگر را نشان می‌دهد. در این شکل سه نوع ارتباط سریال، آنالوگ و پنوماتیکی بین اجزای مختلف سیستم وجود دارد.



شکل 2: شمای کلی بلوک دیاگرام سیستم پیشنهادی برای کنترل موقعیت جک پیستون پنوماتیکی

روش مورد استفاده‌ی کنترل باله‌ی موشک در این مقاله بدین گونه است که ابتدا توسط پتانسومتر از خروجی موقعیت فیدبک گرفته می‌شود، سپس سیگنال فیدبک جهت ممانعت از ایجاد حلقه‌ی جریان، توسط راه‌انداز از سیگنال کنترل‌کننده، ایزوله شده و به پردازشگر ارسال می‌گردد. پردازشگر آن را با موقعیت مطلوب جک پیستون مقایسه می‌کند و دستورات کنترلی را به راه‌انداز ارسال می‌کند. راه‌انداز مجددا پس از ایزوله کردن سیگنال کنترلی، توسط یک تقویت کننده، متناسب با شیر‌های کنترلی، سطح سیگنال را افزایش داده و به دو شیر کنترلی اعمال می‌کند. شکل 3 بلوک دیاگرام اعمال سیگنال کنترلی به شیرهای کنترلی و دریافت فیدبک از موقعیت فعلی پیستون پنوماتیکی را نشان می‌دهد.



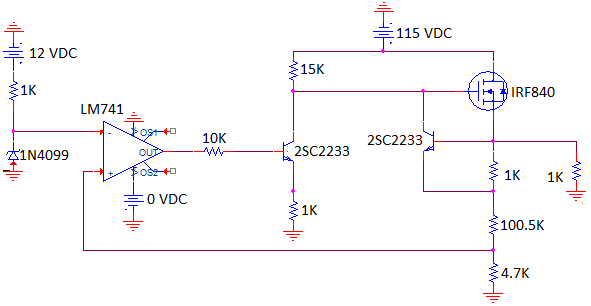
شکل 3: بلوک دیاگرام اعمال سیگنال کنترلی به شیر‌های کنترلی و دریافت فیدبک از موقعیت فعلی جک پنوماتیکی

در حین نصب و راه اندازی این دستگاه، باید در ترتیب اتصال سیم‌های کارت جمع آوری داده به راه‌انداز دقت کافی را لحاظ نمود زیرا در صورت عدم دقت منجر به آسیب دیدن جدی کنترل‌کننده و یا کارت جمع آوری داده می‌شود.

## معرفی بخش الکترونیکی

یکی از بخش‌هایی که توسط این مقاله به صورت نوآورانه تشریح می‌شود نحوه‌ی طراحی راه‌انداز، ساخت مدارات آن و نکاتی است که باید در طراحی و ساخت آن لحاظ کرد. راه‌انداز شامل اجزای: منابع تغذیه، جداکننده‌[[6]](#footnote-7)ها و تقویت کننده‌ی سیگنال کنترلی می‌باشد که هریک به ترتیب در ادامه توضیح داده می‌شود.

در طراحی این راه‌انداز ما نیاز به منابع تغذیه‌ی زیر داریم: منبع تغذیه 15 ولت جهت روشن شدن جداکننده‌ها، 24 ولت جهت تغذیه‌ی پتانسیومتر فیدبک جک خروجی پیستون پنوماتیکی، 12ولت جهت روشن شدن مدار تثبیت منبع تغذیه‌ی 110 ولت و منبع تغذیه‌ی 110 ولت جهت فعال شدن تقویت کننده‌ی سیگنال کنترلی. منابع تغذیه‌ی 15،12و24 ولتی به ترتیب با تنظیم‌کننده‌های ولتاژ LM7812، LM7815، LM7824 قابل پیاده سازی هستند. مدار منبع تغدیه‌ی110ولتی نیاز به تثبیت ولتاژ خروجی دارد به گونه‌ای که با تغییر جریان کشیده شده از آن، سطح ولتاژ خروجی افت نکند. به همین دلیل از مدار فیدبک‌دار شکل 4 استفاده می‌شود.



شکل 4: شماتیک کلی منابع تغذیه‌ی 110 ولتی

جداکننده، بخش مهم دیگر موجود در راه‌انداز است. مدار شامل جداکننده‌، به عنوان مدار conditioning وظیفه‌ی انتقال سیگنال الکتریکی از کنترل‌کننده به راه‌انداز و از راه‌انداز به کنترل‌کننده به صورت آنالوگ با رعایت ایزوله بودن دو بخش را دارد. جداکننده‌ها معمولا کاملا خطی نیستند یعنی سیگنال را با یک مقدار اعوجاج و یک بایاس منتقل می‌کنند. بنابراین جهت افزایش دقت کنترل موقعیت از خطی سازی نرم افزاری استفاده می‌شود. در این مقاله سیگنال فیدبک از موقعیت جک که پس از عبور از جداکننده‌ وارد کارت جمع آوری داده می‌شود توسط یک نمودار خطی موجود در نرم افزار، برازش و اصلاح می‌گردد. در این پژوهش به جداکننده‌ یک سیگنال پله اعمال می‌شود و خروجی غیرخطی آن به صورت نرم‌افزاری خطی می‌گردد. شکل5 سیگنال خروجی جداکننده‌ و سیگنال اصلاح شده را نشان می‌دهد. جهت محاسبه خط اصلاح کننده رفتار غیر خطی جداکننده‌ (معادله‌ی 1)، ورودی و خروجی آن در دو محور رسم می‌شود، خط مورد نظر از برازش خطی بر نقاط موجود در صفحه محاسبه می‌گردد(شکل6).



شکل 5: سیگنال خروجی جداکننده‌ و سیگنال اصلاح شده آن

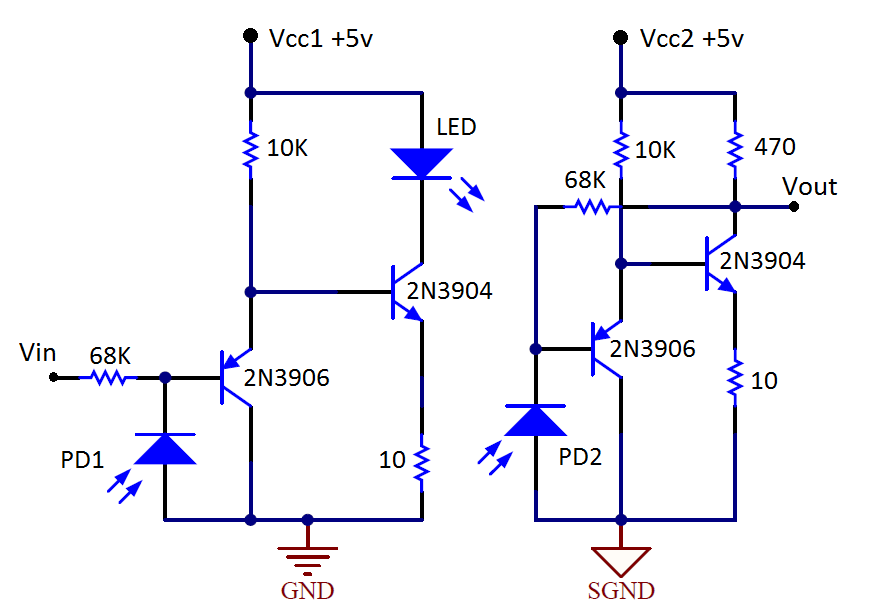


شکل 6: نمودار برازش شده برای اصلاح خروجی جداکننده‌

(1)

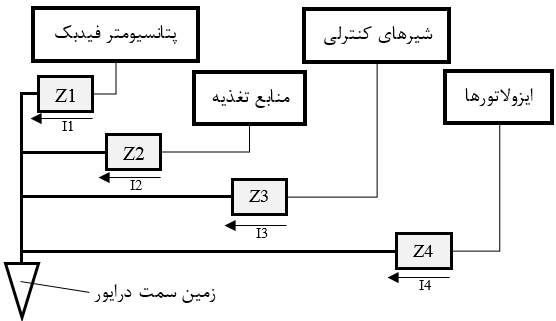
جداکننده‌ استفاده شده در این دستگاه از نوع نوری می‌باشد، شکل 7 شماتیک مدار جداکننده‌‌ی استفاده شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

بخش اصلی راه‌انداز، تقویت کننده‌ی سیگنال کنترلی می‌باشد. این بخش سیگنال کنترلی‌ را که دارای ولتاژ 0 تا 12 ولت است، به یک سیگنال قدرت 0 تا 110 ولت تبدیل می‌نماید. این تقویت کننده توسط دو ماسفت که در ناحیه‌ی مقاومتی بایاس شده‌اند پیاده سازی می‌شود. در این تقویت کننده با اعمال سیگنال کنترلی به گیت ماسفت مقاومت درین سورس آن تغییر کرده و سیگنال قدرت مناسب با سیگنال کنترلی اعمال شده به راه‌انداز توسط کنترل‌کننده، تولید می‌شود.



شکل 7: شماتیک مدار جداکننده‌

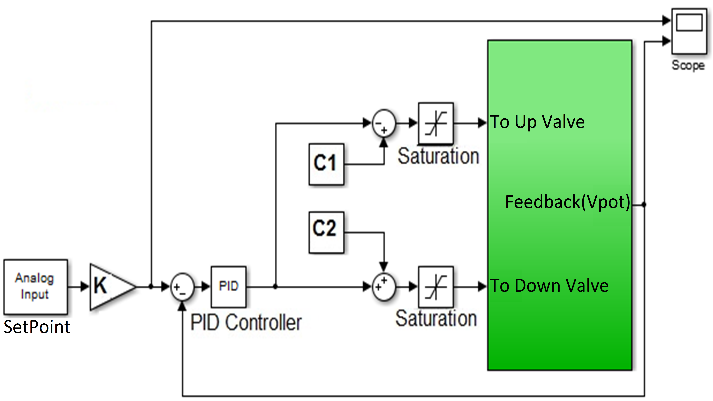
نکته‌ی مهمی که در پیاده سازی این سیستم باید به آن توجه داشت نحوه‌ی اتصال زمین‌های سیستم طراحی شده است، این سیستم دارای دو دسته زمین است، یکی زمین‌های سمت راه‌انداز و شیرهای کنترلی و دیگری زمین های بخش کنترل‌کننده. اتصال زمین‌های سمت راه‌انداز دستگاه باید به گونه‌ای باشد که اثرات جریان‌های برگشتی بر سیستم و افت پتانسیل ناشی از مجموع جریان‌های برگشتی بر هر یک از سیگنال‌ها حداقل گردد. برای این منظور زمین‌های این بخش همانند شکل 8 به هم و سپس به زمین سمت راه‌انداز متصل می‌شوند[8].



شکل 8: مدار پیشنهادی برای اتصال صحیح زمین‌های سمت راه‌انداز و شیرهای کنترلی دستگاه طراحی شده

## معرفی RTWT

متلب، نرم‌افزار قدرتمندی در زمینه‌ی کار با سیستم‌های بلادرنگ می‌باشد. در این مقاله از نرم افزارمRTWT متلب جهت کنترل بلادرنگ سیستم طراحی و ساخته شده استفاده می‌گردد. RTWT محیطی برای شبیه سازی، تست و ساخت نمونه اولیه سیستم‌های بلادرنگ می‌باشد. جهت ارتباط متلب با محیط واقعی از کارت جمع آوری داده (Advantech PCI-1711) در فرکانس 100 هرتز استفاده می‌شود. بلوک دیاگرام سیمولینک متلب جهت کنترل بلادرنگ پیستون پنوماتیکی در شکل 9 آمده است. با توجه به محدودیت دامنه‌ی ولتاژ خروجی کارت جمع آوری داده، از بلوک‌های اشباع[[7]](#footnote-8) در مسیر سیگنال کنترلی استفاده می‌شود. وروی بلوک دیاگرام این سیستم کنترلی مقدار مرجع[[8]](#footnote-9) و خروجی آن تفاضل سیگنال‌های کنترلی اعمالی به دو شیر برقی می‌باشد. همچنین سیگنال کنترلی از طریق دو ثابت C1 و C2 به دو شیر برقی اعمال می‌گردد(شکل 9).

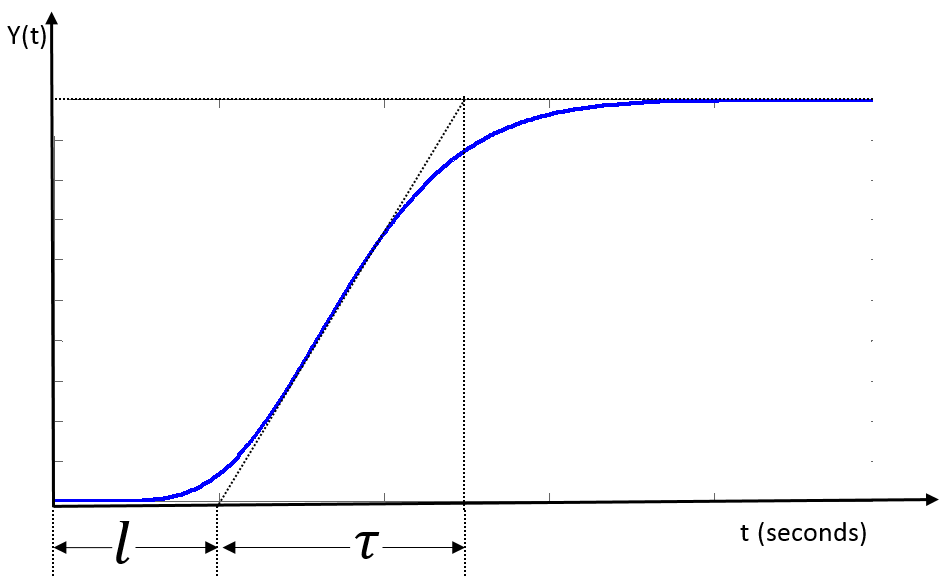
 شکل 9: بلوک دیاگرام سیمولینک متلب جهت کنترل بلادرنگ پیستون پنوماتیکی

# طراحی کنترل‌کننده

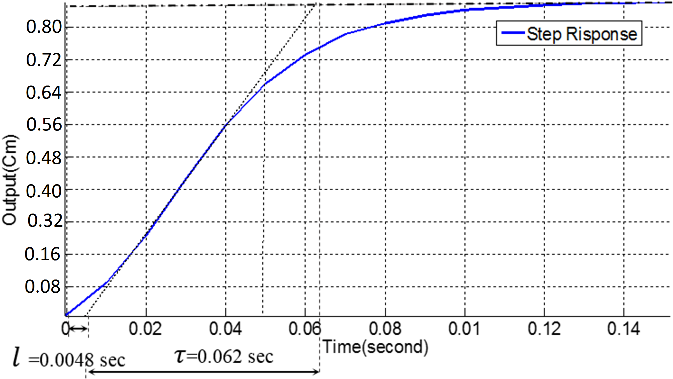
زیگلر و نیکولز درسال 1942 با مشاهده‌ی آزمایشات مختلف بر روی سیستم‌های متفات، قواعدی برای محاسبه‌ی ضرایب کنترل‌کننده‌های PID (، و) بر اساس پاسخ پله سیستم پیشنهاد کردند. این روش زمانی که مدل ریاضی دقیقی از سیستم موجود نیست مفید است. معادله‌ی 2 شکل کلی کنترل‌کننده‌ی PID را نشان می‌دهد[9].

(2)

جهت محاسبه‌ی ضرایب کنترل‌کننده‌ی PID ، زیگلر نیکولز دو روش ارایه کرده‌اند ، که در این مقاله از روش «معیار میرایی یک چهارم» به تنظیم آن می‌پردازیم. بر اساس این روش اگر طی یک دوره تنها حدود 25 درصد از حالت گذرا باقی بماند یک پاسخ خوب بدست آمده است[10]. برای تنظیم ضرایب کنترل‌کننده مطابق روش معیار میرایی یک چهارم زیگلر نیکولز، ابتدا پاسخ پله‌ی سیستم را محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه‌ی پاسخ پله‌ی سیستم اگر به جای کنترل‌کننده PID در شکل 9 تنها گین واحد قرار گیرد و به ورودی سیستم پله‌ اعمال شود پاسخ سیستم به ورودی پله بدست خواهد آمد. پاسخ پله‌ی سیستم شکلی همانند S (شکل10) دارد. این پاسخ دارای دو پارامتر و است که ضرایب کنترل‌کننده‌ی PID بر اساس آن‌ها محاسبه می‌شود. شکل 11 پاسخ سیستم ساخته شده به ورودی پله واحد را نشان می‌دهد.در این شکل ضرایب و مشخص شده‌اند. جدول 1 روابط تعریف شده توسط زیگلر نیکولز برای تنظیم ضرایب کنترل‌کننده‌ی PID بر اساس معیار میرایی یک چهارم را نشان می‌دهد[11].



شکل 10: منحنی عکس‌ العمل فرآیند زیگلر نیکولز



شکل 11: پاسخ پله سیستم ساخته شده به ورودی پله واحد

جدول 1: روابط زیگلر نیکولز جهت محاسبه‌ی ضرایب کنترلرکننده‌های P،PI و PID

|  |  |
| --- | --- |
| کنترل‌کننده | ضرایب زیگلر نیکولز |
| P |  |
| PI |  |
| PID |  |

با استفاده از روش معیار میرایی یک چهارم زیگلر نیکولز، ضرایب کنترل‌کنندهP،PI و PID برای این سیستم مطابق جدول 2 استخراج می‌شود. با انجام آزمایشات مختلف به این نتیجه رسیدیم که کنترل کننده‌ی PD با تقویت نویز موجود در سیستم باعث ناپایداری آن می‌شود به همین دلیل نمی‌توان از کنترل کننده PD برای کنترل آن استفاده کرد.

جدول 2: ضرایب کنترلرکننده‌های P،PI و PID زیگلر نیکولز

|  |  |
| --- | --- |
| کنترل‌کننده | ضرایب زیگلر نیکولز |
| P | 12.9 |
| PI |  |
| PID |  |

برای ارزیابی سیستم کنترل حلقه بسته‌ی بدست آمده بر اساس این کنترل‌کننده‌ها، ضرایب تنظیم شده‌ بر اساس معیار میرایی یک چهارم (جدول 2) در پردازشگر به عنوان کنترل‌کننده پیاده سازی می‌شوند. پاسخ پله‌ی سیستم به کنترل‌کننده‌هایP، PI و PID در شکل‌های 12 و 13 و 14 آمده است.

 شکل 12: پاسخ پله‌ی سیستم حلقه بسته به کنترل‌کننده P زیگلر نیکولز

 شکل 13: پاسخ پله‌ی سیستم حلقه بسته به کنترل‌کننده PI زیگلر نیکولز

 شکل 14 :پاسخ پله‌ی سیستم حلقه بسته به کنترل‌کننده PID زیگلر نیکولز

شکل 12 پاسخ سیستم حلقه بسته را با کنترل‌کننده P به ورودی پله نشان می‌دهد که به دلیل صفر بودن I خروجی در اطراف مقدار مرجع نوسان می‌کند برای حذف این نوسانات کنترل‌کننده I را اضافه می‌نماییم که خروجی آن در شکل 13 دیده می‌شود. با دقت به این شکل متوجه می‌شویم که خروجی پایدارتر شده است ولی پاسخ گذرای مناسبی ندارد. داشتن فراجهش در عمل برای کنترل موشک مخرب است، لذا برای از بین بردن این خطا از کنترل‌کننده PID (جدول 2) استفاده می‌شود که خروجی آن در شکل 14 مشاهده می‌گردد. این کنترل‌کننده دارای پاسخ بدون فراجهش با زمان خیز مناسب و خطای حالت دایم صفر می‌باشد. معادله‌ی 3 تابع تبدیل کنترل‌کننده PID را نشان می‌دهد.

(3)

با توجه به اندک لقی سیستم مکانیکی و استهلاک آن، با اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی سیستم ساخته شده، دقت موقعیت جک تقریبا 0643/0سانتی‌متر می‌باشد که در عمل یک دقت قابل قبول است.

# نتیجه گیری

در این مقاله اقدام به طراحی، پیاده سازی و ساخت یک سیستم کنترل موقعیت پیستون پنوماتیکی شده است. در این پژوهش نحوه‌ی طراحی مدارات conditioning، راه‌انداز و کنترل‌کننده با دقت زیاد، قابلیت اطمینان بسیار بالا و هزینه‌ کم ارائه شد. همچنین روش جبران سازی رفتار غیر خطی جداکننده‌ها جهت افزایش دقت موقعیت جک توضیح داده شد. سپس پاسخ پله‌ی سیستم استخراج گردید و ضرایب کنترل‌کننده PID به روش حلقه بسته زیگلر نیکولز برای آن محاسبه شد و پس از مقایسه خروجی سیستم با کنترل‌کننده‌های P، PI وPID مشخص شد که کنترل‌کننده PID دارای بهترین پاسخ است و در عمل دقت موقیت جک 0643/0 سانتی متر می‌باشد.

 شکل 15: نمای کلي از سيستم کنترل‌کننده طراحي و ساخته شده

# مراجع

[1] Stanle J.Sawichi, Engineering Design Handbook - *Ballistic Missile Series – Aerodynamics*. U.S. Army Materiel Command Press, pp.11-12, 1965.

[2] Charles M. DenegriJr., James A. Dubben, and Kenneth S. Dawson. "Underwing Missile Control-Surface Effects on Aircraft Limit Cycle Oscillations", Journal of Aircraft, Vol. 51, No. 2, pp. 693-695, 2014.

[3] Dalin Zhu, Shengjing Tang, Jie Guo, and Rui Chen,” Flight stability of a dual-spin projectile with canards”, Journal of Aerospace Engineering, vol. 229, pp. 703-716, 2015.

[4] Siouris and George, *Missile Guidance and Control Systems*. Springer-Verlag New York Press, pp. 92-35, 2004.

[5] Mario Cheng, Stephan Riek, Sebastien Ourselin, and Marcus Watson, “Pneumatic Haptic Interface Fuzzy Controller for Simulation of Abdominal”, Third Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Salt Lake City, 2009.

[6] Huang, K. David, and Sheng-Chung Tzeng. "Development of a hybrid pneumatic-power vehicle." Journal of Applied Energy, Vol. 80, No. 1, pp. 47-59, 2005.

[7] Duan Chao-yang, Guo Jian-guo, and Zhou Jun, “Autopilot Design for Missile with Morphing Wings”, 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Vol. 6, pp. 520-523, 2010.

[8] Deon Reynders, Steve Mackay, and Edwin Wright, *Practical Industrial Data Communications Best Practice Techniques*. Elsevier Press, pp. 35-37, 2006.

[9] دکتر سید علی اکبر صفوی ، مهندس محمد رضوانی، "اصول و روش‌های کنترل صنعتی" موسسه‌ی انتشاراتی پژوهشگران نشر‌دانشگاهی، صفحات 94-97، 1393.

[10] Karl Johan Åström, and Richard M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press, pp.293-313, 2008.

[11] K.J. Åström, and T. Hägglund, “Revisiting the Ziegler–Nichols step response method for PID control”, Journal of Process Control 14, pp. 635–650, 2004.

1. Real Time [↑](#footnote-ref-2)
2. Driver [↑](#footnote-ref-3)
3. Rise time [↑](#footnote-ref-4)
4. Overshoot [↑](#footnote-ref-5)
5. Data Acquisition Cart(DAQ) [↑](#footnote-ref-6)
6. Insulator [↑](#footnote-ref-7)
7. Saturation [↑](#footnote-ref-8)
8. SetPoint [↑](#footnote-ref-9)