

شرکت دانش بنیان
فناوران مکانیک و الکترونیک نصیر (نامیک)

Nasir Mechanics and Electronics Engineers Co



دستور آزمایشگاه سیستم آموزشی پاندول هوایی

ES-APS11



فهرست

- ۱..... مقدمه
- ۲..... آشنایی با دستگاه پاندول هوایی
- ۳..... آزمایش اول - آشنایی با عملکرد دستگاه
- ۱۱..... آزمایش دوم - طراحی کنترل کننده برای مدل دستگاه
- ۱۴..... آزمایش سوم - پیاده سازی کنترل کننده برای دستگاه

فهرست تصاویر

- ۲..... شکل ۱ نمایشگر LCD دستگاه
- ۳..... شکل ۲ نمایشگر LCD دستگاه - محل نمایش حرارت

مقدمه

این مکتوب دستور کار آزمایشگاهی برای انجام مجموعه‌ای از آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه پاندول هوایی است. به‌طور کلی هدف از طراحی دستور کار و دستگاه پاندول هوایی آشنایی دانشجویان سیستم‌های واقعی و عملی که در محیط‌های صنعتی و تجاری در آینده با آن‌ها مواجه خواهند شد است.

برای انجام آزمایش‌ها با استفاده از این دستگاه نیاز به دانش از اولیه استفاده از نرم‌افزارهای متلب و سیمولینک است. برای این منظور در صورتی که دانشجویان آشنایی با نرم‌افزار ندارند می‌توانند مرجع نرم‌افزار متلب مانند راهنمای کاربردی متلب نوشته نیما جمشیدی و آموزش کاربردی مباحث پیشرفته برق با نرم‌افزار متلب نوشته نیما جمشیدی مراجعه نمایند در صورتی که امکان دسترسی به دو کتاب فوق وجود نداشته باشد می‌توانید از آدرس سایت‌های زیر نیز استفاده نمایید.

<http://rahilzargarinejad.ir/Lab/LabNotesZargarinejadNikfar.pdf>

<http://mechanicsoft.ir/2016/06/05/matlab-quick-tutorial/>

<http://mechanicsoft.ir/tag/matlab/>

<http://adelshojaei.ir/1391/07/15/learning-tutorial-curve-fitting-toolbox-matlab-software/>

آشنایی با دستگاه پاندول هوایی

این دستگاه پاندول هوایی بر اساس سیستم‌های پروازی مانند هلیکوپترها، هواپیماهای عمودپرواز، سیستم‌های با محرکه‌های انتقال هوا و ... طراحی شده است. برای به حرکت درآوردن بازوی دستگاه از یک فن سرعت بالای بدون جاروبک استفاده شده است. اندازه‌گیری زاویه بازو با استفاده از یک سنسور شفت انکودر ۳۶۰ پالس بر دور انجام می‌شود. این سنسور از نوع Quadrature است که می‌تواند جهت حرکت و دقت چهار برابری را فراهم کند. همچنین به علت وجود سیگنال Z نقطه صفر بازو در زمان عبور از ناحیه میانی قابل کشف است. برای بالا بردن دقت کشف ناحیه صفر دستگاه یک تراز استاندارد آبی در بالای بازو نصب شده است. در قسمت پشت دستگاه کلید روشن خاموش دستگاه قرار دارد تغذیه ۲۲۰ ولت برق شهر دستگاه را قطع و وصل می‌نماید. کابل USB دستگاه هم از پشت دستگاه خارج شده است. قسمت جلوی دستگاه نمایشگر کریستال مایع (LCD) به رنگ آبی وضعیت دستگاه نمایش می‌دهد.



شکل ۱ نمایشگر LCD دستگاه

در سمت راست نمایشگر دو سوئیچ ۳ وضعیتی و دو ولوم قرار دارد. سوئیچ و ولوم اول برای کنترل موتور فن محرکه، سوئیچ و ولوم دوم برای کنترل میزان تأخیر اعمالی به سیستم است. در صورتی که کلید اول که بر در کنار آن لغت موتور نوشته شده است در وضعیت USB قرار گیرد کنترل موتور از طریق فرمان‌ها ارسال شده از طریق پورت USB و نرم‌افزار متلب و سیمولینک انجام می‌شود. در صورتی که سوئیچ در وضعیت منوال قرار بگیرد از طریق ولوم موتور کنترل خواهد شد. در صورتی که در وضعیت اکسترنال قرار بگیرند دستگاه از طریق سوکت های قسمت پایین کنترل می‌شود. سوئیچ و ولوم دوم برای اعمال تأخیر به سیستم به کار می‌رود. با روشن کردن سوئیچ دوم به میزان ولوم دوم تأخیر به سیستم اضافه می‌شود. در صورتی که ولوم تأخیر از موقعیت صفر خارج شود به میزان مقدار ولوم تأخیر، تأخیر به سیستم اعمال می‌شود.

در قسمت پایین دستگاه پنج جفت سوکت قرار دارد. جفت اول ورودی موتور دستگاه است که می‌تواند ولتاژ بین ۰ تا ۵ ولت را دریافت نماید. بر اساس ولتاژ دریافتی در صورتی که سوئیچ موتور در وضعیت قرار داشته باشد کنترل دستگاه از طریق این سوکت انجام خواهد. سه جفت سوکت بعدی خروجی‌های سنسور شفت انکودر دستگاه است که به صورت

استاندارد ولتاژ TTL به این سه جفت سوکت منتقل شده است. جفت سوکت آخر خروجی ولتاژ آنالوگ موقعیت بازوی دستگاه است. خروجی انکودر و موقعیت آنالوگ در تمام حالت‌های کنترلی فعال بوده ولی ورودی کنترل موتور در حالت اکسترنال فعال می‌شود.

توجه داشته باشید ولتاژ موتور محرک فن ۱۲ ولت است که بدون استفاده از یک تقویت کننده و با ارسال پالس‌های فرکانس بالای PWM به سیم کنترل فن، سرعت فن تنظیم می‌شود.

اطلاعات نمایش داده شده بر روی صفحه نمایش دستگاه شامل وضعیت سوئیچ‌ها، وضعیت ولوم‌ها و مقدار زاویه خوانده شده از طریق انکودر است. در مقابل حرف P در خط آخر LCD میزان زاویه بازو قرار دارد. توجه داشته باشید ممکن است در اولین راهاندازی دقت این زاویه کاملاً درست نباشد. برای رفع این مشکل کافی است فقط یکبار در ابتدای روشن کردن دستگاه بازو را به صورت دستی بلند کنید تا پالس Z سنسور انکودر دستگاه را کالیبره کند. همچنین در مقابل حرف F سرعت فن محرک را به صورت RPM نمایش داده می‌شود.

آزمایش اول - آشنایی با عملکرد دستگاه

هدف از این آزمایش به دست آوردن پارامترهای ناشناخته و به دست آوردن حس شهودی از دستگاه پاندول هوایی است. در این آزمایش ابتدا جداول زیر را با مقادیر مناسب پر کنید و به سؤالات پاسخ دهید. برای راهاندازی دستگاه سوئیچ موتور را بر روی حالت Manual قرار داده و ولوم تأخیر (Delay) بر روی صفر قرار داده و کلید Delay را خاموش کنید. در این حالت با تنظیم ولوم موتور می‌توانید زاویه بازو و سرعت فن را کنترل کنید.



شکل ۲ نمایشگر LCD دستگاه - محل نمایش حرارت

۱. با استفاده از ولوم موتور درصد PWM ها را مطابق جدول زیر تنظیم کنید و سرعت فن را بخوانید و در جدول بنویسید.

درصد PWM	سرعت فن (RPM)
۰	
۵	
۱۰	
۱۵	
۲۰	
۲۵	
۳۰	
۳۵	
۴۰	
۴۵	
۵۰	
۵۵	
۶۰	
۶۵	
۷۰	
۷۵	
۸۰	
۸۵	
۹۰	
۹۵	
۱۰۰	

(۴)

با توجه به تغییرات سرعت فن به نظر شما سیستم خطی است ؟ توضیح دهید؟

.....

.....

.....

.....

.....

.....

نمودار تغییرات سرعت فن بر اساس درصد ولوم را با کمک نرم افزار متلب بکشید.

۲. آزمایش قبل را مجدداً تکرار کنید و جدول زیر را پر کنید.

درصد PWM	سرعت فن (RPM)
۰	
۵	
۱۰	
۱۵	
۲۰	
۲۵	
۳۰	
۳۵	
۴۰	
۴۵	
۵۰	
۵۵	
۶۰	
۶۵	
۷۰	
۷۵	
۸۰	
۸۵	
۹۰	
۹۵	
۱۰۰	

با توجه به تغییرات این جدول نسبت به جدول قبل تکرارپذیری سرعت فن را بررسی کنید؟ در مورد تکرارپذیری توضیح دهید؟

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

نمودار تغییرات سرعت فن بر اساس درصد ولوم را با کمک نرم افزار متلب بکشید.

۳. یک تابع غیرخطی یا چندجمله‌ای را برای رفتار استاتیکی فن پیشنهاد دهید. تابع پیشنهادی خود را در یک نمودار با رفتار موتور درون نرم افزار متلب رسم کنید. به نظر شما تابع شما مناسب است؟ در مورد معیار SSE (مجموع مربعات خطا) تحقیق کنید و نتیجه تحقیق خود را در ادامه بیاورد. تابع خود را از نظر معیار SSE بررسی کنید و عدد به دست آمده را بنویسید.

معیار SSE تابع پیشنهادی

.....

.....

.....

.....

.....

.....

آزمایش قبلی را برای زاویه پاندول تکرار کنید.

زاویه پاندول	درصد PWM
	۰
	۵
	۱۰
	۱۵
	۲۰
	۲۵
	۳۰
	۳۵
	۴۰
	۴۵
	۵۰
	۵۵
	۶۰
	۶۵
	۷۰
	۷۵
	۸۰
	۸۵
	۹۰
	۹۵
	۱۰۰

با توجه به تغییرات زاویه بازو به نظر شما سیستم خطی است؟ توضیح دهید؟

.....

.....

.....

.....

.....

.....

نمودار تغییرات زاویه بازو بر اساس درصد ولوم را با کمک نرم افزار متلب بکشید.

۴. آزمایش قبلی را مجدد برای زاویه پاندول تکرار کنید.

زاویه پاندول	درصد PWM
	۰
	۵
	۱۰
	۱۵
	۲۰
	۲۵
	۳۰
	۳۵
	۴۰
	۴۵
	۵۰
	۵۵
	۶۰
	۶۵
	۷۰
	۷۵
	۸۰
	۸۵
	۹۰
	۹۵
	۱۰۰

با توجه به تغییرات این جدول نسبت به جدول قبل تکرارپذیری زاویه بازو را بررسی کنید؟

.....

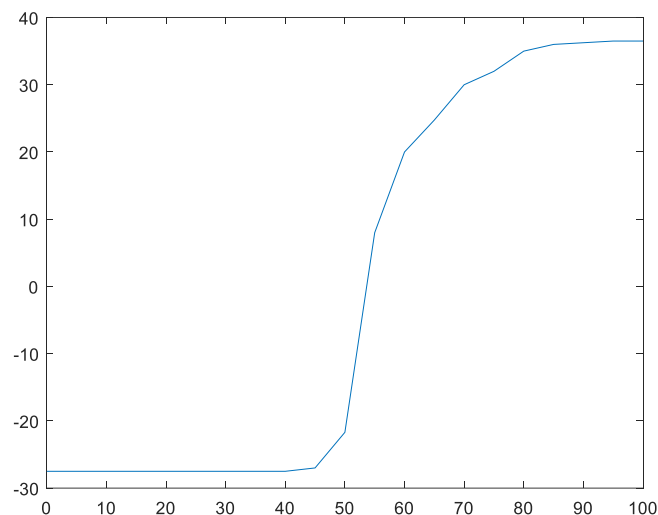
.....

.....

.....

.....

نمودار تغییرات زاویه بازو بر اساس درصد ولوم را با کمک نرم افزار متلب بکشید.



۵. با کمک ولوم آستانه حرکت بازو را پیدا کنید.

زاویه پاندول	درصد PWM

۶. با کمک ولوم سعی کنید بازو را زاویه صفر قرار دهید. مقدار PWM اعمالی به موتور از طریق ولوم چقدر است؟

زاویه پاندول	درصد PWM
۰	؟

آزمایش دوم – طراحی کنترل کننده برای مدل دستگاه

۱. یکی از مدل های خطی نزدیک به دستگاه در نقطه کار بازوی صفر درجه به صورت زیر است.

$$\frac{1.092 s^2 + 3.128 s - 0.0008134}{s^4 + 0.891 s^3 + 2.329 s^2 + 0.643 s + 0.002657}$$

مدل فوق را درون نرم افزار سیمولینک ساخته و با استفاده از کنترل کننده P و PI، PD و PID سیستم را کنترل کنید. نتایج کنترل را در زیر بیاورید. در اینجا مطلوب زمان نشست کمتر ۳ ثانیه است. زاویه مطلوب صفر درجه است. طول شبیه سازی ۳۰ ثانیه در نظر بگیرید. ضرایب کنترل کننده را در جدول زیر بیاورید.

ضریب	ضریب P	ضریب I	ضریب D
کنترل کننده P			
کنترل کننده PI			
کنترل کننده PD			
کنترل کننده PID			

با توجه به پاسخ های کنترل کننده ها به نظر شما چه نوع کنترل کننده ای برای این سیستم کافی است؟

.....

.....

.....

تصاویر نمودارهای تمامی سیستم های کنترل شده را در ادامه بیاورید.

۲. در صورتی که بخواهیم علاوه بر زمان نشست کمتر ۳ ثانیه، سیستم بدون فرا جهش باشد کنترل کننده‌های قبلی را دوباره طراحی کنید.

ضریب D	ضریب I	ضریب P	ضریب
			کنترل کننده P
			کنترل کننده PI
			کنترل کننده PD
			کنترل کننده PID

با توجه به پاسخ‌های کنترل کننده‌ها به نظر شما چه نوع کنترل کننده‌ای برای این سیستم کافی است؟

.....

.....

.....

.....

تصاویر نمودارهای تمامی سیستم‌های کنترل شده را در ادامه بیاورید.

۳. در صورتی که بخواهیم علاوه بر زمان نشست کمتر ۱,۵ ثانیه و سیستم بدون فرا جهش باشد کنترل کننده‌های قبلی را دوباره طراحی کنید.

ضریب D	ضریب I	ضریب P	ضریب
			کنترل کننده P
			کنترل کننده PI
			کنترل کننده PD
			کنترل کننده PID

با توجه به پاسخ‌های کنترل کننده‌ها به نظر شما چه نوع کنترل کننده‌ای برای این سیستم کافی است؟

.....

.....

.....

تصاویر نمودارهای تمامی سیستم‌های کنترل شده را در ادامه بیاورید.

۴. در این آزمایش به جای کنترل کننده کلاسیک که در آزمایش‌های قبل استفاده شد، از یک رله استفاده کنید. برای این منظور از بلوک Relay از گروه Discontinuities استفاده کنید. پارامترهای رله را به صورت زیر تنظیم کنید.

پارامتر	مقدار
Switch on point	eps
Switch off point	eps
Output when on	100
Output when off	0

آیا این کنترل کننده مناسب است؟ توضیح دهید؟

.....

.....

.....

تصاویر نمودارهای تمامی سیستم‌های کنترل شده را در ادامه بیاورید.

۵. در این آزمایش به جای کنترل کننده کلاسیک که در آزمایش‌های قبل استفاده شد، از یک رله استفاده کنید. برای این منظور از بلوک Relay از گروه Discontinuities استفاده کنید. پارامترهای رله را به صورت زیر تنظیم کنید.

پارامتر	مقدار
Switch on point	0
Switch off point	0.4
Output when on	100
Output when off	0

آیا این کنترل کننده تفاوتی با کنترل کننده قبل دارد؟ توضیح دهید؟

.....

.....

.....

تصاویر نمودارهای تمامی سیستم‌های کنترل شده را در ادامه بیاورید.

۶. یک کنترل کننده دلخواه غیر از کنترل کننده‌های قبلی را انتخاب کنید و سعی کنید سیستم را کنترل کنید.

آیا این کنترل کننده تفاوتی با کنترل کننده قبل دارد؟ توضیح دهید؟

.....

.....

.....

تصاویر نمودارهای تمامی سیستم‌های کنترل شده را در ادامه بیاورید.

آزمایش سوم – پیاده‌سازی کنترل کننده برای دستگاه

۱. بهترین کنترل کننده کلاسیک که در بخش سوم آزمایش قبل طراحی کردی را بر روی دستگاه پیاده‌سازی کنید. برای این منظور از فایل پایه APS11_1_Monitor.slx استفاده کنید. میزان زاویه مطلوب صفر درجه است. طول زمام شبیه‌سازی را ۳۰ ثانیه قرار دهید. نتایج پیاده‌سازی را در ادامه بیاورید.

۲. پیاده‌سازی کنترل کننده را این بار با تغییر ضرایب کنترلی به صورت دستی بهتر کنید. نتایج پیاده‌سازی را در ادامه بیاورید.

۳. آزمایش اول را این بار با بهترین کنترل کننده رله تکرار کنید. نتایج پیاده‌سازی را در ادامه بیاورید.

۴. کنترل کننده دلخواه خود را بر روی دستگاه پیاده کنید. نتایج پیاده‌سازی را در ادامه بیاورید.

دستگاه پاندول هوایی نامیک ابزاری آموزشی بر اساس شبیه‌سازی دینامیک حرکتی یک درجه آزادی هلیکوپترها و هواپیماهای عمودپرواز است. در این دستگاه از یک فن بدون جاروبک DC به عنوان محرکه استفاده شده است. فن مورد استفاده نیروی رانش برای حرکت پاندول را فراهم می‌کند. موقعیت پاندول از طریق شفت انکودر به صورت دیجیتال اندازه‌گیری می‌شود.