



دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی رشته مهندسی برق

گرایش کنترل

طراحی و ساخت و کنترل سامانه دینامیکی میراساز جرم و فنر

دانشجو:

سارا احمدی

استاد راهنما:

دکتر صالح مبین

استاد مشاور:

مهندس امیرخانی

زمستان ۱۳۹۶

انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تقدیم

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است. به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم، به سبزترین نگاه زندگی‌ام، چشمان سبز مادرم، که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌هایی از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را سپاس نتوانم بگویم. امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشت‌م رضای شما. گران‌سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاش‌م، نسیم‌گونه غبار خستگی‌تان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان.

انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

درس کنترل اتوماتیک، یکی از درس‌های مهم مقطع کارشناسی رشته‌های مهندسی برق می‌باشد که فراگیری عمیق مفاهیم مربوط به این درس اهمیت بالایی در رشته‌های مهندسی دارد. آزمایشگاه‌ها می‌توانند با عنایت به مفاهیم مطرح در هر درس به درک عمیق مطالب درسی کمک کنند و در عین حال

با ایجاد یک تجربه عملی در شخص، ماندگاری مطالب را افزایش دهند. در خصوص آزمایشگاه کنترل، باید گفت با توجه به ویژگی‌های مباحث کنترل، تجربه استفاده از آزمایش برای این درس می‌تواند سبب

ترغیب بیشتر دانشجویان به این زمینه شود، بدین جهت در این پایان‌نامه، طراحی و ساخت یک سیستم آزمایشگاهی دو جرم و فنر با هدف آموزشی برای دانشجویان مهندسی برق در دستور کار قرار گرفته

است. کنترل موقعیت یکی از جرم‌ها با تحریک جرم دیگر، هدف کنترلی مورد مطالعه در این سیستم می‌باشد.

در این سیستم، موقعیت یکی از جرم‌های مورد نظر توسط یک سنسور فاصله‌سنج مادون قرمز اندازه‌گیری شده و به سیستم کنترل فیدبک می‌شود. در این پایان‌نامه ابتدا به طراحی و ساخت سیستم دو جرم و فنر پرداخته شده است و سپس کنترل موقعیت یکی از جرم‌ها مطرح شده است و از کنترل-کننده دیجیتال تناسبی-انتگرالی-مشتقی جهت کنترل سیستم استفاده شده است. برای پیاده‌سازی این

سیستم کنترلی از برد آردوینو Mega2560 استفاده شده است که از طریق بسته پشتیبانی سخت‌افزار

آردوینو به نرم‌افزار متلب متصل شده است. به این ترتیب در فضای سیمولینک متلب کنترل‌کننده‌های مهندسی

آزمایشگاه‌های مهندسی و مرتبط پیاده‌سازی شده است. **کلید واژه:** سیستم دو جرم و فنر، مدار آردوینو، کنترل‌کننده تناسبی-انتگرالی-مشتقی، سیمولینک.

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

فهرست مطالب

دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

صفحه

عنوان

۵	فهرست جدول ها
۵	فهرست شکل ها
۱	فصل ۱- مقدمه
۱-۱	۱-۱- پیشگفتار
۲	۱-۲- شرح موضوع
۳	۱-۳- معرفی سیستم آزمایشگاهی
۵	۱-۴- ساختار پایان نامه
۶	فصل ۲- مدل سازی سیستم دو جرم و فنر
۷	۲-۱- مقدمه
۷	۲-۲- مدل سازی
۸	۲-۳- معادلات سیستم و تابع تبدیل
۱۰	۲-۴- مدل سازی و شبیه سازی عددی
۱۱	۲-۵- سیمولینک متلب
۱۳	فصل ۳- معرفی اجزای سیستم
۱۴	۳-۱- مقدمه
۱۵	۳-۲- برد آردوینو
۱۵	۳-۲-۱- مزایای برد آردوینو
۱۶	۳-۲-۲- انواع آردوینو
۱۷	۳-۲-۳- برد آردوینو Mega2560

.....	۲۰
.....	۲۵
.....	۲۶
.....	۲۷
.....	۲۸
.....	۲۹
.....	۳۲
.....	۳۶
.....	۳۶
.....	۳۸
.....	۳۹
.....	۳۹
.....	۳۹
.....	۴۰
.....	۴۱
.....	۴۱
.....	۴۳
.....	۴۳
.....	۴۵
.....	۴۹
.....	۵۰
.....	۵۱
.....	۵۱

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱ نمای کلی از سیستم جرم و فنر
۸	شکل ۱-۲ دیاگرام آزاد جرم و فنر
۱۴	شکل ۱-۳ سیستم دو جرم و فنر
۱۹	شکل ۲-۳ برد آردوینو MEGA2560
۲۰	شکل ۳-۳ ابعاد مکانیکی برد آردوینو MEGA2560
۲۱	شکل ۳-۴ سنسور مادون قرمز
۲۳	شکل ۳-۵ مسیر پرتوهای منعکس شده
۲۴	شکل ۳-۶ شبیه‌سازی سنسور مادون قرمز در محیط سیمولینک
۲۸	شکل ۳-۷ سرو موتور MG996R
۳۱	شکل ۳-۸ ورقه‌های پلکسی گلاس در رنگ‌های مختلف
۳۲	شکل ۳-۹ دستگاه لیزر
۳۴	شکل ۳-۱۰ نقشه‌های سیستم
۳۵	شکل ۳-۱۱ نقشه‌های سیستم
۳۶	شکل ۳-۱۲ نحوه اضافه کردن کتابخانه سیمولینک متلب
۳۷	شکل ۳-۱۳ نحوه اضافه کردن کتابخانه سیمولینک متلب
۳۸	شکل ۳-۱۴ کتابخانه سیمولینک
۳۸	شکل ۳-۱۵ نحوه اتصال سنسور مادون قرمز به آردوینو
۳۹	شکل ۳-۱۶ نحوه اتصال سرو موتور به آردوینو
۴۲	شکل ۴-۱ بلوک دیاگرام کنترل کننده PID
۴۳	شکل ۴-۲ شبیه‌سازی سیستم اصلی در محیط سیمولینک با کنترل کننده PID
۴۴	شکل ۴-۳ پنجره مربوط به تغییرات ضرایب کنترل کننده PID
۴۵	شکل ۴-۴ پاسخ بهینه سیستم
۴۶	شکل ۴-۵ پاسخ سیستم در اثر افزایش Kd
۴۷	شکل ۴-۶ پاسخ سیستم در اثر افزایش Ki
۴۸	شکل ۴-۷ پاسخ سیستم در اثر افزایش Kd و کاهش فیلترینگ
۴۹	شکل ۴-۸ پاسخ سیستم در اثر افزایش فیلترینگ

۱-۱- پیشگفتار

سیستم جرم و فنر یکی از سیستم‌های معروف آزمایشگاهی و از مسائل معیار شاخه مهندسی کنترل می‌باشد که برای مطالعه و پوشش مفاهیم متعدد مطرح در کنترل مدرن و کلاسیک استفاده می‌شود. از مسائل واقعی شبیه به این سیستم می‌توان به سیستم‌هایی که دارای اتصالات انعطاف‌پذیر هستند، اشاره کرد مانند ربات‌ها با بازوهای متحرک یا سیستم تعلیق خودرو. مدل‌سازی جرم و فنر برای سیستم‌های زیادی به کار می‌رود، برای مثال برای مدل امپدانس اعضای بدن. این سیستم ذاتا دارای دو درجه آزادی می‌باشد اما از آن‌جا که به یکی از جرم‌ها ورودی می‌دهیم و هدف کنترلی موقعیت جرم دوم است، پس فرض می‌کنیم که سیستم دارای یک درجه آزادی می‌باشد. استفاده از این سیستم برای آموزش مفاهیم درس کنترل برای دانشجویان مقطع کارشناسی بسیار مفید خواهد بود. در این پایان‌نامه، طراحی و ساخت این سیستم و همچنین پیاده‌سازی کنترل‌کننده‌های تناسبی-انتگرالی-مشتقی در دستور کار می‌باشد. در این فصل پس از شرح موضوع پایان‌نامه به معرفی سیستم آزمایشی جرم و فنر پرداخته شده است و در انتها ساختار پایان‌نامه تبیین شده است.

۱-۲- شرح موضوع

سیستم کنترلی جرم و فنر یکی از سیستم‌های معیار^۱ در مهندسی کنترل می‌باشد. هدف از طراحی سیستم کنترلی جرم و فنر، کنترل موقعیت یکی از جرم‌ها با تحریک جرم دیگر توسط موتور می‌باشد. اجزای اصلی سیستم شامل دو جرم و فنر، یک سرو موتور، دو سنسور مادون قرمز و یک کامپیوتر شخصی می‌باشد. در زمان حرکت جرم‌ها، سنسورها موقعیت جرم‌ها را با استفاده از اشعه مادون قرمز و محاسبه زمان رفت و برگشت اشعه تعیین می‌کنند. در این پایان‌نامه ابتدا بحث طراحی و ساخت این سیستم آزمایشی

^۱ Benchmark

مطرح می‌شود، بعد از این مرحله بحث کنترل مطرح خواهد شد. در این راستا می‌بایست کنترل کننده تناسبی-مشتقی روی سیستم پیاده‌سازی شود. جهت سهولت کار و هم‌چنین کاهش هزینه ساخت از بورد الکترونیکی آردوینو^۱ استفاده خواهد شد. با توجه به این که امکان ارتباط بوردهای آردوینو با نرم‌افزار متلب و محیط سیمولینک آن فراهم است، لذا برای درک راحت‌تر دانشجویان، کنترل این سیستم در محیط سیمولینک نرم‌افزار متلب انجام خواهد شد.

۱-۳- معرفی سیستم آزمایشگاهی

سخت‌افزار این سیستم دارای دو جرم (قابل تغییر) است که به واسطه یک فنر به هم اتصال دارند و با افزودن یک (یا دو) فنر دیگر، این جرم‌ها می‌توانند به پایه‌های ثابت در دو انتها متصل شوند. کنترل موقعیت یکی از جرم‌ها با تحریک جرم دیگر، هدف کنترلی مورد مطالعه در این سیستم می‌باشد که سازه اصلی آن با استفاده از پلکسی‌گلاس ساخته شده است. از دو سنسور مادون قرمز شارپ GP2Y0A21YK با قابلیت اندازه‌گیری فواصل بین ۱۰ تا ۸۰ سانتی‌متر با دقت خطای کمتر از ۱

میلیمتر، جهت اندازه‌گیری موقعیت دو جرم استفاده شده است. سرو موتور به کار گرفته شده در این سیستم، سرو موتور MG996R است که دارای حداکثر گشتاور (Kg.cm) 11 و سرعت (rad/s) 2.38 می‌باشد.

در این سیستم یک بورد آردوینو Mega2560 در کنار یک منبع تغذیه ۵ ولت سه آمپر به کار گرفته شده است. کنترل این سیستم به صورت دیجیتال با نرم‌افزار واسط آردوینو متلب، در محیط

سیمولینک صورت می‌گیرد (که برقراری ارتباط بین نرم‌افزار آردوینو و محیط سیمولینک نرم‌افزار متلب با استفاده از بسته پشتیبان سخت‌افزاری آردوینو محقق می‌شود). لذا پیاده‌سازی انواع کنترل‌کننده‌ها برای کنترل این سیستم امکان‌پذیر خواهد بود.

^۱ Arduino

۵-۱- جمع بندی

همان طور که گفته شد، هدف از طراحی سیستم جرم و فنر ساخت یک دستگاه آزمایشگاهی جهت

آشنایی با اجزای یک سیستم کنترلی، روند طراحی و نمایش، چگونگی عملکرد و کنترل مطلوب این

سیستم بوده است. در فصل‌های پیشین، ابتدا هدف کلی از انجام پروژه مطرح شد و همچنین در این

بخش به تشریح سیستم جرم و فنر پرداخته شد. در بخش بعدی معادلات دینامیکی حاکم بر سیستم

جرم و فنر ارائه شد. در قسمت بعدی اجزای سازنده سیستم کنترلی جرم و فنر و ویژگی هر یک از این

اجزای استفاده شده در ساخت مطرح شد. همچنین در مورد ساخت قسمت‌های مختلف بدنه سیستم و

جنس بدنه‌ی آن اطلاعاتی ارائه شد. سپس شبیه‌سازی در غیاب کنترل‌کننده بر روی تابع انتقال و فضای

حالت بدست آمده از معادلات صورت گرفت. در قسمت بعدی پاسخ سیستم به کنترل‌کننده PID مورد

بررسی قرار گرفت و همچنین با تغییر ضرایب تناسبی-مشتقی-انترگالی در بخش کنترل‌کننده PID و

روش سعی و خطا توانستیم تاثیر این ضرایب بر عملکرد سیستم را مشاهده کنیم و در نهایت کنترلی

مناسب از این سیستم را ارائه دهیم. در قسمت پایانی این بخش به بررسی تاثیر تغییر ضرایب کنترل-کننده

کننده PID پرداختیم و همچنین اثرات تغییر فیلترینگ نیز مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب این

دستگاه این فرصت را به دانشجویان می‌دهد تا با مفهوم چرخه‌ی کنترلی یک سیستم، نحوه عملکرد

قسمت‌های مختلف سیستم و همچنین تاثیر ضرایب کنترل‌کننده‌ها و تفاوت‌های ایجاد شده در اثر

تغییرات ضرایب کنترل‌کننده‌ها آشنا شوند و هم درک بهتری از کنترل و تاثیرات آن داشته باشند.

۵-۲- نتیجه گیری

در این پایان‌نامه با طراحی و ساخت سیستم جرم و فنر و تحلیل فرآیند کنترل و توضیحاتی در مورد

ساختار اجزای آن قصد داریم زمینه‌ای را برای درک هر چه بهتر دانشجویان از فرآیند کنترل و نحوه‌ی

عملکرد سیستم‌های کنترلی در صنایع فراهم آوریم. در فصل اول با ایجاد زمینه‌ی اولیه در مورد سیستم-

های کنترلی و به خصوص سیستم کنترلی جرم و فنر آشنایی صورت گرفت. در این فصل با بهره‌گیری از کارهای انجام شده در این زمینه اهداف انجام پروژه تبیین شد. در انتها نیز به تشریح عملکرد سیستم پرداخته شد. در فصل دوم ابتدا در مورد دینامیک سیستم بحث شد و سپس نیروهای واردشونده از طریق دیاگرام آزاد نمایش داده شد. در فصل سوم ابتدا شکل ظاهری سیستم با توجه به وجود نمونه‌های زیاد از

این سیستم تعیین شد و سپس از نحوه فرآیند ساخت سیستم و اجزا سخن به میان آورده شد و هم‌چنین نحوه اتصال این اجزا به یک‌دیگر مشخص شد.

در فصل چهارم بخش کنترلی سیستم مورد بحث قرار گرفت و شبیه‌سازی توسط سیستم اصلی انجام شد و نتایج آن در حضور کنترل‌کننده PID نمایش داده شد و در انتها نیز نتایج بدست آمده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

۵-۳- پیشنهادات برای کارهای آینده

با توجه به گوناگونی کنترل‌کننده‌ها در دنیای امروزی پیشنهاد می‌شود که این سیستم با سایر کنترل‌کننده‌های موجود طراحی و ساخته شود تا این امکان برای دانشجو فراهم شود تا با کنترل‌کننده‌های دیگر و نحوه عملکرد آن‌ها آشنا شود و به این ترتیب به تفاوت این کنترل‌کننده‌ها نسبت به هم پی ببرد.

هم‌چنین توصیه می‌شود با محاسبه پارامترهای نامعین در بخش معادلات سیستم و جاگذاری آن‌ها، علاوه بر طراحی کنترل‌کننده PID، تابع تبدیل اصلی سیستم نیز به دست آید و در پایان پیشنهاد می‌شود که در یک ترم تحصیلی میزان تاثیرگذاری این وسیله آموزشی بر روی دانشجویان مورد بررسی قرار گیرد تا به تاثیری که می‌تواند در میزان یادگیری و درک مفاهیم کنترل و ایجاد میل و رغبت در آن‌ها، بگذارد، پی برده شود. بنابراین پیشنهاداتی را می‌توان به صورت گزاره‌های زیر بیان کرد:

استفاده از سیستم جرم و فنر جهت آموزش مفاهیم کنترل و ارزیابی تاثیرگذاری بر روی دانشجویان. پیاده‌سازی انواع کنترل‌کننده‌ها بر روی سیستم جرم و فنر و ارزیابی نتایج مربوطه.

