



به نام خدا

سیستم‌های کنترل دیجیتال

پژوهه نهایی

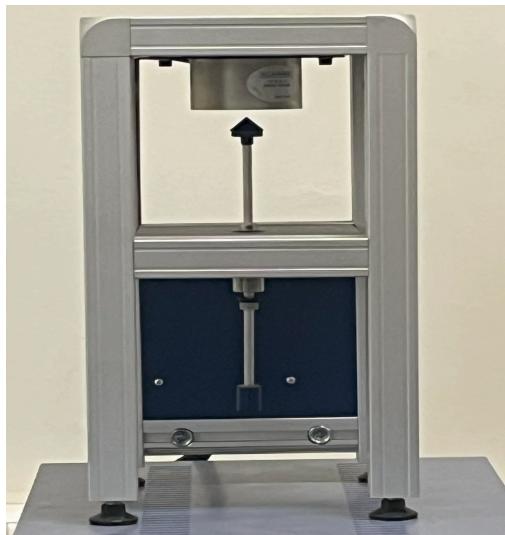
۰۲-۰۳-۲

تاریخ تحويل: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

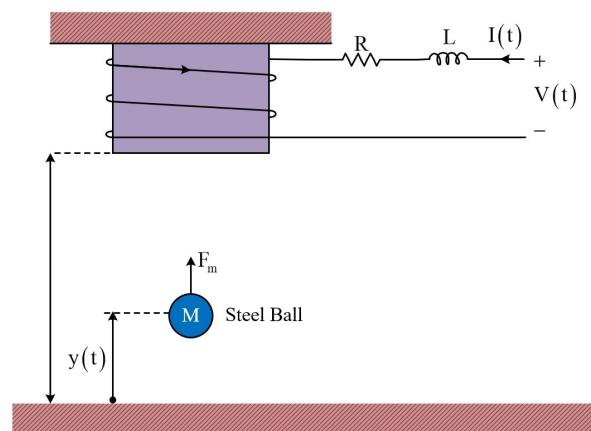
دستیار آموزشی مسئول: سید فربد موسوی (farbodmoosavi@ut.ac.ir)

مقدمه: شناورسازی مغناطیسی روشی است که به وسیله آن تنها با میدان مغناطیسی، می‌توان بر جاذبه غلبه کرد و جسمی را به صورت شناور در آورد. در واقع میدان مغناطیسی سبب ایجاد نیروی مغناطیسی می‌شود که این نیروی مغناطیسی اثرات جاذبه را خنثی می‌کند و سبب معلق شدن جسم می‌شود. یک نمونه عملی از کاربرد این سیستم، قطار مگلو است. قطارهای مگلو، به دلیل عدم تماس با سطح و شناور بودن روی هوا، اصطکاک بسیار کمی را احساس می‌کنند. به همین جهت، می‌توانند سرعت بسیار بالایی را تجربه کنند. سیستم این قطارها به گونه‌ای است که با نظم خاصی میدان مغناطیسی موجود در ریل را تغییر می‌دهند به طوری که قطار را به جهت جلو یا عقب پیش براند.

در این سیستم یک سیم پیچ دور هسته مغناطیسی و یک گوی آهنی وجود دارد. با اعمال ولتاژ به سیم پیچ و عبور جریان از آن گوی آهنی را به سمت خود جذب می‌کند. هدف در این سیستم کنترل ارتفاع گوی آهنی توسط ولتاژ ورودی است. می‌توان سیستم شناورسازی مغناطیسی توصیف شده را به صورت ساده مانند شکل ۲ نمایش داد. در این سیستم ۲ فاصله گوی از هسته مغناطیسی، $V(t)$ ولتاژ اعمالی به سیستم و $I(t)$ جریان مدار است.



شکل ۱: سیستم شناورسازی مغناطیسی موجود در آزمایشگاه



شکل ۲: سیستم شناورسازی مغناطیسی مورد مطالعه

در سیستم مورد مطالعه m جرم گوی (میله) آهنی، L سلف معادل مدار، R مقاومت معادل مدار و c یک بهره ثابت مثبت با توجه به جنس گوی (میله) و هسته و جاذبه بین آنها است. مدل سیستم با توجه به شکل ۲ بدست آمده است و معادلات حالت سیستم به صورت زیر می باشد:

* حالات‌ها و ورودی کنترلی سیستم

سیستم مذکور ۳ حالت، ۱ ورودی کنترلی و ۱ خروجی دارد که در ادامه معرفی شده‌اند:

x_1 : موقعیت گوی(میله) آهنی،

x_2 : سرعت گوی(میله) آهنی،

x_3 : جریان سیمپیچ،

u : ولتاژ ورودی،

خروجی سیستم: موقعیت میله آهنی

* معادلات حالت سیستم

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -g + \frac{c}{M} \frac{x_3^2}{0.0072-x_1} \\ \dot{x}_3 = \frac{1}{L} (-Rx_3 + u) \end{cases} \quad \left\{ \begin{array}{l} y = x_1 \end{array} \right.$$

* پارامترها

R	مقاومت کلی مدار	10Ω
L	اندوکتانس سیمپیچ	$1.15 \times 10^{-1} H$
g	شتاب گرانش زمین	$9.81 \frac{m}{s^2}$
M	جرم گوی آهنی	$0.0844 Kg$
c	ثابت نیروی الکترومغناطیسی	$7000 \frac{N \times m}{A^2}$
y^*	نقطه کار خروجی	$0.002m$

خواسته‌ها:

توجه: در خواسته‌های ۲، ۳، ۵، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۱ نتایج اعمال کنترل‌کننده‌های طراحی شده را روی سیستم غیرخطی نیز بررسی کنید.

۱) نقاط تعادل سیستم را با در نظر گرفتن نقطه کار داده شده بیابید. سیستم را حول نقاط تعادل بدست آمده خطی سازی کنید و معادلات فضای حالت خطی شده سیستم را بدست آورید.تابع تبدیل سیستم را بدست آورید.

۲) سعی کنید توسط یک کنترلر آنالوگ پس‌فاز، پیش‌فاز، تناسبی-انتگرال‌گیر-مشتق‌گیر یا ترکیبی از این کنترلرهای سیستم را پایدار کنید بطوری که خطای خروجی صفر باشد. پاسخ پله سیستم کنترل شده را رسم کنید و ویژگی‌های پاسخ گذرا و ماندگار آن را گزارش کنید.

۳) با قرار دادن یک نگهدار مرتبه صفر بین کنترلر و سیستم گسسته‌سازی صورت می‌گیرد. سعی کنید با استفاده از روش‌های گسسته‌سازی صفر و قطب تطبیق‌یافته و تبدیل دوخطی، کنترلر دیجیتال معادل را بیابید و در حلقه

دیجیتال قرار دهید. برای نرخ نمونهبرداری سه مقدار متفاوت را براساس سیستم طوری انتخاب کنید که در پاسخ‌ها تفاوت ایجاد شود. به ازای این سه نرخ نمونهبرداری پاسخ سیستم را برای هر دو روش رسم کنید. پاسخی که منطقی‌ترین نرخ نمونهبرداری را دارد، از نظر ویژگی‌های زمانی با سیستم کنترل شده پیوسته مقایسه کنید.

۴) تابع تبدیل گسسته‌سازی شده سیستم اصلی پیوسته را محاسبه کنید (نرخ نمونهبرداری را مانند بند قبل در نظر بگیرید) و نمودارهای مکان ریشه‌ها و بُد سیستم را رسم کنید و ویژگی‌های آن‌ها از جمله بازه‌ای از بهره که سیستم پایدار می‌ماند و حاشیه فاز و حاشیه بهره و پهنه‌ای باند را گزارش کنید.

۵) سعی کنید کنترلر گسسته‌ای برای این سیستم طراحی کنید که ویژگی‌های زمانی‌ای که در بند ۲ در نظر گرفته شده بود را تا حد امکان برآورده سازد.

۶) نمودار مکان ریشه‌ها و بُد سیستم کنترل شده را رسم کنید و ویژگی‌های آن‌ها را با سیستم کنترل نشده مقایسه کنید.

۷) کنترل‌کننده مرده نوش^۱ با ورودی پله را برای سیستم دیجیتال طراحی کنید.

۸) در این مرحله سه سیستم را در نظر بگیرید، دو سیستم که با نگه دار مرتبه صفر و طراحی کنترلر آنالوگ انجام شد و سیستمی که در حوزه کنترل دیجیتال برای آن کنترل طراحی کردید. به این سه سیستم یک نویز سفید جمع شونده در خروجی اعمال کنید و قابلیت سه سیستم را برای مقابله با این نویز بررسی کنید.

۹) بر اساس معادلات فضایی حالت خطی شده پیوسته، معادلات خطی فضایی حالت گسسته را با نرخ نمونهبرداری مناسب بیابید. کنترل‌پذیری و مشاهده‌پذیری این تحقق از فضایی حالت را تحقیق کنید.

۱۰) با فرض در دسترس بودن تمام متغیرهای حالت سیستم، برای سیستم فیدبک حالت را به نحوی طراحی کنید که پاسخ مرده نوش داشته باشد.

۱۱) حال فرض کنید که متغیرهای حالت را در اختیار نداشته باشیم. ابتدا برای سیستم یک مشاهده‌گر مرتبه کامل طراحی کنید و سپس سیستم با مشاهده‌گر را با فیدبک حالت طراحی شده در بند ۱۰ کنترل کنید و نتایج را با هم مقایسه کنید.

^۱Deadbeat Controller