



به نام خدا

## سیستم‌های کنترل دیجیتال

### پروژه نهایی

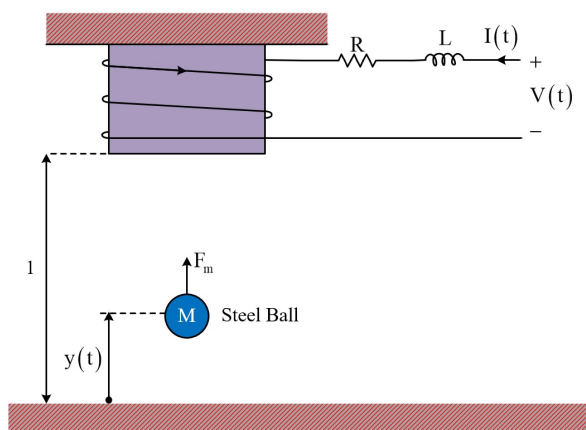
۰۱-۰۲-۰۲

تاریخ تحویل: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲

دستیاران آموزشی مسئول: سید فرید موسوی (farbodmoosavi@ut.ac.ir)، آرمان برقی (arman.barghi@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 سیم‌پیچ 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 توصیف‌شده را به صورت ساده مانند شکل ۱ نمایش داد. در این سیستم  $y$  فاصله گوی از هسته مغناطیسی،  $V(t)$  ولتاژ اعمالی به سیستم و  $I(t)$  جریان مدار است.



شکل ۱: سیستم شناورسازی مغناطیسی مورد مطالعه

در سیستم مورد مطالعه  $m$  جرم گوی آهنی،  $L$  سلف معادل مدار،  $R$  مقاومت معادل مدار و  $c$  یک بهره ثابت مثبت با توجه به جنس گوی و هسته و جاذبه بین آنها است. مدل سیستم با توجه به شکل ۱ بدست آمده است و معادلات حالت سیستم به صورت زیر می باشد:

* دینامیک سیستم
$\begin{cases} F_m = c \frac{I^2}{1-y} \\ m\ddot{y} = -mg - f_v \dot{y} + F_m \\ V = RI + L\dot{I} \end{cases}$

* حالت‌ها و ورودی سیستم
<p>سیستم کنترلی مبنا ۳ حالت و ۱ ورودی کنترلی دارد که در ادامه معرفی شده‌اند:</p> <p><math>y</math>: ارتفاع گوی،</p> <p><math>\dot{y}</math>: سرعت گوی،</p> <p><math>I</math>: جریان گذرنده از سیم پیچ،</p> <p><math>V</math>: ولتاژ اعمالی به مدار (ورودی)،</p>

\* پارامترها

جدول ۱: مقادیر پارامترهای سیستم

<b>R</b>	<b>L</b>	<b>g</b>	<b>c</b>	<b>m</b>	$f_v$
$5[\Omega]$	$0.02[H]$	$9.8[\frac{m}{s^2}]$	$0.3[\frac{N.m}{A^2}]$	$(100 + a)[g]$	$0.02[\frac{N.s}{m}]$

که  $a$  رقم یکان شماره دانشجویی شما می‌باشد.

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) با فرض اینکه نقطه کار سیستم در  $y_d = 0.3 + \frac{a}{100}$  باشد، نقاط تعادل را بیابید و سیستم را حول یکی از نقاط تعادل معتبر خطی‌سازی کنید. سپس تابع تبدیل سیستم خطی را محاسبه کنید.

(۲) سعی کنید توسط یک کنترلر آنالوگ پس‌فاز، پیش‌فاز، تناسبی-انتگرال‌گیر-مشتق‌گیر یا ترکیبی از این کنترلرها 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 نگاه‌دار 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 پهنای باند را گزارش کنید.

۵) سعی کنید کنترلر گسسته‌ای برای این سیستم طراحی کنید که پاسخ زمانی آن با ویژگی‌های زمانی بدست آمده در بند ۲ تا حد امکان مطابقت داشته باشد.

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 نَوش<sup>۱</sup> با ورودی پله را برای سیستم دیجیتال طراحی کنید.

۸) در این مرحله سه سیستم را در نظر بگیرید، دو سیستم که با نگاه‌دار 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 فضای حالت خطی شده پیوسته، معادلات خطی فضای حالت گسسته را با نرخ نمونه‌برداری مناسب بیابید. کنترل‌پذیری و مشاهده‌پذیری این تحقق از فضای 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 نَوش 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.

---

<sup>1</sup>Deadbead Controller