



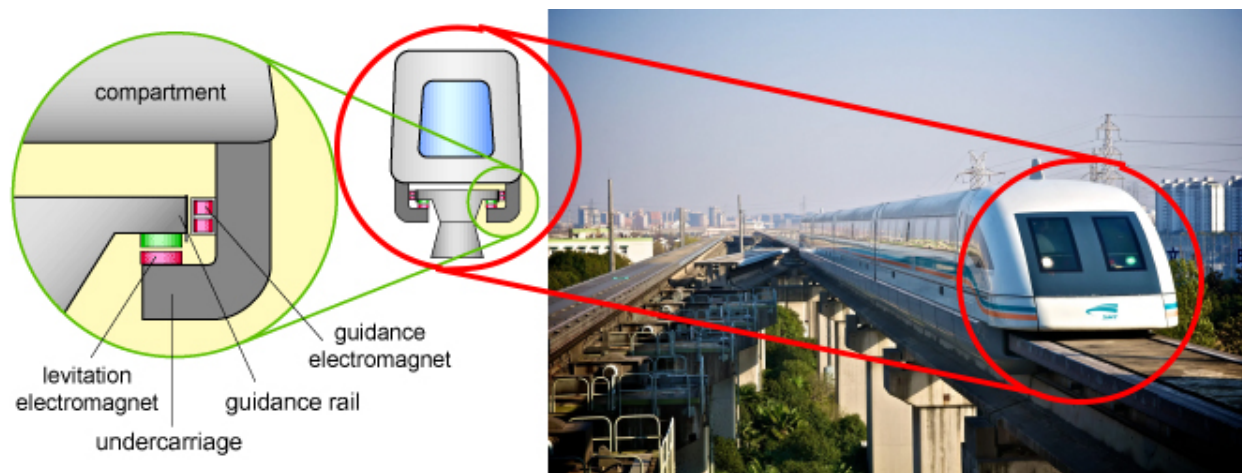
به نام خدا
سیستم‌های کنترل خطی
پروژه - فاز یک
۱۴۰۱-۱۴۰۲-۱



تاریخ تحویل: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

دستیار آموزشی مسئول: سید فرید موسوی، محمد مهدی معینی منش، نوید دهبان
(farbodmoosavi@ut.ac.ir, navid.dehban@ut.ac.ir, mahdi.moeini@ut.ac.ir)

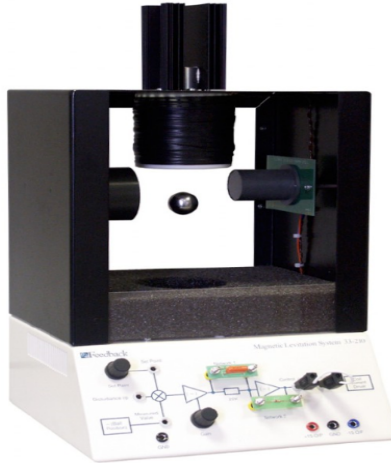
مقدمه: شناورسازی مغناطیسی روشی است که به وسیله آن تنها با میدان مغناطیسی، می‌توان بر جاذبه غلبه کرد و جسمی را به صورت شناور در آورد. در واقع میدان مغناطیسی سبب ایجاد نیروی مغناطیسی می‌شود که این نیروی مغناطیسی اثرات جاذبه را خنثی می‌کند و سبب معلق شدن جسم می‌شود. یک نمونه عملی از کاربرد این سیستم، قطار 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. نمونه‌ای از این قطارها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: قطار مگلو

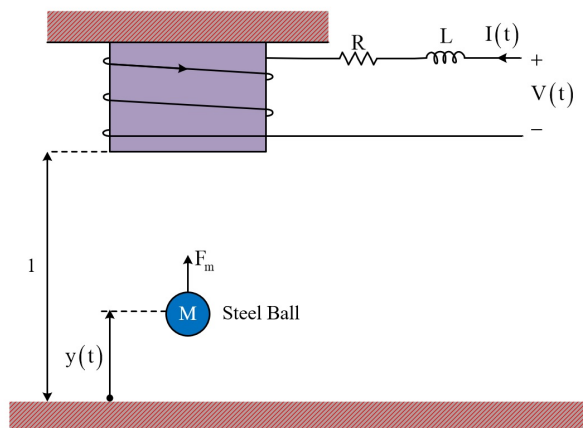
پایه و اساس قطار مگلو، سیستم شناورسازی مغناطیسی است که می‌تواند سیستم مناسبی جهت تحلیل و کنترل باشد. این سیستم الکترومکانیکی به دلیل خواصی مانند غیرخطی بودن و ناپایداری ذاتی که ناشی از جاذبه زمین می‌باشد، می‌تواند سیستم مناسبی جهت تحلیل و طراحی باشد.

در این سیستم که یک نمونه از آن در شکل ۲ قابل مشاهده است، 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 می کند. هدف در این سیستم کنترل ارتفاع گوی آهنی توسط ولتاژ ورودی است.



شکل ۲: نمونه ای از سیستم شناورسازی مغناطیسی

ویژگی های سیستم: می توان سیستم شناورسازی مغناطیسی توصیف شده را به صورت ساده مانند شکل ۳ نمایش داد. در این سیستم y فاصله گوی از هسته مغناطیسی، $V(t)$ ولتاژ اعمالی به سیستم و $I(t)$ جریان مدار است. 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.



شکل ۳: سیستم شناورسازی مغناطیسی مورد مطالعه

معادلات سیستم:

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

خواسته‌ها:

(۱) معادلات داده شده برای سیستم را تحلیل کنید.

(۲) با در نظر گرفتن متغیرهای حالت به صورت زیر و فاصله گوی از هسته مغناطیسی $y(t)$ به عنوان خروجی سیستم، معادلات حالت سیستم را بیابید.

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ \dot{y}(t) \\ I(t) \end{bmatrix}$$

(۳) نقاط تعادل سیستم را بیابید و آن‌ها را تحلیل کنید.

(۴) با در نظر گرفتن داده‌های زیر، معادلات حالت سیستم را حول نقطه $y = y_d$ خطی‌سازی کنید:

جدول ۱: مقادیر پارامترهای سیستم

| R | L | g | c | M | f_v |
|-------------|-----------|-----------------------|------------------------|----------------|-----------------------|
| $5[\Omega]$ | $0.02[H]$ | $9.84[\frac{m}{s^2}]$ | $0.3[\frac{N.m}{A^2}]$ | $(100 + a)[g]$ | $0.02[\frac{N.s}{m}]$ |

که a رقم یکان شماره دانشجویی شما می‌باشد.

(۵) با فرض اینکه نقطه کار سیستم در $y_d = 0.3 + \frac{a}{100}$ باشد، تابع تبدیل سیستم را بدست آورید.

(۶) نمودار مکان ریشه‌ها را رسم کنید و آن را تحلیل کنید و بازه‌ای از بهره که به ازای آن سیستم پایدار است را تعیین کنید.

(۷) با اضافه کردن یک فیدبک واحد منفی به سیستم سعی در کنترل آن داریم. در این مرحله سعی کنید با طراحی یک کنترل‌کننده PI سیستم را پایدار کنید. در صورت پایداری بازه‌ای از بهره که به ازای آن سیستم پایدار می‌ماند را گزارش کنید.

(۸) در این مرحله ساده‌ترین کنترل‌کننده‌ای را برای سیستم طراحی کنید به طوری که خطای ماندگار خروجی به ورودی پله صفر شود، پاسخ پله سیستم زمان نشست حداکثر ۲ ثانیه و بالازدگی حداکثر ۳۵٪ داشته باشد. پاسخ خروجی سیستم را رسم کنید و مقادیر ویژگی‌های طراحی را از روی آن گزارش کنید.

- ۹) پاسخ پله سیستم کنترل شده را رسم کنید و ویژگی‌های زمانی آن را به دست آورید.
- ۱۰) نمودار مکان ریشه‌ها را برای سیستم قبل و بعد از قرار دادن کنترل کننده در مسیر آن رسم کنید و آن را تحلیل کنید و بازه‌ای از بهره که به ازای آن سیستم کنترل شده پایدار می ماند را تعیین کنید.
- ۱۱) با اضافه کردن یک نویز سفید گوسی جمع پذیر در خروجی، خروجی را رسم کرده و اثر کنترل کننده را در حذف اغتشاشات بررسی کنید.
- ۱۲) حال کنترل کننده طراحی شده را به سیستم اصلی غیرخطی اعمال کنید و توانایی آن را در کنترل سیستم اصلی بررسی کنید و ناحیه اعتبار سیستم خطی را تعیین کنید.