



باسمہ تعالیٰ

سیستم‌های کنترل خطی

پروژه

۱۴۰۳-۱۴۰۴-۱



تاریخ تحویل: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

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

۱. مقدمه

در تحلیل و طراحی کنترل کننده برای سیستم‌ها، اولین مرحله داشتن یک مدل ریاضی مناسب از آن مدل است، تا به توان به خوبی ویژگی‌های مهم سیستم واقعی را از طریق این مدل بررسی کنیم. در مورد سیستم‌های مختلف لزوماً یک مدل خاص وجود ندارد و می‌توان براساس شناخت از سیستم و کاربرد مدل‌های مختلفی برای آن تعریف کرد. همچنین در برخی زمان‌ها به علت دانش ناکافی در آن زمینه و یا عدم دسترسی به جزئیات سیستم نمی‌توان مدلی براساس فیزیک آن سیستم تعریف کرد. در این موضع می‌بایستی به شناسایی سیستم از طریق داده‌های ورودی و خروجی به آن بپردازیم. در صنعت ممکن است همواره یک مدل برای سیستم در اختیار نباشد. در نتیجه نیاز است ابتدا از روش‌های مختلف با توجه به شرایط، سیستم را شناسایی کرد و مدلی برای آن تخمین زد، که بررسی‌ها و طراحی‌های مورد نیاز روی آن مدل انجام شود. در یک سیستم می‌توان با بررسی پاسخ ضربه^۱، پاسخ پله^۲، پاسخ به ورودی سینوسی در فرکانس‌های مختلف^۳ و... که متناسب با سیستم ممکن است فقط برخی از این روش‌ها روی آن قابل پیاده‌سازی باشند، مدل آن را تخمین زد. در مواقعي که صرفا براساس داده‌های ورودی و خروجی یک مدل برای سیستم تخمین می‌زنیم، مدل به دست آمده را مدل جعبه سیاه سیستم می‌گویند. این روش کاربردهای متنوعی دارد و می‌توان از کاربردهای آن در روش‌های یادگیری ماشین که فقط براساس داده‌ها عمل می‌کنند نام برد. در کنترل نیز این روش برای شناسایی سیستم‌ها کاربرد دارد. در این پژوهه، یک سیستم که جزئیات داخل آن دسترسی نداریم وجود دارد و سعی داریم ابتدا با دانشی که از سیستم‌های خطی در حوزه زمان و فرکانس داریم، مدلی برای این سیستم بدست بیاوریم. سپس به تحلیل این مدل بپردازیم و براساس آن کنترل کننده مناسبی طراحی کرده و در مرحله آخر این کنترل کننده را به سیستم اصلی متصل کنیم و عملکرد آن را بسنجدیم.

¹Impulse response

²Step response

³Frequency response

۲. خواسته‌ها

نکات: در فایل سیمولینک^۴ همراه پروژه یک سیستم با دو ورودی و یک خروجی وجود دارد. به عنوان ورودی اول سیستم رقم اول شماره دانشجویی خود را بدهید و برای ورودی دوم سیگنال مورد نیاز در هر مرحله از خواسته‌ها را اعمال کنید.

۱. به سیستم مورد مطالعه، یک سیگنال پله واحد اعمال کنید. با بررسی خواص و ثابت‌های زمانی پاسخ پله سیستم مجھول یک تخمین مناسب مرتبه یک برایتابع تبدیل به شکل

$$G_1(s) = \frac{k}{Ts + 1},$$

و یک تخمین مناسب مرتبه دو برایتابع تبدیل به شکل

$$G_2(s) = \frac{kw_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2},$$

بدست بیاورید.

۲. در محیط سیمولینک ابتدا با اتصال یک ورودی سینوسی به سیستم مجھول به ازای هر یک از فرکانس‌های

$$w = [0.01, 0.02, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100] rad/sec$$

بهره و اختلاف زمانی خروجی را نسبت به ورودی از روی شکل موج‌ها بیابید و براساس این مقادیر و با تبدیل آن‌ها به اندازه لگاریتمی بهره و اختلاف فاز در محیط نرم‌افزار متلب^۵، نمودار هر کدام را بر حسب فرکانس با مقیاس نیمه‌لگاریتمی رسم کنید. با این کار نمودار بد^۶ سیستم با تقریب خوبی بدست می‌آید. براساس این نمودار بد که از مرحله‌ی قبل بدست آمد تخمینی ازتابع تبدیل سیستم بیابد. برای بدست آوردن مکان قطب یا صفرهای سیستم چون شیب‌های نمودار و نقاط شکستگی آن دقت کافی را ندارد، بعد از تشخیص تعداد صفر و قطب و نوع آن‌ها با استفاده از MATLAB cftool مکان صفرهای و قطب‌ها را بیابید و تابع تبدیل $G_3(s)$ را تشکیل دهید. نکات: دقت شود که خروجی به حالت ماندگار رسیده باشد و زمان اجرا و پله‌های حل معادله را با توجه به فرکانس‌ها طوری تنظیم کنید که اجرای برنامه زمان زیادی نبرد در عین حال دقت کافی را نیز داشته باشد. در صورتی که در یافتن اختلاف فاز در فرکانس‌های بالا مشکل داشتید، پاسخ خروجی را از یک فیلتر پایین‌گذر عبور دهید تا قله‌های خروجی در ابتدای آن مشخص شوند و سپس اختلاف فاز را محاسبه کنید. دقت کنید اختلاف فاز محاسبه شده مجموع اختلاف فاز سیستم اصلی و فیلتر اعمالی است.

۳. پاسخ پله سه سیستم G_1 , G_2 و G_3 و سیستم اصلی را بر روی یک نمودار رسم کنید و با یکدیگر مقایسه کنید. در

⁴Simulink

⁵MATLAB

⁶Bode diagram

یک جدول ویژگی‌های گذرا و ماندگار این چهار سیستم را مقایسه کنید.

۴. با در نظر گرفتن فیدبک واحد منفی برای سیستم‌ها نمودار مکان ریشه را به ازای همه بهره را رسم کنید و مشخص کنید به ازای چه بازه‌ای از بهره سیستم‌ها پایدار می‌مانند.

۵. نمودار بد و ناییکوییست سه سیستم را رسم کنید و حاشیه فاز و حاشیه بهره آن‌ها را گزارش و مقایسه کنید. همچنین بازه‌ای از بهره که سیستم به ازای آن در حوزه فرکانس پایدار می‌ماند را بدست آورید و با بازه بدست آمده از نمودار مکان ریشه مقایسه کنید.

۶. با استفاده از تکنیک مکان هندسی ریشه‌ها برای هر سه سیستم ساده‌ترین کنترل‌کننده‌ای را طراحی کنید که ویژگی‌های گذرا و مطابق جدول را داشته باشد. خطای حالت ماندگار به ورودی پله در تمام سیستم‌ها باید برابر صفر شود.

۷. پاسخ پله سیستم‌های کنترل شده توسط کنترل کننده را بر روی یک نمودار رسم و از نظر ویژگی‌های گذرا و ماندگار مقایسه کنید.

۸. خواسته ۴ و ۵ را برای سیستم‌های کنترل شده تکرار کنید.

۹. سه کنترل کننده طراحی شده را به سیستم اصلی متصل کنید و پاسخ پله این سه را بر روی یک نمودار رسم کنی و مقایسه کنید. همچنین بررسی کنید براساس پاسخ پله بدست آمده از این سه کنترل کننده کدام یک از مدل‌های بدست آمده بیشترین شباهت را به سیستم اصلی داشته است.

۱۰. سعی کنید در حوزه فرکانس با ویژگی‌های داده شده برای بهترین تخمین یک کنترل کننده طراحی کنید و پاسخ پله آن را هم برای مدل تخمینی و هم سیستم اصلی بررسی و مقایسه کنید.

۳. امتیازی

۱. در مورد روش‌های دیگر شناسایی سیستم مطالعه کنید و یک مورد از آن‌ها را به اختصار توضیح دهید. همچنین این روش را بر روی سیستم خود اجرا کنید و نتیجه آن را تابع تبدیل ($G_4(s)$) در نظر بگیرید و مراحل رسم پاسخ پله و طراحی کنترل کننده در حوزه زمان را نیز برای آن تکرار کنید. (در روش پیشنهادی نیازی به بدست آوردن مستقیم تابع تبدیل نیست و ممکن است در روش پیشنهادی شما به مجموعه‌ای از معادلات، معادلات حالت سیستم و ... بررسید و سپس از آن‌ها تابع تبدیل را بدست آورید).

تذکر: برای این سوال محل تحويل جداگانه‌ای در نظر گرفته خواهد شد و سه گروه اول (از نظر زمان تحويل) که روش متفاوتی ارائه دهنده این بخش را خواهند گرفت. اگر روشی را گروهی زودتر و با نتیجه درست پیاده کرده باشد، نمره‌ای به باقی گروه‌هایی که آن روش را پیاده کنند تعلق نخواهد گرفت.

۲. مقاله‌ای که به همراه پروژه قرار گرفته است را مطالعه کنید و روش پیشنهادی در آن را برای طراحی کنترل‌کننده‌ی سیستمی که با تخمین فرکانسی سیستم بدست آورده‌اید پیاده‌سازی کنید. این روش را از نظر طراحی و نظر پاسخ پله با روش‌های قبلی که برای طراحی کنترل‌کننده بر روی این سیستم تخمین‌زده شده پیاده کرده بودید مقایسه کنید. (نمره این سوال به تمام گروه‌هایی که آن را درست حل کنند، تعلق خواهد گرفت).

* ویژگی‌های طراحی

رقم اول شماره دانشجویی	بالازدگی	زمان نشست %
0	10%	12sec
1	10%	10sec
2	10%	8sec
3	5%	10sec
4	10%	10sec
5	15%	10sec
6	3%	9sec
7	10%	8sec
8	5%	8sec
9	20%	10sec

خواهشمند است جهت تحويل پروژه به نکات زیر توجه داشته باشد:

۱. دانشجویان می‌توانند سؤالات خود را پیرامون پروژه، با دستیاران آموزشی مسئول از طریق راههای ارتباطی در نظر گرفته شده مطرح کنند.
۲. فایل ارسالی باید حاوی یک فایل گزارش به صورت PDF شامل پاسخ تشریحی و نحوه اجرای کدها و فایل‌های شبیه‌سازی باشد که می‌بایست به صورت یک فایل کلی با فرمت zip در قالب **LCS-Project-SID1-SID2** ارسال شود. (که در آن SID شماره دانشجویی شماست).