



تاریخ تحویل: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

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

## ۱. مقدمه

در تحلیل و طراحی کنترل‌کننده 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 مواقع می‌بایستی به شناسایی سیستم از طریق داده‌های ورودی و خروجی به آن پردازیم. 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<sup>۱</sup>، پاسخ پله<sup>۲</sup>، پاسخ به ورودی سینوسی در فرکانس‌های مختلف<sup>۳</sup> و... که متناسب با سیستم ممکن است فقط برخی از این روش‌ها روی آن قابل پیاده‌سازی باشند، مدل آن را تخمین زد. در مواقعی که صرفاً 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 پروژه، 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 پردازیم و براساس آن کنترل‌کننده مناسبی طراحی کرده و در مرحله آخر این کنترل‌کننده را به سیستم اصلی متصل کنیم و عملکرد آن را بسنجیم.

<sup>1</sup> Impulse response

<sup>2</sup> Step response

<sup>3</sup> Frequency response

## ۲. خواسته‌ها

نکات: در فایل سیمولینک<sup>۴</sup> 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 مجهول یک تخمین مناسب مرتبه یک برای تابع تبدیل به شکل

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

و یک تخمین مناسب مرتبه دو برای تابع تبدیل به شکل

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

بدست بیاورید.

۲. در محیط سیمولینک ابتدا با اتصال یک ورودی سینوسی به سیستم مجهول 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<sup>۵</sup>، نمودار هر کدام را بر حسب فرکانس با مقیاس نیمه‌لگاریتمی رسم کنید. با این کار نمودار بد<sup>۶</sup> سیستم با تقریب خوبی بدست می‌آید. براساس این نمودار بد که از مرحله‌ی قبل بدست آمد تخمینی از تابع تبدیل سیستم بیابید. 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 cftool در MATLAB مکان صفرها 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 داشته‌باشد. 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

<sup>4</sup>Simulink

<sup>5</sup>MATLAB

<sup>6</sup>Bode 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 نایکویست 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 گذرای مطابق جدول را داشته باشد. خطای حالت ماندگار به ورودی پله در تمام سیستم‌ها باید برابر صفر شود.

۷. پاسخ پله سیستم‌های کنترل‌شده توسط کنترل‌کننده 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 کنترل‌کننده طراحی شده را به سیستم اصلی متصل کنید و پاسخ پله این سه را بر روی یک نمودار رسم کنید و مقایسه کنید. همچنین بررسی کنید براساس پاسخ پله بدست آمده از این سه کنترل‌کننده 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 کنترل‌کننده 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 کنترل‌کننده 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 ... برسید و سپس از روی آن‌ها تابع تبدیل را بدست آورید).

تذکر: برای این سوال محل تحویل جداگانه‌ای در نظر گرفته خواهد شد و سه گروه اول (از نظر زمان تحویل) که روش متفاوتی ارائه دهند نمره 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	بالا زدگی	زمان نشست 2%
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 تحویل پروژه به نکات زیر توجه داشته باشید:

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).