



باسمه تعالی
سیستم‌های کنترل خطی
پروژه
۱۴۰۲-۱۴۰۱-۱



تاریخ بارگذاری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲

تاریخ تحویل: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶

دستیاران آموزشی: سیدفرید موسوی (farbodmoosavi@ut.ac.ir)، محمد مهدی معینی منش (mahdi.moeini@ut.ac.ir)

مقدمه

یکی از کاربردهای سیستم‌های کنترل در تنظیم دمای یک فرایند شیمیایی است. در صنایع شیمیایی به طور کلی برای انجام یا افزایش بازدهی واکنش‌ها نیازمند یک دمای مشخص هستیم. دمای اولیه مواد و گرماده یا گرماگیر بودن واکنش‌ها می‌تواند دمای محفظه واکنش را به شدت تغییر دهد و از دمای مطلوب برای انجام پیوسته واکنش خارج کند. در یک سیستم خاص که در این پروژه بررسی خواهیم کرد، جریان وارد شدن^۱ یک واکنش‌دهنده شیمیایی به یک فرآیند توسط یک محرک و شیر کنترل می‌شود. ماده‌ی واکنش‌دهنده باعث تغییر درجه حرارت در مخزن واکنش می‌شود. همچنین بر اثر انجام واکنش در خود مخزن نیز دما تغییراتی خواهد داشت. دمای مخزن که متاثر از این دو سیستم است در یک سیستم حلقه‌بسته، که در آن جریان ورود واکنش‌دهنده تنظیم می‌شود تا درجه حرارت مورد نظر حاصل شود، حس می‌شود و با دمای مطلوب مقایسه می‌شود.

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^۲، پاسخ پله^۳، پاسخ به ورودی سینوسی در فرکانس‌های مختلف^۴ و... که متناسب با سیستم ممکن است فقط برخی از این روش‌ها روی آن قابل پیاده‌سازی باشند، مدل آن را تخمین زد. در سیستم انتخاب‌شده برای پروژه نیز تابع تبدیل سیستم مسیر پیشرو، که شامل محرک، شیر و نوع واکنش است، مجهول می‌باشد و نیاز به شناسایی آن است. تابع تبدیل حسگر دما^۵ که به صورت پسخور^۶ به ورودی برمی‌گردد مشخص و بصورت

$$H(s) = \frac{0.5}{s + 0.5},$$

^۱Flow

^۲Impulse response

^۳Step response

^۴Frequency response

^۵Temperature sensor

^۶Feedback

می باشد.

در این پروژه هدف تخمین سیستم به سه روش، که به آن اشاره خواهیم کرد، و بررسی این سه تخمین و ویژگی‌های آن‌ها خواهد بود. در انتها نیز برای هر کدام از این مدل‌ها کنترل‌کننده‌ی مناسبی باید طراحی شود و سپس میزان پاسخگویی مناسب هر کدام از این سه کنترل‌کننده را روی سیستم اصلی بررسی کرد و تعیین کرد که برای این سیستم خاص کدام یک از تخمین‌ها معتبرتر خواهد بود.

همچنین *Plant* اصلی که جهت شناسایی و پیاده سازی پروژه نیاز است، در یک فایل *Simulink* همراه پروژه قرار داده شده است.

خواسته‌ها

(۱) در محیط سیمولینک^۷ با بررسی خواص و ثابت‌های زمانی پاسخ پله سیستم مجهول یک تخمین مناسب مرتبه یک برای تابع تبدیل مسیر پیشرو به شکل

$$G_a(s) = \frac{k}{\tau s + 1},$$

بدست بیاورید.

(۲) در محیط سیمولینک با بررسی خواص و ثابت‌های زمانی پاسخ پله سیستم مجهول یک تخمین مناسب مرتبه دو برای تابع تبدیل مسیر پیشرو به شکل

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

بدست بیاورید.

(۳) الف) در محیط سیمولینک ابتدا با اتصال یک ورودی سینوسی به سیستم مجهول به ازای هر یک از فرکانس‌های $w = [0.01, 0.02, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100]$ 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^۸، نمودار هر کدام را بر حسب فرکانس با مقیاس نیمه‌لگاریتمی رسم کنید. با این کار نمودار بد^۹ سیستم با تقریب خوبی بدست می‌آید.

ب) براساس نمودار بد که از مرحله‌ی قبل بدست آمد، تخمینی از تابع تبدیل سیستم با حداقل صفر و قطب ممکن بزنید. برای بدست آوردن مکان قطب و 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 ابزار *cftool* منحنی مناسبی بر روی داده‌ها برازش کنید و تابع تبدیل $G_c(s)$ را تشکیل دهید. (دقت شود که خروجی به حالت ماندگار

⁷Simulink

⁸MATLAB

⁹Bode diagram

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).

(۴) برای هر یک از سه سیستم G_a , G_b و G_c با توجه به تابع تبدیل حسگر دما و نوع اتصال آن به ورودی سیستم که در شکل ۱ مشخص شده‌است، پاسخ پله سیستم حلقه‌بسته هر کدام را رسم کنید. (ترجیحاً روی یک نمودار رسم شوند).

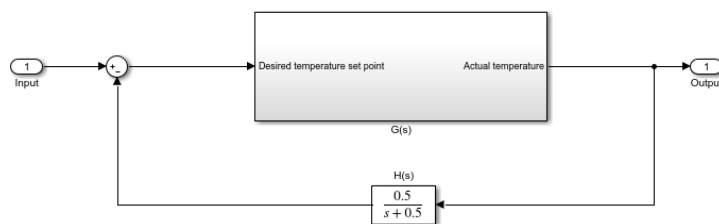
(۵) برای تابع تبدیل حلقه‌باز جدید هر کدام از سیستم‌ها نمودار مکان ریشه‌ها ^{۱۰} را رسم کنید و با توجه به آن بازه‌ی بهره برای پایداری هر سیستم را تعیین کنید. (نمودارهای مکان ریشه‌های هر سیستم بر روی یک نمودار جدا رسم شود).

(۶) نمودار بد متناظر هر سیستم را نیز رسم کنید و حاشیه‌ی بهره، ^{۱۱} حاشیه‌ی فاز ^{۱۲} و پهنای باند ^{۱۳} هر کدام از سه سیستم تخمین زده‌شده را بیابید.

(۷) برای هر کدام از سه تخمین در مسیر پیشرو کنترل کننده تناسبی-انتگرال‌گیر-مشتق‌گیر (PID) ^{۱۴} را به گونه‌ای طراحی کنید، که پاسخ به ورودی پله دارای خطای حالت ماندگار صفر باشد، حداکثر بالازدگی 5% و حداکثر زمان اولین قله 8 ثانیه باشد. (به ازای قطب‌های غالب سیستم جبران‌شده این ویژگی‌ها تا حد امکان برآورده شود. همچنین سعی کنید به انتخاب خودتان حداقل یکی از طراحی‌ها در حوزه فرکانس و یکی در حوزه زمان به کمک مکان ریشه‌ها باشد).

(۸) خواسته‌های ۴، ۵ و ۶ را برای سیستم جبران‌شده تکرار کنید.

(۹) کنترل‌کننده متناظر هر سیستم تخمین‌زده شده را در محیط سیمولینک به طور مجزا به سیستم اصلی که مجهول بود اعمال کنید و مشخصاتی که در طراحی لازم بود را در پاسخ پله این سیستم بیابید. براساس این مقادیر مقایسه کنید که کدام مدل تخمین‌زده شده برای این سیستم خاص معتبرتر بوده‌است. همچنین با اضافه کردن یک نویز سفید جمع‌پذیر در خروجی قابلیت بهترین کنترل‌کننده را در حذف اغتشاشات بررسی کنید.



شکل ۱: سیستم حلقه‌بسته

¹⁰Root locus

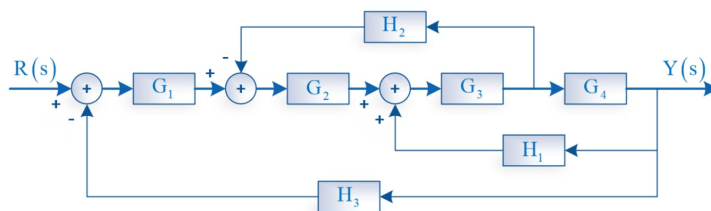
¹¹Gain Margin

¹²Phase Margin

¹³Bandwidth

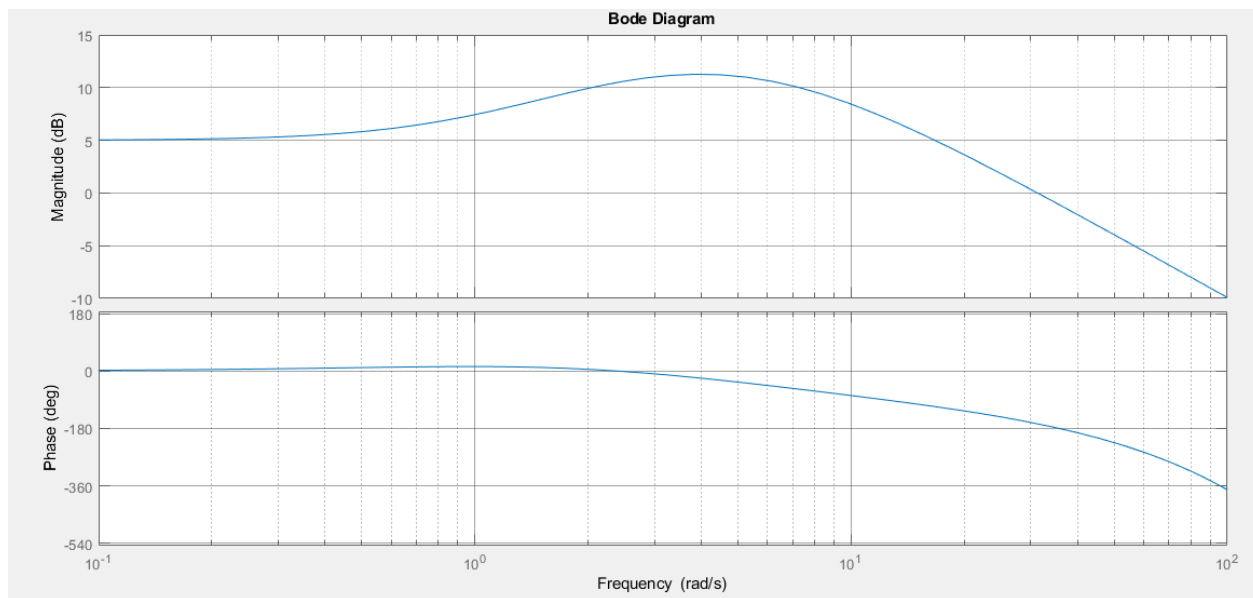
¹⁴Proportional-Integral-Derivative

۱۰) فرض کنید که تابع تبدیل $G(s)$ در داخل خود بلوک‌دیagramی به صورت شکل ۲ دارد. تابع تبدیل معادل این بلوک‌دیagram یعنی $G(s)$ را براساس تابع تبدیل‌های داده شده بدست بیاورید.



شکل ۲: بلوک‌دیagram سیستم مجهول

۱۱) تابع تبدیل نمودار بُد نشان داده‌شده در شکل ۳ را به صورت دستی محاسبه نمایید.



شکل ۳: نمودار بد خواسته ۱۱

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-P1-SID ارسال شود. (که در آن SID شماره دانشجویی شماست.)