



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده‌ی مهندسی هوافضا و مکانیک

پروژه مبانی طراحی کنترلر
مهندسی کنترل

عنوان:

کنترل وضعیت

نگارش:

علی بنی اسد و رضا رضایی

استاد راهنما:

دکتر آریا

بهمن ۱۴۰۰

سلام الغفران

فهرست مطالب

۴	۱	بخش اول
۶	۲	بخش دوم
۱۰	۳	بخش سوم
۱۸	۴	بخش چهارم
۲۶	۵	بخش پنجم
۲۷	۶	بخش ششم
۲۸	۷	نتیجه‌گیری

فهرست شکل‌ها

۱	سیستم کنترلی	۲
۲	پله واحد سیستم حلقه بسته در حضور کنترل‌کننده	۳
۱-۱	خروجی پله واحد سیستم مدار بسته در حضور کنترل‌کننده PID	۴
۲-۱	خروجی پله واحد سیستم مدار بسته در حضور کنترل‌کننده PID	۵
۱-۲	کنترل‌کننده PI طراحی شده در برنامه PID tuner متلب	۶
۲-۲	خروجی سیستم به ازای پله واحد با کنترل‌کننده PIDF و PI طراحی شده در برنامه PID tuner متلب	۷
۳-۲	پیاده سازی کنترل‌کننده طراحی شده به وسیله PID tuner متلب بر روی مدل غیر خطی شبیه سازی شده	۸
۴-۲	نمایی از انیمیشن شبیه سازی حرکت توپ با کنترل‌کننده طراحی شده به وسیله PID tuner و همراه با بلوک اشباع	۸
۵-۲	یاده سازی کنترل‌کننده طراحی شده به وسیله PID tuner متلب بر روی مدل غیر خطی شبیه سازی شده	۹
۱-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده ziegler nichols	۱۱
۲-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده refined ziegler nichol	۱۱
۳-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده modified ziegler nicholsl	۱۲

- ۴-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Cohen Coon ۱۲
- ۵-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Cohen Coon revisited . . ۱۳
- ۶-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Astrom Haggglund ۱۳
- ۷-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Frequency based Astrom ۱۴
- Haggglund ۱۴
- ۸-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده CHR set point 0% ۱۵
- overshoot ۱۵
- ۹-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده CHR set point 20% ۱۵
- overshoot ۱۵
- ۱۰-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده WJC ۱۶
- ۱۱-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده optimum set point PID ۱۶
- ISTE ۱۶
- ۱۲-۳ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده optimum set point PI-D ۱۷
- ISTE ۱۷
- ۱-۴ بلوک دیاگرام مدار باز سیستم استفاده شده در optimpid در حالت با اشباع ۱۸
- ۲-۴ بلوک دیاگرام مدار باز سیستم استفاده شده در optimpid در حالت بدون اشباع ۱۹
- ۳-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IAE ۱۹
- ۴-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IAE ۲۰
- ۵-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ISE ۲۰
- ۶-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ISE ۲۱

- ۷-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه با بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی IT2AE ۲۱
- ۸-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه بدون بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی IT2AE ۲۲
- ۹-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه با بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی IT2SE ۲۲
- ۱۰-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه بدون بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی IT2SE ۲۳
- ۱۱-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه با بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی ITAE ۲۳
- ۱۲-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه بدون بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی ITAE ۲۴
- ۱۳-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه با بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی ITAE ۲۴
- ۱۴-۴ کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه بدون بلوک
اشباع و با روش بهینه سازی ITSE ۲۵
- ۱-۵ پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده دو درجه آزادی PID طراحی شده ۲۶

فهرست جدول‌ها

مقدمه

هدف از این پروژه طراحی کنترل‌کننده برای سیستم Ball and Beam است. این وسیله از معروف‌ترین و ساده‌ترین سیستم‌های کنترل است. این سیستم شامل یک تیر بلند است که قابلیت حرکت توپ داخل آن را دارد. هدف کنترلی در این سیستم، کنترل مکان توپ دقیقاً در وسط تیر است. به این منظور یک سنسور التراسونیک برای تشخیص مکان و سرعت توپ در هر لحظه و یک سروو موتور در وسط یا اطراف تیر برای تولید حرکت دورانی در تیر و کنترل مکان توپ تعبیه شده است. شمای کلی این دستگاه در شکل ۱ آورده شده است.



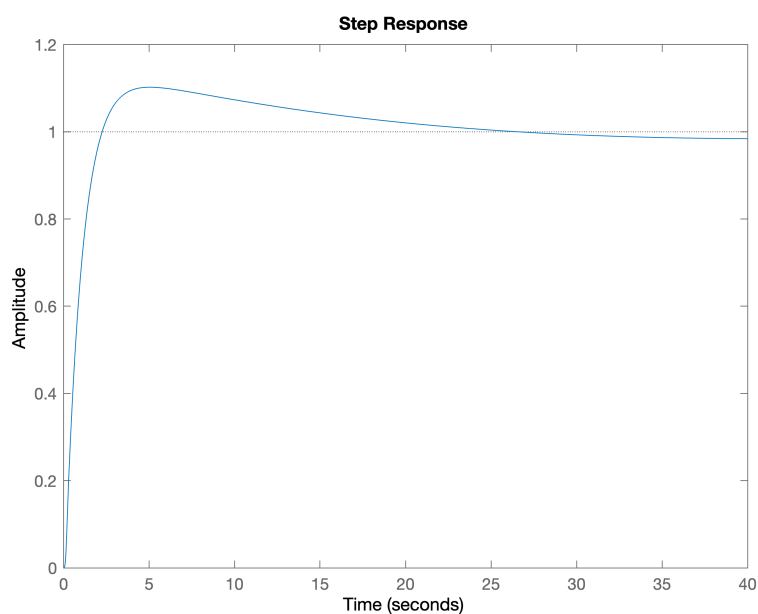
شکل ۱: سیستم کنترلی

همکاری

در پروژه جهت همکاری بین اعضای گروه از گیت هاب استفاده شد که کار را به شدت آسان کرد. در این پروژه تمامی کدها به هم اتصال دارند و با تغییر شرایط اولیه تمامی طراحی‌ها برای سیستم جدید اجرا می‌شوند.

کنترل‌کننده پایدار ساز

در این پروژه برای پایدار سازی سیستم از کنترل‌کننده LQG^1 استفاده شد. در شکل ۲ خروجی پله حلقه بسته سیستم با کنترل‌کننده پایدار ساز آورده شده است.



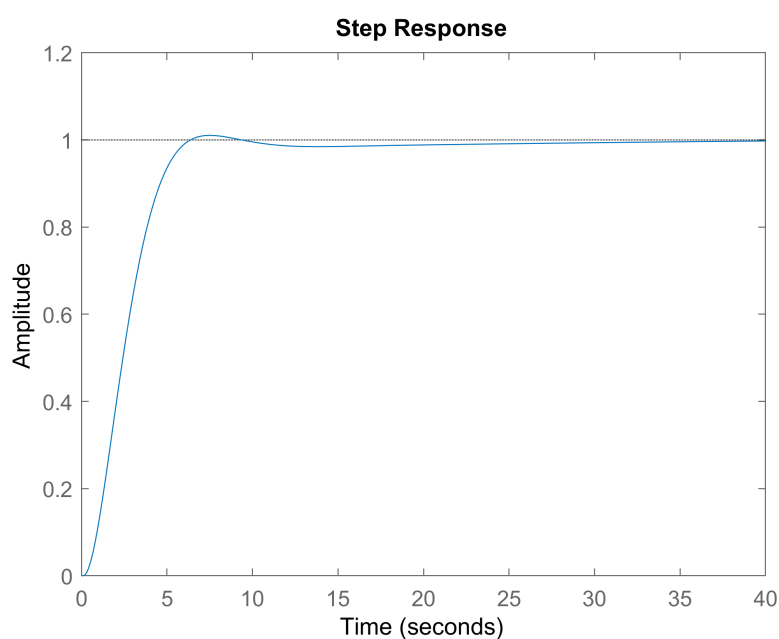
شکل ۲: پله واحد سیستم حلقه بسته در حضور کنترل‌کننده

¹Linear Quadratic Gaussian

فصل ۱

بخش اول

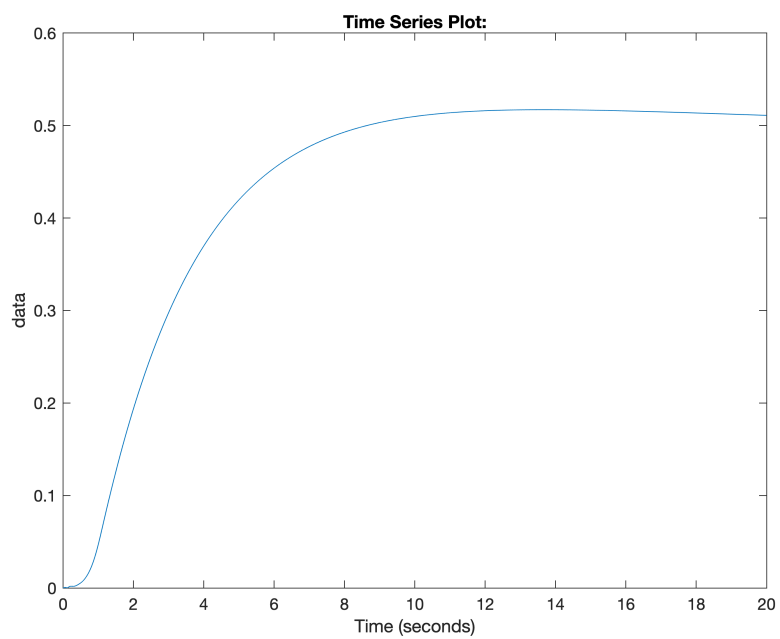
در این قسمت به کمک جعبه‌ابزار SISO یک کنترل کننده از خانواده PID برای سیستم در طراحی شد. خروجی پله واحد سیستم مدار بسته در حضور کنترل کننده PID در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱: خروجی پله واحد سیستم مدار بسته در حضور کنترل کننده PID

بعد از طراحی در محیط SISO برای سیستم خطی، کنترل کننده طراحی در محیط غیرخطی نیز آورده شد و عملکرد قابل قبولی از خود نشان داد. خروجی پله نیم سیستم مدار بسته غیرخطی در حضور کنترل کننده

PID در شکل ۲-۱ آورده شده است.

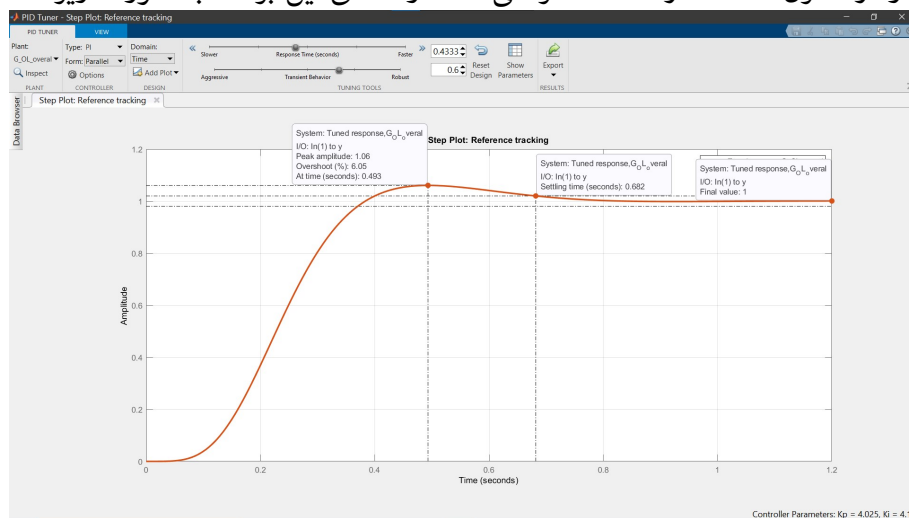


شکل ۲-۱: خروجی پله واحد سیستم مدار بسته در حضور کنترل کننده PID

فصل ۲

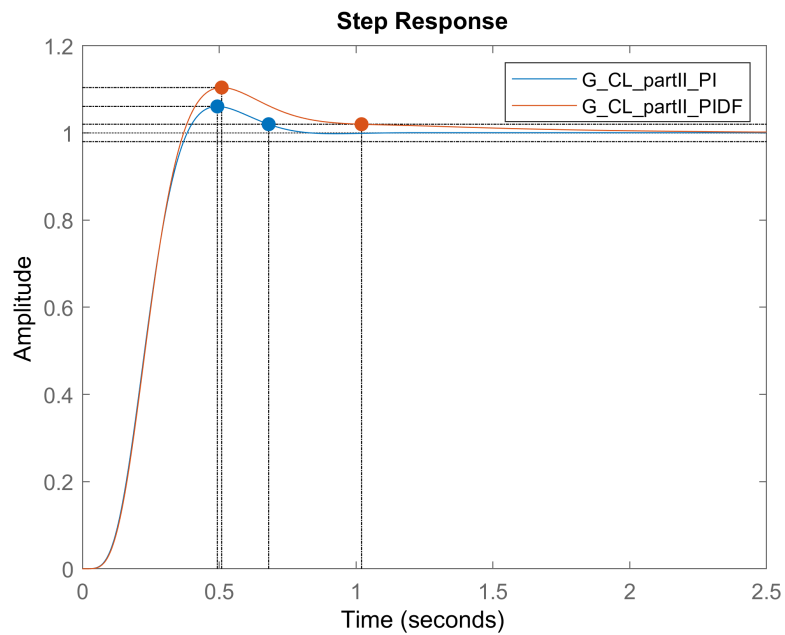
بخش دوم

در این بخش به طراحی کنترل کننده از خانواده PID به کمک برنامه PID tuner متلب پرداخته شده است. نمایشی از دو کنترل کننده PI و PIDF طراحی شده در فضای این برنامه به صورت زیر است:



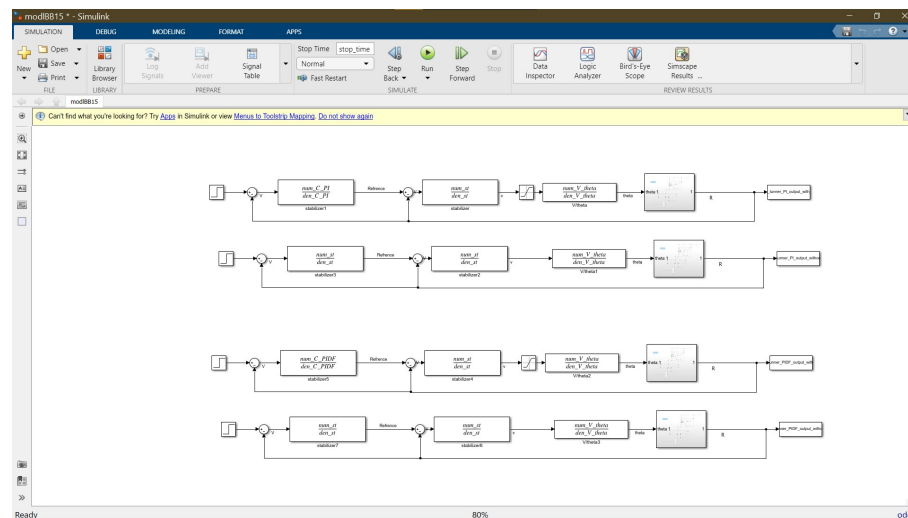
شکل ۲-۱: کنترل کننده PI طراحی شده در برنامه PID tuner متلب

پاسخ سیستم مدار بسته به ازای ورودی مرجع پله واحد با دو کنترل کننده طراحی شده در این قسمت نیز به صورت زیر است:



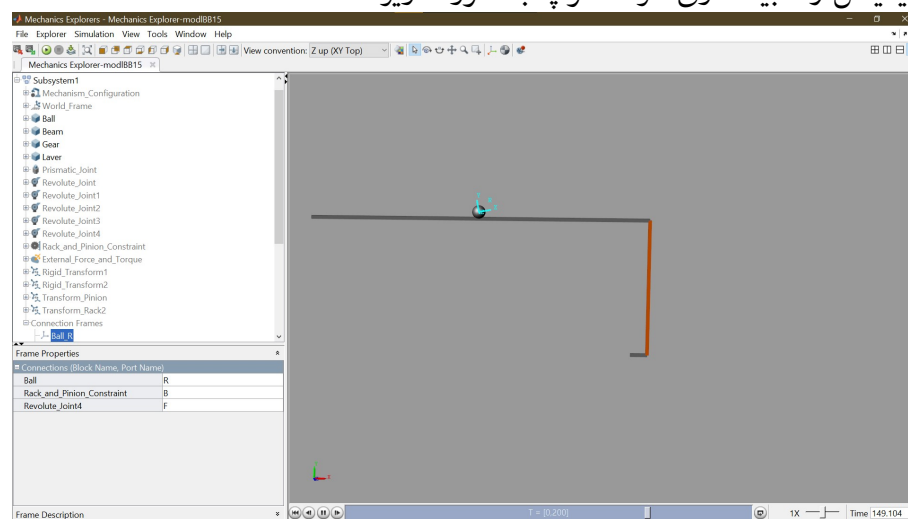
شکل ۲-۲: خروجی سیستم به ازای پله واحد با کنترل‌کننده PIDF و PI طراحی شده در برنامه PID tuner متلب

همانطور که ملاحظه می شود مقدار اورشوت و زمان نشست کمتر از مقادیر موجود در خواسته های مسیله می باشد. هم چنین با پیاده سازی کنترل‌کننده بالا در محیط سیمولینک همراه/بدون اشباع بر روی مدل غیر خطی شبیه سازی شده به صورت زیر:

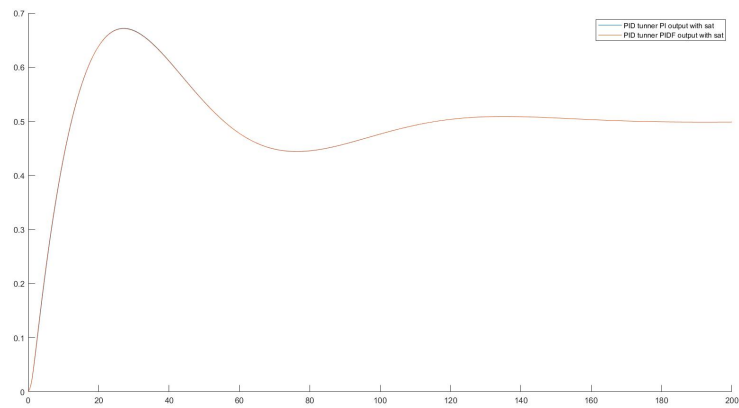


شکل ۲-۳: پیاده سازی کنترل کننده طراحی شده به وسیله PID tuner متلب بر روی مدل غیر خطی شبیه سازی شده

و پس از اجرای فایل سیمولینک برای هر کنترل کننده با اشباع، خروجی به ازای ورودی مرجع ۵۰° متر و نمایی از انیمیشن و شبیه سازی حرکت توپ به صورت زیر است:



شکل ۲-۴: نمایی از انیمیشن شبیه سازی حرکت توپ با کنترل کننده طراحی شده به وسیله PID tuner و همراه با بلوک اشباع



شکل ۲-۵: یاده سازی کنترل کننده طراحی شده به وسیله PID tuner متلب بر روی مدل غیر خطی شبیه سازی شده

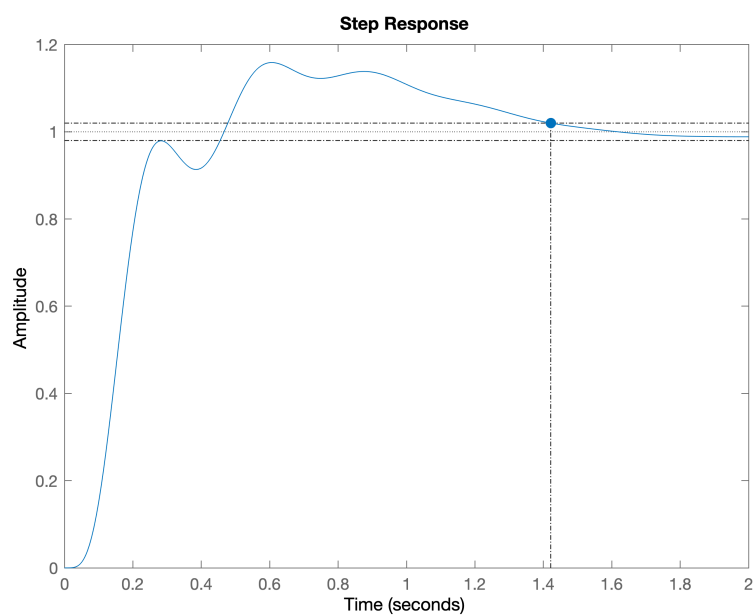
همانطور که مشاهده می شود در مدل غیر خطی به دلیل اعمال بلوک اشباع عملگر، زمان نشست به حدود ۱۵۰ ثانیه و اور شوت به حدود ۳۵ درصد رسیده است.

فصل ۳

بخش سوم

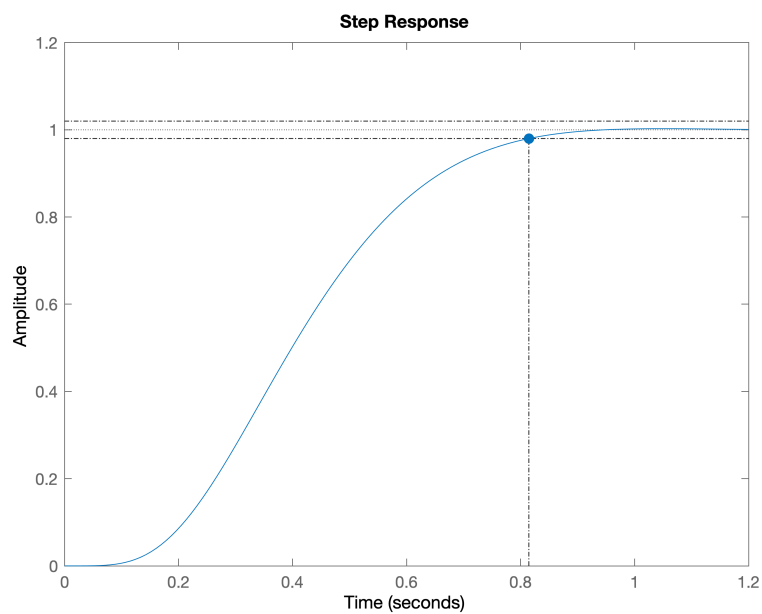
در این بخش برای سیستم بر اساس روش‌های درس داده شده کنترل‌کننده طراحی شده است که ادامه آورده شده است.

• ziegler nichols



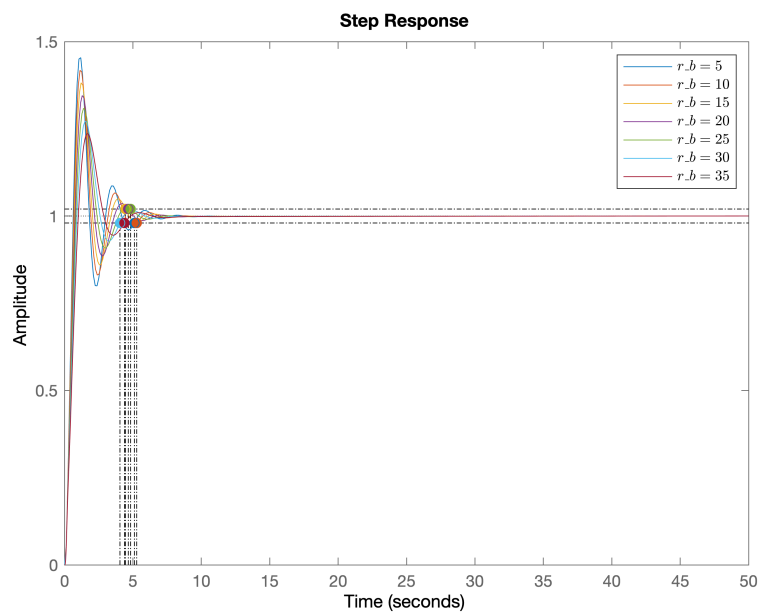
شکل ۳-۱: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده ziegler nichols

• refined ziegler nichols



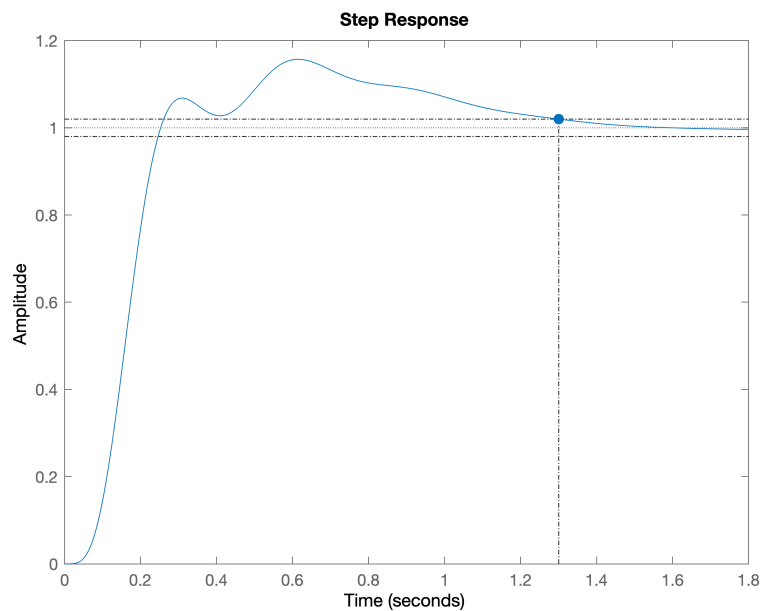
شکل ۳-۲: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده refined ziegler nichols

• modified ziegler nichols



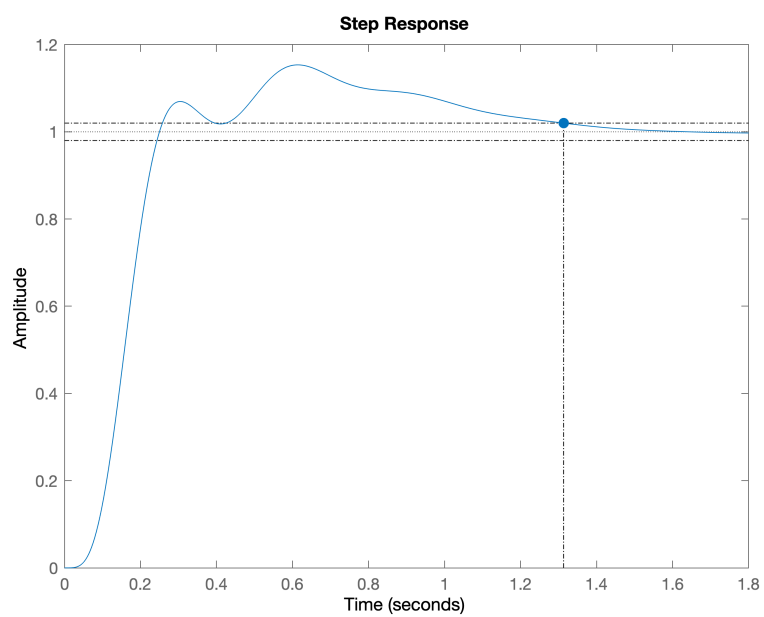
شکل ۳-۳: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده modified ziegler nichols

• Cohen Coon



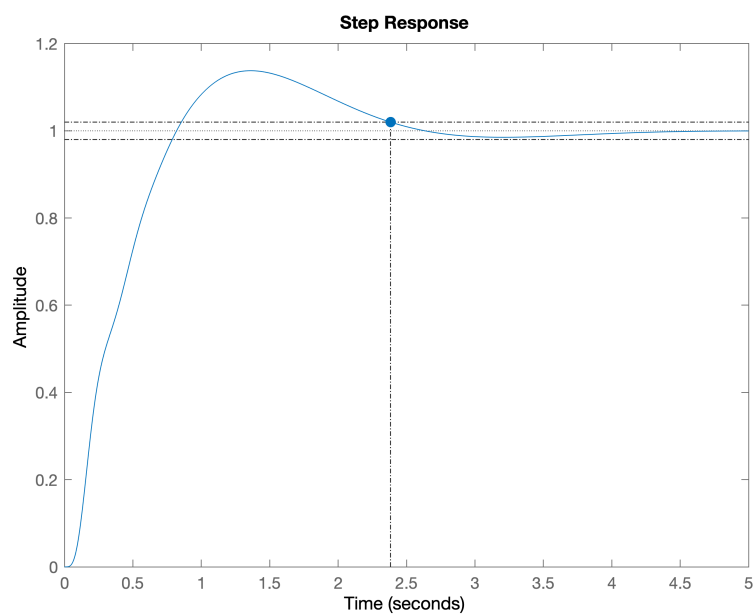
شکل ۳-۴: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Cohen Coon

Cohen Coon revisited •



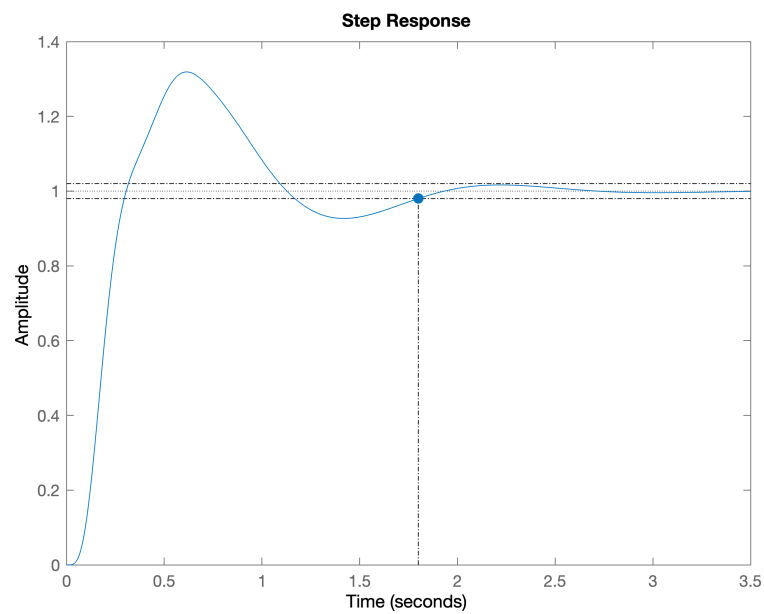
شکل ۳-۵: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده Cohen Coon revisited

Astrom Hagglund •



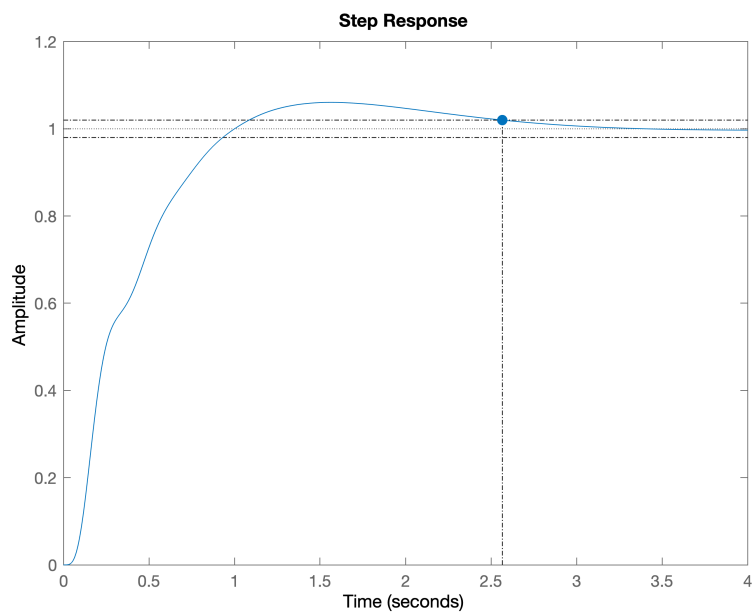
شکل ۳-۶: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده Astrom Hagglund

● Frequency based Astrom Hagglund



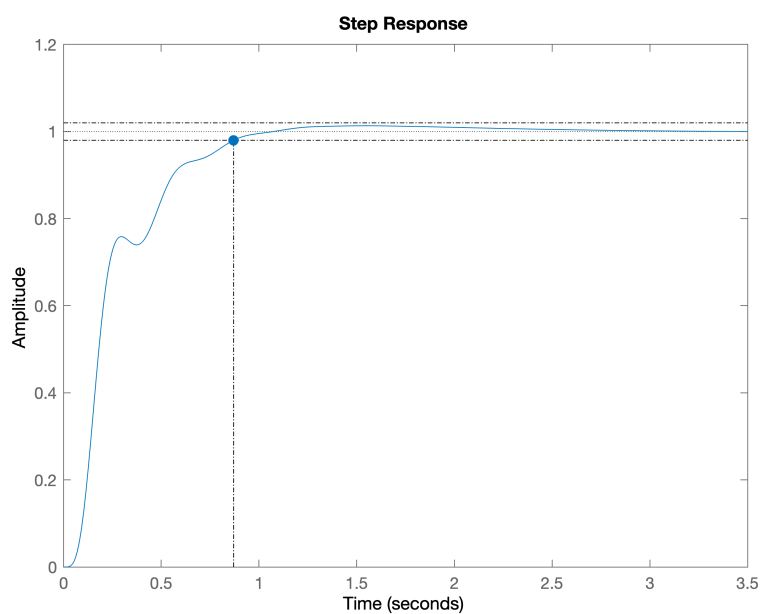
شکل ۳-۷: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده Frequency based Astrom Hagglund

● CHR set point 0% overshoot



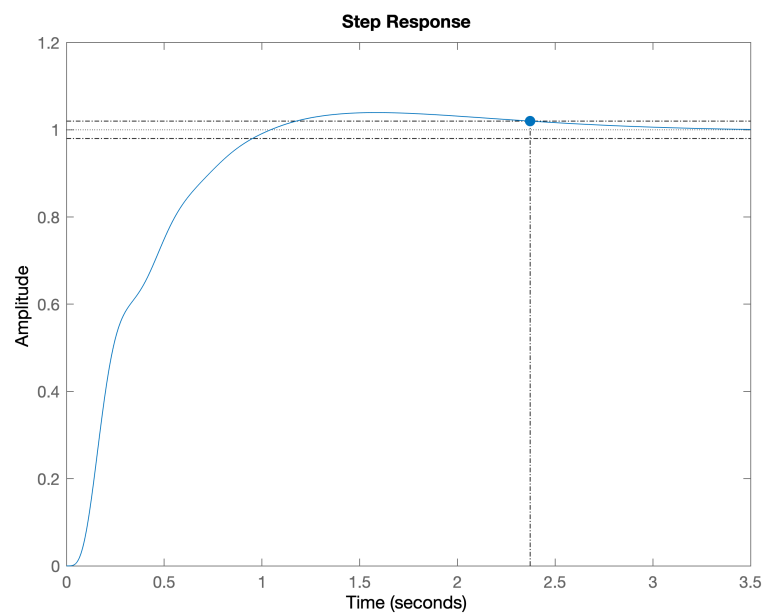
شکل ۳-۸: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده CHR set point 0% overshoot

• CHR set point 20% overshoot



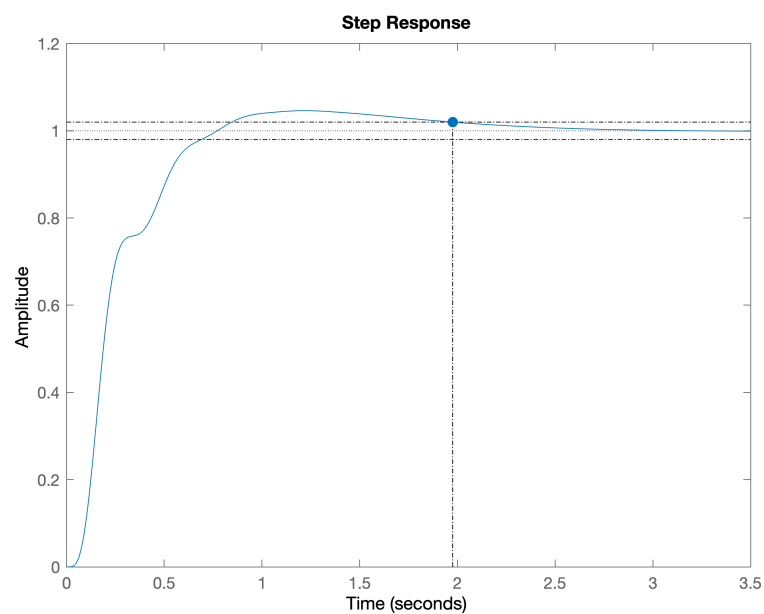
شکل ۳-۹: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده CHR set point 20% overshoot

WJC •



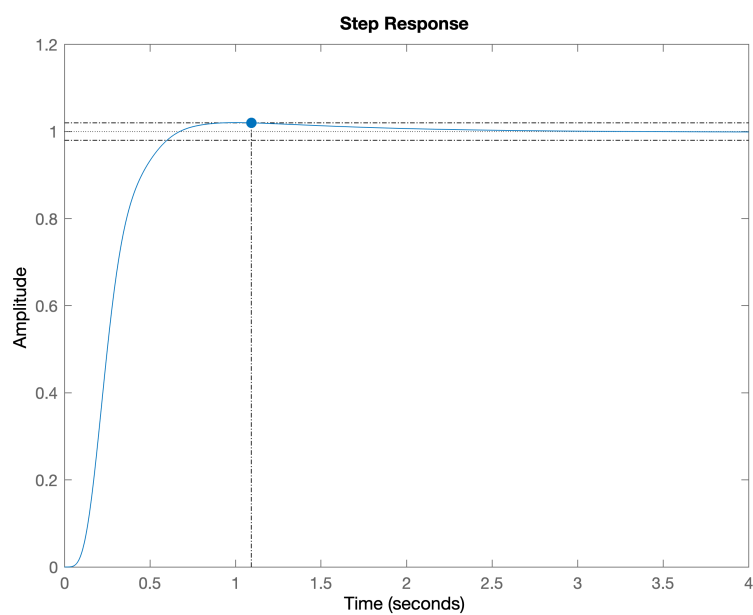
شکل ۳-۱۰: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده WJC

optimum set point PID ISTE •



شکل ۳-۱۱: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده optimum set point PID ISTE

● optimum set point PI-D ISTE

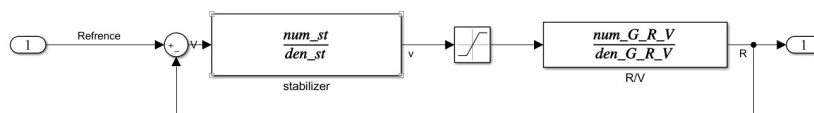


شکل ۳-۱۲: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده optimum set point PI-D ISTE

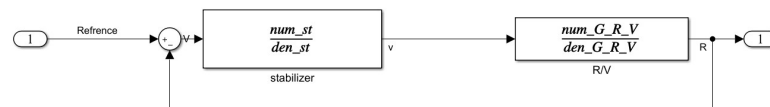
فصل ۴

بخش چهارم

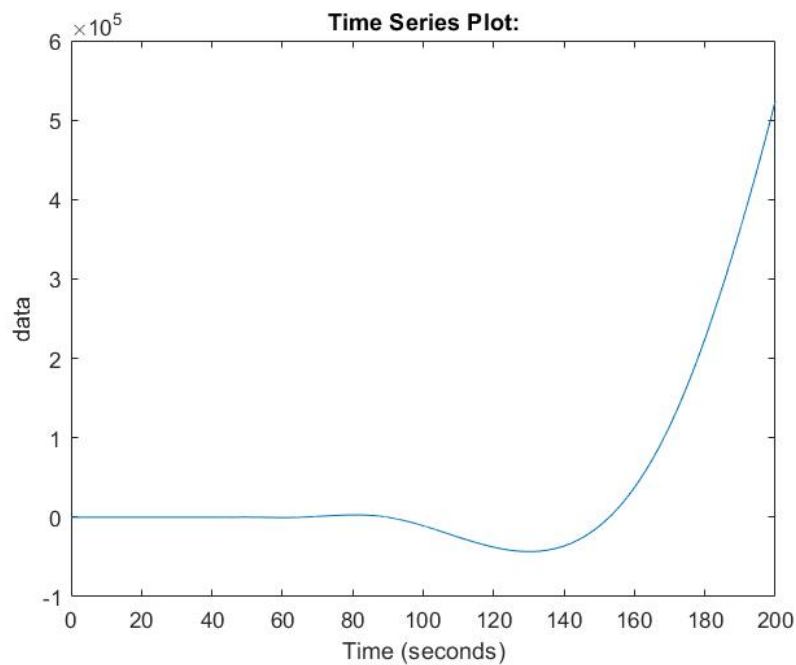
در این بخش به طراحی کنترل‌کننده از خانواده PID به کمک برنامه optimPID متلب پرداخته شده است که در آن کنترل‌کننده PIDF به روش‌های مختلف بهینه‌سازی امتحان و طراحی شده است که برای طراحی نیز دو حالت با بلوک اشباع و بدون بلوک اشباع در نظر گرفته شده و برای هر دو حالت کنترل‌کننده طراحی شده است که شکل مدار باز سیستم مورد استفاده در این برنامه برای هر یک از حالت‌های با / بدون اشباع به صورت زیر است:



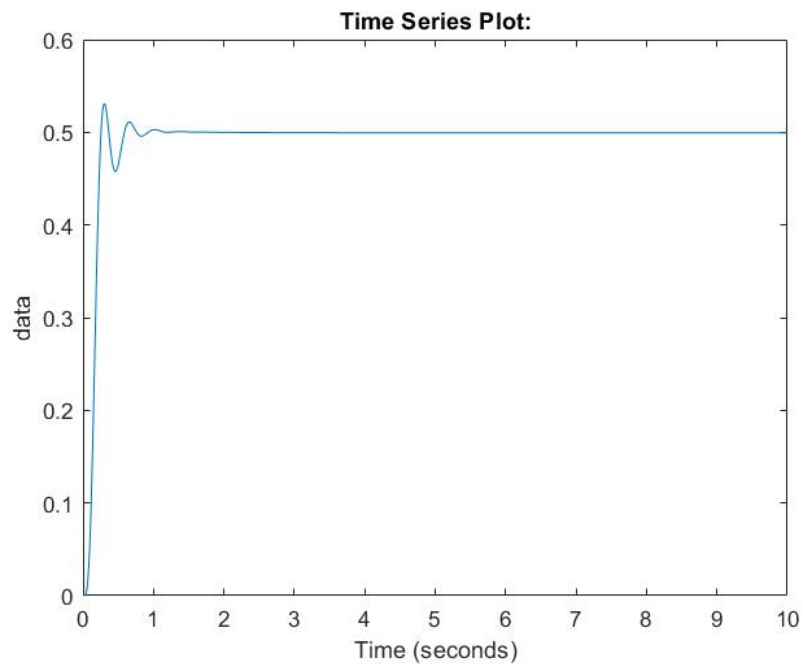
شکل ۴-۱: بلوک دیاگرام مدار باز سیستم استفاده شده در optimpid در حالت با اشباع



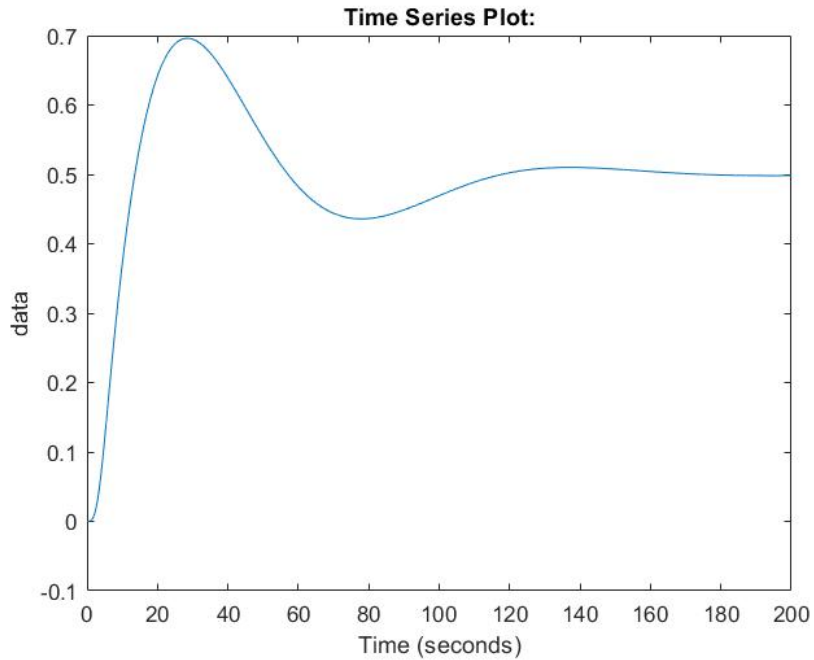
شکل ۴-۲: بلوک دیاگرام مدار باز سیستم استفاده شده در `optimpid` در حالت بدون اشباع
 نمودار مربوط به ورودی مرجع 50° متر برای هر کدام از کنترل‌کننده‌های طراحی شده به صورت زیر است:



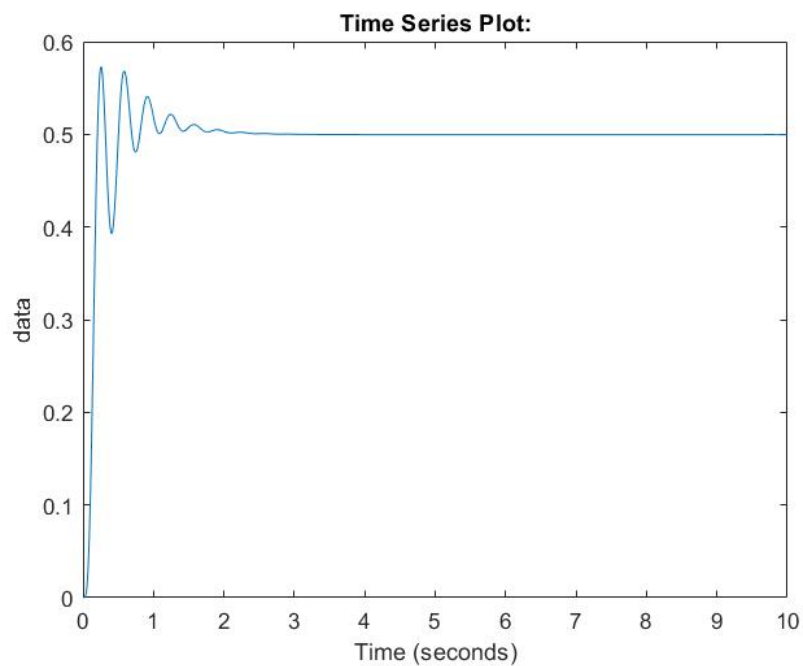
شکل ۴-۳: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IAE



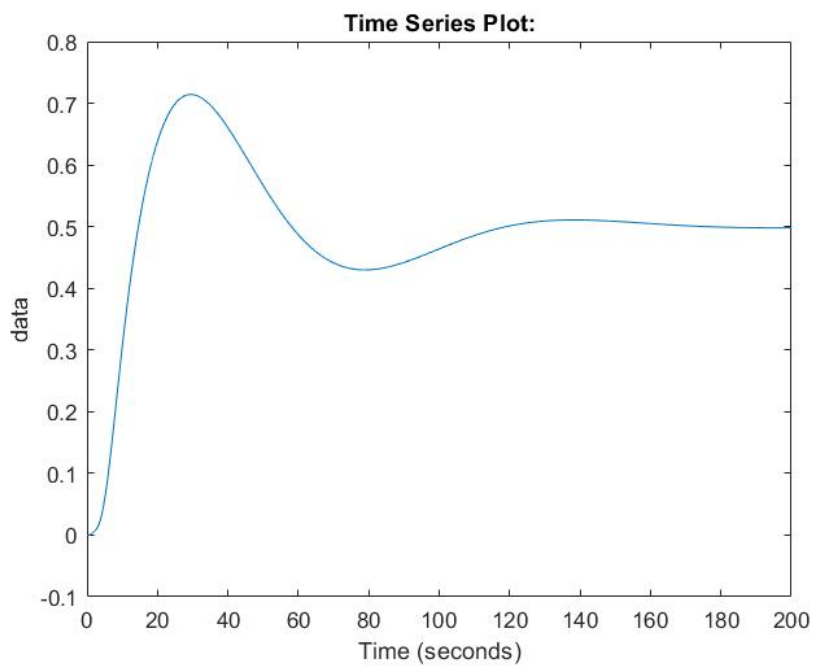
شکل ۴-۴: کنترل کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IAE



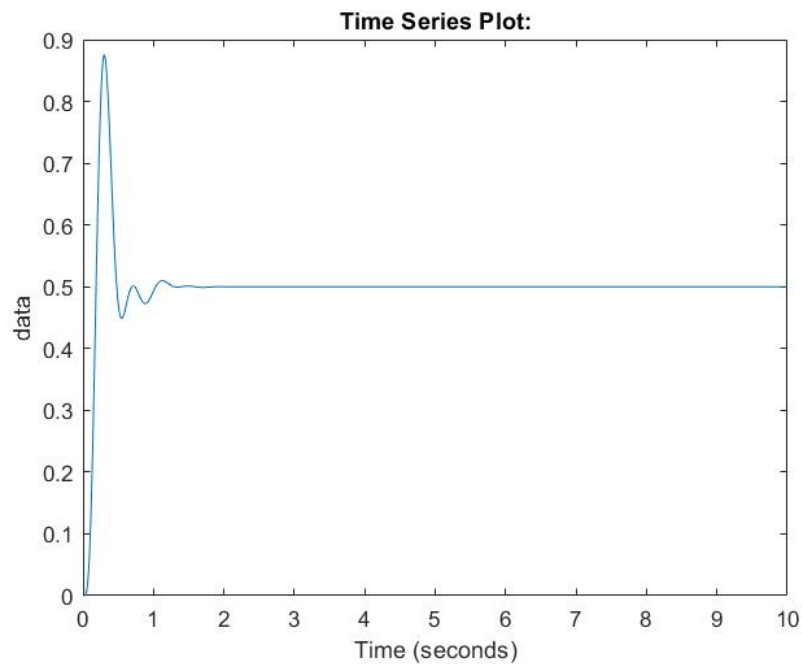
شکل ۴-۵: کنترل کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ISE



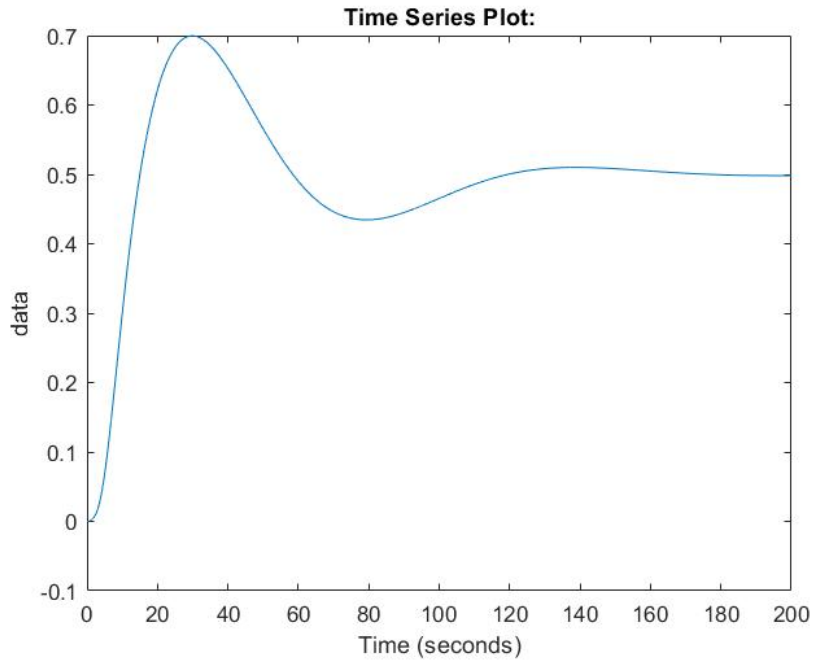
شکل ۴-۶: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ISE



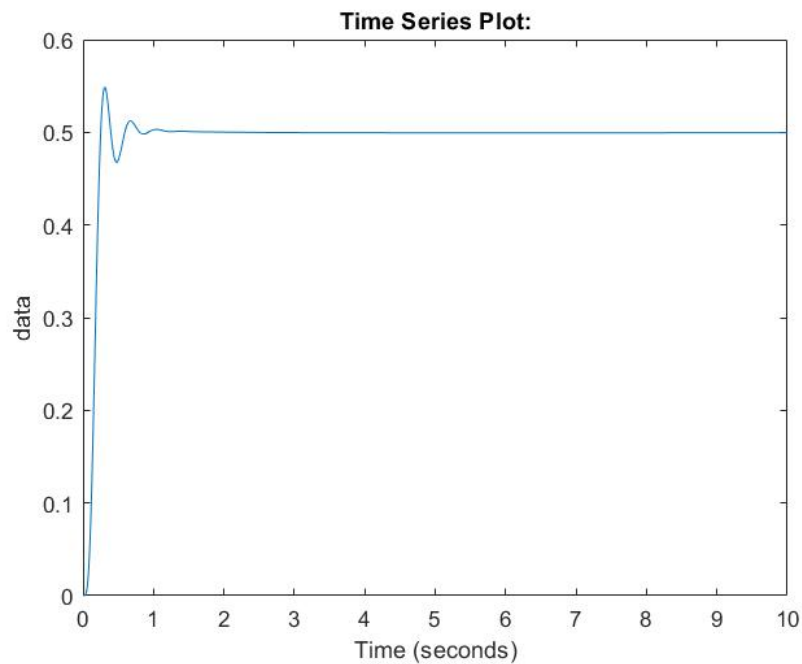
شکل ۴-۷: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IT2AE



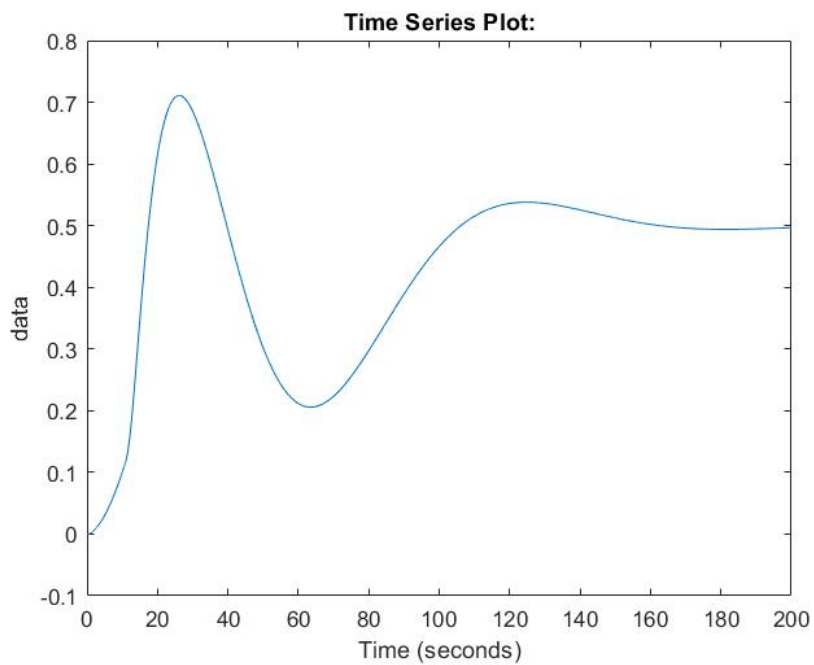
شکل ۴-۸: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IT2AE



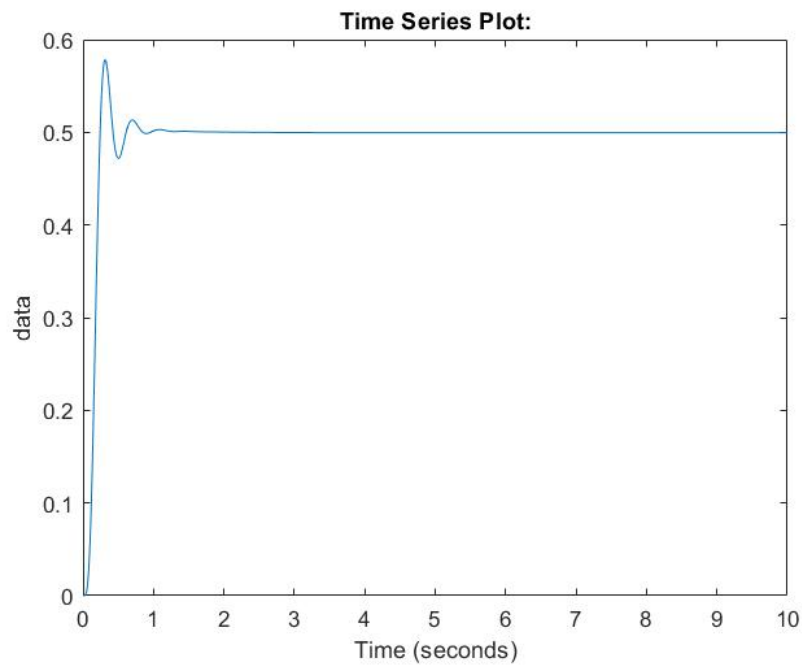
شکل ۴-۹: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IT2SE



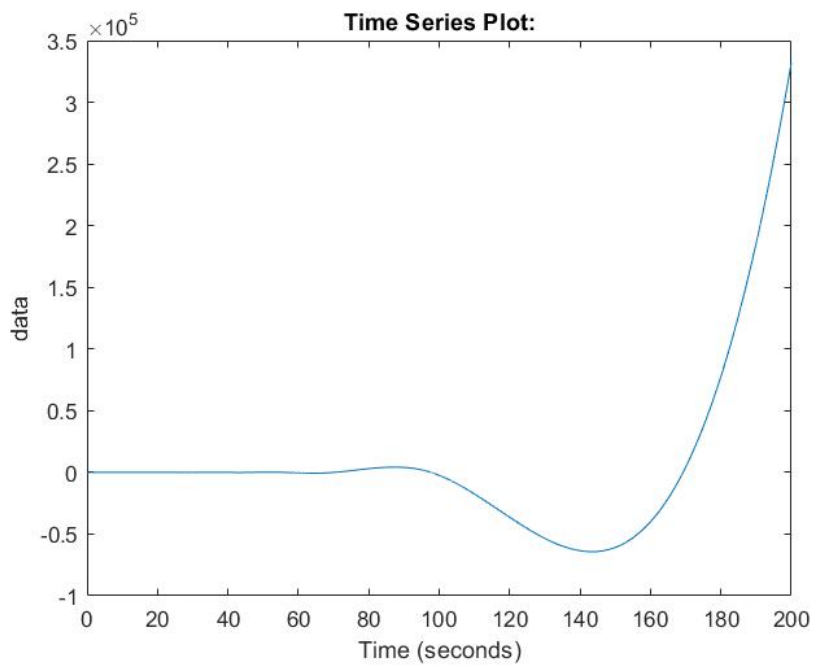
شکل ۴-۱۰: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی IT2SE



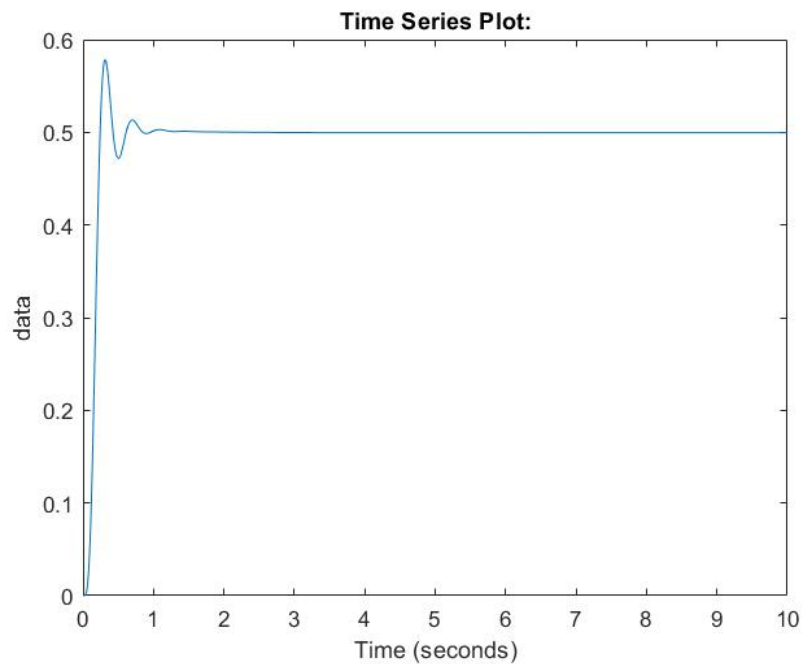
شکل ۴-۱۱: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ITAE



شکل ۴-۱۲: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ITAE



شکل ۴-۱۳: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه `optimpid` متلب برای حالت همراه با بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ITAE



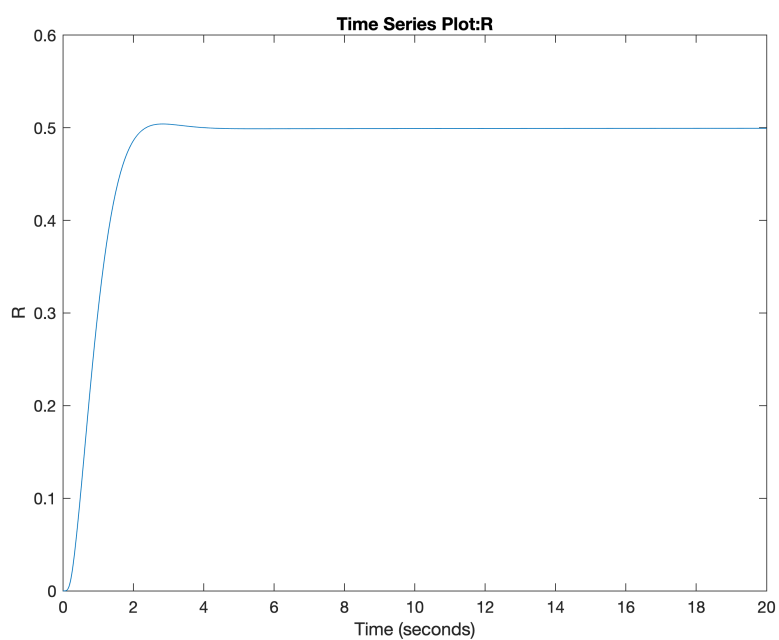
شکل ۴-۱۴: کنترل‌کننده PIDF طراحی شده در برنامه optimpid متلب برای حالت همراه بدون بلوک اشباع و با روش بهینه سازی ITSE

همانطور که ملاحظه می شود با اضافه شدن بلوک اشباع به سیستم مدار باز برنامه قادر به طراحی کنترل‌کننده‌ی که زمان نشست آن کمتر از ۶ ثانیه باشد نمی باشد و بهترین کنترل‌کننده های طراحی شده توسط برنامه برای سیستم با بلوک اشباع دارای زمان نشست بیشتر از ۱۰۰ ثانیه می باشند.

فصل ۵

بخش پنجم

در این قسمت یک کنترل‌کننده PID دو درجه آزادی برای سیستم طراحی شد که خروجی خطی و غیرخطی آورده شده است.



شکل ۵-۱: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده دو درجه آزادی PID طراحی شده

فصل ۶

بخش ششم

فصل ۷

نتیجه‌گیری

مراجع



Sharif University of Technology
Department of Aerospace Engineering

Bachelor Thesis

LQDG Controller for 3DOF Quadcopter Stand

By:

Ali BaniAsad

Supervisor:

Dr. Nobahari

August 2021