



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



## فهرست مطالب

۴	۱	بخش اول
۶	۲	بخش دوم
۹	۳	بخش سوم
۱۷	۴	بخش چهارم
۱۸	۵	بخش پنجم
۱۹	۶	بخش ششم
۲۰	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
۱-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده ziegler nichols . . . . .	۱۰
۲-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده refined ziegler nichol . . . . .	۱۰
۳-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده modified ziegler nicholsl . . . . .	۱۱
۴-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Cohen Coon . . . . .	۱۱
۵-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Cohen Coon revisited . . . . .	۱۲
۶-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Astrom Hagglund . . . . .	۱۲

۷-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Frequency based Astrom	۱۳
	Hagglund	
۸-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده CHR set point 0%	۱۴
	overshoot	
۹-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده CHR set point 20%	۱۴
	overshoot	
۱۰-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده WJC	۱۵
۱۱-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده optimum set point PID	۱۵
	ISTE	
۱۲-۳	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده optimum set point PI-D	۱۶
	ISTE	
۱-۵	پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده دو درجه آزادی PID طراحی شده	۱۸

## فهرست جدول‌ها

## مقدمه

هدف از این پروژه طراحی کنترل کننده برای سیستم Ball and Beam است. این وسیله از معروف ترین و ساده ترین سیستم های 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.



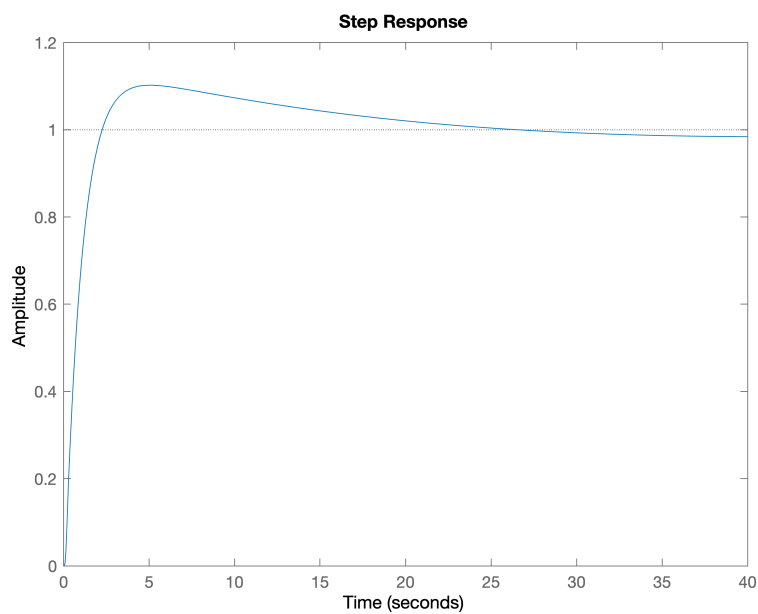
شکل ۱: سیستم کنترلی

## 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 طراحی ها برای سیستم جدید اجرا می شوند.

## 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

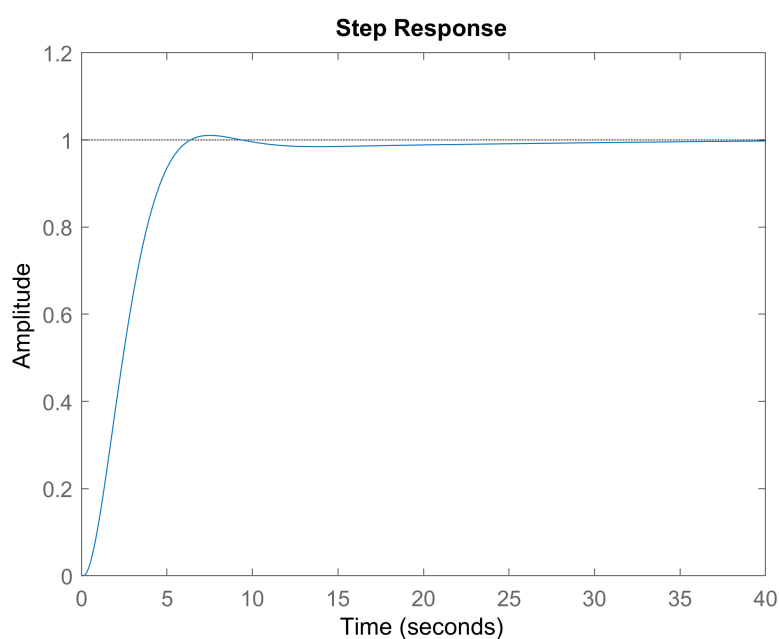
<sup>1</sup>Linear Quadratic Gaussian



# فصل ۱

## بخش اول

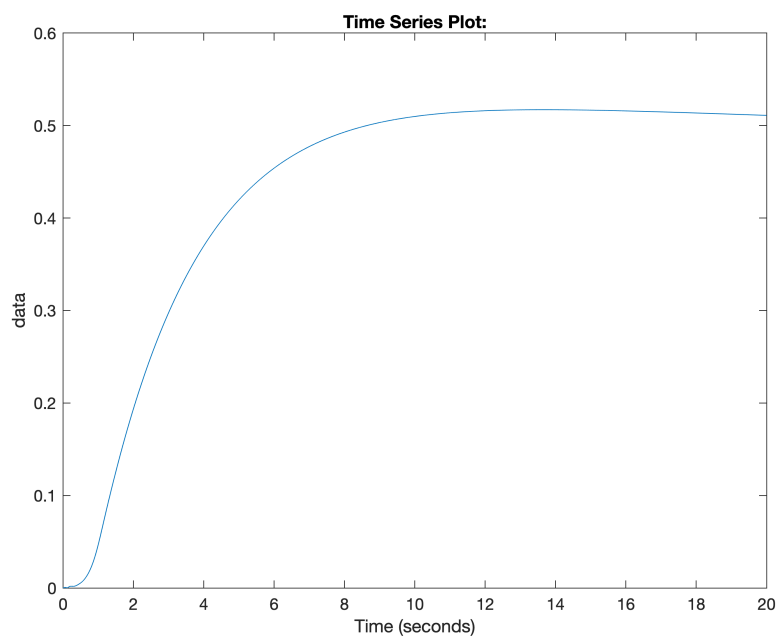
در این قسمت به کمک جعبه‌ابزار SISO یک کنترل کننده از خانواده PID برای سیستم در طراحی شد. خروجی پله واحد سیستم مدار بسته در حضور کنترل کننده PID در شکل ۱-۱ آورده شده است.



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.

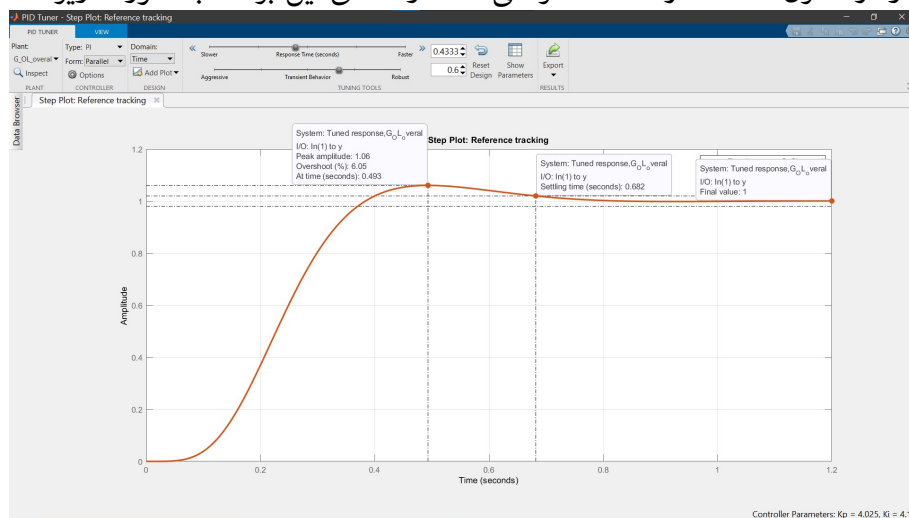


شکل ۲-۱: خروجی پله واحد سیستم مدار بسته در حضور کنترل کننده PID

## فصل ۲

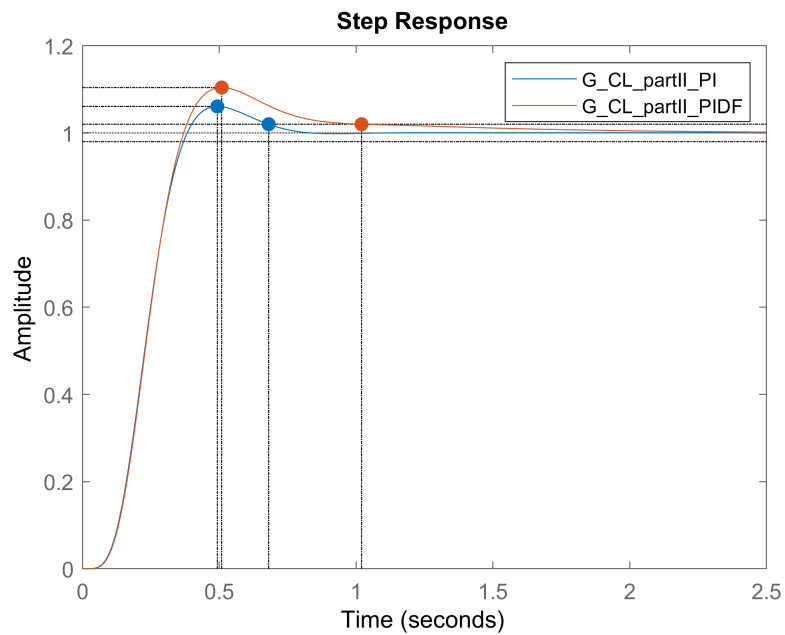
### بخش دوم

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:



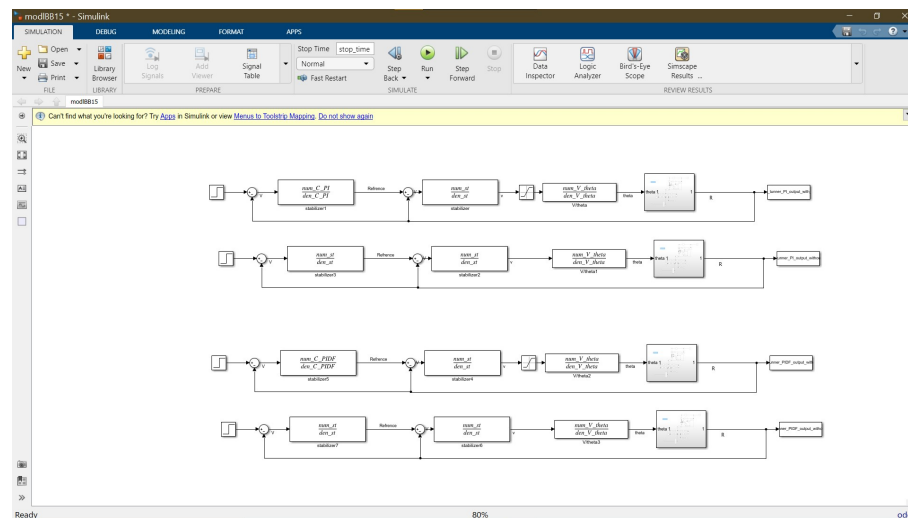
شکل ۲-۱: کنترل کننده PI طراحی شده در برنامه PID tuner متلب

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



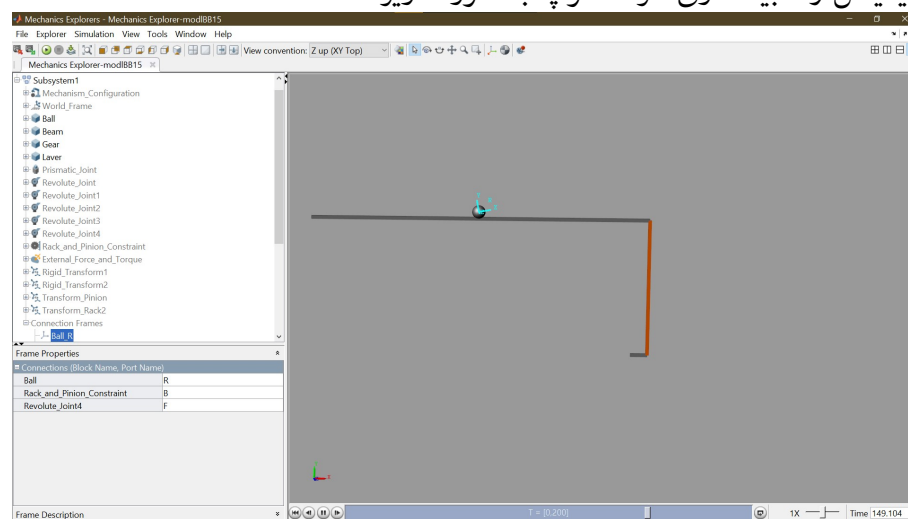
شکل ۲-۲: خروجی سیستم به ازای پله واحد با کنترل‌کننده PIDF و PI طراحی شده در برنامه PID tuner متلب

همانطور که ملاحظه می شود مقدار اورشوت و زمان نشست کمتر از مقادیر موجود در خواسته های مسئله 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:

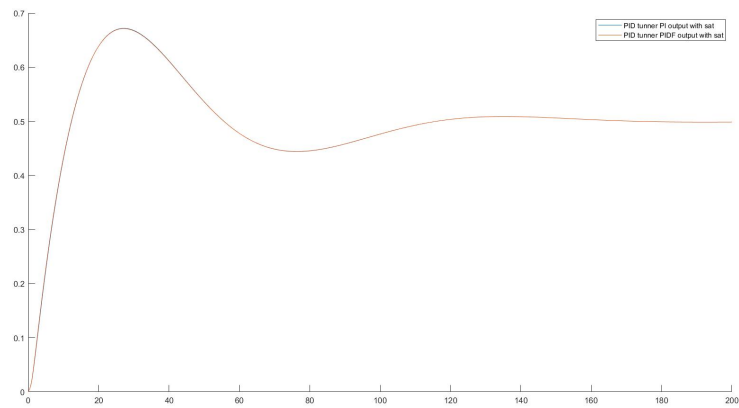


شکل ۲-۳: پیاده سازی کنترل کننده طراحی شده به وسیله PID tuner متلب بر روی مدل غیر خطی شبیه سازی شده

و پس از اجرای فایل سیمولینک برای هر کنترل کننده با اشباع، خروجی به ازای ورودی مرجع  $۵۰^{\circ}$  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

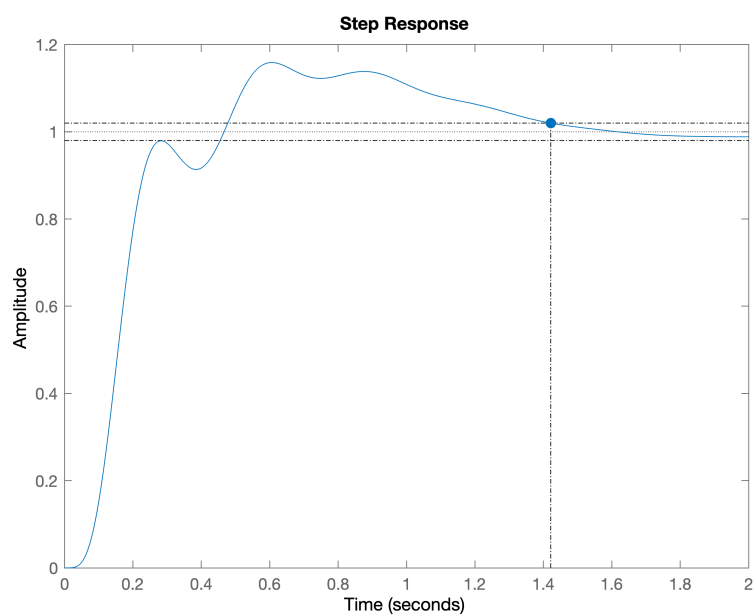
همانطور که مشاهده می شود در مدل غیر خطی به دلیل اعمال بلوک اشباع عملگر، زمان نشست به حدود ۱۵۰ ثانیه و اور شوت به حدود ۳۵ درصد رسیده است.

## فصل ۳

### بخش سوم

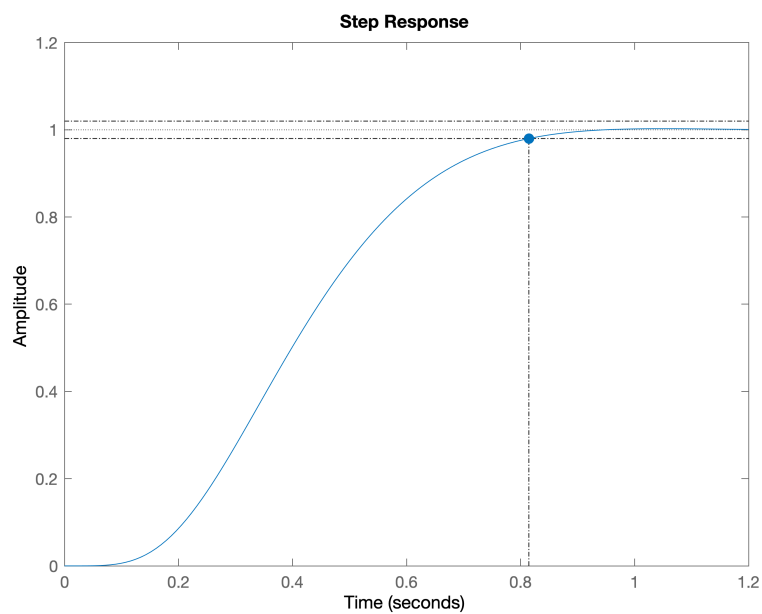
در این بخش برای سیستم بر اساس روش‌های درس داده شده کنترل‌کننده طراحی شده است که ادامه آورده شده است.

• ziegler nichols



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

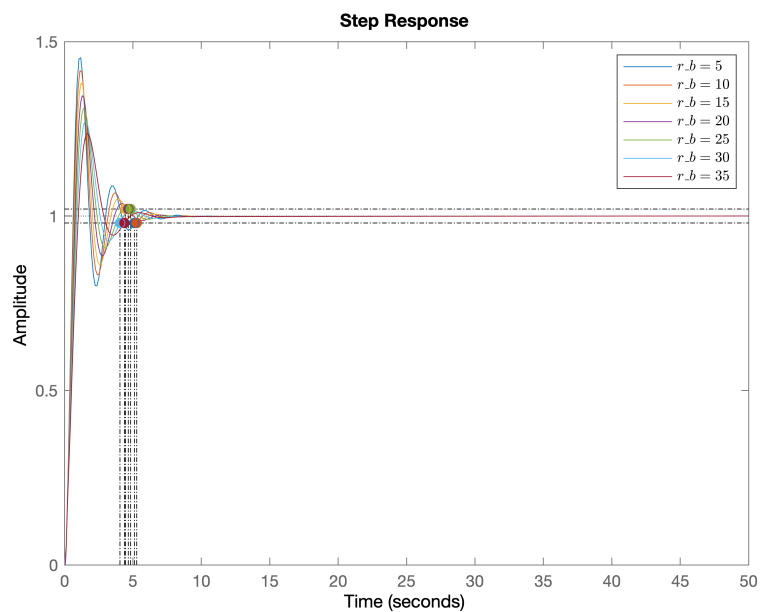
• refined ziegler nichols



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

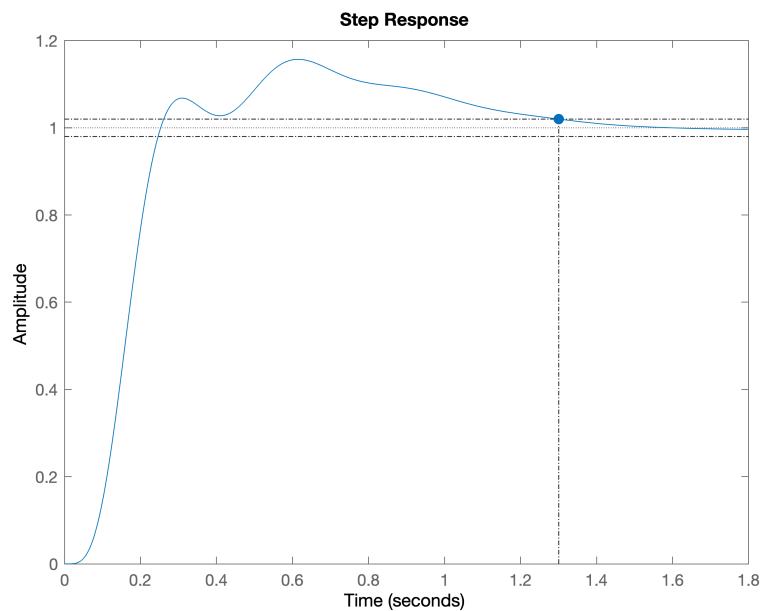


• modified ziegler nichols



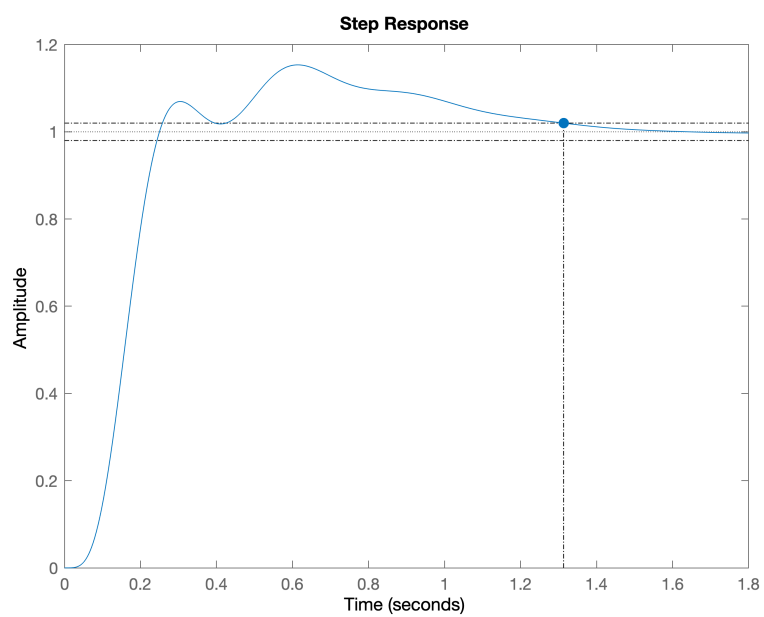
شکل ۳-۳: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده modified ziegler nichols

• Cohen Coon



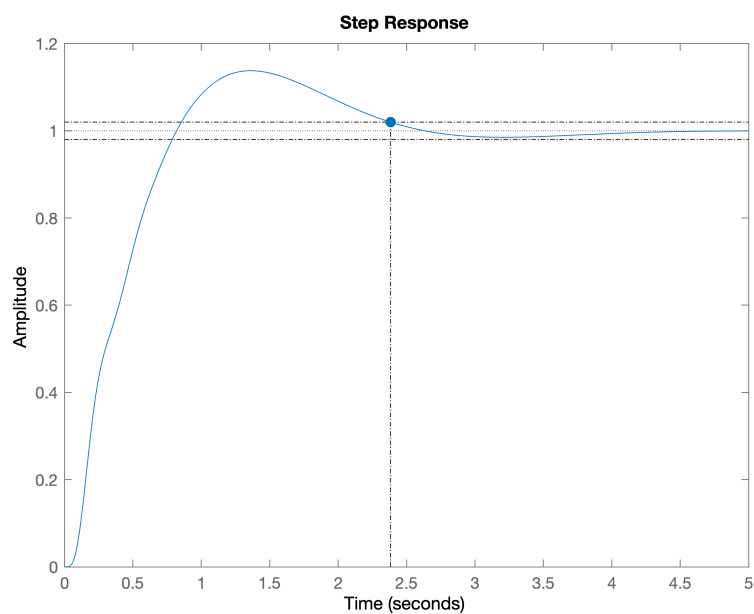
شکل ۳-۴: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده Cohen Coon

## Cohen Coon revisited •



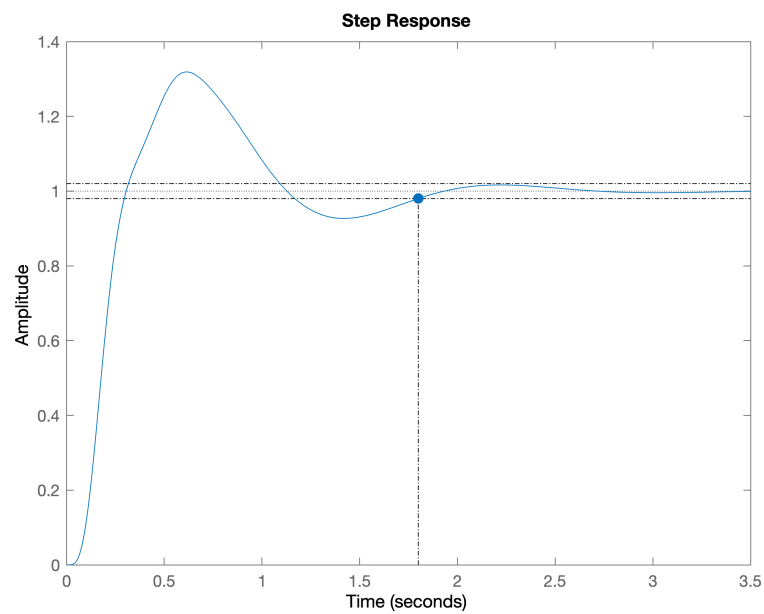
شکل ۳-۵: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده Cohen Coon revisited

## Astrom Hagglund •



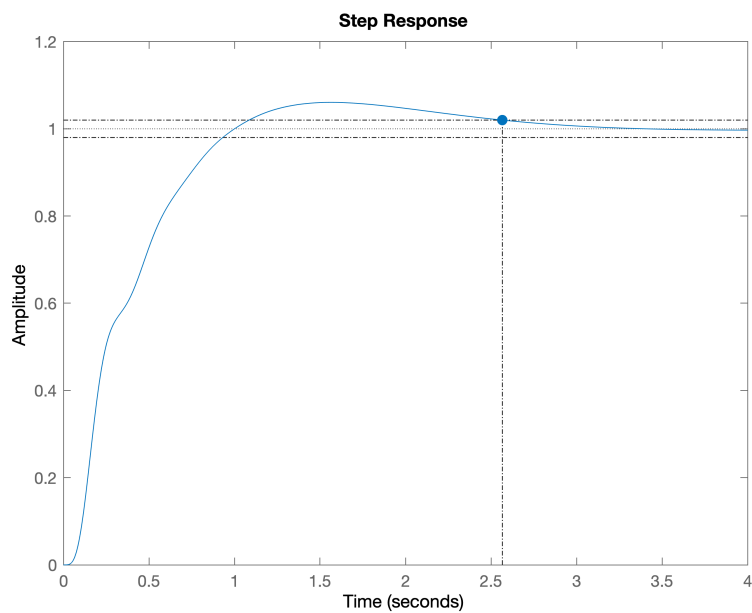
شکل ۳-۶: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده Astrom Hagglund

### ● Frequency based Astrom Hagglund



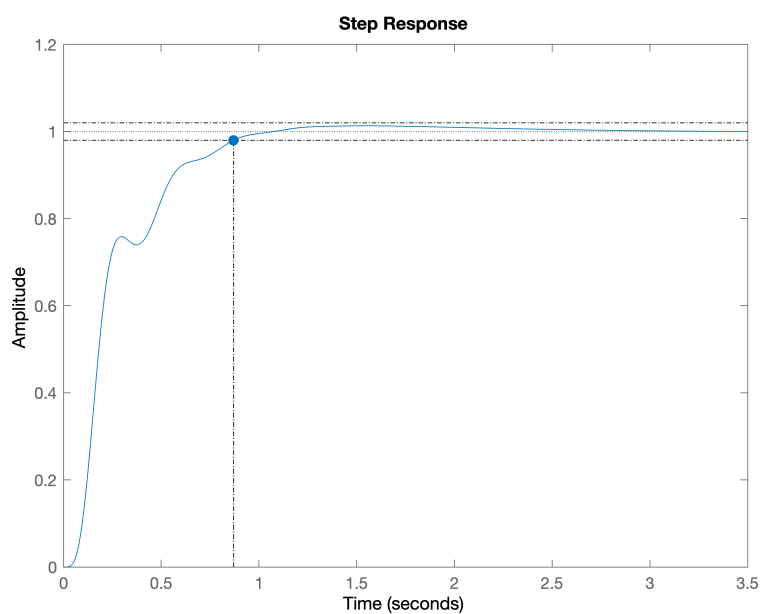
شکل ۳-۷: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده Frequency based Astrom Hagglund

● CHR set point 0% overshoot



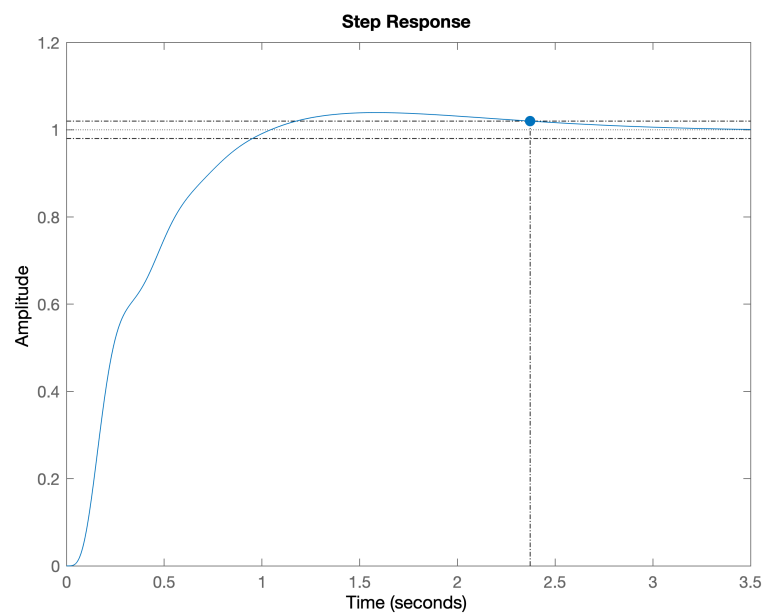
شکل ۳-۸: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده CHR set point 0% overshoot

• CHR set point 20% overshoot



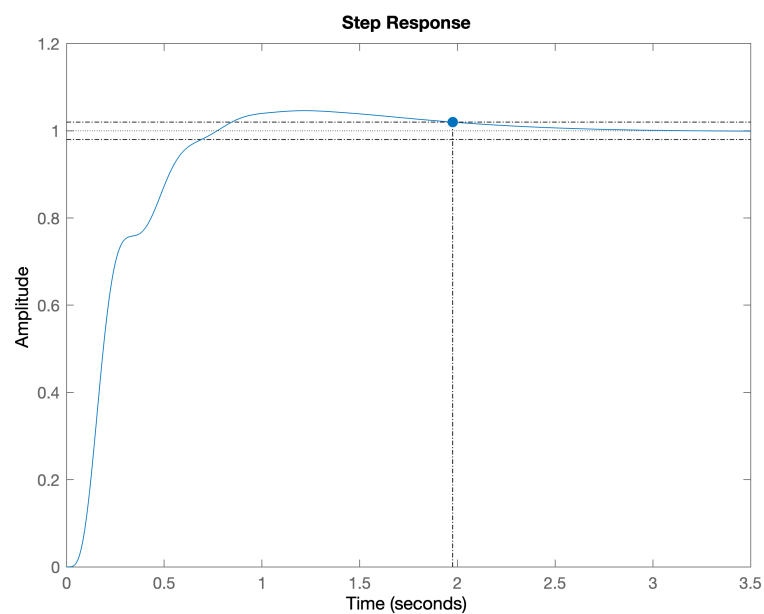
شکل ۳-۹: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده PID طراحی شده CHR set point 20% overshoot

WJC •



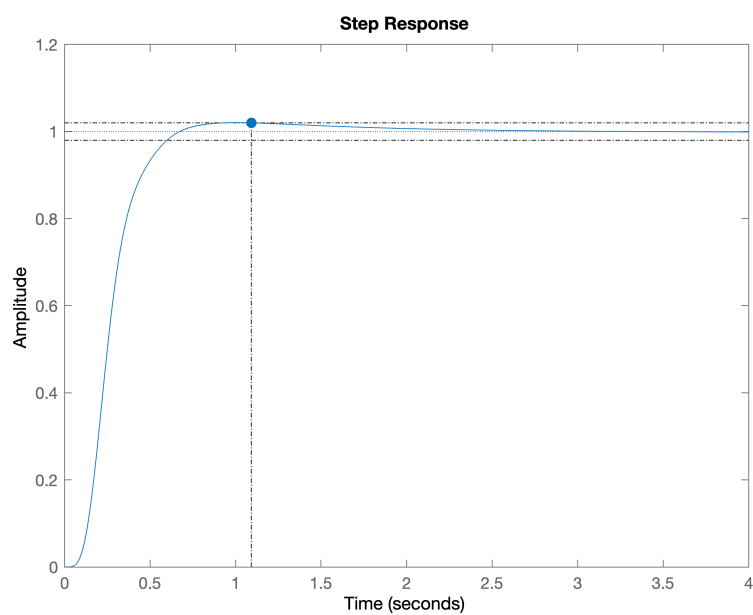
شکل ۳-۱۰: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل‌کننده PID طراحی شده WJC

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

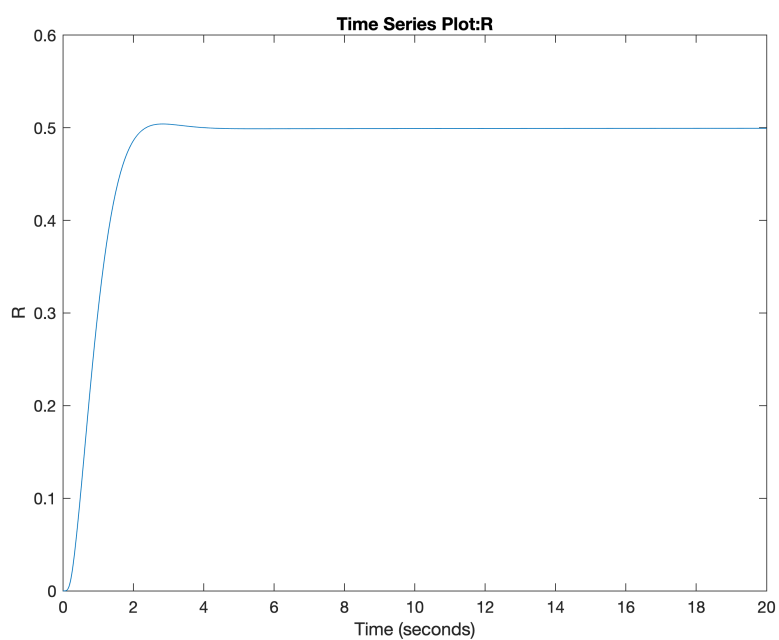
## فصل ۴

### بخش چهارم

## فصل ۵

### بخش پنجم

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



شکل ۵-۱: پاسخ پله سیستم در حضور کنترل کننده 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