



پروژه پایانی درس کنترل خطی

طراحی کنترل‌کننده سطح مایع و تحلیل دینامیکی

رضوان عسکری و یگانه طهماسبی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
استاد راهنما: دکتر تقی‌راد

بهمن ۱۴۰۴



۱ معرفی پروژه و مدل سازی

۲ تحلیل رفتار سیستم (حلقه باز)

۳ تحلیل در حوزه فرکانس

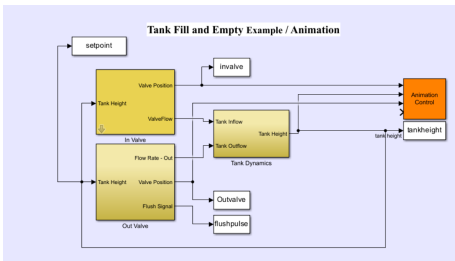
۴ طراحی کنترل کننده PID

۵ تحلیل نویز و اغتشاش

۶ نتیجه گیری

۷ منابع

نمای کلی سیستم

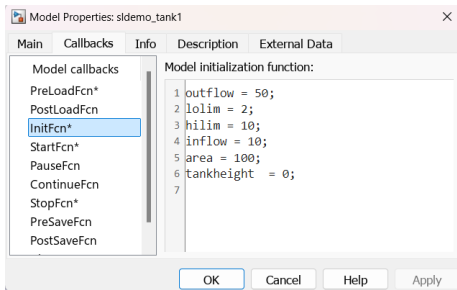


- هدف: کنترل ارتفاع سطح مایع
- ورودی: دبی پمپ (شیر ورودی)
- خروجی: ارتفاع آب مخزن
- چالش‌ها: رفتار غیر خطی و اشباع شیر

شکل: شماتیک سیستم در سیمولینک

استخراج پارامترهای فیزیکی

پارامترهای استخراج شده از فایل InitFcn:



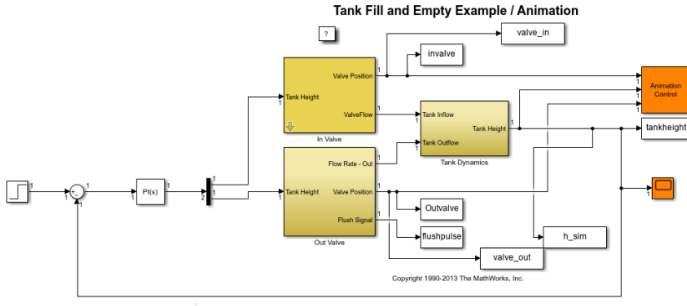
شکل: پارامترهای سطح مقطع و شیرها

معادله دینامیکی حاکم:

$$A \frac{dh}{dt} = q_{in}(t) - C_d \sqrt{h(t)} \quad (1)$$

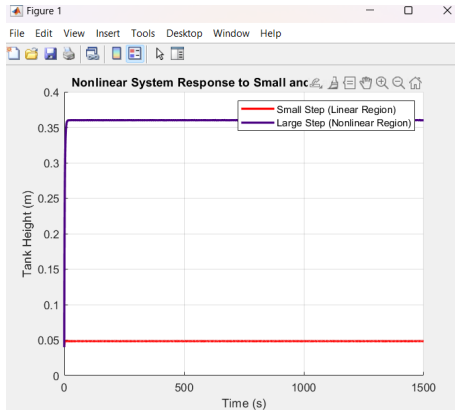
اعتبار سنجی مدل خطی

مقایسه مدل خطی استخراج شده با سیستم واقعی:



شکل: تطابق ۶۹ درصدی به دلیل ماهیت غیرخطی

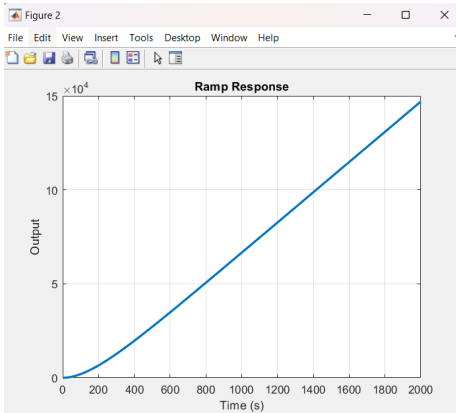
رفتار در دامنه‌های بزرگ (غیرخطی)



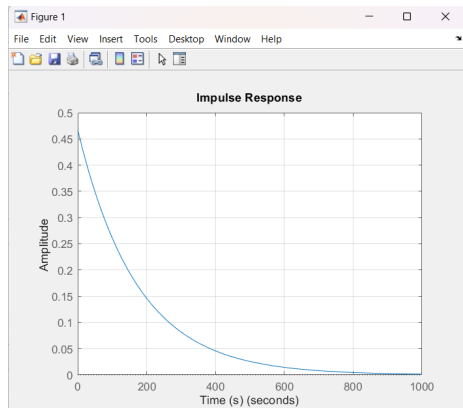
شکل: انحراف مدل خطی در پله‌های بزرگ

مدل خطی تنها در اطراف نقطه کار معتبر است.

پاسخ‌های استاندارد

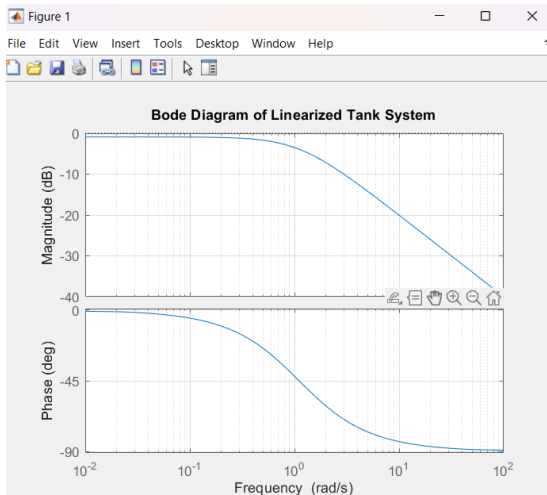


شکل: پاسخ شیب



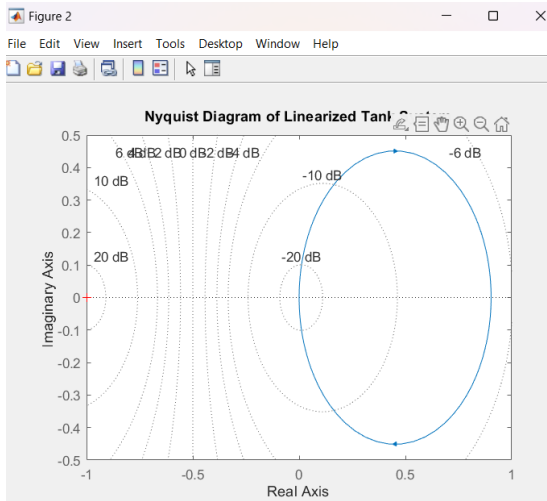
شکل: پاسخ ضربه

نمودار بُد (Bode)



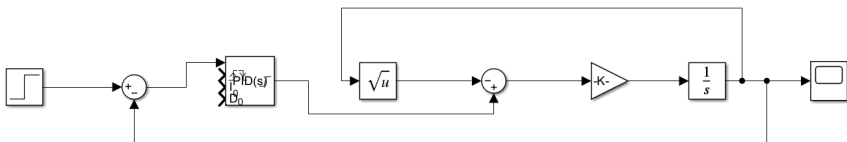
شکل: رفتار فیلتر پایین‌گذر مرتبه اول

نمودار نایکوئیست (Nyquist)



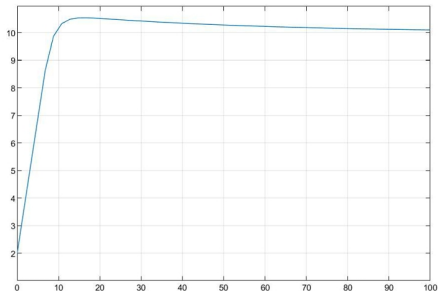
شکل: سیستم مینیم فاز و پایدار است

ساختار کنترلی

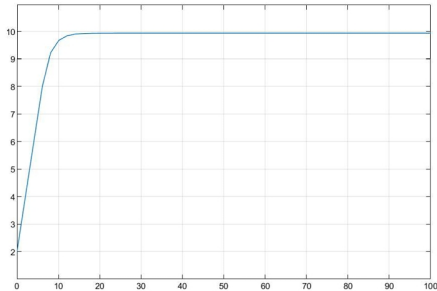


شکل: کنترل‌کننده PID با فیلتر مشتق‌گیر و اشباع

روند طراحی P و PI

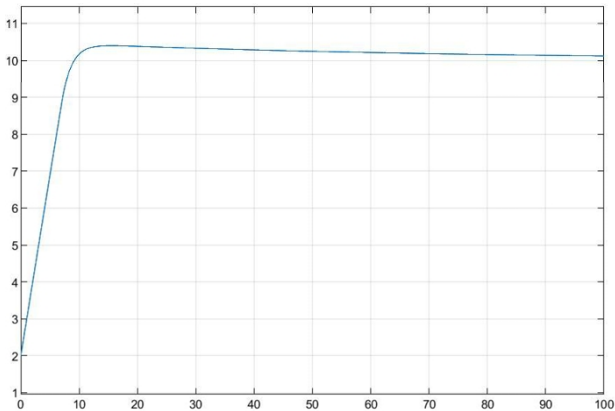


شکل: کنترل کننده PI (حذف خطا)



شکل: کنترل کننده P (دارای خطا)

نتایج نهایی PID



شکل: پاسخ نهایی با ضرایب بهینه

تحلیل چالش زمان نشست

چرا زمان نشست ۸ ثانیه است؟

رسیدن به زمان ۵ ثانیه با فیزیک این مخزن غیرممکن است.

اثبات: حجم آب لازم برای پر کردن تانک:

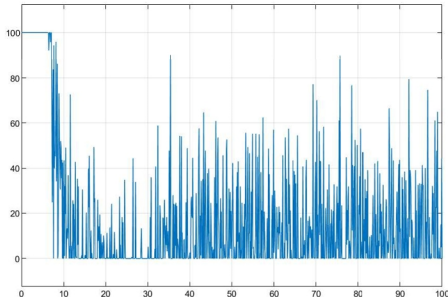
$$\Delta V = A \times \Delta h = 100 \times 8 = 800 \text{ m}^3 \quad (۲)$$

حداکثر توان پمپ (شیر ۱۰۰٪ باز): $Q_{max} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

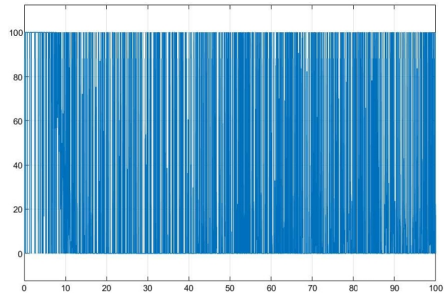
$$t_{min} = \frac{\Delta V}{Q_{max}} = \frac{800}{100} = \text{seconds } 8 \quad (۳)$$

سیستم در حالت اشباع عملگر کار می کند.

اثر فیلتر مشتق گیر (N)



شکل: اصلاح شده با $N = 1$

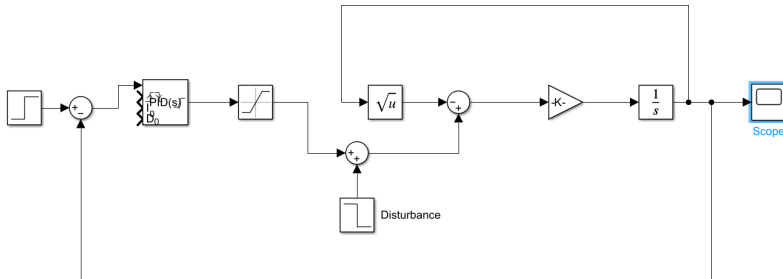


شکل: لرزش شیر با $N = 100$

بررسی عملکرد در برابر اغتشاش (Disturbance)

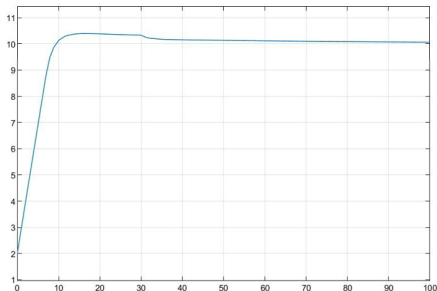
سناریوی تست

به منظور سنجش مقاومت سیستم در برابر عواملی مثل نشتی مخزن، یک اغتشاش پله‌ای با دامنه 10- در ثانیه 30 به ورودی کنترلر اضافه شد.



شکل: نحوه اعمال اغتشاش به ورودی سیستم در محیط سیمولینک

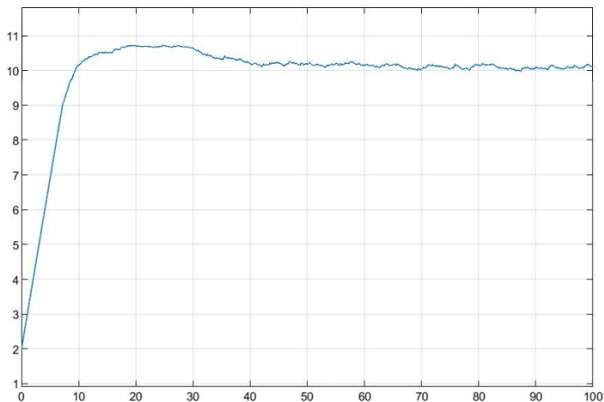
تحلیل پاسخ زمانی به اغتشاش



شکل: بازگشت سریع سیستم به نقطه کار پس از اغتشاش

تحلیل: همانطور که مشاهده می شود، در لحظه $t = 30$ سطح آب افت می کند، اما کنترل کننده بلافاصله با افزایش فرمان شیر، سطح آب را مجدداً به ۱۰ متر باز می گرداند (Robustness عالی).

پایداری در حضور نویز



شکل: حفظ پایداری سیستم با وجود نویز سنسور

جمع‌بندی و پیشنهادات

نتایج کلیدی

- حذف کامل خطای حالت ماندگار
- پایداری کامل در حضور نویز و اغتشاش
- اثبات محدودیت فیزیکی زمان نشست

پیشنهاد برای کاهش زمان نشست به ۱ ثانیه:

- کاهش سطح مقطع تانک (A) به نصف
- استفاده از پمپ با دبی دو برابر ($200 \text{ m}^3/\text{s}$)



Katsuhiko Ogata.

Modern Control Engineering.

5th Edition, Prentice Hall, 2010.



Richard C. Dorf and Robert H. Bishop.

Modern Control Systems.

13th Edition, Pearson, 2016.



The MathWorks Inc.

MATLAB & Simulink Documentation: Water Tank System Modeling.

Natick, Massachusetts, 2024.



Hamid D. Taghirad.

Linear Control Systems Lecture Notes.

K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Fall 2025.

با تشکر از توجه شما



اسکن جهت مشاهده کدها و مستندات

github.com/Yegane05/Linear-Control-Project-KNTU