دانشکده مهندسی مکانیک

به نام یگانه سرچشمه هستی

درس کنترل پیشرفته

امتحان خانه‌بر پایان‌ترم

تاریخ شروع: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

تاریخ تحویل: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

مدرس: دکتر ف. آ. شیرازی

دستیار آموزشی: م. رضائی

مقدمه

پروژه حاضر امتحان خانه‌بر پایان ترم درس کنترل پیشرفته است که در آن دانشجویان آموخته‌های خود در درس را از مدل‌سازی تا طراحی کنترل‌کننده و رویتگر به کار می‌بندند. در ارتباط با نحوه انجام پروژه و تهیه گزارش آن موارد زیر را مدنظر داشته باشید.

- گزارش امتحان را براساس فرمت استاندارد گزارش علمی تهیه نمایید. بدیهی است در غیر این صورت نمره گزارش‌نویسی لحاظ نخواهد شد. گزارش پروژه شامل بخش‌های زیر باید باشد:

- صفحه کاور
- چکیده
- فهرست مطالب و شکل‌ها و جداول
- مقدمه و بیان فرضیات
- مدل‌سازی غیرخطی
- خطی‌سازی و بررسی پایداری سیستم خطی
- طراحی کنترل‌کننده و رویتگر
- ارائه نتایج
- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
- مراجع
- پیوست‌ها

- سوال‌های امتحان را با استفاده از نرم‌افزار متلب حل نمایید. حتما متن برنامه‌های نوشته‌شده و مدل‌های سیمولینک را در پاسخ سوالات بیاورید.

- همه فرض‌هایی که برای پاسخ به بخش‌های مختلف پروژه درنظر می‌گیرید را به طور صریح بیان نمایید.

- آخرین فرصت تحویل گزارش امتحان، ساعت ۲۳:۵۹ روز ۲۶ خرداد ۱۴۰۳ است.

موفق باشید، شیرازی

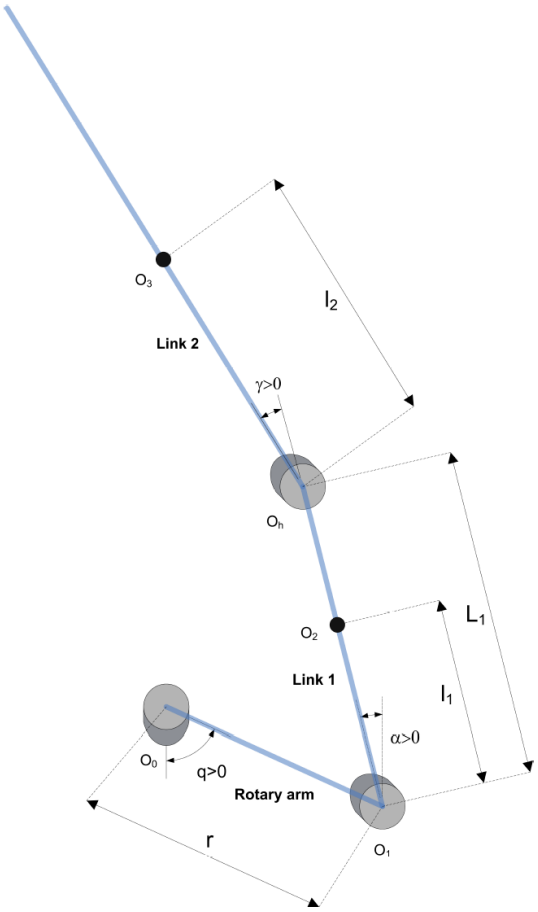
۱۴۰۳/۰۳/۱۹

سیستم آونگ معکوس دوبل دوار

Rotary Double Inverted Pendulum

سیستم آونگ معکوس دوبل دوار شرکت کوانزر (Quanser) نشان داده شده در شکل ۱ را درنظر بگیرید. اطلاعات کلی سیستم در فایل ۱ پیوست پروژه آمده است.

شکل ۱- سیستم آونگ معکوس دوبل دوار شرکت کوانزر



شکل ۲- نمودار جسم آزاد آونگ معکوس سه درجه آزادی

خواسته‌های پروژه:

۱) با استفاده از روش اویلر-لاگرانژ، معادلات غیرخطی سیستم را به دست آورید. درجات آزادی سیستم زوایای q، α و γ نشان داده شده در شکل ۲ هستند. (۱۵ نمره)

۲) سیستم مدار باز غیرخطی را در سیمولینک شبیه‌سازی نمایید و با اعمال ورودی‌های پله رفتار آن را بررسی نمایید. سیستم دارای ۳ ورودی است که گشتاورهای اعمالی توسط موتورهای نمایش داده شده در شکل ۲ هستند. خروجی‌های سیستم زوایای q، α و γ هستند که توسط انکودرهای نصب شده در محل مفاصل سیستم اندازه‌گیری می‌شوند. (۵ نمره)

۳) متغیرهای حالت سیستم را به صورت زیر تعریف می‌نماییم

$$x = [q, \alpha, \gamma, \dot{q}, \dot{\alpha}, \dot{\gamma}]^T$$

معادلات غیرخطی سیستم را حول نقطه تعادل صفر (با توجه به تعریف زوایا در شکل ۲) خطی سازی نمایید و با تعریف متغیرهای حالت به صورت فوق و با استفاده از مقادیر عددی ارائه شده در فایل پیوست، ماتریس-های معادلات فضای حالت خطی سیستم به صورت زیر را بدست آورید. (۷ نمره)

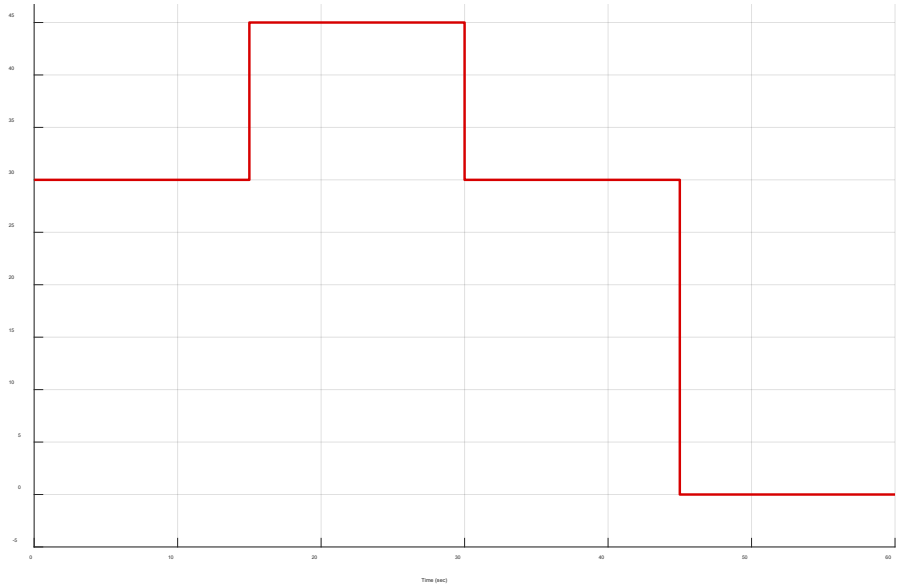
$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

۴) براساس قطب‌های سیستم خطی مدار باز، پایداری سیستم را از لحاظ BIBO، لیاپانوف و حاشیه‌ای (Marginal) بررسی کنید. (۳ نمره)

۵) ابتدا کنترل‌پذیری و رویت‌پذیری سیستم را بررسی نمایید. بهره فیدبک حالت را جهت پایدارسازی سیستم حول نقطه تعادل صفر برای پاندول‌ها توسط دستور place برای جایابی دو دسته قطب سریع و کند محاسبه کنید و پاسخ حلقه بسته را برای شرایط اولیه دلخواه (انحراف کم از حالت تعادل) هر یک از حالت‌های سیستم به ازای مقادیر ویژه کند و تند در سیمولینک بررسی کنید و نتایج را توجیه نمایید. **راهنمایی:** در حالت سریع همه متغیرهای حالت در کمتر از ۱ ثانیه و در حالت کند در کمتر از ۳ ثانیه به صفر برسند. (۵ نمره)

۶) فیدبک حالت طراحی شده در بند ۵ را این بار روی سیستم غیرخطی اعمال نمایید و بررسی کنید که برای چه میزان انحراف از حالت تعادل در شرایط اولیه زوایا برای پاندول‌های ۱ و ۲ همچنان سیستم حلقه بسته پایدار می‌ماند؟ (۵ نمره)

۷) برای سیستم یک کنترل ردیاب حالت به روش انتگرالگیر طراحی نمایید که زاویه بازو دوار براساس سیگنال مرجع شکل ۳ تغییر نماید و پاندول‌ها حول نقطه تعادل صفر پایدارسازی شوند. (۱۰ نمره)



شکل ۳- سیگنال مرجع زاویه بازو دوار برحسب درجه

۸) برای بند قبل معیارهای زیر را در شبیه‌سازی بررسی نمایید. (۱۵ نمره)

۸-۱- مقاومت[1] در برابر تغییر پارامترهای سیستم (**راهنمایی:** با ایجاد ۱۰٪± تغییر در پارامترهای سیستم به صورت دلخواه اثر آن را در عملکرد سیستم ردیابی بررسی نمایید.)

۸-۲- عملکرد ردیابی در حضور اغتشاش[2] ضربه نیرو در نوک لینک ۲ آونگ معکوس (شکل ۲)

۹) برای بند ۷، یک رویتگر مرتبه کامل طراحی نمایید که تخمین‌های آن در کمتر از ۰٫۵ ثانیه به متغیرهای حالت واقعی همگرا گردد و سیستم مداربسته را برای شرایط اولیه دلخواه در حضور رویتگر مرتبه کامل در بازه ۰ تا ۶۰ ثانیه شبیه‌سازی نمایید. در نمودارها حالات تخمین‌زده شده، ورودی‌ها و خروجی‌ها را رسم نمایید. **راهنمایی:** $u=r-K\hat{x}$ (۱۰ نمره)

۱۰) برای بند ۷، این بار یک رویتگر کاهش مرتبه‌یافته با فرض اندازه‌گیری هر ۳ زوایه طراحی نمایید که تخمین‌های آن در کمتر از ۱ ثانیه به متغیرهای حالت واقعی همگرا گردد و سیستم مداربسته را برای شرایط اولیه دلخواه پاندول‌ها (انحراف کم از حالت تعادل) در حضور رویتگر کاهش مرتبه یافته در بازه ۰ تا ۶۰ ثانیه شبیه‌سازی نمایید. در نمودارها حالات تخمین‌زده شده، ورودی‌ها و خروجی‌ها را رسم نمایید. (۱۵ نمره)

۱۱) برای سیستم یک فیدبک حالت با رویتگر کاهش مرتبه یافته طراحی نمایید که زوایای سیستم ورودی-های مرجع $q_d = 45\sin(\pi t)$ و $\alpha_d = 5u(t)$ و $\gamma_d = 0$ برحسب درجه را در کمتر از ۱٫۵ ثانیه تعقیب نمایند. (۱۰ نمره)

[1] - Robustness
[2] - Disturbance