



به نام یگانه سرچشمه هستی



درس کنترل پیشرفته  
پروژه امتحان خانه‌بر پایان ترم

دانشکده مهندسی مکانیک

مدرس: دکتر ف. آ. شیرازی  
دستیار آموزشی: م. ح. مختارآبادی

تاریخ شروع: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶  
تاریخ تحویل: ۱۴۰۰/۱۱/۵

### 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 در نظر می‌گیرید را به طور صریح بیان نمایید.
- آخرین فرصت تحویل گزارش امتحان، ساعت ۲۳:۵۹ روز ۵ بهمن ۱۴۰۰ است. بعد از این تاریخ هیچ گزارشی پذیرفته نخواهد شد.

موفق باشید، شیرازی

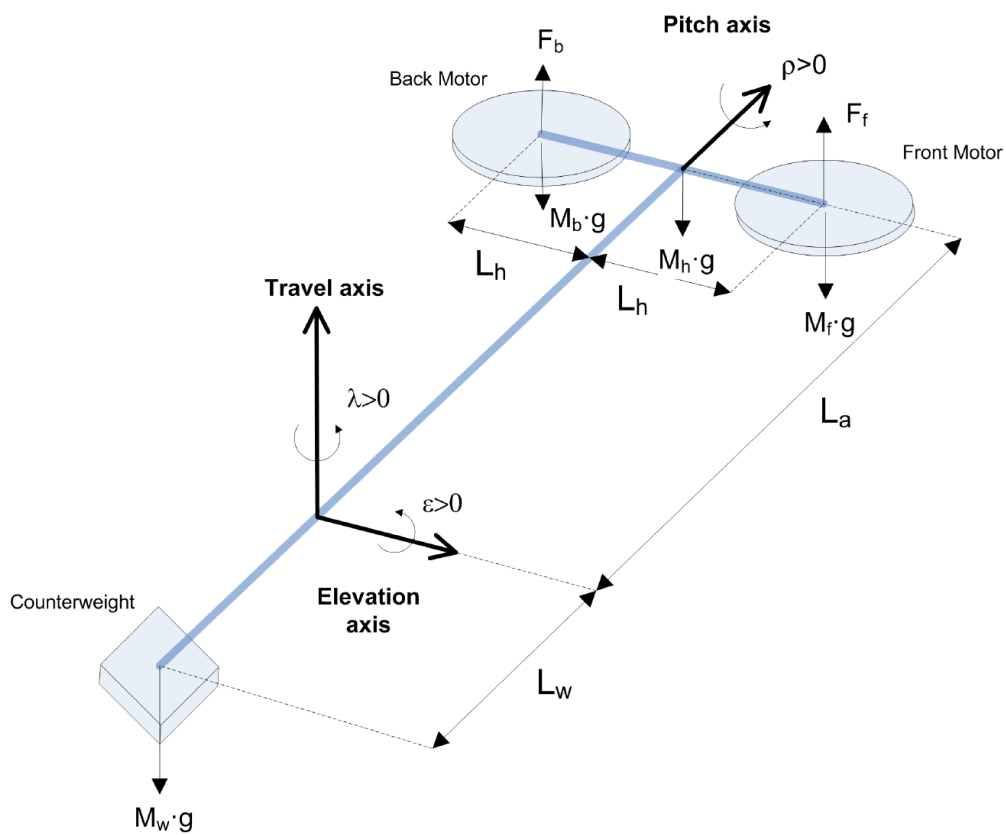
۱۴۰۰/۱۰/۲۶

## سیستم هلیکوپتر ۳ درجه آزادی

سیستم هلیکوپتر ۳ درجه آزادی شرکت کوانزر نشان داده شده در شکل ۱ را در نظر بگیرید. اطلاعات کلی سیستم در فایل ۱ پیوست پروژه آمده است.



شکل ۱- هلیکوپتر ۳ درجه آزادی به هنگام عملکرد



شکل ۲- نمودار جسم آزاد هلیکوپتر ۳ درجه آزادی

### خواسته‌های پروژه:

(۱) با استفاده از روش اویلر-لاگرانژ، معادلات غیرخطی سیستم را به دست آورید. درجات آزادی سیستم زوایای  $\epsilon$ ،  $\rho$  و  $\lambda$  به ترتیب حول محورهای ارتفاع<sup>۱</sup>، فراز<sup>۲</sup> و حرکت<sup>۳</sup> 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 ۲ ورودی است که ولتاژهای اعمالی به موتورهای جلو و عقب در شکل ۲ هستند. خروجی‌های سیستم زوایای  $\epsilon$ ،  $\rho$  و  $\lambda$  هستند که توسط حسگرهای مربوطه اندازه‌گیری می‌شوند. (۵ نمره)

(۳) متغیرهای حالت سیستم را به صورت زیر تعریف می‌نماییم

$$x = [\epsilon, \rho, \lambda, \dot{\epsilon}, \dot{\rho}, \dot{\lambda}]^T$$

معادلات غیرخطی سیستم را حول نقطه تعادل صفر خطی سازی نمایید و نشان دهید با تعریف متغیرهای حالت به صورت فوق معادلات فضای حالت خطی سیستم به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

که در آن ماتریس‌های سیستم به صورت زیر هستند که مقادیر پارامترها در جدول ۴ فایل ۲ پیوست پروژه آمده است. (۷ نمره)

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{(L_w m_w - 2L_a m_f)g}{m_w L_w^2 + 2m_f L_h^2 + 2m_f L_a^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{L_a K_f}{2m_f L_a^2 + m_w L_w^2} & \frac{L_a K_f}{2m_f L_a^2 + m_w L_w^2} \\ \frac{1}{2} \frac{K_f}{m_f L_h} & -\frac{1}{2} \frac{K_f}{m_f L_h} \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

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

<sup>1</sup> - Elevation

<sup>2</sup> - Pitch

<sup>3</sup> - Travel

(۵) ابتدا کنترل‌پذیری و رویت‌پذیری سیستم را بررسی نمایید. بهره فیدبک حالت را توسط دستور place برای جابجایی 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 ۶ را این بار روی سیستم غیرخطی اعمال نمایید و بررسی کنید که برای چه میزان انحراف از حالت تعادل در شرایط اولیه زوایا همچنان سیستم حلقه بسته پایدار می‌ماند؟ (۵ نمره)

(۷) برای سیستم یک کنترل ردیاب حالت به روش انتگرالگیر طراحی نمایید که زوایای  $\epsilon$  و  $\lambda$  مقادیر دلخواه ورودی پله برحسب درجه را در کمتر از ۱,۵ ثانیه تعقیب نمایند. دقت نمایید که سیستم به صورت عملگر ناقص است و به طور همزمان تنها دو خروجی را می‌توان در مقادیر دلخواه ردیابی نمود. (۱۰ نمره)

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

۸-۱- مقاومت<sup>۲</sup> در برابر تغییر پارامترهای سیستم (راهنمایی: با ایجاد  $\pm 10\%$  تغییر در پارامترهای سیستم به صورت دلخواه اثر آن را در عملکرد سیستم ردیابی بررسی نمایید).

۸-۲- عملکرد ردیابی در حضور اغتشاش<sup>۳</sup> پله نیرو در محل وزن متعادل‌کننده  $Mw$  در جهت عکس محور elevation (شکل ۲)

(۹) برای بند ۷، یک رویتگر مرتبه کامل طراحی نمایید که تخمین‌های آن در کمتر از ۱ ثانیه به متغیرهای حالت واقعی همگرا گردد و سیستم مدار بسته را برای شرایط اولیه دلخواه در حضور رویتگر مرتبه کامل در بازه ۰ تا ۱۰ 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 زاویه طراحی نمایید که تخمین‌های آن در کمتر از ۱ ثانیه به متغیرهای حالت واقعی همگرا گردد و سیستم مدار بسته را برای شرایط اولیه دلخواه (انحراف کم از حالت تعادل) در حضور رویتگر کاهش مرتبه‌یافته در بازه ۰ تا ۱۰ 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 مرتبه‌یافته طراحی نمایید که زوایای  $\epsilon$  و  $\lambda$  ورودی‌های مرجع  $\epsilon_d = 10\sin(2\pi t)$  و  $\lambda_d = 5u(t)$  برحسب درجه را در کمتر از ۲ ثانیه تعقیب نمایند. (۱۰ نمره)

<sup>1</sup> - Under-actuated

<sup>2</sup> - Robustness

<sup>3</sup> - Disturbance