

# 《飞行控制系统》课程实验

## 一、实验目标

通过本实验，能够掌握基本的飞行控制系统的结构，设计的方法，仿真验证方法及控制性能的分析方法，加深对课堂教学内容的理解。

## 二、实验环境

在 Windows 操作系统下，Matlab/Simulink 下进行设计与开发。

## 三、实验要求

- 1、在 Matlab/Simulink 下进行编程，系统设计与仿真；
- 2、撰写实验报告，要求给出相应的传递函数，画出相应的结构框图，给出设计过程、设计参数、实验结果及曲线。

## 四、实验内容

### 实验一：飞机纵向控制系统设计与仿真

某飞机的纵向线性小扰动方程为：

$$\dot{x} = A_{lon}x + B_{lon}u$$

$$A_{lon} = \begin{bmatrix} -8.0381 \times 10^{-3} & 5.0167 & -1.8188 \times 10^{-3} & -9.7974 & 0 \\ -1.0474 \times 10^{-3} & -5.691 \times 10^{-1} & 9.7835 \times 10^{-1} & 0 & 0 \\ 2.4132 \times 10^{-5} & -1.2614 & -8.582 \times 10^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -131.5 & 0 & 131.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{lon} = \begin{bmatrix} -7.9462 \times 10^{-1} & 6.9351 \times 10^{-2} \\ -9.4485 \times 10^{-2} & -3.6872 \times 10^{-5} \\ -3.9970 & 2.2749 \times 10^{-3} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

其中, 状态  $x = [\Delta V \ \Delta \alpha \ \Delta q \ \Delta \theta \ \Delta H]$ , 控制量  $u = [\delta_e \ ; \ \delta_T]$ , 假设舵回路特性为  $\frac{10}{s+10}$ 。试完成:

- 1、分析飞机纵向动力学模态, 求飞机的长周期与短周期阻尼与自然频率;
- 2、对升降舵及油门单位阶跃输入下的飞机自然特性进行仿真, 画出相应的状态曲线;
- 3、采用短周期简化方法, 求出传递函数  $G_{\delta_e}^{\Delta q} = \frac{\Delta q(s)}{\delta_e(s)}$ , 设计飞机的俯仰角控制系统 (如: 根轨迹方法), 给出闭环系统结构框图并进行仿真;
- 4、基于长周期简化方法, 求出传递函数  $G_{\delta_T}^{\Delta V} = \frac{\Delta V(s)}{\delta_T(s)}$ , 设计飞机的速度控制系统, 给出闭环系统结构框图并进行仿真;
- 5、基于纵向线性模型 (状态方程), 分别对速度控制与俯仰角控制进行仿真。

## 实验二：飞机侧向控制系统设计与仿真

某飞机的侧向线性小扰动方程为：

$$\dot{x} = A_{lat}x + B_{lat}u$$

$$A_{lat} = \begin{bmatrix} -1.2370 \times 10^{-1} & 7.2557 \times 10^{-2} & -9.8430 \times 10^{-1} & 7.4400 \times 10^{-2} & 0 \\ -3.0217 & -9.5080 \times 10^{-1} & 4.6280 \times 10^{-1} & 0 & 0 \\ 9.3662 \times 10^{-1} & -1.1060 \times 10^{-1} & -2.8020 \times 10^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 6.9920 \times 10^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0024 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{lat} = \begin{bmatrix} 0 & 5.4984 \times 10^{-2} \\ -9.0080 \times 10^{-1} & 9.8590 \times 10^{-1} \\ 4.0440 \times 10^{-2} & -1.5140 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

其中，状态  $x = [\Delta\beta \ \Delta p \ \Delta r \ \Delta\phi \ \Delta\psi]$ ，控制量  $u = [\delta_a ; \ \delta_r]$ ，假设舵回路特性为  $\frac{10}{s+10}$ 。试完成：

- 1、求出侧向运动方程的特征根，及对应的模态，求出荷兰滚模态的阻尼及自然频率；
- 2、对副翼与方向舵单位阶跃输入下的自然特性进行仿真；
- 3、采用简化方法，求出传递函数  $G_{\delta_a}^{\Delta p} = \frac{\Delta p(s)}{\delta_a(s)}$ ，设计飞机的滚转角控制系统（如：根轨迹方法），给出闭环系统结构框图并进行仿真；
- 4、设计飞机航向控制系统，给出闭环系统结构框图并进行仿真；
- 5、设计飞机方向舵协调控制律，基于侧向线性模型（状态方程），进行航向控制系统的仿真。

## 五、提示

- 1、由状态方程求传递函数用 `ss2tf()` 函数；
- 2、仿真可用 `Simulink` 搭建仿真图；
- 3、仿真输入采用单位阶跃。