

哈尔滨工业大学飞行器控制实验教学中心

自动控制理论（1）实验 指导书

实验四 机械臂控制系统设计

项目一 机械臂控制系统设计 Simulink 建模仿真

油田机器人机械臂是典型的控制对象，本实验以此对象为例进行控制系统设计，掌握此类对象的控制系统设计方法。

一、实验目的

- 1、理解机械臂控制系统的组成和结构
- 2、掌握机械臂控制系统设计方法
- 3、掌握机械臂控制系统 Matlab/Simulink 仿真调试过程

二、实验内容及步骤

某型号油田机械臂为单位负反馈系统，其开环传递函数

$$G_0(s) = \frac{1}{(s+1)(0.5s+1)} \quad (1-1)$$

多项式表达式 $G_0(s) = \frac{1}{0.5s^2 + 1.5s + 1} \quad (1-2)$

1、开环控制仿真

在Simulink中，建立开环控制仿真程序，采用阶跃响应实施系统控制，观察记录开环控制的稳定性、稳态误差 e_{ss} ，上升时间 t_r 、调整时间 t_s （ $\Delta=0.05$ ）、超调量 σ_p 。

注：在Simulink仿真中，控制对象使用传递函数模块（Transfer Fcn模块）进行建模即可，无需搭建电路模型，下同。

2、单闭环控制仿真（无控制器）

在Simulink中，建立单闭环控制仿真程序，采用阶跃响应实施系统控制，分析闭环控制的稳定性，观察记录单闭环控制的稳定性、

稳态误差 e_{ss} ，上升时间 t_r 、调整时间 t_s （ $\Delta=0.05$ ）、超调量 σ_p 。

3、PI控制器闭环控制仿真

（1）PI闭环控制1

在Simulink中，建立包含PI控制器的闭环控制仿真程序，PI控制器结构如下：

$$G_{PI}(s) = K_1 + K_2 \frac{1}{s}$$

设计3组合适的 K_1 、 K_2 ，采用阶跃响应实施系统控制，实现闭环控制指标如下：

- 开环放大倍数 $K_p \geq 0.9$ ；
- 超调量 $\sigma_p \leq 5\%$ ；
- 过渡过程时间 $t_s \leq 6s$ ；

观察记录阶跃响应的稳定性、稳态误差 e_{ss} ，上升时间 t_r 、调整时间 t_s （ $\Delta=0.05$ ）、超调量 σ_p 。

（2）PI闭环控制2

在PI闭环控制1指标基础上，设计3组合适的 K_1 、 K_2 ，采用阶跃响应实施系统控制，实现超调量 $5\% \leq \sigma_p \leq 15\%$ ，观察记录阶跃

响应的稳定性、稳态误差 e_{ss} ，上升时间 t_r 、调整时间 t_s ($\Delta=0.05$)、超调量 σ_p 。

(3) **PI闭环控制3**

在PI闭环控制1指标基础上，设计3组合适的 K_1 、 K_2 ，采用阶跃响应实施系统控制，实现超调量 $15\% \leq \sigma_p \leq 25\%$ ，观察记录阶跃响应的稳定性、稳态误差 e_{ss} ，上升时间 t_r 、调整时间 t_s ($\Delta=0.05$)、超调量 σ_p 。

三、实验结果记录

- 1、保存 Simulink 仿真控制程序框图
- 2、保存 Simulink 响应曲线
- 3、保存阶跃响应性能指标及设计的 PI 控制器参数

项目	开环	单闭环	PI控制1			PI控制2			PI控制3		
是否稳定											
稳态误差 e_{ss}											
超调量 σ_p											
上升时间 t_r											
调整时间 t_s											
K_1											
K_2											

四、仿真实验结果分析

说明实验过程，包括开环、单闭环及PI闭环的具体操作方法。

分析实验结果，包括开环、单闭环及PI闭环控制的区别和特点，描述PI闭环控制中不同超调量情况下的参数规律和作用。

项目二 机械臂控制系统设计 Simulink 半实物仿真

一、实验目的

- 1、理解机械臂控制系统结构和电路模拟方法
- 2、掌握机械臂控制系统电路模拟参数计算方法
- 3、掌握机械臂控制系统 Matlab/Simulink 电路模拟对象控制设计

二、机械臂控制系统电子对象搭建与控制实验

1、机械臂控制系统电路模拟

数学模型为：

$$G_0(s) = \frac{1}{(s+1)(0.5s+1)} \quad (2-1)$$

可使用图 2-1 电路对其进行电路模拟：

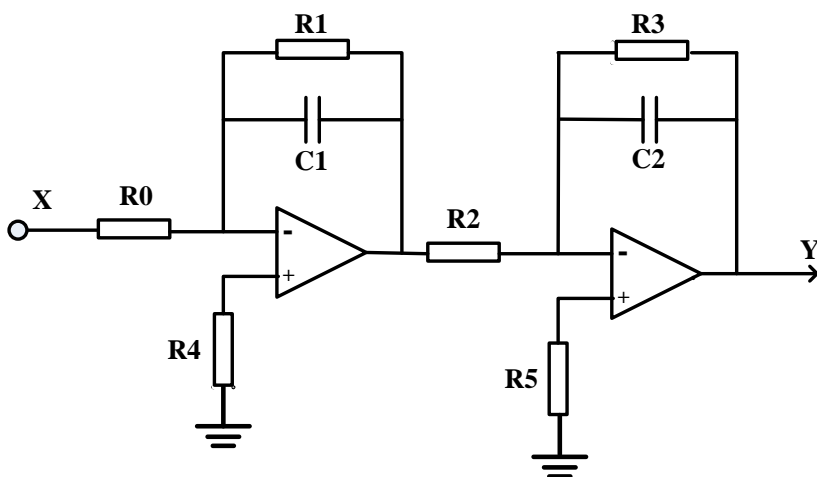


图 2-1 机械臂电路模拟图

电阻和电容的数值根据传递函数选取，可供选择的电阻：10K，100 K，200K，300K，以及实验箱上的可变电阻；电容：105（1uF），106（10uF）。具体电路搭建参照实验一、实验二。

2、Simulink 半实物仿真实验

(1) 开环控制程序及控制实验

基于 Simulink 仿真文件和搭建的电路，建立开环仿真模型，测试其阶跃响应控制效果，并记录时域性能指标。

(2) 单闭环控制实验（无控制器）

基于 Simulink 仿真文件和搭建的电路，建立闭环仿真模型，测试其阶跃响应控制效果，并记录时域性能指标。

(3) PI 闭环控制实验 1 ($\sigma_p \leq 5\%$)

基于 Simulink 仿真文件和搭建的电路，建立闭环仿真模型，根据要求的性能指标，设计 3 组合适的 PI 控制器参数，测试其阶跃响应控制效果，并记录实际的时域性能指标。

(4) PI 闭环控制实验 2 ($5\% \leq \sigma_p \leq 15\%$)

基于 Simulink 仿真文件和搭建的电路，建立闭环仿真模型，根据要求的性能指标，设计 3 组合适的 PI 控制器参数，测试其阶跃响应控制效果，并记录实际的时域性能指标。

(5) PI 闭环控制实验 3 ($15\% \leq \sigma_p \leq 25\%$)

基于 Simulink 仿真文件和搭建的电路，建立闭环仿真模型，根据要求的性能指标，设计 3 组合适的 PI 控制器参数，测试其阶跃响应控制效果，并记录实际的时域性能指标。

三、实验结果记录

- 1、保存 Simulink 仿真控制程序框图
- 2、保存 Simulink 响应曲线
- 3、保存阶跃响应性能指标及设计的 PI 控制器参数

项目	开环	单闭环	PI控制1			PI控制2			PI控制3		
是否稳定											
稳态误差 e_{ss}											
超调量 σ_p											
上升时间 t_r											
调整时间 t_s											
K_1											
K_2											

四、实验结果分析

1、说明实验过程

说明开环、单闭环及 **PI** 闭环的具体操作方法，以及稳态误差、上升时间、超调量、过渡过程时间等变化。

2、分析实验结果

分析开环、单闭环及 **PI** 闭环控制的区别和特点；描述 **PI** 闭环控制中不同超调量情况下 K_1 、 K_2 参数规律和作用；比较实验结果和仿真结果的区别，分析原因。