

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

实验五 随动控制系统设计

项目一 随动控制系统设计仿真分析

随动系统是典型的控制对象，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、理解随动系统组成和结构
- 2、掌握随动控制系统设计方法
- 3、掌握随动系统 Matlab/Simulink 仿真调试过程

二、实验内容及步骤

已知随动系统传递函数

$$G_0(s) = \frac{10}{S(S+1)(0.5S+1)} \quad (1-1)$$

多项式表达式 $G_0(s) = \frac{10}{0.5S^3 + 1.5S^2 + S} \quad (1-2)$

1、simulink随动系统开环仿真

建立simulink随动系统开环控制程序，采用阶跃响应实施系统控制，观察开环稳定性。

2、simulink随动系统仿真单闭环控制

建立simulink随动系统单闭环控制程序，采用阶跃响应实施系统控制，分析闭环控制的稳定性。

3、simulink随动系统迟后超前闭环控制仿真

(1) 迟后超前闭环控制1

加入串联迟后超前校正环节

$$G_C(s) = \frac{K_c (1 + \alpha T_1 s) (1 + \beta T_2 s)}{(1 + T_1 s) (1 + T_2 s)} \quad \alpha \geq 1 \quad \beta \leq 1$$

并设计校正环节参数 α T_1 β T_2 K_c ，满足下列性能指标：

- 剪切频率 $\omega_c = 1$ rad/s；
- 相角裕度 $\gamma \geq 45^\circ$ ；

建立校正之后的simulink闭环控制程序，首先观察系统的频率特性，并记录校正之后的相角裕度和幅值裕度；然后观察系统的阶跃响应，并记录时域指标：稳态误差 e 、上升时间 t_r 、超调量 σ_p 、过渡过程时间 t_s ；

重复上述步骤，再做出2组新的校正参数并记录性能指标；保存3组参数对应的阶跃响应图，选择控制效果好的1组参数填入实验数据记录表格。

(2) 迟后超前闭环控制2

在上述控制基础上（3组参数选1组），设计合适 K_c 参数使系统响应匀速信号（ $r = t$ ）时的速度稳态误差满足 $e_{ss} \leq 0.04$ 。

要求设计满足条件的3个 K_C 参数，分别观察对应的阶跃响应，并记录稳态误差 e 、超调量 σ_p 、上升时间 t_r 、过渡过程时间 t_s 变化，以及相角裕度和幅值裕度。保存3个 K_C 参数对应的阶跃响应图，选择控制效果好的1组参数填入实验数据记录表格。

三、实验结果记录

- 1、保存随动系统在 simulink 中的仿真程序框图
- 2、保存随动系统 simulink 仿真曲线
- 3、保存随动系统阶跃响应和速度响应参数，填入下面表格

项目	开环	单闭环	迟后超前1	迟后超前2
稳定性				
稳态误差 e				
速度误差 e_{ss}				
超调量 σ_p				
上升时间 t_r				
过渡过程时间 t_s				
相角裕度 γ				
幅值裕度 K_g				
α				
β				
T_1				
T_2				
K_C				

四、仿真实验结果分析

说明实验过程，包括开环、单闭环及迟后超前闭环的具体操作方法。分析实验结果，包括开环、单闭环及迟后超前闭环控制的区别和特点，描述迟后超前闭环控制中速度误差的参数规律和作用。

项目二 随动系统电子对象模拟与控制系统设计

一、实验目的

- 1、理解随动系统结构和电路模拟方法
- 2、掌握随动系统电路模拟参数计算方法
- 3、掌握随动系统 Matlab/Simulink 电路模拟对象控制设计

二、随动系统电子对象搭建与系统设计

- 1、随动系统电子对象数学模型搭建

随动系统电子对象数学模型为：

$$G_0(s) = \frac{10}{S(S+1)(0.5S+1)} \quad (2-1)$$

模拟电路如图 2-1 所示：

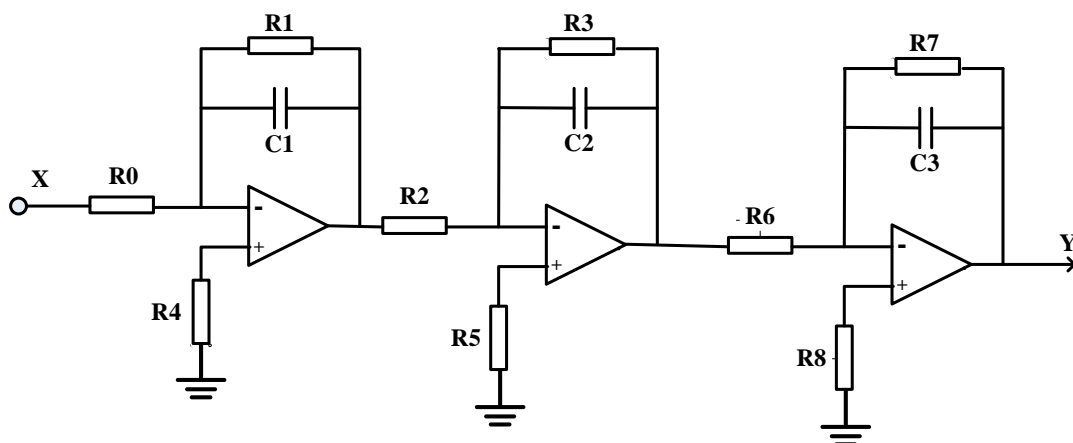


图 2-1 随动系统电子对象模拟图

其中 $R7 = \infty \approx 1M\Omega$ 。

电阻和电容的数值根据传递函数选取，可供选择的电阻：10K，100，200K，510K，以及实验箱上的可变电阻；电容：105（1uF），106（10uF）。

具体电路参照实验一、实验二、实验三搭建。

- 2、随动系统控制程序编制与系统设计

- (1) 开环控制程序及控制实验

参考程序图如下（图 2-2）

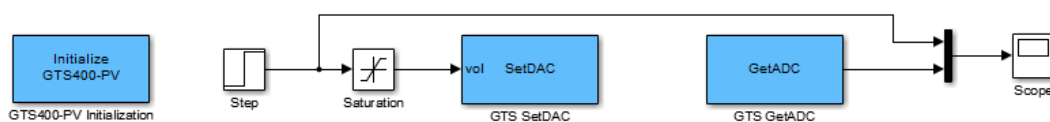


图 2-2 随动系统对象开环控制图

采用阶跃响应观察控制效果。

(2) 单闭环控制实验

自主设计控制程序，采用阶跃响应观察控制效果。

(3) 迟后超前控制实验1（要求参见迟后超前控制1仿真）

自主设计控制程序，验证simulink仿真中设计的迟后超前控制1，并进行阶跃响应。观察记录3组参数对应的响应曲线及性能指标，参照simulink仿真中的要求记录实验结果。

(4) 迟后超前控制实验2（要求参见迟后超前控制2仿真）

自主设计控制程序，验证simulink仿真中设计的迟后超前控制2，并进行阶跃响应。观察记录3个 K_C 参数对应的响应曲线及性能指标，参照simulink仿真中的要求记录实验结果。

三、实验结果记录

- 1、保存随动系统在 simulink 中的控制程序框图
- 2、保存随动系统 simulink 控制曲线
- 3、保存随动系统阶跃响应和速度响应控制参数，填入下表格

项目	开环	单闭环	迟后超前1	迟后超前2
稳定性				
稳态误差 e				
速度误差 e_{ss}				
超调量 σ_p				
上升时间 t_r				
过渡过程时间 t_s				
α				
β				
T_1				
T_2				
K_C				

四、实验结果分析

1、说明实验过程

说明开环、单闭环及迟后超前闭环控制的具体操作方法。观察稳态误差、速度误差、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、单闭环及迟后超前闭环控制的区别和特点；

描述迟后超前闭环控制中不同速度误差情况下，控制参数变化规律和作用；

比较实验结果和仿真结果的区别，分析原因。