

哈尔滨工业大学飞行器控制实验教学中心

自动控制理论（2）实验 指导书

实验一 离散控制系统设计

项目一 离散控制系统设计仿真分析

二阶系统是典型的控制对象，本实验以二阶对象为例进行离散控制系统设计，熟悉离散控制系统设计方法。

一、实验目的

- 1、理解二阶对象离散控制系统的组成和结构
- 2、掌握二阶对象离散控制系统设计方法
- 3、掌握二阶对象离散控制系统 Matlab/Simulink 仿真调试过程
- 4、熟悉二阶对象离散控制系统与连续控制系统的区别和特点

二、实验内容及步骤

已知二阶连续对象传递函数

$$G_0(s) = \frac{20}{S(0.1S + 1)} \quad (1-1)$$

多项式表达式 $G_0(s) = \frac{20}{0.1S^2 + S} \quad (1-2)$

1、基于simulink的二阶连续对象 $G_0(s)$ 离散单闭环控制仿真

建立单闭环控制simulink程序，采用阶跃响应实施系统控制，观察在不同采样周期条件下系统的稳定性状况，了解采样周期对系统控制的影响。

(1) 离散单闭环控制1

选取采样周期 $T = 0.1s$ ，采用阶跃响应对 $G_0(s)$ 实施单闭环离散系统控制，观察稳定性状况，记录各项控制指标（超调量 σ_p 、过渡过程时间 t_s ($\Delta=0.05$))。

(2) 离散单闭环控制2

选取采样周期 $T = 0.05s$, 采用阶跃响应对 $G_0(s)$ 实施单闭环离散系统控制, 观察稳定性状况, 记录各项控制指标 (超调量 σ_p 、过渡过程时间 t_s ($\Delta=0.05$))。

(3) 离散单闭环控制3

选取采样周期 $T = 0.15s$, 采用阶跃响应对 $G_0(s)$ 实施单闭环离散系统控制, 观察稳定性状况, 记录各项控制指标 (超调量 σ_p 、过渡过程时间 t_s ($\Delta=0.05$))。

采样周期设置方法1: 通过设置整个模型的基础采样时间实现不同的采样周期。具体设置步骤:

打开 “Simulation” → “Configuration Parameters” → “Solver” → “Solver options” 设置页面, 其中:

- 1) “Type” 设置为 “Fixed-step”;
- 2) “Solver” 设置为 “ode5 (Dormand-Prince)”;
- 3) “Fixed-step size” 设置为实验要求的采样周期。
- 4) “Step” 模块 “Sample time” 设置为实验要求的采样周期;

2、基于simulink的二阶连续对象的离散PI闭环控制仿真

建立离散PI ($G_{PI}(s) = K_1 + K_2 \frac{1}{s}$) 闭环控制程序，离散PI控制器放在前向通道，采用阶跃响应实施系统控制，观察离散PI闭环控制在不同采样周期条件下的系统稳定性状况，熟悉离散PI控制器参数整定作用和方法。

(1) 离散PI闭环控制1

选取采样周期 $T = 0.02s$ ，采用阶跃响应对 $G_0(s)$ 实施PI闭环离散系统控制，设计2组合适的 K_1 、 K_2 ，使系统收敛，且满足控制指标：

- 超调量 $45\% \leq \sigma_p \leq 60\%$ ；
- 过渡过程时间 $t_s \leq 6s$ ($\Delta=0.05$)；

记录各项控制参数和指标 (K_1 、 K_2 、超调量、过渡过程时间)。

(2) 离散PI闭环控制2

采用离散PI闭环控制1的参数 K_1 、 K_2 不变，选取采用周期 $T > 0.02$ ，致使离散闭环控制阶跃响应发散，记录2组PI离散控制发散的采用周期 T 。

(3) 离散PI闭环控制3

选取采样周期 $T = 0.01s$ ，采用阶跃响应对 $G_0(s)$ 实施PI闭环离散系统控制，设计2组合适的 K_1 、 K_2 ，使系统稳定，且满足控制指标：

- 超调量 $30\% \leq \sigma_p \leq 45\%$ ；
- 过渡过程时间 $t_s \leq 5s$ ($\Delta=0.05$)；

采样周期设置方法2：

- 1) 整个模型的基础采样周期采用系统默认的“Variable-step”；
- 2) “Step”模块的“Sample time”设置为实验要求的采样周期；
- 3) 控制器选用“Discrete PID Controller”模块，其中“Sample time”设置为实验要求的采样周期。

三、离散控制实验结果记录

- 1、记录 $G_0(s)$ 的 simulink 离散控制仿真程序
- 2、记录 $G_0(s)$ 的 simulink 离散控制仿真曲线
- 3、记录 $G_0(s)$ 的离散控制技术指标，填入下面表格

项目	单闭环1	单闭环2	单闭环3	PI控制1	PI控制2	PI控制3
采样周期T						
超调量 σ_p (%)						
过渡过程时间 t_s (s)						
K_1						
K_2						

四、离散控制仿真实验结果分析

根据实验过程，比较离散单闭环控制和离散PI闭环控制的区
别。分析实验结果，包括采样周期如何选取，离散控制和连续控制
的区别和特点，描述离散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 二阶电子对象离散控制系统设计

一、实验目的

- 1、熟练掌握二阶电子对象电路模拟方法
- 2、掌握二阶电子对象 Matlab/Simulink 离散控制设计

二、二阶电子对象搭建与控制实验

- 1、二阶电子对象数学模型搭建

二阶电子对象数学模型为：

$$G_o(s) = \frac{20}{S(0.1S + 1)} \quad (2-1)$$

模拟电路如图 2-1 所示：

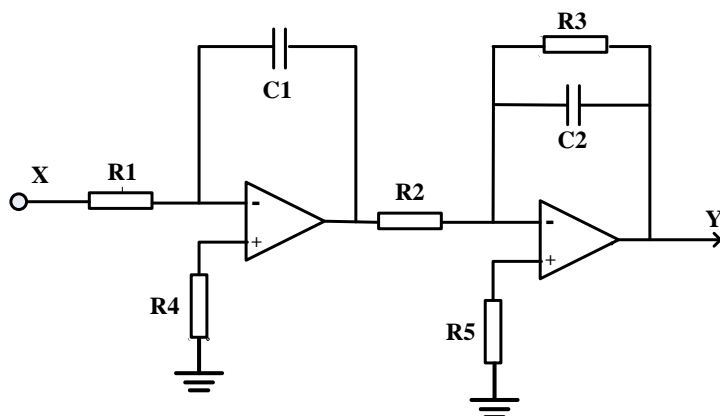


图 2-1 二阶对象模拟电路图

电阻和电容的数值根据传递函数选取，可供选择的电阻：1K、2 K、10K、100 K、200K、510K 等，以及实验箱上的可变电阻；电容：105（1uF），106（10uF）等。

具体电路参照实验一、实验二、实验三搭建。

- 2、二阶对象离散控制程序编制与控制实验

参考实验四连续系统 Simulink 控制程序编制方法，编制离散单闭环和离散 PI 控制闭环程序，并做如下实验。

- (1) 电子对象离散单闭环控制 1

选取采样周期 $T = 0.01s$ ，采用阶跃响应对二阶电子对象实施单闭环离散系统控制，观察稳定性状况，记录各项控制指标（超调量 σ_p 、过渡过程时间 t_s ($\Delta=0.05$))。

（2）电子对象离散单闭环控制2

选取采样周期 $T = 0.015s$ ，采用阶跃响应对二阶电子对象实施单闭环离散系统控制，观察稳定性状况，记录各项控制指标（超调量 σ_p 、过渡过程时间 t_s ($\Delta=0.05$))。

（1）、（2）步骤中的采样周期设置同上节采样周期设置方法1。

（3）电子对象离散PI闭环控制1

选取采样周期 $T = 0.02s$ ，采用阶跃响应对二阶电子对象实施PI闭环离散系统控制，设计2组合适的 K_1 、 K_2 ，使系统收敛，且满控制指标：

- 超调量 $45\% \leq \sigma_p \leq 60\%$ ；
- 过渡过程时间 $t_s \leq 6s$ ($\Delta=0.05$)；

记录各项控制参数和指标（ K_1 、 K_2 、超调量、过渡过程时间）。

（4）电子对象离散PI闭环控制2

选取采样周期 $T = 0.01s$ ，采用阶跃响应对二阶电子对象实施

PI闭环离散系统控制，设计2组合适的 K_1 、 K_2 ，使系统稳定，且满足控制指标：

- 超调量 $30\% \leq \sigma_p \leq 45\%$ ；
- 过渡过程时间 $t_s \leq 5s$ （ $\Delta=0.05$ ）；

（3）、（4）步骤的采样周期设置：

1) 打开“Simulation”→“Configuration Parameters”→“Solver”→“Solver options”设置页面，其中：“Type”设置为“Fixed-step”；

“Solver” 设置为“ode5（Dormand-Prince）”； “Fixed-step size” 设置为实验要求的采样周期；

2) “Step” 模块的 “Sample time” 设置为实验要求的采样周期；

3) “Discrete PID Controller” 模块的 “Sample time” 设置为实验要求的采样周期。

三、实验结果记录

- 1、记录二阶电子对象 simulink 离散控制程序
- 2、记录二阶电子对象 simulink 离散控制曲线
- 3、记录二阶电子对象离散控制技术指标，填入下面表格

项目	单闭环1	单闭环2	PI控制1		PI控制2	
采样周期T						
超调量 σ_p (%)						
过渡过程时间 t_s (s)						
K_1						
K_2						

四、离散 PI 控制实验结果分析

分析“项目一”仿真和“项目二”电子对象实验的差异，着重分析采用周期对控制的影响，比较分析离散PI闭环控制仿真的 K_1 、 K_2 参数变化规律。