

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

实验二 状态反馈控制系统设计

项目一 状态反馈控制系统设计仿真分析

本实验以状态空间的状态反馈方法完成控制系统设计。

一、实验目的

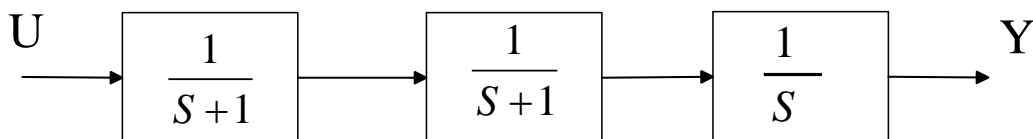
- 1、熟悉状态反馈控制的基本原理
- 2、掌握状态反馈控制的极点配置设计方法
- 3、掌握极点配置方法的 Matlab/Simulink 仿真实现

二、实验内容及步骤

已知对象传递函数

$$\frac{Y}{U} = G_0(s) = \frac{1}{S(S+1)(S+1)} \quad (1-1)$$

其方框图表示如下：



多项式表达式

$$G_0(s) = \frac{1}{S^3 + 2S^2 + S} \quad (1-2)$$

- 1、列出 $G_0(s)$ 状态空间表达式及状态变量图

令状态变量为 $X_1 = Y$, $X_2 = \dot{X}_1$, $X_3 = \dot{X}_2$, 列出 $G_0(s)$ 状态空间表达式, 并绘制状态变量图 (模拟结构图)。

方法:

- 1) 可根据对象的方框图表示, 将各个环节转化为相应的模拟结构图, 得到对象的状态空间表达式;

2) 可根据对象的多项式表达式, 由其输入输出关系求状态空间表达式, 再根据状态空间表达式绘制状态变量图。

以上两种方法得出的状态空间表达式相互等价。

2、已知闭环极点条件下, 根据极点配置方法求解状态反馈矩阵

已知闭环极点配置在 $s_{1,2} = -0.5 \pm j$, $s_3 = -2$ 的位置上, 求出状态反馈矩阵 $K = (k_1, k_2, k_3)$, 并绘制极点配置状态反馈变量图。

根据2种方法得出的对象状态空间表达式不同, 因此对于同样的闭环极点配置要求, 得出的状态反馈矩阵也不同, 但加入状态反馈之后的控制效果相同。

3、simulink极点配置状态反馈仿真实现

(1) simulink极点配置状态反馈仿真1

借助极点配置状态反馈变量图, 搭建simulink极点配置状态反馈仿真框图, 测试其阶跃响应, 记录阶跃响应的控制指标 (上升时间、超调量、过渡过程时间 ($\Delta=0.05$))。

(2) simulink极点配置状态反馈仿真2

基于simulink极点配置状态反馈仿真1的程序, 调整状态反馈矩阵 K 值, 使阶跃响应的超调量 $\sigma_p \approx 20\%$, 体会 K 值作用, 并

记录阶跃响应的控制指标（上升时间、超调量、过渡过程时间（ $\Delta=0.05$ ））。

提示：为了保证输入输出相同比例，需要在输入信号后，增加一个比例模块G，如下图所示，G的取值与状态反馈矩阵K有关。



三、实验结果记录

- 1、求状态反馈矩阵 $K = (k_1, k_2, k_3)$ ，记录系统阶跃响应性能指标及仿真曲线。
- 2、调整状态反馈矩阵 $K = (k_1, k_2, k_3)$ 值，使系统阶跃响应超调量 $\sigma_p \approx 20\%$ ，记录 $K = (k_1, k_2, k_3)$ 值，以及系统阶跃响应性能指标及仿真曲线。
- 3、实验结果参数记录表

极点配置状态反馈（ K ）控制仿真参数记录表

项目	极点配置状态反馈1	极点配置状态反馈2
超调量 σ_p		
上升时间 t_r		
过渡过程时间 t_s		
k_1		
k_2		
k_2		

四、仿真实验结果分析

说明极点配置方法特点，分析状态反馈（ K ）对系统的影响和作用。

项目二 状态反馈控制电子对象系统设计

一、实验目的

- 1、学会状态变量图简化方法，并能构建模拟电路电子对象。
- 2、掌握在电子对象上的极点配置控制方法。
- 3、掌握极点配置控制电子对象在 Matlab/Simulink 上的实现。

二、状态空间电子对象搭建与控制实验

1、状态空间系统电子对象模型搭建

(1) 状态变量图简化

在保留状态变量输出点的情况下，简化项目一的极点配置状态反馈变量图，搭建与其完全等价的电子对象，并保证每个状态变量都有测试点，能实施极点配置状态反馈控制。

(2) 电子对象模型搭建

基本环节模拟电路如图 2-1 所示：

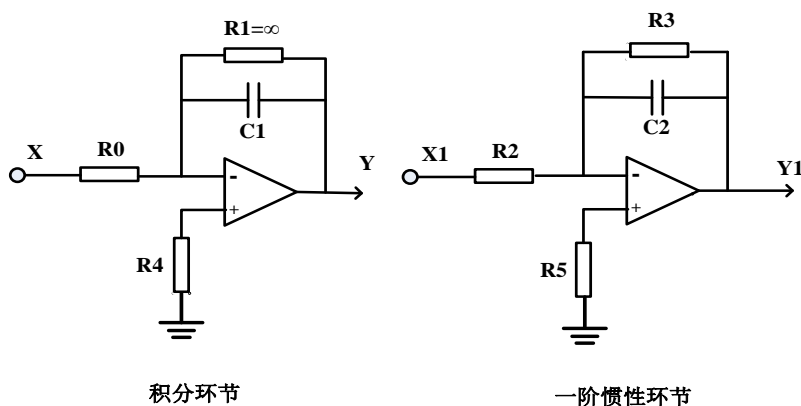


图 2-1 基本环节电路原理图

利用上述基本环节，搭建与闭环方框图中对象传递函数完全等价的电子对象。**注意：**除系统输出 Y 之外，每个状态变量也需输出。电阻和电容的数值根据传递函数选取，可供选择的电阻：10K, 100K, 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、极点配置状态反馈 K 的闭环控制程序编制与控制实验

(1) 参考控制程序图如下（图 2-2）

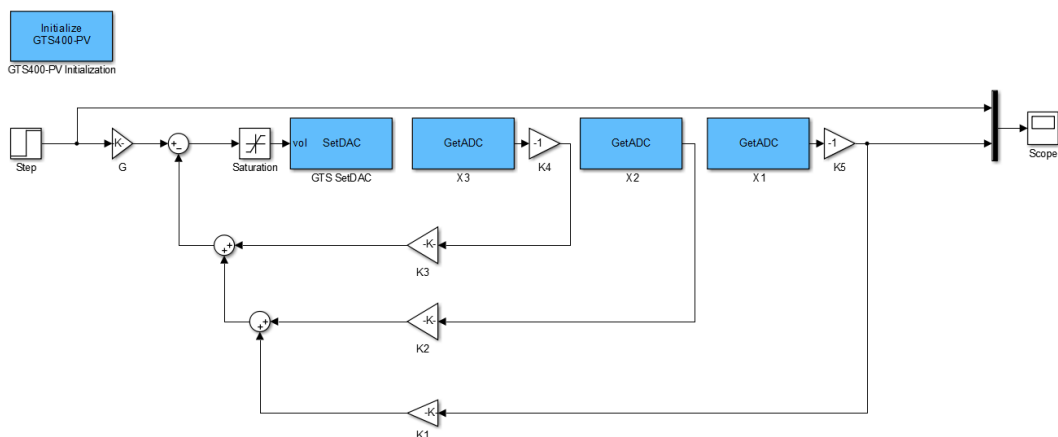


图 2-2 参考控制程序图

- 1) 使用3个 “GetADC” 模块检测状态x1、x2、x3, 对每个“GetADC” 模块设置不同的 “port” 序号;
- 2) 在状态检测点前, 若使用的运放数量为奇数, 则需要在“GetADC” 模块后添加 “反相器”。

(2) simulink极点配置状态反馈半实物仿真1

借助极点配置闭环状态变量图, 编写simulink极点配置状态反馈半实物仿真程序, 连接电子对象与状态反馈控制器, 并采用阶跃响应控制实验, 记录阶跃响应的控制指标 (上升时间、超调量、过渡过程时间 $\Delta=0.05$))。

(3) simulink极点配置状态反馈半实物仿真2

基于simulink极点配置状态反馈半实物仿真1程序, 调整状态反馈矩阵 K 值, 使阶跃响应的超调量 $\sigma_p \approx 20\%$, 体会 K 值变化

规律，记录阶跃响应的控制指标（上升时间、超调量、过渡过程时间 $\Delta=0.05$ ））

三、实验结果记录

- 1、记录 $K = (k_1, k_2, k_3)$ 值，记录系统阶跃响应性能指标及仿真曲线。
- 2、调整反馈矩阵 $K = (k_1, k_2, k_3)$ 值，使系统阶跃响应超调量 $\sigma_p \approx 20\%$ ，记录 $K = (k_1, k_2, k_3)$ 值，以及系统阶跃响应性能指标及仿真曲线。

极点配置状态反馈（ K ）闭环控制控制参数记录表

项目	状态反馈半实物仿真1	状态反馈半实物仿真2
超调量 σ_p		
上升时间 t_r		
过渡过程时间 t_s		
k_1		
k_2		
k_2		

四、仿真实验结果分析

说明电子对象极点配置方法特点，比较电子对象半实物仿真与理论对象simulink仿真的差异。