

## 实验四 典型系统的瞬态响应和稳态性能分析

### 一、 实验目的

1. 观察和分析典型二阶系统在欠阻尼、临界阻尼、过阻尼的响应曲线。
2. 研究二阶系统的特征参数，阻尼比 $\zeta$ 和无阻尼自然频率 $\omega_n$ 对系统动态性能的影响。
3. 掌握测试过渡过程的一种测试方法。
4. 熟悉 Routh 判据，用 Routh 判据对三阶系统进行稳定性分析。

### 二、 实验设备

- 1、PC 机一台
- 2、澄科 7304 虚拟仪器一台
- 3、自动控制原理课程实验套件一套
- 4、面包线若干

### 三、 实验原理

采用有源网络来模拟各种典型环节，然后按照给定系统的结构图将典型环节连接起来，得到对应的二阶、三阶系统，改变系统的特征参量 ( $\xi$ 、 $\omega_n$ )，研究各参数对系统性能指标的影响。

$$\text{常用的时域性能指标: } \sigma_p = \frac{C(tp) - C(\infty)}{C(\infty)} = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$t_r = \frac{\pi - \phi}{\omega_d} = \frac{\pi - \phi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$t_s = \frac{3 \sim 4}{\xi \omega_n}$$

### 四、 实验内容

#### 1. 典型的二阶系统稳定性分析

(1) 结构框图：如图 4-1 所示。

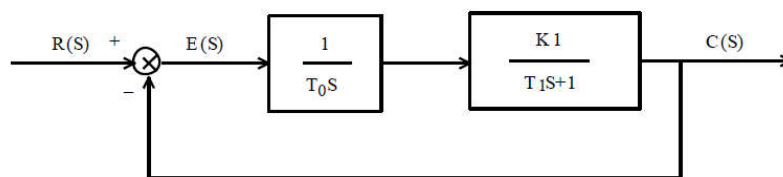


图 4-1 二阶系统结构框图

(2) 对应的模拟电路图：如图 4-2 所示。

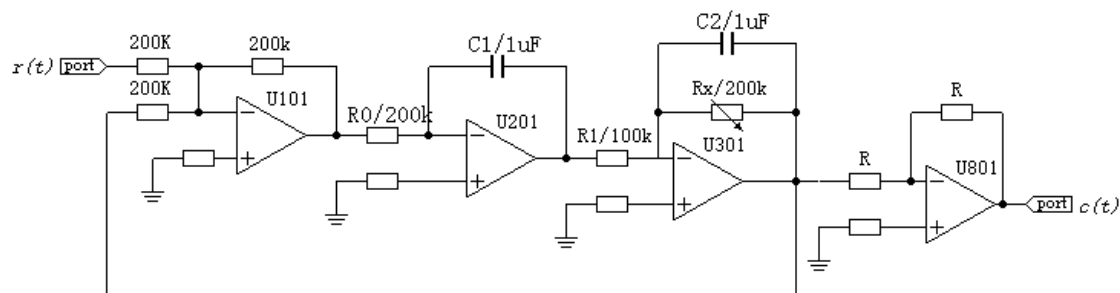


图 4-2 二阶系统模拟电路

(3) 理论分析 系统开环传递函数为： $G(s) = \frac{K_1}{T_0 s(T_1 s + 1)} = \frac{K_1/T_0}{s(T_1 s + 1)}$ ，开环增益  $K = K_1/T_0$ 。在此实验中(图 4-2)， $T_0 = 0.2s$ ， $T_1 = R_x \cdot C_2$ ， $K_1 = \frac{R_x}{R_1}$

系统闭环传递函数为： $\Phi(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$

其中自然振荡角频率： $\omega_n = \sqrt{\frac{K_1}{T_1 T_0}}$ ，阻尼比： $\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_0}{K_1 T_1}}$

(4) 实验内容 实验中  $R_x$  连接 1#4 区域的可调电阻  $R_p301$  (200k)，改变可调电阻  $R_x$  阻值大小，观察研究不同参数特征下的时域响应。4-3a，4-3b，4-3c 分别对应二阶系统在欠阻尼，临界阻尼，过阻尼三种情况下的阶跃响应曲线。观察二阶系统的动态性能及稳定性，应与理论分析基本吻合。

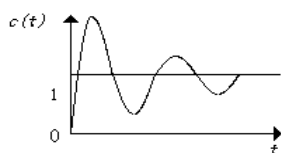


图 4-3a

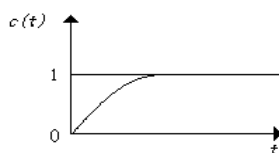


图 4-3b

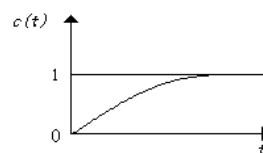


图 4-3c

图 4-3 二阶系统时域响应曲线

## 2. 典型的三阶系统稳定性分析

(1)结构框图：如图 4-4 所示。

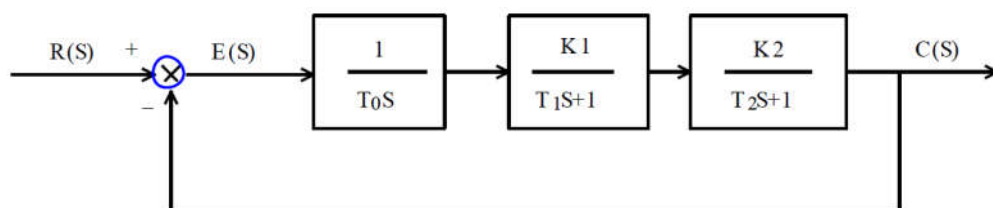


图 4-4 三阶系统结构框图

(2) 模拟电路图：如图 4-5 所示。

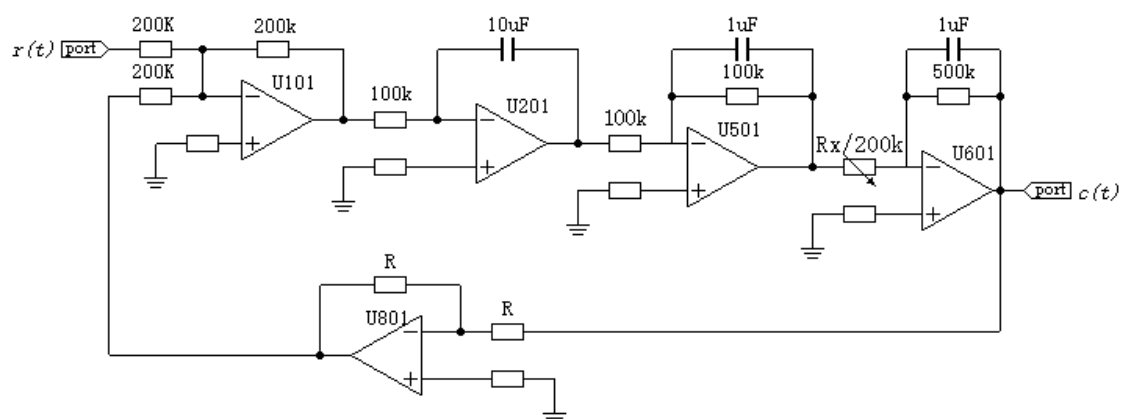


图 4-5 三阶系统模拟电路图

(3) 理论分析

该系统开环传递函数为：  $G(s) = \frac{K}{s(0.1s + 1)(0.5s + 1)}$  ,  $K = 500 / R_x$  ,  $R_x$  的单位为  $k\Omega$ 。系统的特征方程为：  $1 + G(s)H(s) = 0 \Rightarrow s^3 + 12s^2 + 20s + 20K = 0$

(4) 实验内容

实验前由Routh 判断得Routh 行列式为：

$$\begin{array}{ccc} s^3 & 1 & 20 \\ s^2 & 12 & 20K \\ s^1 & -\frac{5K}{3} + 20 & 0 \\ s^0 & 20K & 0 \end{array}$$

为了保证系统稳定，第一列各值应为正数，所以有

$$\begin{cases} -\frac{5}{3}K + 20 > 0 \\ 20K > 0 \end{cases}$$

得：  $0 < K < 12$        $R_x > 41.7K\Omega$  系统稳定

$K = 12$                        $R_x = 41.7\text{K}\Omega$  系统临界稳定

$K > 12$                        $R_x < 41.7\text{K}\Omega$  系统不稳定

## 五、 实验步骤

### (一) 二阶系统

1、利用 1#、2#、3#和 8A#模块搭建图 4-2 所需的电路，Rp301 ( $R_x$ ) 调为 200K。其中， $r(t)$ 输入阶跃信号， $c(t)$ 为输出信号。输入信号  $r(t)$ 连接实验电路板的下方【模拟信号输入】区域的 AI 1 接线柱，输出信号  $c(t)$ 连接实验电路板的下方【模拟信号输入】区域的 AI 2 接线柱。

2、启动【Electronics Pioneer】仪器工具栏。

3、打开【Electronics Pioneer—Power】程控电源软件面板，设置【+/-5V 3.3V】为【开启】状态，设置【正电源】值为【+15V】和【负电源值为【-15V】，电流【I】均设置为 100mA。

4、打开【Electronics Pioneer—Scope】示波器软件面板，设置示波器【运行】状态为【启动】，设置启用【CH 1】和【CH2】通道。

5、将实验电路板【0#】区域【阶跃信号类型】拨动开关拨至【+1V】。

6、确认实验电路连接无误，按下实验电路板【0#】区域【电源开关】按钮。正常情况下，实验电路板右上方的+V、-V、+5V、-5V 指示灯会相应点亮。

7、按下实验电路板【0#】区域【按下输出阶跃信号】按钮（保持 5 秒以上）后松开，观察示波器实验程序中 CH 1 和 CH 2 通道波形的情况。

8、输入阶跃信号，通过示波器观测不同特征参量下输出阶跃响应曲线,并记录曲线的超调量 $\sigma\%$ 、峰值时间 $t_p$ 以及调节时间 $t_s$ 。将测量值和计算值进行比较(实验前必须按公式计算出)。将实验结果填入表 4-1 中。

9、调整实验电路板【1#4】区域的电位器 Rp301 ( $R_x$ )，分别按  $R = 100\text{K}$ ；70.7K；40K；改变系统开环增益，使系统测量分别处于典型二阶系统的欠阻尼状态、临界阻尼状态、过阻尼状态。通过示波器观测不同特征参量下输出阶跃响应曲线,并记录曲线的超调量 $\sigma\%$ 、峰值时间 $t_p$ 以及调节时间 $t_s$ 。将测量值和计算值进行比较(实验前必须按公式计算出)。将实验结果填入表 4-1 中。

**注意：**测量 Rp301 的电阻值，需要将 Rp301 完全从实验电路中断开。在 Rp301 不带电的情况下，使用【Electronics Pioneer—DMM】万用表软件面板测量并记录 Rp301 的值。

(二) 典型三阶系统的性能

- 1、利用 1#、2#、5#、6#和 8A#（或 8B#）模块搭建图 4-5 所需的电路。其中， $r(t)$ 输入阶跃信号， $c(t)$ 为输出信号。输入信号  $r(t)$ 连接实验电路板的下方【模拟信号输入】区域的 AI 1 接线柱，输出信号  $c(t)$ 连接实验电路板的下方【模拟信号输入】区域的 AI 2 接线柱。
- 2、启动【Electronics Pioneer】仪器工具栏。
- 3、打开【Electronics Pioneer—Power】程控电源软件面板，设置【+/-5V 3.3V】为【开启】状态，设置【正电源】值为【+15V】和【负电源值为【-15V】，电流【I】均设置为 100mA。
- 4、打开【Electronics Pioneer—Scope】示波器软件面板，设置示波器【运行】状态为【启动】，设置启用【CH 1】和【CH2】通道。
- 5、将实验电路板【0#】区域【阶跃信号类型】拨动开关拨至【+1V】。
- 6、确认实验电路连接无误，按下实验电路板【0#】区域【电源开关】按钮。正常情况下，实验电路板右上方的+V、-V、+5V、-5V 指示灯会相应点亮。
- 7、按下实验电路板【0#】区域【按下输出阶跃信号】按钮（保持 5 秒以上）后松开，观察示波器实验程序中 CH 1 和 CH 2 通道波形的情况。
- 8、调节电位器 Rp601，使 Rx 为 30K，观察系统的响应曲线，并记录波形。并将实验结果填入表 4-2 中。
- 9、减小开环增益 ( $R_x = 41.7K; 100K$ )，观察响应曲线，并记录波形。并将实验结果填入表 4-2 中。

表 4-2 三阶系统实验结果

Rx (KΩ)	开环增益 K	稳定性
30		
41.7		
100		

测量 Rp601 的电阻值，需要将 Rp601 完全从实验电路中断开。在 Rp601 不带电的情况下，使用【Electronics Pioneer—DMM】万用表软件面板测量并记录 Rp601 的值，留作实验报告需要的数据。

六、 实验报告

- 1.画出二阶系统的模拟电路图，讨论典型二阶系统性能指标与 $\zeta$ ， $\omega_n$ 的关系。
- 2.把不同 $\zeta$ 和 $\omega_n$ 条件下测量的 $\sigma\%$ 和  $t_s$  值列表，根据测量结果得出相应结论。

#### 七、 预习要求

1. 阅读实验原理部分，掌握时域性能指标的测量方法。
2. 按实验中二阶系统的给定参数，计算出不同 $\zeta$ 、 $\omega_n$  下的性能指标的理论值。

注意：本次实验，可调电阻用实验板右下方的可调电位器进行调节，电阻值用实验系统自带的万用表测。

表 4-1 二阶系统实验结果

Rx (K Ω)	K	$\omega_n$	$\xi$	$C(t_p)$	$C(\infty)$	$\sigma_p$		$t_p$ (秒)		$t_s$ (秒)	
						理论值	测量值	理论值	测量值	理论值	测量值
200											
100											
70.7				无		无		无			
40				无		无		无			