

实验 2 二阶系统的瞬态响应分析

一、实验目的

- 1、熟悉二阶模拟系统的组成。
- 2、研究二阶系统分别工作在 $\xi = 1$ ， $0 < \xi < 1$ 和 $\xi > 1$ 三种状态下的单位阶跃响应。
- 3、分析增益 K 对二阶系统单位阶跃响应的超调量 σ_p 、峰值时间 t_p 和调整时间 t_s 。

二、实验原理

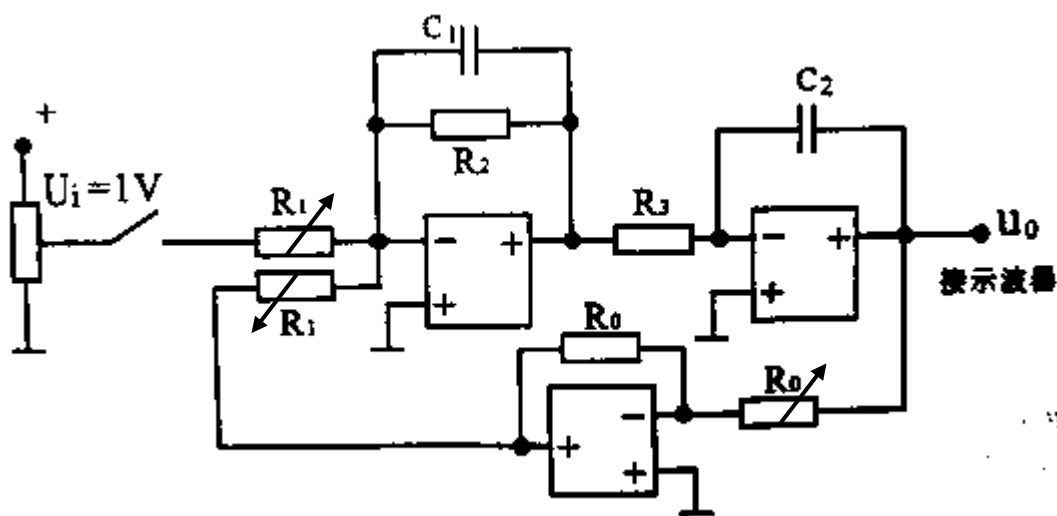


图 1 二阶系统的模拟电路

图 1 为二阶系统的模拟电路图，它是由惯性环节、积分环节和反相器组成。图 2 为图 1 的原理方框图，图中 $K = R_2 / R_1$ ，

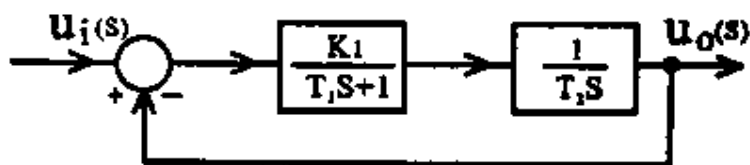


图 2 二阶系统原理框图

$T_1 = R_2 C_1$ ， $T_2 = R_3 C_2$ 。由图 2

求得二阶系统的闭环传递函数为：

$$\frac{U_0(S)}{U_i(S)} = \frac{K}{T_1 T_2 S^2 + T_2 S + K} = \frac{K / T_1 T_2}{S^2 + S / T_1 + K / T_1 T_2} \quad (1)$$

而二阶系统标准传递函数为：

$$G(S) = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2} \quad (2)$$

对比式 (1) 和式 (2)，得

$$\omega_n = \sqrt{K/T_1 T_2}, \quad \xi = \sqrt{T_2/4T_1 K}$$

若令 $T_1 = 0.2S$, $T_2 = 0.5S$, 则 $\omega_n = \sqrt{10K}$, $\xi = \sqrt{0.625/K}$

调节开环增益 K 值, 不仅能改变系统无阻尼自然振荡频率 ω_n 和 ξ 的值, 还可以得到过阻尼 ($\xi > 1$)、临界阻尼 ($\xi = 1$) 和欠阻尼 ($\xi < 1$) 三种情况下的阶跃响应曲线。

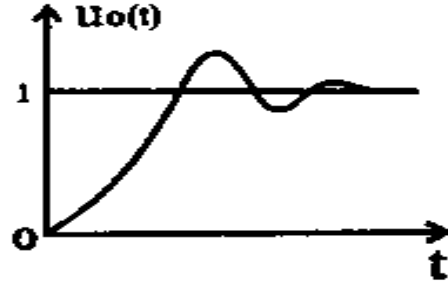


图 3 $0 < \xi < 1$ 时的阶跃响应曲线

(1)、当 $K > 0.625$, $0 < \xi < 1$, 系统处在欠阻尼状态, 它的单位阶跃响应表达式为:

$$u_0(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \sin(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}) \quad (3)$$

式中 $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\xi^2}$ 。图 3 为二阶系统在欠阻尼状态下的单位阶跃响应曲线。

(2)、当 $K = 0.625$ 时, $\xi = 1$, 系统处在临界阻尼状态, 它的单位阶跃响应表达式为:

$$u_0(t) = 1 - (1 + \omega_n t) e^{-\omega_n t}$$

如图 4 为二阶系统工作临界阻尼时的单位响应曲线。

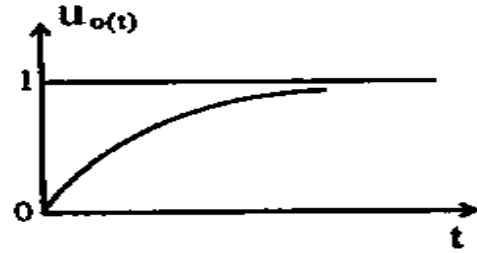


图 4 $\xi = 1$ 时的阶跃响应曲线

(3)、当 $K < 0.625$ 时, $\xi > 1$, 系统工作在过阻尼状态, 它的单位阶跃响应曲线和临界阻尼时的单位阶跃响应一样为单调的指数上升曲线, 但后者的上升速度比前者缓慢。

三、实验内容与步骤

1、根据图 1, 调节相应的参数, 使系统的开环传递函数为:

$$G(S) = \frac{K}{0.5S(0.2S+1)}$$

2、令 $u_i(t) = 1V$, 在示波器上观察不同 K ($K = 10, 5, 2, 0.625, 0.5$) 时的单位阶跃响应的波形, 并由实验求得相应的 σ_p 、 t_p 和 t_s 的值。用实验箱中的三角波作为二阶系统的斜坡输入信号, 观察并记录在不同 K 值 ($K = 2, 0.5$) 时, 系统跟踪斜坡信号的稳态误差。

3、调节开环增益 K , 使二阶系统的阻尼比 $\xi = 1/\sqrt{2} = 0.707$, 观察并记录此时的单位阶

跃响应波形和 σ_p 、 t_p 和 t_s 的值。

四、实验报告

1、画出二阶系统在不同 K 值（10，5，2，0.625, 0.5）下的 4 条瞬态响应曲线，并注明时间按坐标轴。

2、按图 2 所示的二阶系统，计算 $K=10, 5, 2, 0.625, 0.5$ 几种情况下 ξ 和 ω_n 值。据此，求得相应的动态性能指标 σ_p 、 t_p 和 t_s ，并与实验所得出的结果作一比较。

3、写出本实验的心得与体会。

五、实验思考题

- 1、如果阶跃输入信号的幅值过大，会在实验中产生什么后果？
- 2、在电子模拟系统中，如何实现负反馈和单位负反馈？
- 3、为什么本实验的模拟系统中要用三只运算放大器？