

实验一 二阶系统阶跃响应、连续系统校正

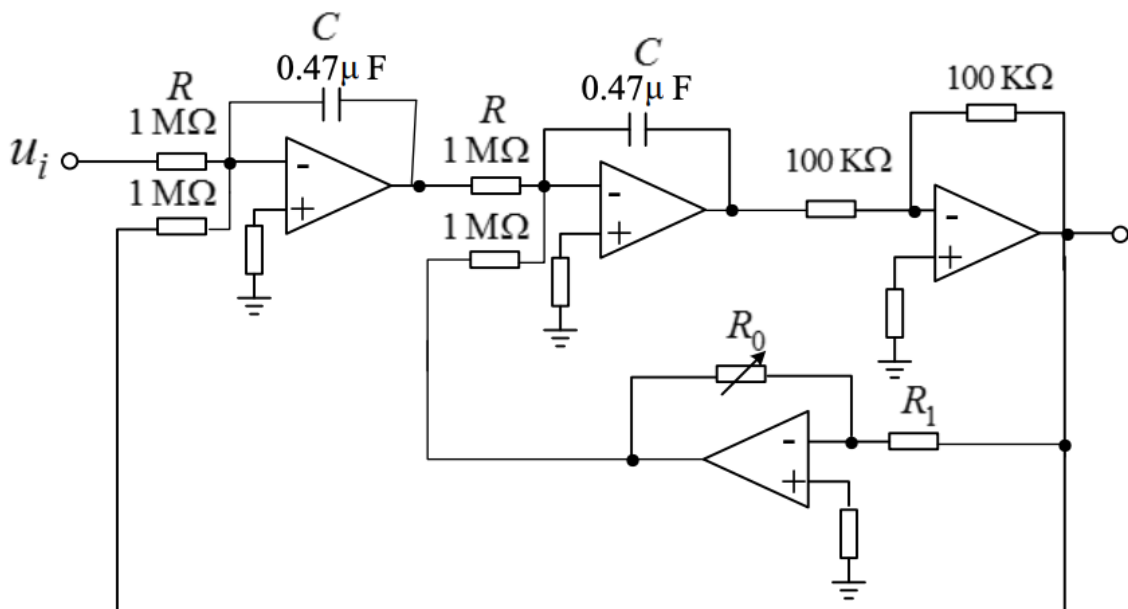
何东阳 自96 2019011462

1 实验目的

- 学会根据模拟电路确定系统传递函数。
- 研究二阶系统的两个重要参数: 阻尼比 ξ 和无阻尼自振角频率 ω_n 对系统动态性能的影响。
- 学习串联校正的基本设计方法, 观察串联超前、滞后校正对改善系统性能的作用。

2 研究内容

2.1 二阶系统阶跃响应



系统特征方程为 $T^2s^2 + KTs + 1 = 0$, 其中 $T = RC$, $K = \frac{R_0}{R_1}$ 。根据二阶系统的标准形式可知, $\xi = K/2$, 通过调整 K 可使 ξ 获得期望值。

2.2 连续系统串联校正

- 已知系统开环传递函数 (图 2-4 为参考模拟电路图):

$$G_0(s) = \frac{100}{s(0.1s + 1)(0.01s + 1)}$$

- 设计一个超前校正装置, 要求速度误差系数 $K_v \geq 100 \text{ s}^{-1}$, 截止角频率 $\omega_c \geq 40 \text{ rad/s}$, 相角稳定裕度 $\emptyset \geq 30^\circ$, 超调量 $\sigma \leq 40\%$, 这里给出一个参考的超前校正 (图 2-5 为参考模拟电路图):

$$G_c(s) = \frac{0.044s + 1}{0.0044s + 1}$$

- 设计一个滞后校正装置, 要求 $K_v \geq 100 \text{ s}^{-1}$, $\omega_c \geq 4 \text{ rad/s}$, $\emptyset \geq 30^\circ$, $\sigma \leq 40\%$, 这里给出一个参考的滞后校正 (图 2-6 为参考模拟电路图。):

$$G_c(s) = \frac{0.5s + 1}{10s + 1}$$

3 实验计算

3.1 二阶系统阶跃响应预习

- 传递函数

$$G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + KT s + 1}$$

- 计算公式为

超调量: $\sigma = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$

过渡过程时间: $t_s(5\%) \approx \frac{3}{\xi\omega_n} = \frac{3T}{\xi} \quad (0 < \xi < 0.9)$

- 分别计算出 $T = 0.47, \xi = 0.25, 0.5, 0.75$ 时, 系统阶跃响应的超调量 σ 和过渡过程时间 t_s 。

当 $T = 0.47$ 时

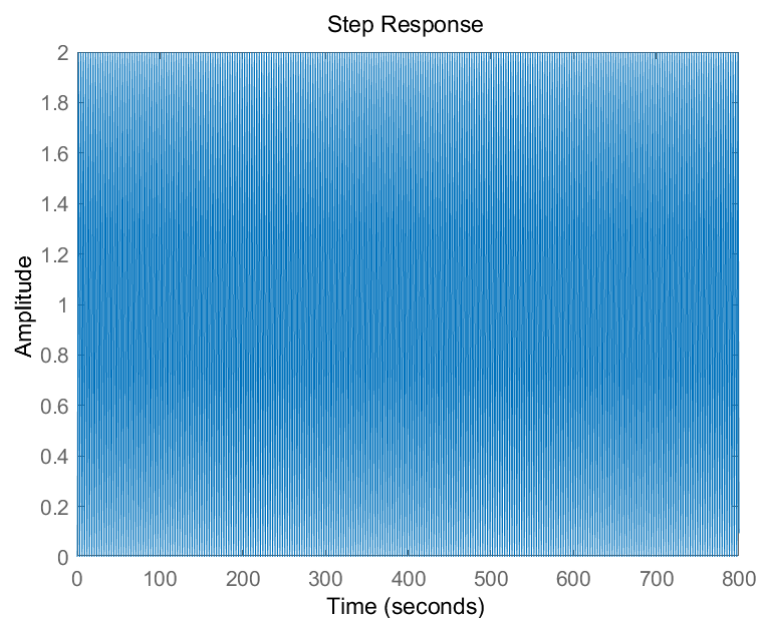
ξ	0	0.25	0.5	0.75
$\sigma\%$	无	44.43	16.30	2.84
t_s	∞	5.64	2.82	1.88

- 分别计算出 $\xi = 0.5, T = 0.22, 0.47, 1.0$ 时, 系统阶跃响应的超调量 σ 和过渡过程时间 t_s 。

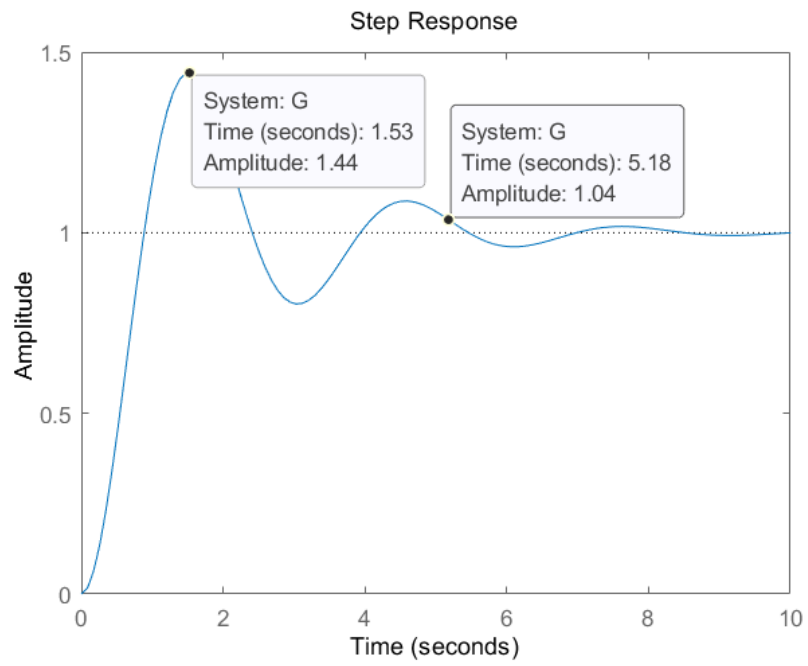
当 $\xi = 0.5$

T	0.22	0.47	1.0
$\sigma\%$	16.3	16.3	16.3
$t_s(s)$	1.32	2.83	6

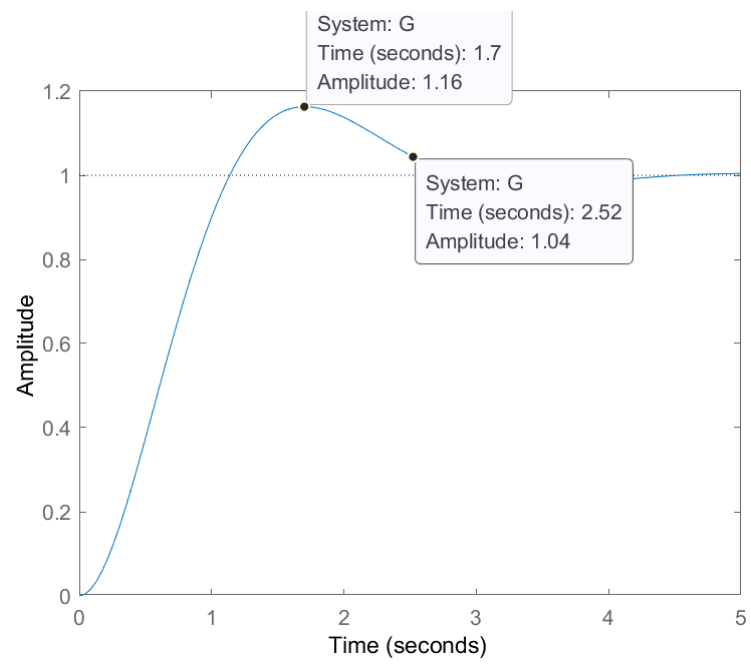
- 通过改变 K , 使 ξ 获得 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 等值, 记录过渡过程曲线、超调量 σ 和过渡过程时间 t



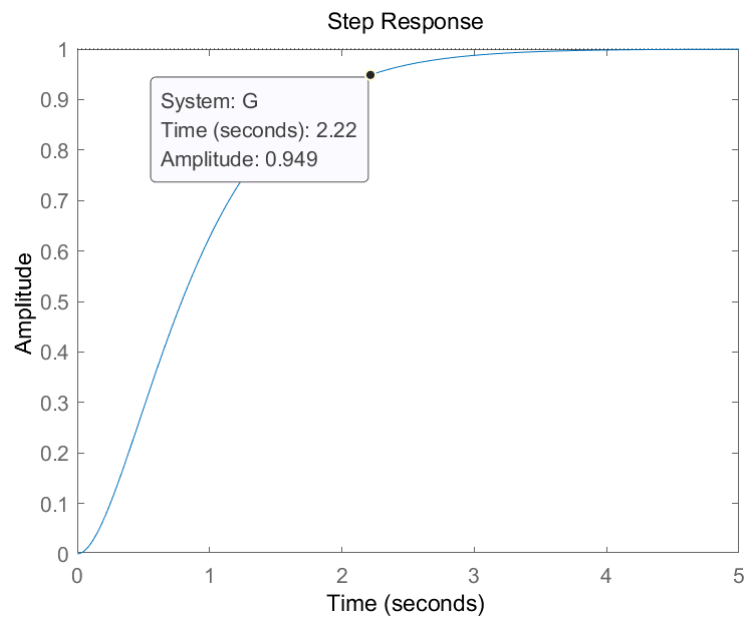
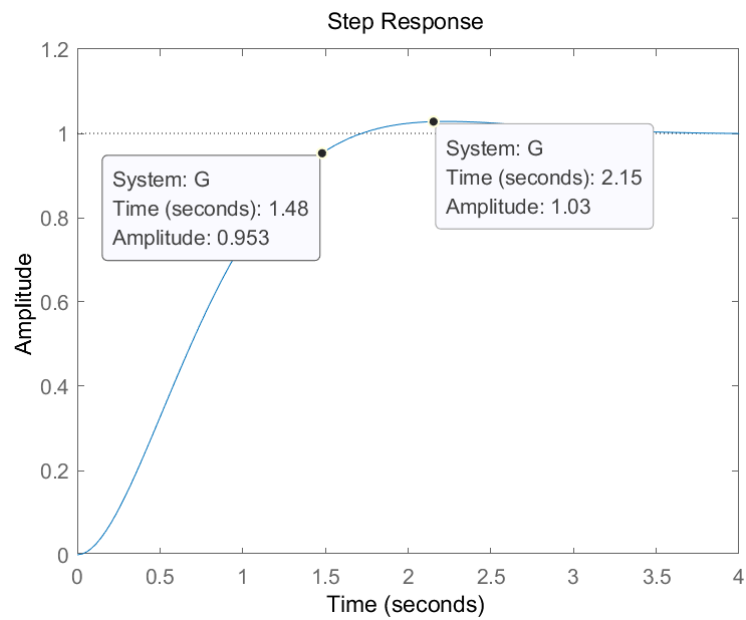
$\xi = 0$ 时



$\xi = 0.25$ 时

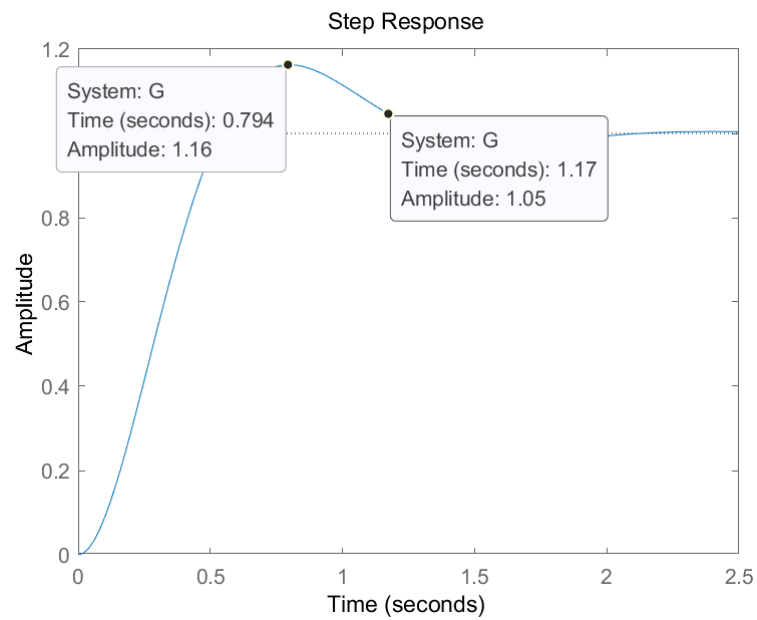


$\xi = 0.5$ 时

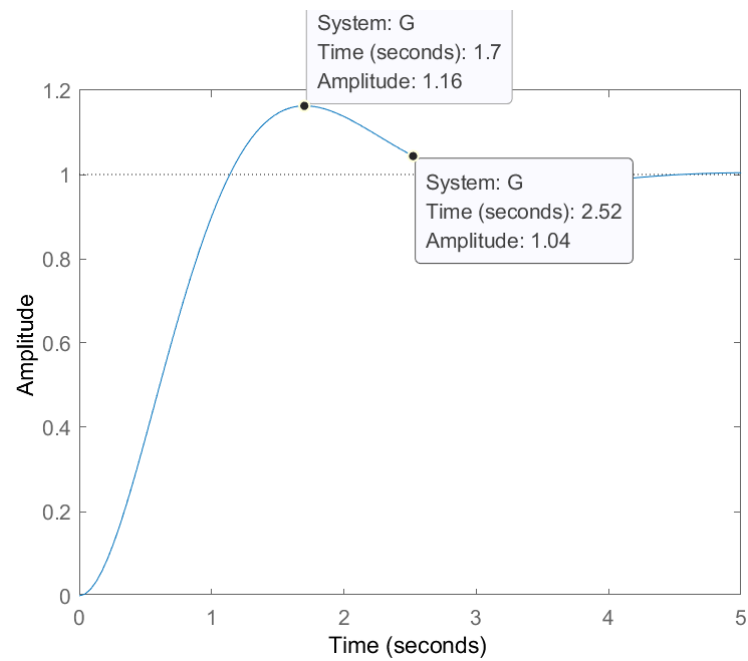


ξ	0.25	0.5	0.75	1.0
$\sigma\%$	44	16	3	0
t_s	5.18	2.52	1.48	2.22

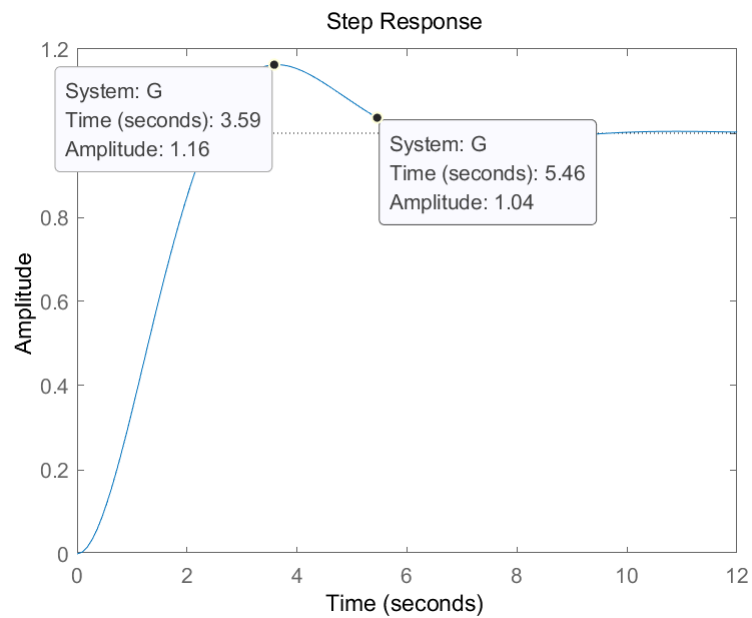
- 当 $\xi = 0.5$ 时，令 $T = 0.22$ 秒，0.47 秒，1.0 秒，记录过渡过程曲线、超调量 σ 和过渡过程时间 t_s ，比较三条阶跃响应曲线的异同。



$$T = 0.22$$



$$T = 0.47$$



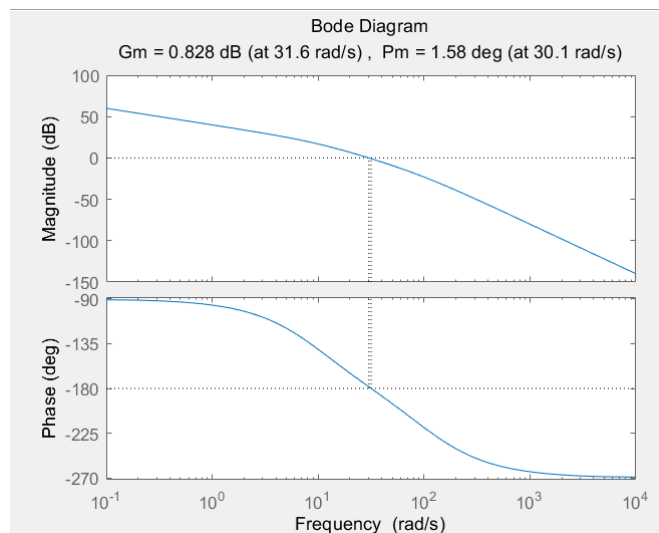
$$T = 1.0$$

T	0.22	0.47	1.0
$\sigma\%$	16	16	16
t_s	1.17	2.52	5.46

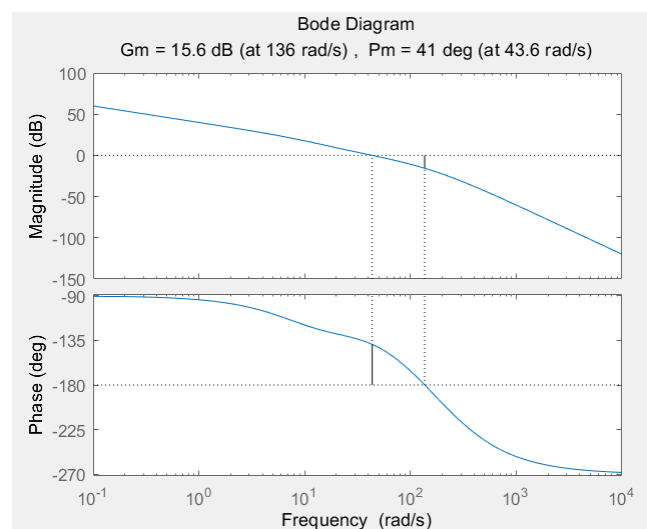
3.2 连续系统串联校正预习

- 分别画出系统固有部分、加入超前校正、滞后校正的 Bode 图；估算出上述 3 种情况下系统相角裕量、阶跃响应的超调 σ 与过渡过程时间 t_s 。

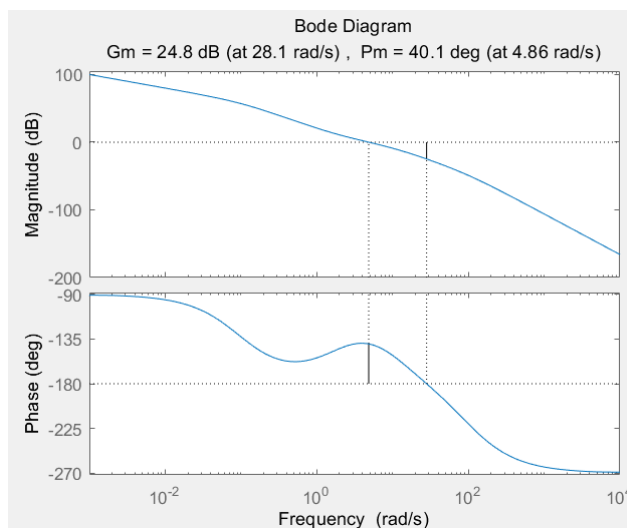
系统固有部分：



超前校正：



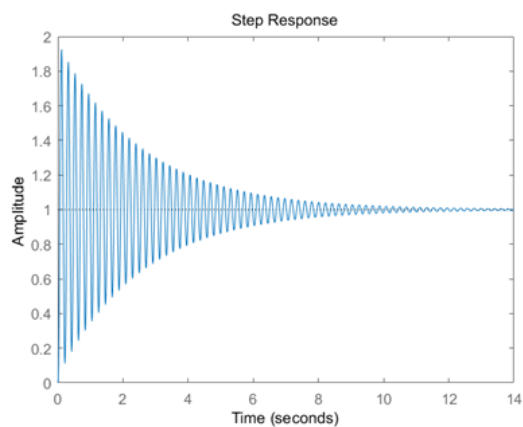
滞后校正：



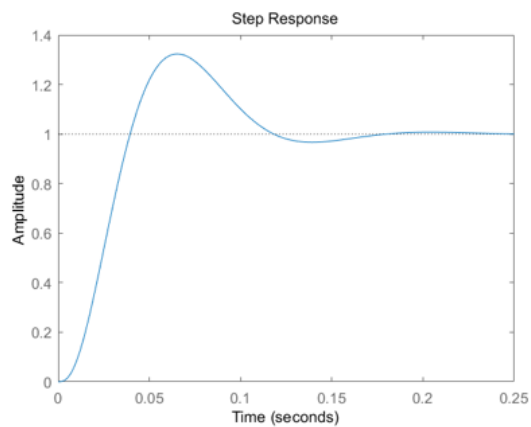
根据matlab计算得到系统参数为：

物理量	固有部分	超前校正	滞后校正
相角裕度	1.58	41	40.1
超调量 σ	92.48%	32.34%	38.44%
过渡过程时间 t_s	7.6	0.1076	1.079

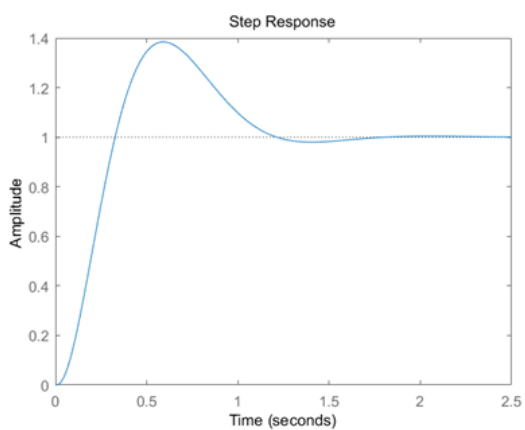
- 用 Matlab/Simlink 搭建仿真模型，以单位阶跃信号为系统输入，观测并记录 3 种情况下系统阶跃响应曲线、超调 σ 与过渡过程时间 t_s 。



固有响应



加入超前校正



加入滞后校正

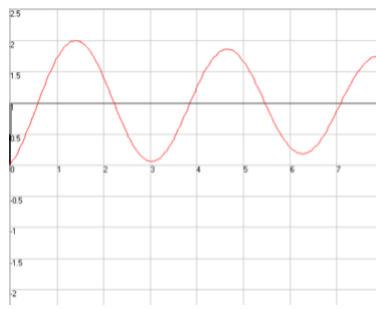
物理量	固有部分	超前校正	滞后校正
超调量 σ	87.5%	30.3%	37.7%
过渡过程时间 t_s	6.75	0.16	1.05

4 正式实验

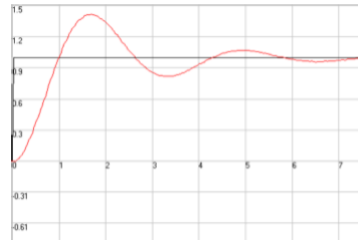
4.1 二阶系统阶跃响应正式实验

1. 通过改变 K , 使 ξ 获得 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 等值, 在输入端加同样幅值的阶跃信号, 记录过渡过程曲线、超调量 σ 和过渡过程时间 t_s , 将实验值和理论值进行比较。

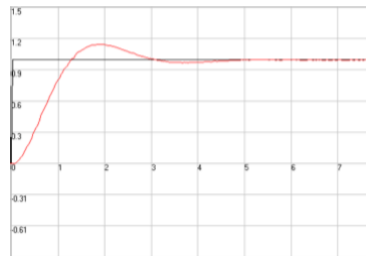
- 实验图像



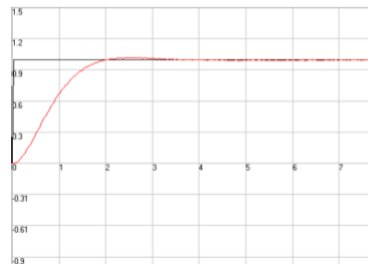
$\xi = 0$ 时的图像



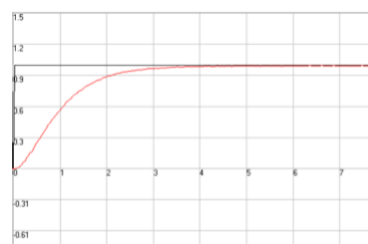
$\xi = 0.25$ 时的图像



$\xi = 0.5$ 时的图像



$\xi = 0.75$ 时的图像



$\xi = 1$ 时的图像

- 实验数据

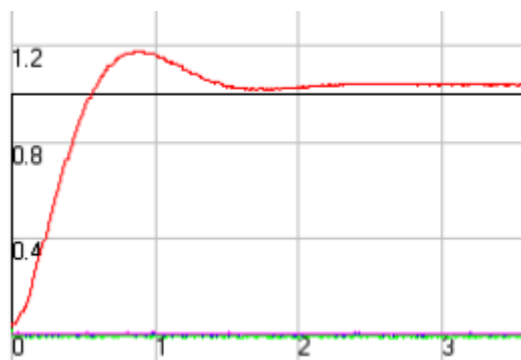
ξ	0	0.25	0.5	0.75	1.0
$\sigma\%$	无	41.5	16.7	1.82	0
t_s	∞	5.1	2.7	1.82	2.93

- 对比

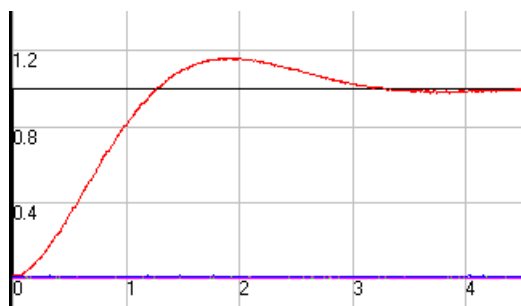
根据表格可以看出，实验数据和仿真数据的大致图形是一致的，变化趋势也是一致的。且超调量和过渡过程时间都是一致的，当 ξ 变化时， t_s 也等比例变化，说明时间常数和过渡过程时间的尺度是线性的，且随着 T 增加，超调量减少。

- 当 $\xi = 0.5$ 时，令 $T = 0.22$ 秒， 0.47 秒， 1.0 秒 ($T = RC$ ，改变两个 C)，记录过渡过程曲线、超调量 σ 和过渡过程时间 t_s ，比较三条阶跃响应曲线的异同。

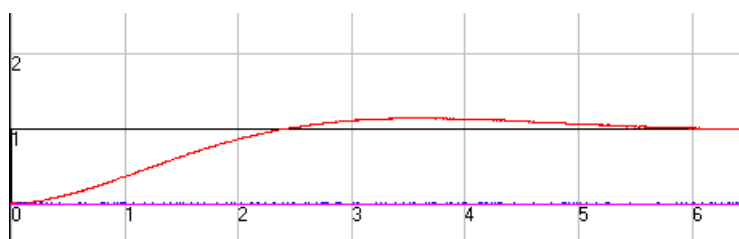
- 实验图像



0.22



0.47



1.0

- 实验数据

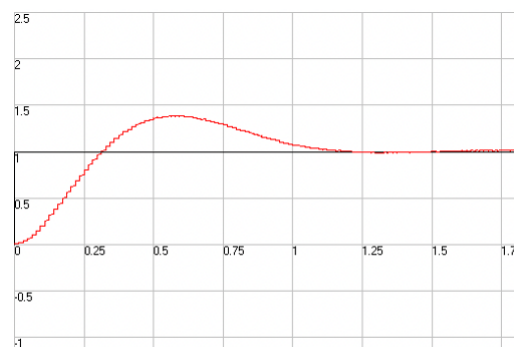
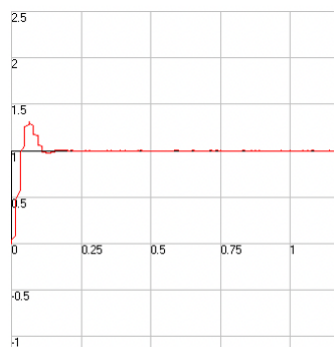
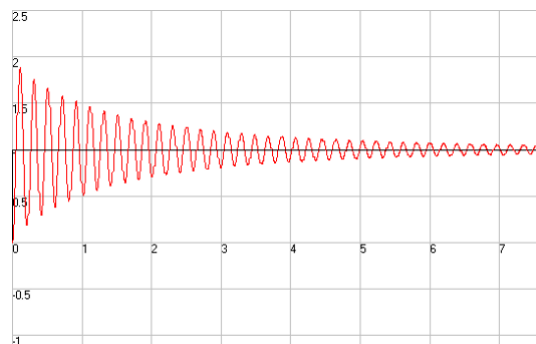
T	0.22	0.47	1.0
$\sigma\%$	14	14.2	14
t_s	1.53	3.02	6.13

- 对比

仿真结果、理论计算、实验测量结果都是近似的，说明都符合同样的规律，具体数值的误差来源计算过程。可见只要时间常数相同，超调量就是相同的，且随着时间常数等比例增大，过渡过程时间也会等比例增大。

4.2 连续系统串联校正正式实验

- 实验图像



- 实验数据

物理量	固有部分	超前校正	滞后校正
超调量 σ	90%	32%	32%
过渡过程时间 t_s	6.5	0.1	1.1

- 不同校正作用总结

- 超前校正

根据实验图像可以看出，超前校正的主要作用是改善系统动态性能，通过提供超前角，提高了相角裕量和降低了超调量，降低了系统的过渡时间，从而改善了系统响应速度和稳定性。

- 滞后校正

根据实验图像可以看出，滞后校正的主要作用是改善系统的静态性能，提高了系统的稳态精度，但是同时也轻微降低了系统的动态性能。

5 实验总结

本次实验内容丰富，主要难点在于电路的搭建，在保证电路没有bug的情况下，可以顺利完成实验。实验结果加深了我对二阶系统性质以及连续系统校正的理解