

浙江大学



测控技术实验-控制实验报告

姓名:

刘侃

学院:

机械工程学院

系:

机械工程系

专业:

机械工程

学号:

3220103259

2024 年 12 月 13 日

(此页可在 <http://bksy.zju.edu.cn/office/> 下载)

实验项目名称: 线性系统串联校正

同组学生姓名: 方天润

一、实验目的和要求

实验目的

1. 观测未校正系统的稳定性和动态特性。
2. 按动态特性要求设计串联校正装置。
3. 观测加串联校正装置后系统的稳定性和动态特性，并观测校正装置参数改变对系统性能的影响。
4. 对线性系统串联校正进行计算机仿真研究，并对电路模拟与数字仿真结果进行比较研究。

实验要求

1. 利用实验设备，设计并连接一未加校正的二阶闭环系统的模拟电路，完成该系统的稳定性和动态特性观测。
2. 按校正目标要求设计串联校正装置传递函数和模拟电路。
3. 利用实验设备，设计并连接一加串联校正后的二阶闭环系统的模拟电路，通过对该系统阶跃响应的观察，完成该系统的稳定性和动态特性观测。提示：
4. 改变串联校正装置的参数，对加校正后的二阶闭环系统进行调试，使其性能指标满足预定要求。

5. 分析实验结果，完成实验报告。

二、实验内容

（内容只简单描述，可参考、抄写指导书中的“实验内容”的标题即可）

初始系统

给定一未校正系统

- 1) 根据方块图画模拟电路图，并在实验装置上按模拟电路图接线。
- 2) 写出系统的开环传递函数、闭环传递函数
- 3) 计算出未加校正时系统超调量、调节时间、开环增益
- 4) 测试系统的时域特性、频域特性，完成对其稳定性和动态特性的研究。

校正目标

要求加串联校正装置后系统满足以下性能指标：

- 1) 超调量 $M_p \leq 25\%$,
- 2) 调节时间（过渡过程时间） $t_s \leq 1s$,
- 3) 校正后系统开环增益（静态速度误差系数） $K_v \geq 25s^{-1}$ 。

串联校正装置设计——相消法

从超调量、调整时间要求判断，系统必须进行校正，请完成校正装置的设计：

- 1) 根据校正目标，计算 ω_n 和阻尼比取值范围，
- 2) 利用相消法设计出校正控制器，记录计算、设计过程，
- 3) 在 Matlab/Simulink 中对比校正前后的根轨迹、阶跃响应，

- 4) 根据校正后的传递函数设计其模拟电路，并完成实验连线，
- 5) 测试校正后的时域特性、频域特性，并与校正前进行对比，完成对其稳定性和动态特性的研究。

三、实验结果（原理）分析（必填）

原系统

未校正系统的模拟电路图（G 端和 I2 已省略）

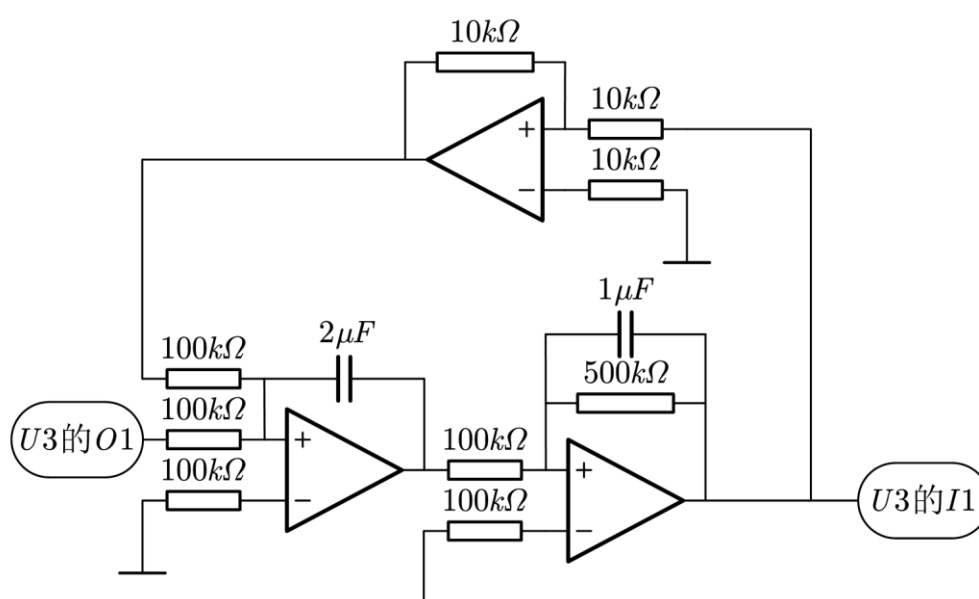


图 1 未校正系统的模拟电路图

开环传递函数

$$G_k(s) = \frac{25}{s(0.5s + 1)}$$

闭环传递函数

$$G_b(s) = \frac{25}{0.5s^2 + s + 25}$$

$$\xi = \frac{\sqrt{2}}{10} \approx 0.141$$

$$\omega_n = 5\sqrt{2} \approx 7.07 \text{ rad/s}$$

超调量

$$M_p = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = 63.8\%$$

调节时间

$$t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} (\Delta = 2\%) = 4s$$

开环增益（静态速度误差系数）

$$K_v = 25s^{-1}$$

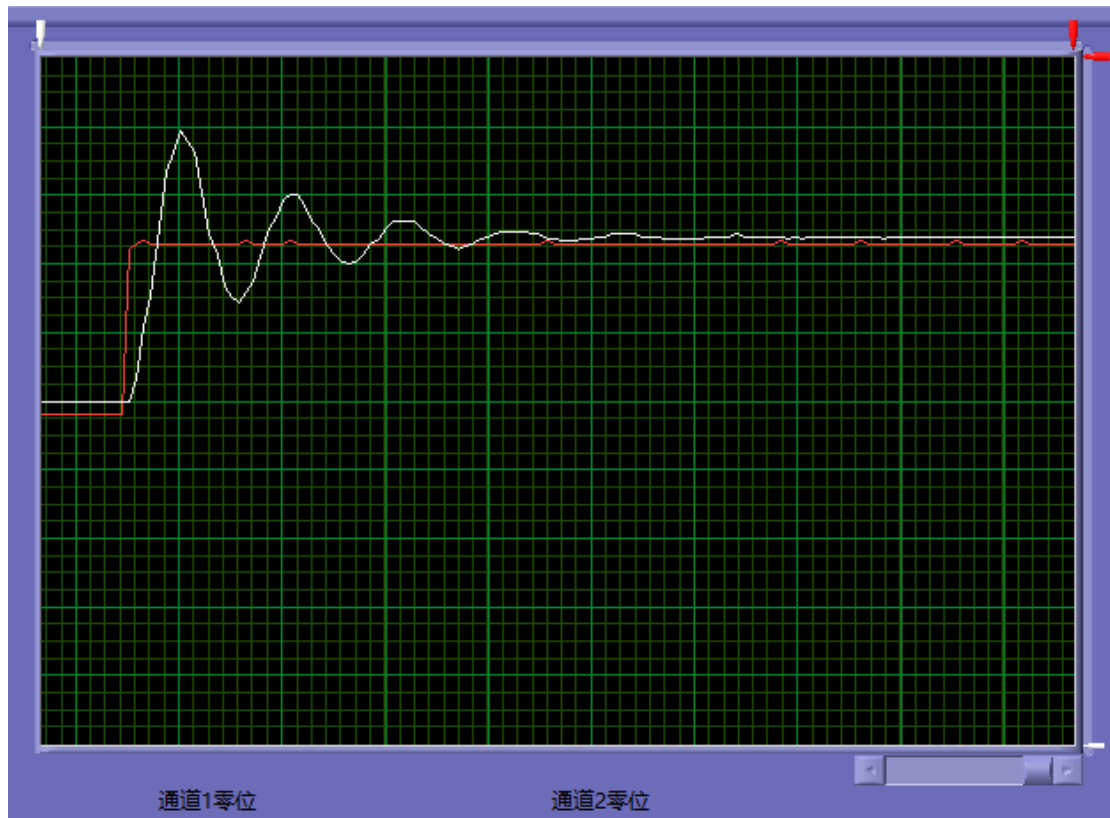


图 2 实测的原系统时域特性曲线

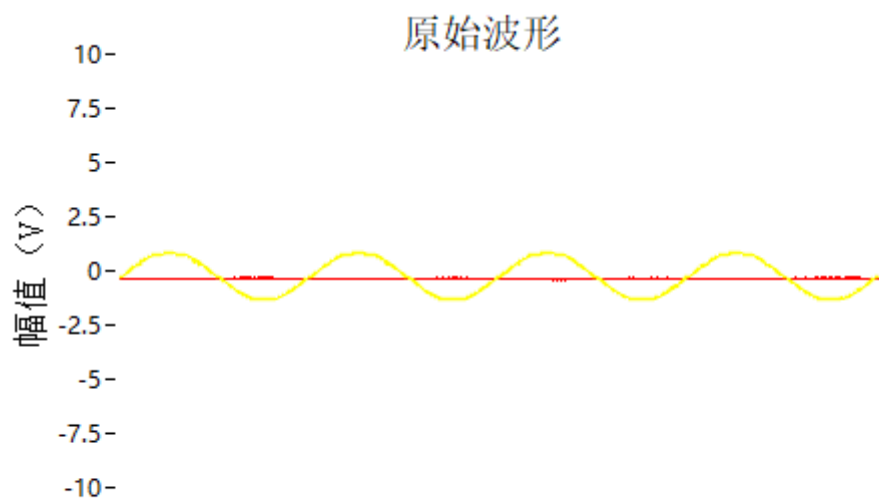


图 3 实测的原系统频域波形

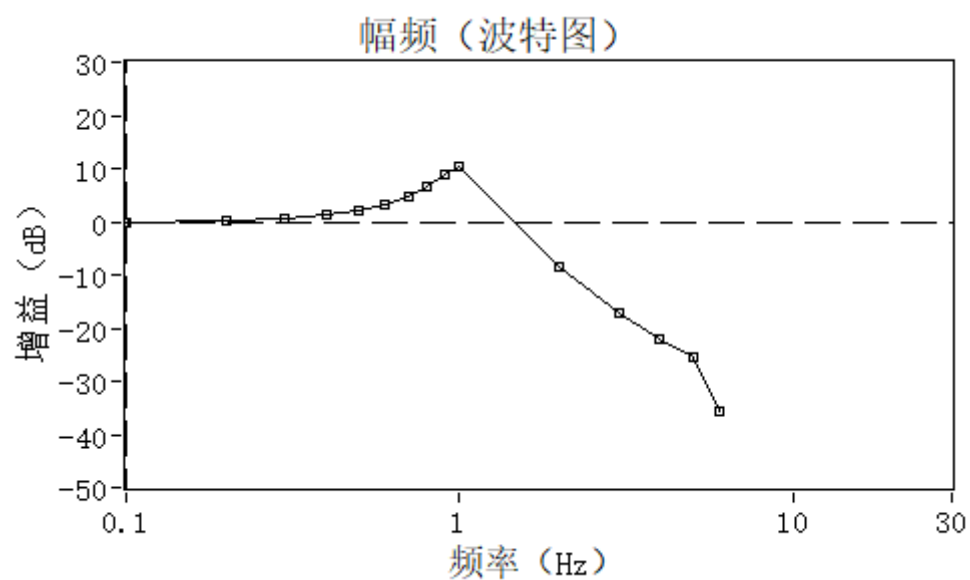


图 4 实测的原系统幅频特性曲线

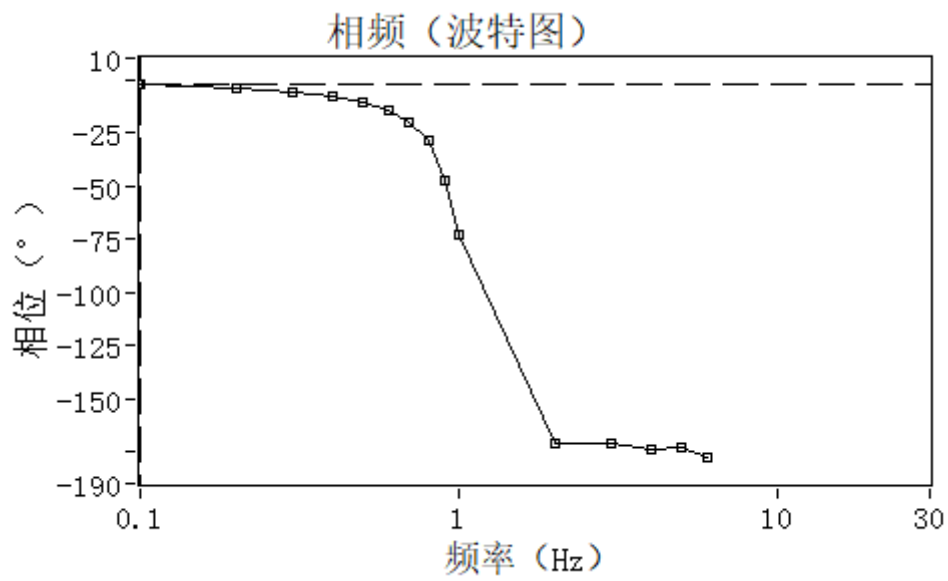


图 5 实测的原系统相频特性曲线

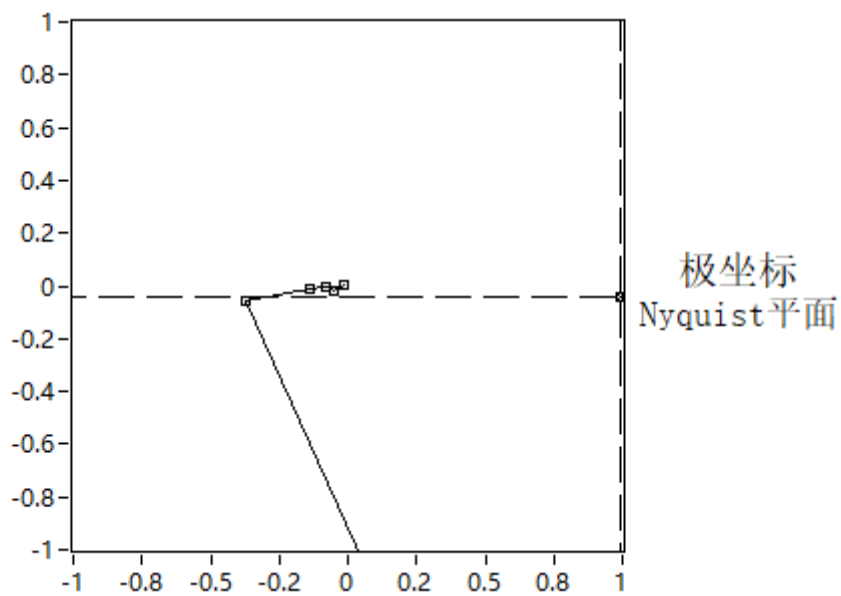


图 6 实测的原系统 Nyquist 图

校正系统

设计

$$\begin{cases} M_p = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \leq 25\% \\ t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} \leq 1s \\ K_v = \frac{\omega_n}{2\xi} \geq 25s^{-1} \end{cases}$$

取

$$\begin{cases} \xi = 0.5 \\ \omega_n = 25 \text{rad/s} \end{cases}$$

符合性能指标要求

设校正控制器函数

$$G_j(s) = K_c \frac{bs + 1}{as + 1}$$

因为使用相消法

$$b = 0.5$$

由

$$\begin{cases} \xi = \frac{1}{10\sqrt{a \cdot K_c}} \\ \omega_n = 5\sqrt{\frac{K_c}{a}} \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} K_c = 1 \\ a = 0.04 \end{cases}$$

校正控制器函数

$$G_j(s) = 1 \cdot \frac{0.5s + 1}{0.04s + 1}$$

对比校正前后的根轨迹、阶跃响应

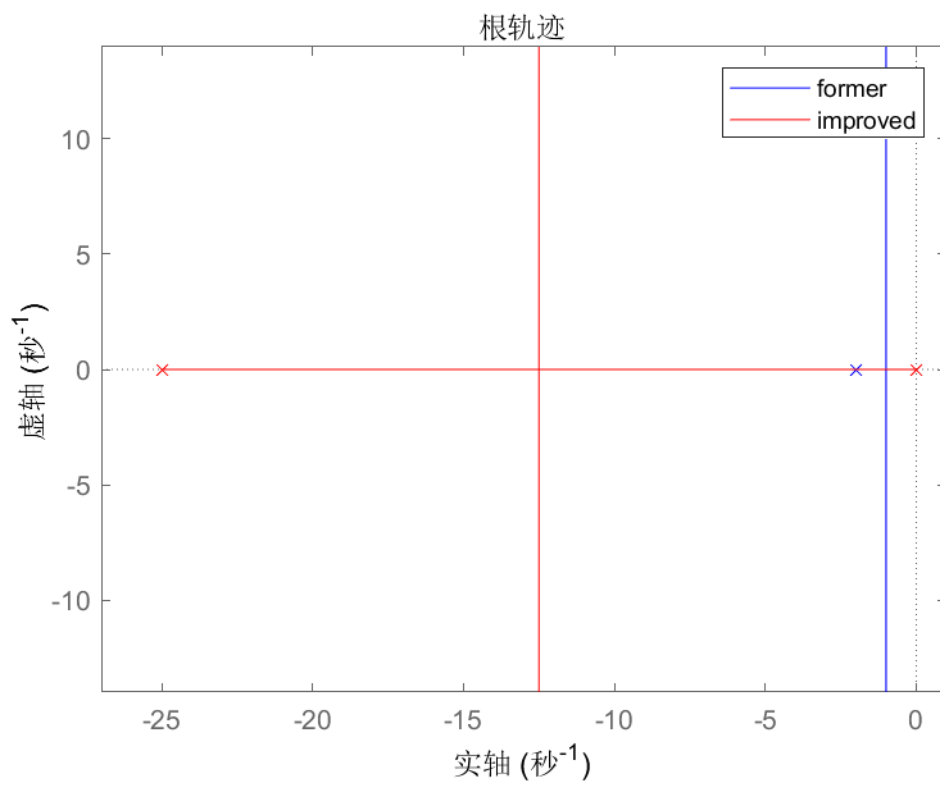


图 7 校正前后的根轨迹比较

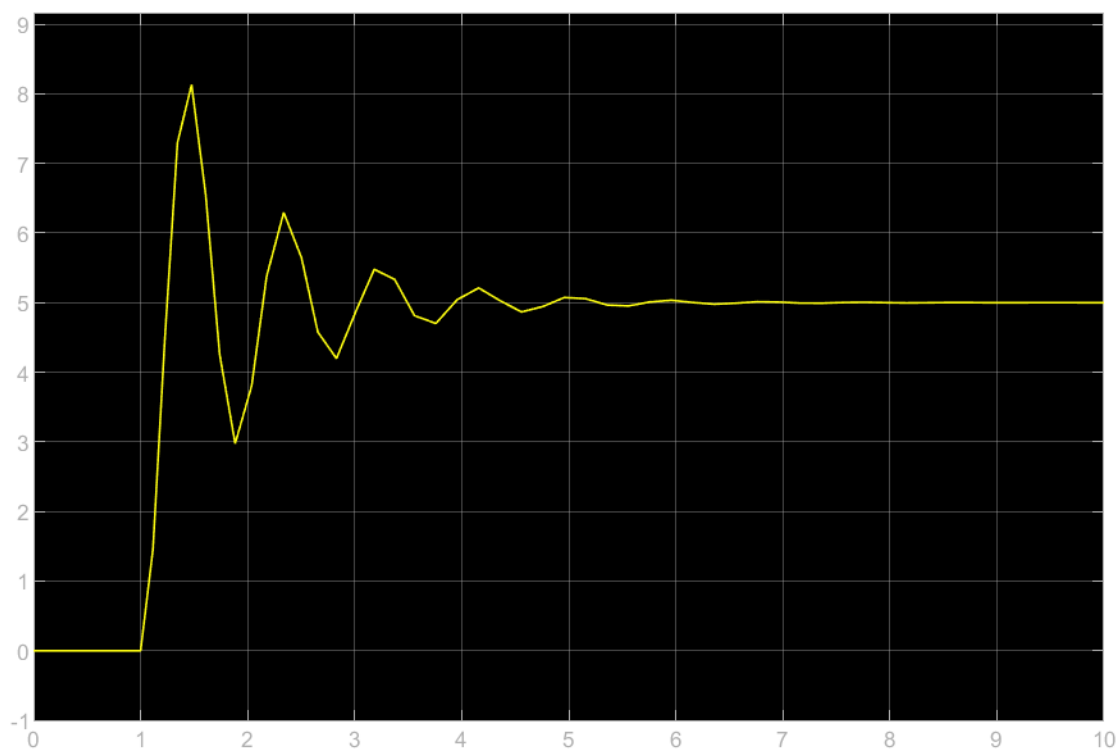


图 8 原系统阶跃响应

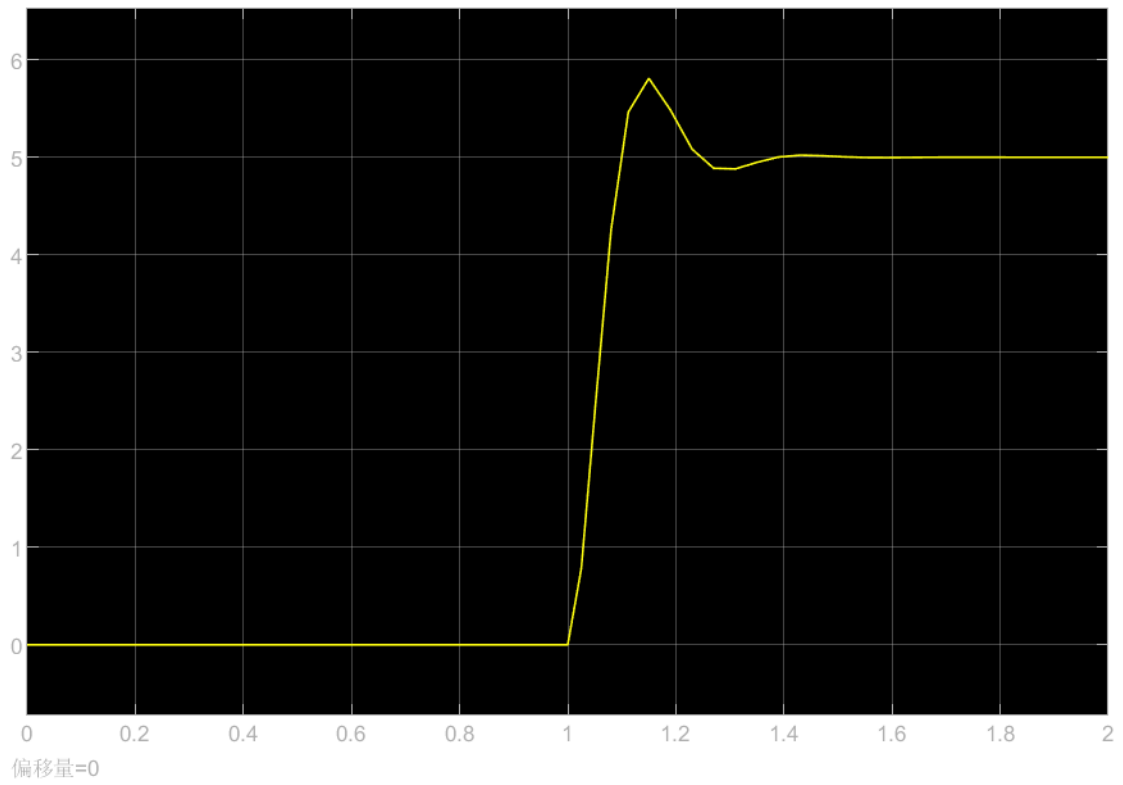


图 9 改进系统阶跃响应

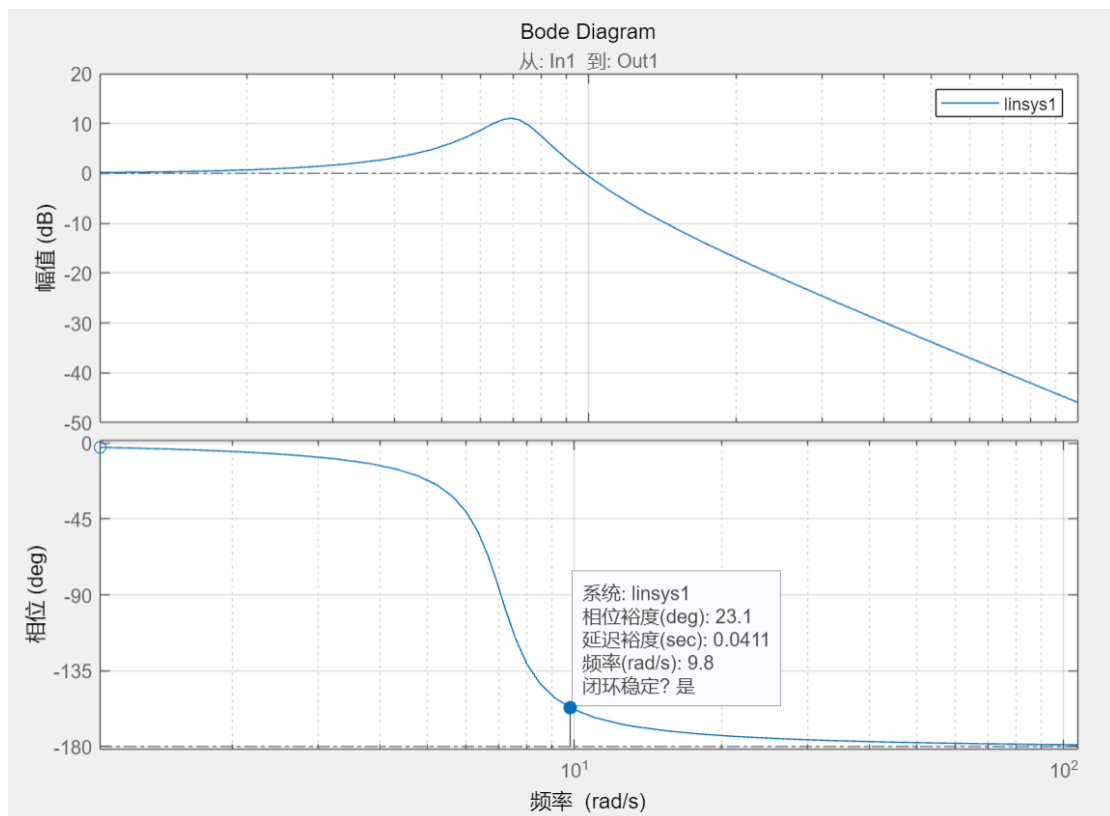


图 10 原系统伯德图

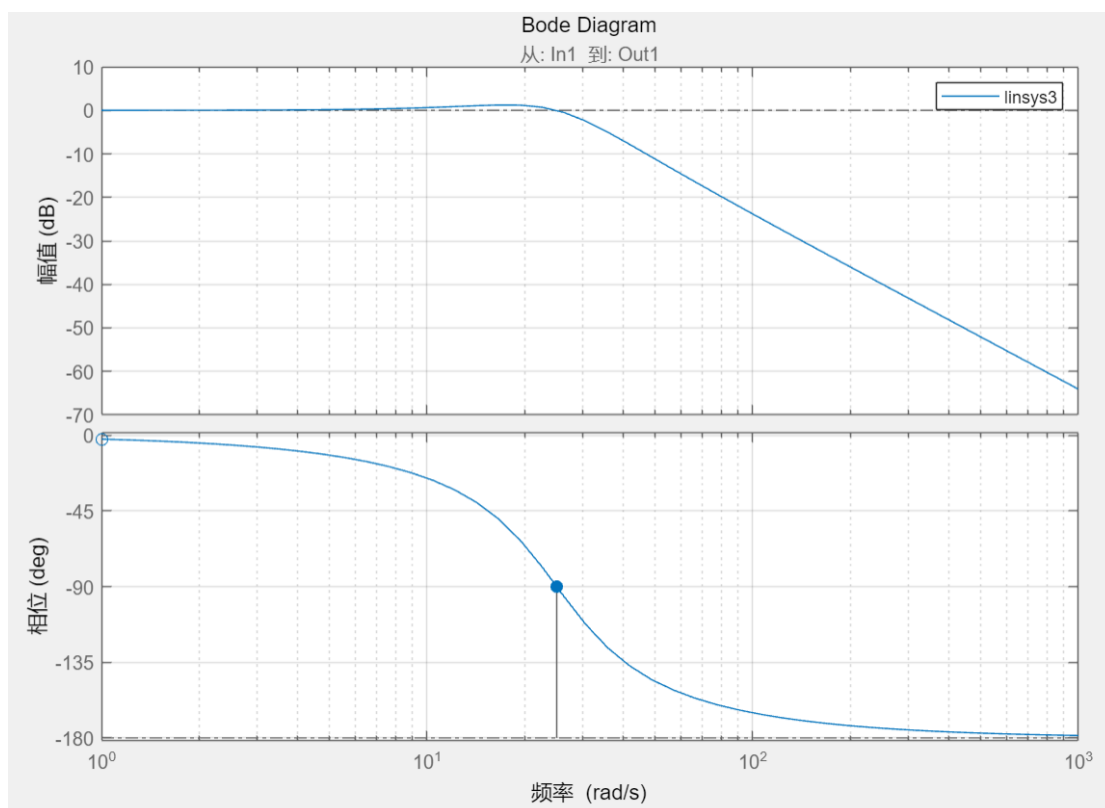


图 11 改进系统伯德图

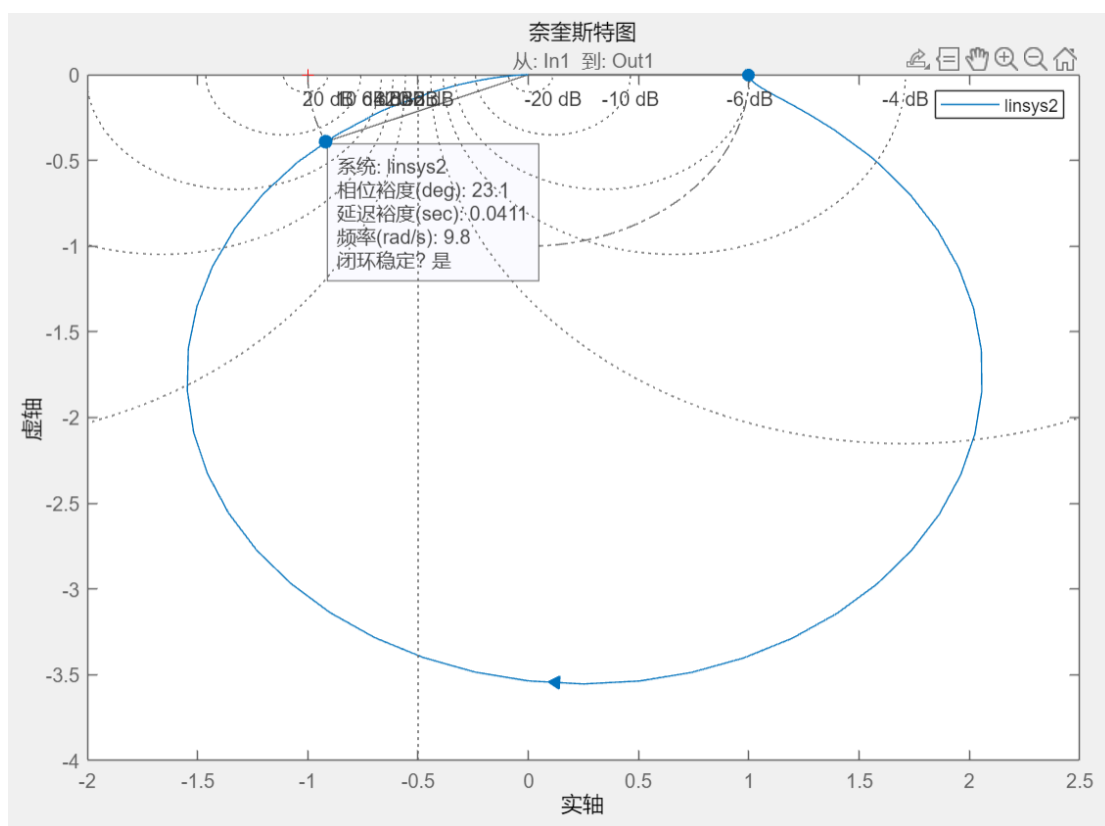


图 12 原系统乃氏图

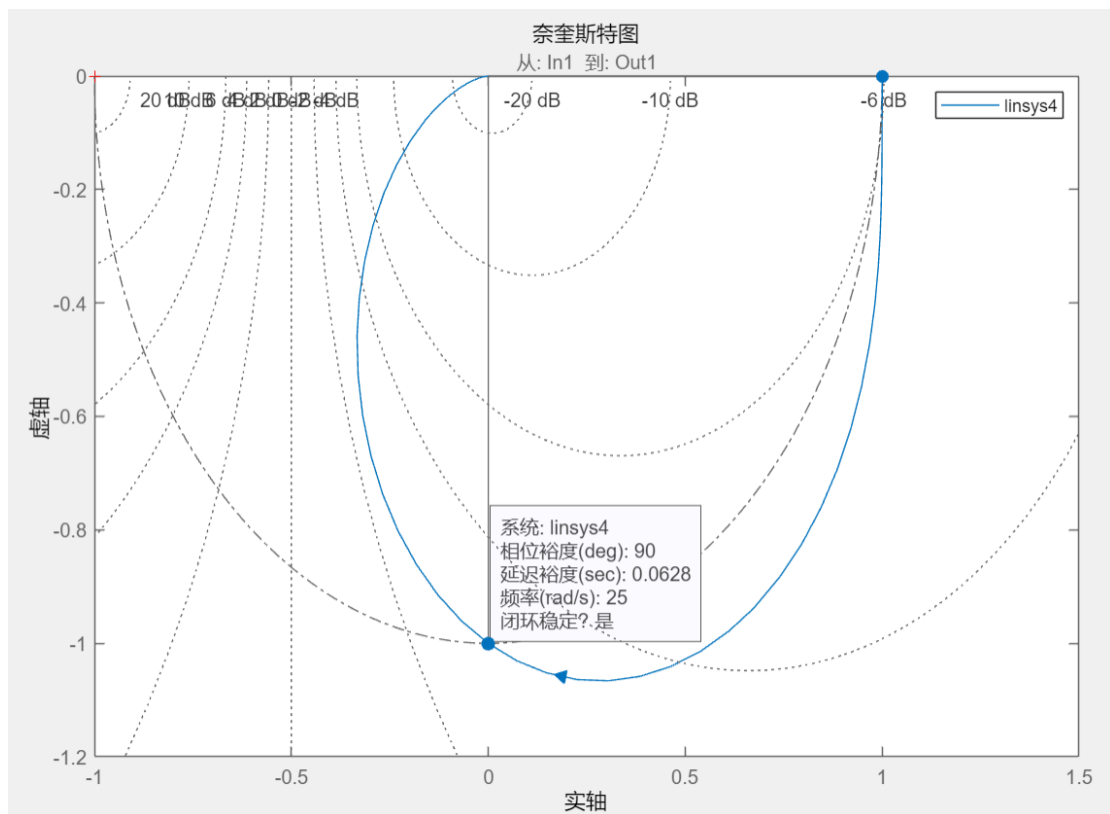
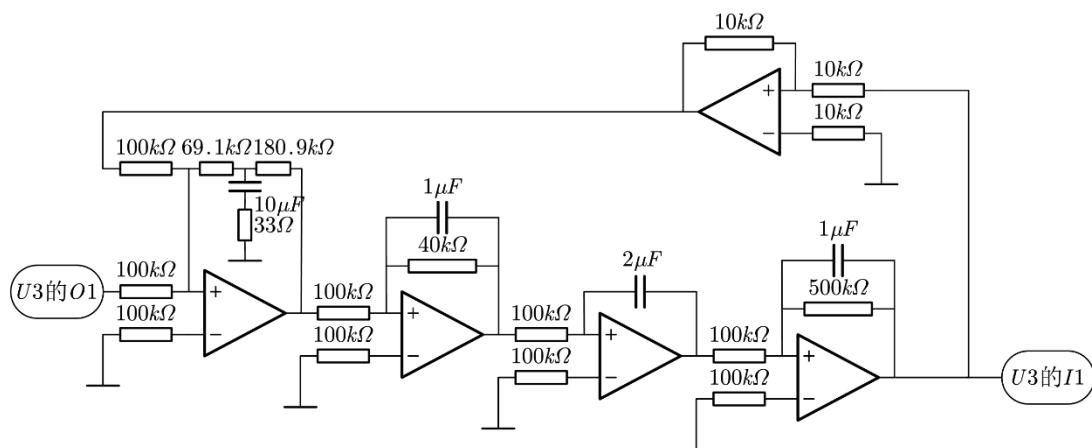


图 13 改进系统乃氏图

校正后系统的模拟电路图（G 端和 I2 已省略）



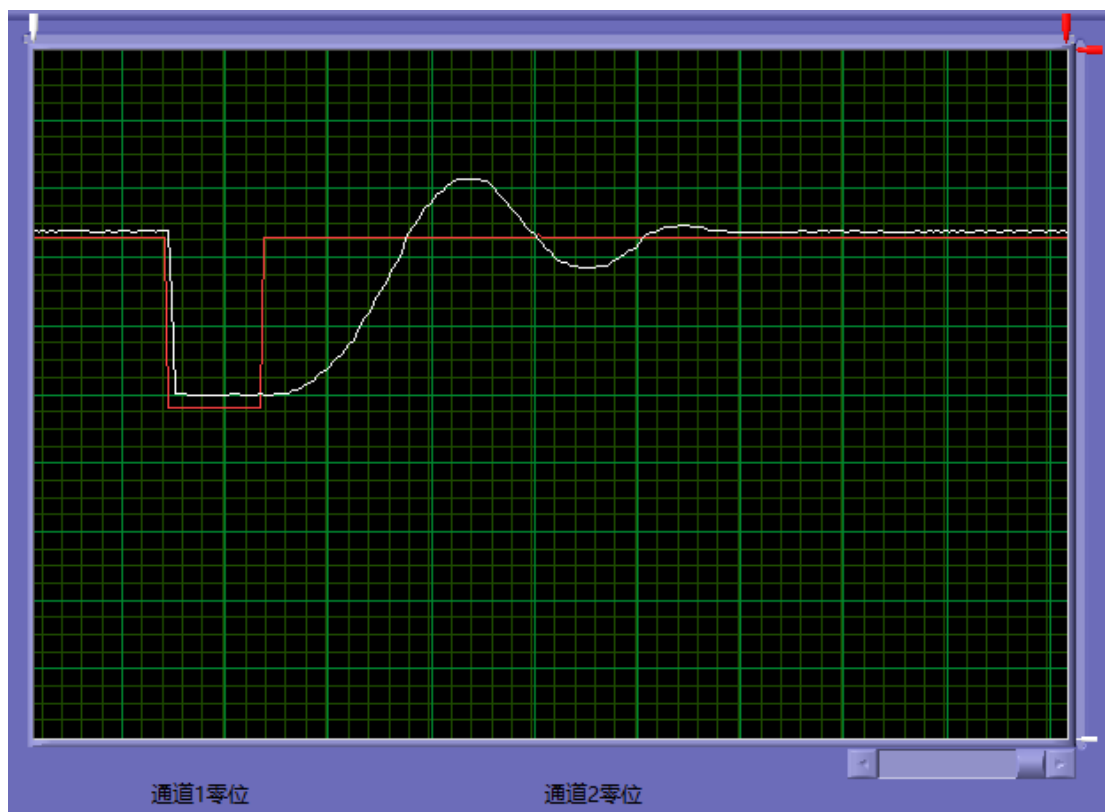


图 14 实测的校正系统时域特性曲线

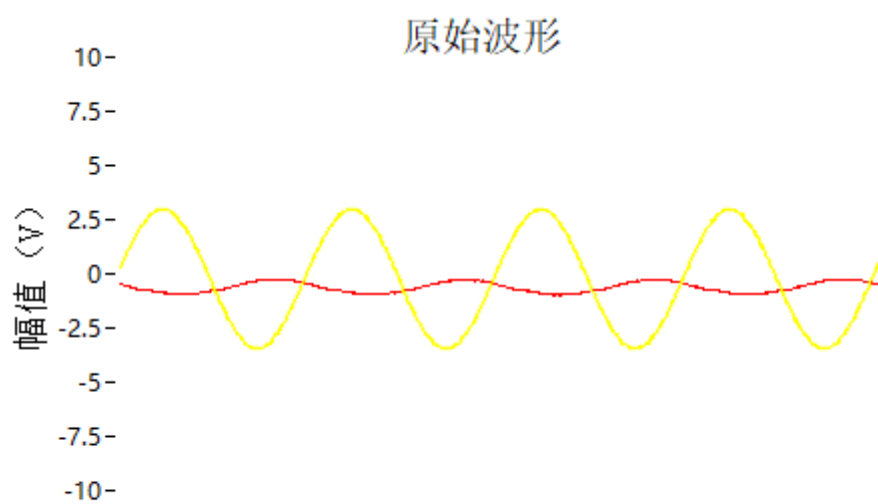


图 15 实测的校正系统频域波形

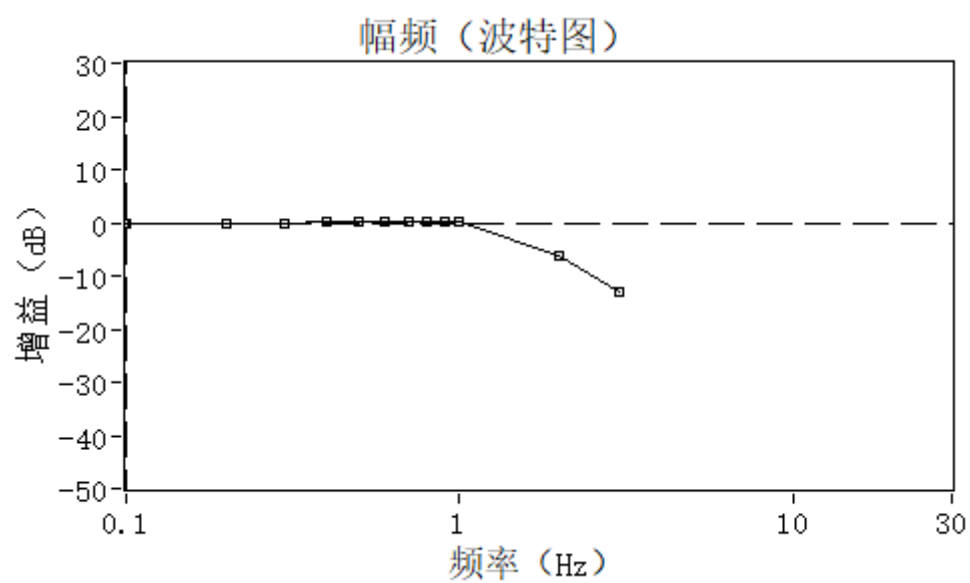


图 16 实测的校正系统幅频特性曲线

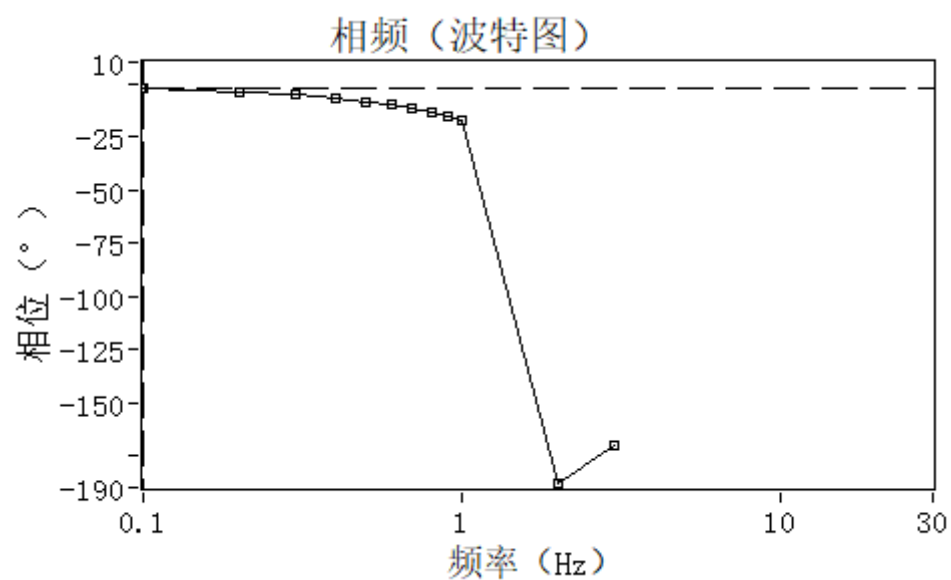


图 17 实测的校正系统相频特性曲线

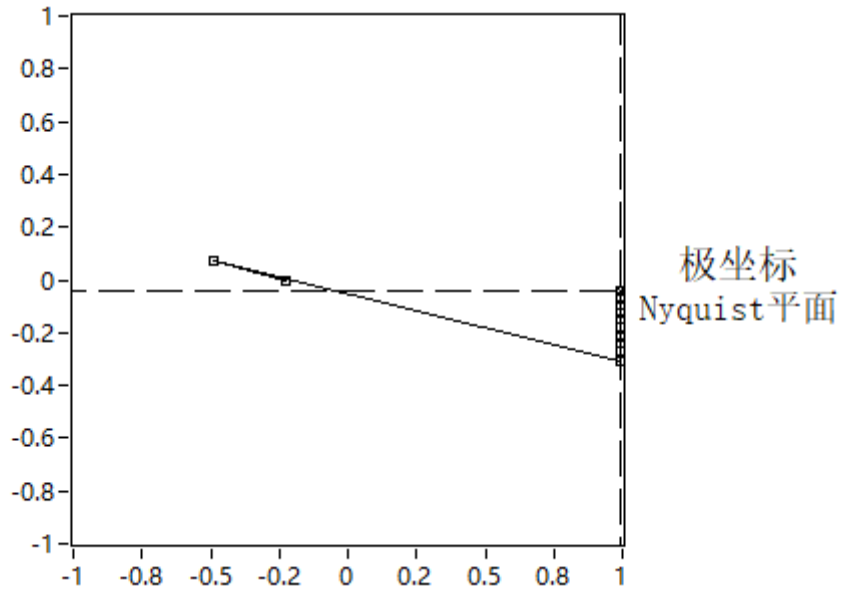


图 18 实测的校正系统 Nyquist 图

四、实验思考

通过本实验，我们对线性系统的动态特性和串联校正的作用有了更深刻的认识。其中在设计完校正环节后，实际接线过程中我们首先将校正环节接到了原来电路的后面，结果发现输出不太稳定；而在把校正环节接到前面时，输出较为稳定理想。从而我们感受到，校正装置的设计不仅需要满足理论上的性能要求，还需通过实验验证其可行性和效果。

此外，通过调试与比较，我们也体会到了参数优化和实际工程中权衡各项性能指标的重要性。