

东南大学自动化学院

实 验 报 告

课程名称： 自动控制原理实验

实验名称： Matlab/Simulink 仿真曲线

院（系）： 自动化学院 专 业： 机器人工程

姓 名： 朱峻毅 学 号： 08121217

评定成绩： 审阅教师：

实验时间：2023 年 12 月 16 日

一、实验目的

1. 学习系统数学模型的多种表达方法，并会用函数相互转换。
2. 学习模型串并联及反馈连接后的系统传递函数。
3. 掌握系统 BODE 图，根轨迹图及奈奎斯特曲线的绘制方法。并利用其对系统进行分析。
4. 掌握系统时域仿真的方法，并利用其对系统进行分析。

二、预习要求

参阅相关 Matlab/Simulink 参考书，熟悉能解决题目问题的相关 Matlab 函数。

三、实验内容

1. 已知 $H(s) = \frac{0.05s+1}{(0.2s+1)(0.1s+1)}$ ，求 $H(s)$ 的零极点表达式和状态空间表达式。

零极点表达式：调用 tf2zp(num, den) 求出 $H(s)$ 的零极点表达式为

$$P = [-10 \quad -5] \quad Z = [-20]$$

状态空间表达式：调用 tf2ss(num, den) 求出 $H(s)$ 的状态空间表达式为

$$A = \begin{bmatrix} -15 & -50 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$
$$C = [2.5 \quad 50] \quad D = [0]$$

2. 已知 $H_1(s) = \frac{s+5}{s(s+1)(s+2)}$ ， $H_2(s) = \frac{1}{s+1}$ 。

$$num = (b_m \cdots b_1, b_0), den = (a_n \cdots a_1, a_0), sys = tf(num, den) \rightarrow sys = \frac{b_mx^m + \cdots + b_1x + b_0}{a_nx^n + \cdots + a_1x + a_0}$$

(1) 求两模型串联后的系统传递函数。

$$H(s) = H_1(s) \times H_2(s) = \frac{s+5}{s(s+1)(s+2)} \times \frac{1}{s+1} = \frac{s+5}{s(s+1)^2(s+2)}$$

(2) 求两模型并联后的系统传递函数。

$$H(s) = H_1(s) + H_2(s) = \frac{s+5}{s(s+1)(s+2)} + \frac{1}{s+1} = \frac{s^2 + 3s + 5}{s(s+1)(s+2)}$$

(3) 求两模型在负反馈连接下的系统传递函数。

$$H(s) = \frac{H_1(s)}{1 + H_1(s) \times H_2(s)} = \frac{\frac{s+5}{s(s+1)(s+2)}}{1 + \frac{s+5}{s(s+1)^2(s+2)}} = \frac{s^2 + 6s + 5}{s^4 + 4s^3 + 5s^2 + 3s + 5}$$

$$H(s) = \frac{H_2(s)}{1 + H_1(s) \times H_2(s)} = \frac{\frac{1}{s+1}}{1 + \frac{s+5}{s(s+1)^2(s+2)}} = \frac{s^3 + 3s^2 + 2s}{s^4 + 4s^3 + 5s^2 + 3s + 5}$$

3. 作出上题中 (1) 的 BODE 图 (注意是串联后的系统)，并给出幅值裕度与相位裕度。

调用 bode(sys)、margin(sys) 画出传递函数的伯德图并标出稳定裕度：

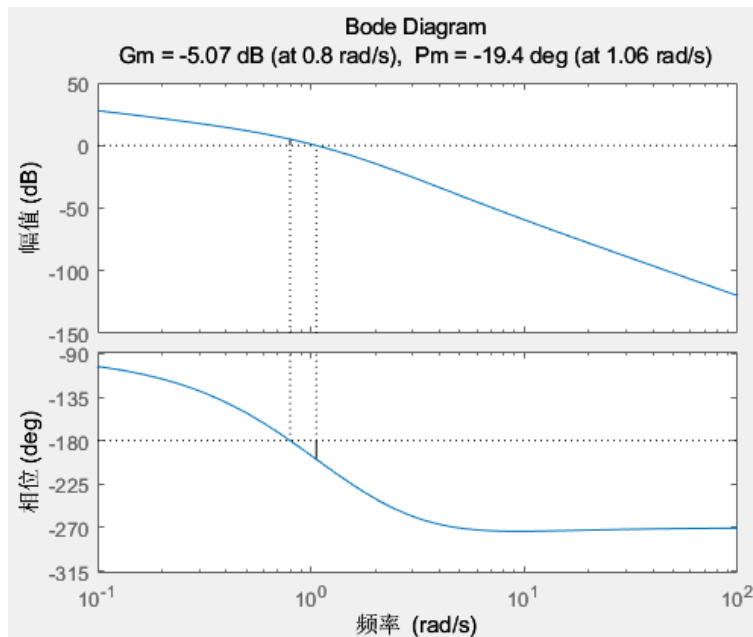


图 1 传递函数的 BODE 图

4. 给定系统开环传递函数为 $G(s) = \frac{K}{(s+2)(s^2+2s+5)}$ ，绘制系统的根轨迹图与奈奎斯特曲线，并求出系统稳定时的增益 K 的范围。

$K > 0$: 调用 `rlocus(sys, 0:0.01:100)`、`nyquist(sys, 0:0.01:100)` 绘制 $K > 0$ 时的根轨迹图和奈奎斯特图

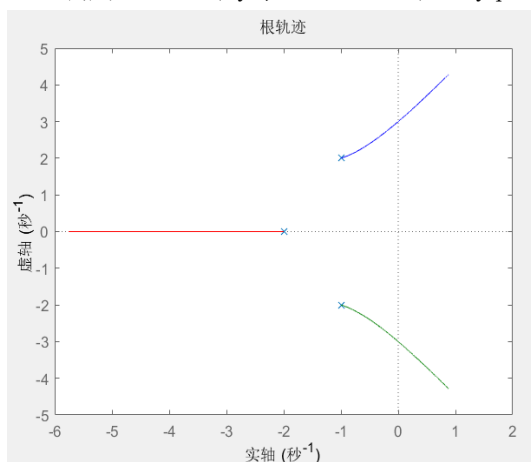


图 2_1 $K > 0$ 时的根轨迹图

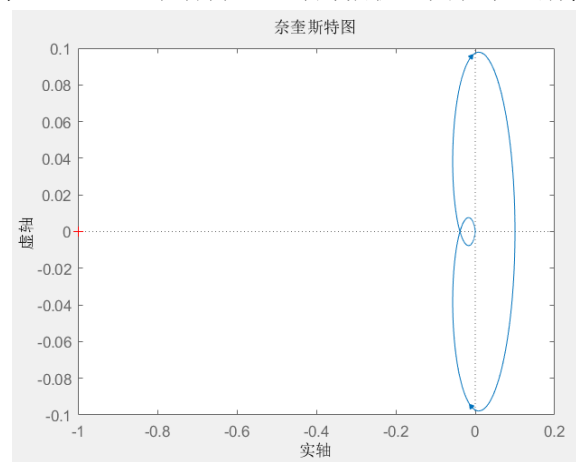


图 2_2 $K > 0$ 时的奈奎斯特图

$K < 0$: 调用 `rlocus(sys, -100:0.01:0)`、`nyquist(sys, -100:0.01:0)` 绘制 $K < 0$ 时的根轨迹图和奈奎斯特图

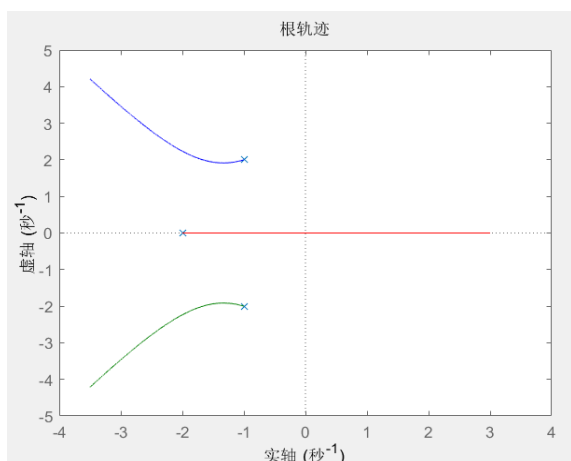


图 2_3 K<0 时的根轨迹图

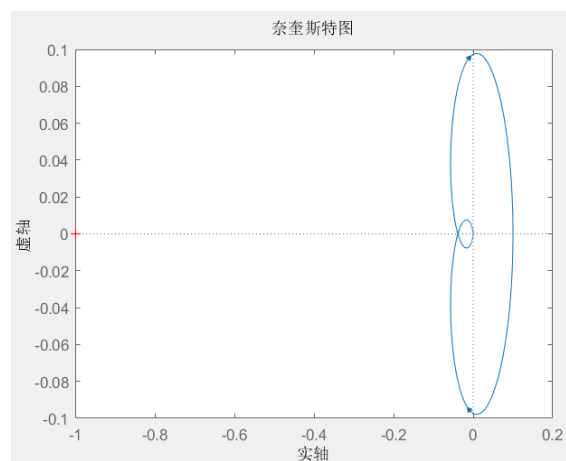


图 2_4 K<0 时的根轨迹图

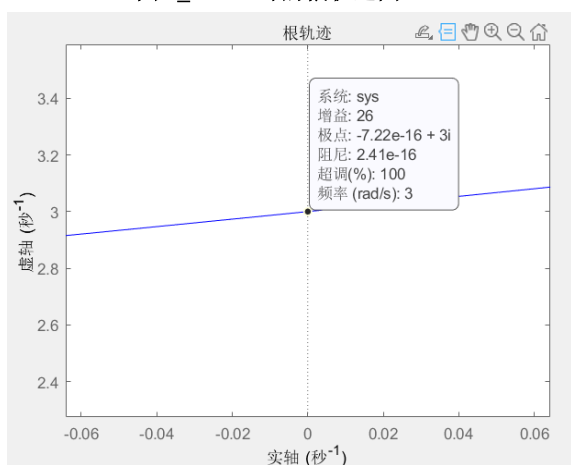


图 2_5 K>0 时的根轨迹和虚轴的交点

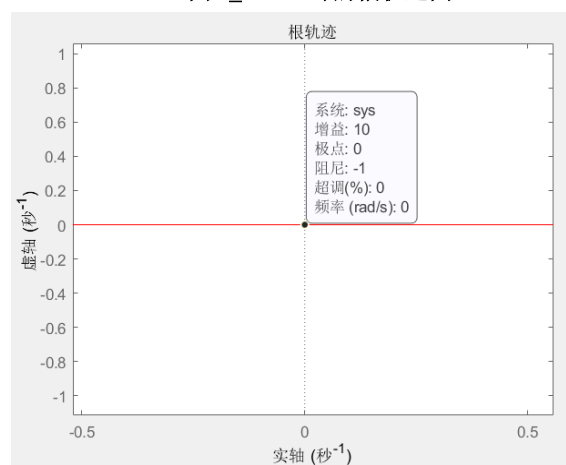


图 2_6 K<0 时的根轨迹和虚轴的交点

5. 对内容 4 中的系统，当 K=10 和 40 时，分别作出闭环系统的阶跃响应曲线，要求用 Simulink 实现。

在 Simulink 中建立控制系统模型，将增益分别设置为 10 和 40，响应曲线如下。观察实验结果，K=10 时系统稳定，K=40 时系统振荡，符合 4 中所得系统稳定时 K 的取值范围。

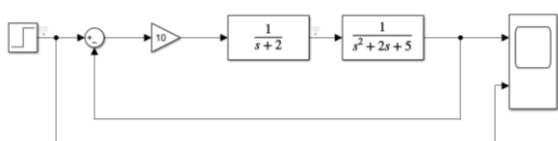


图 3_1 K=10 时的系统

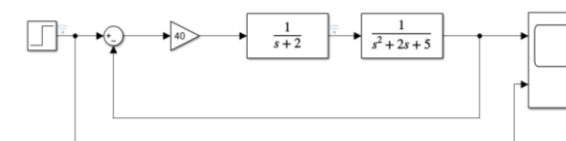


图 3_2 K=40 时的系统

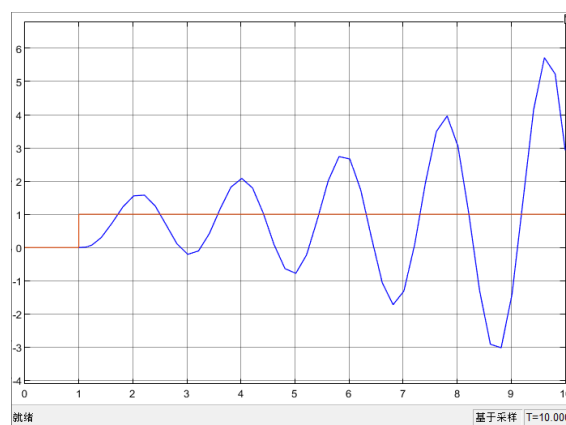
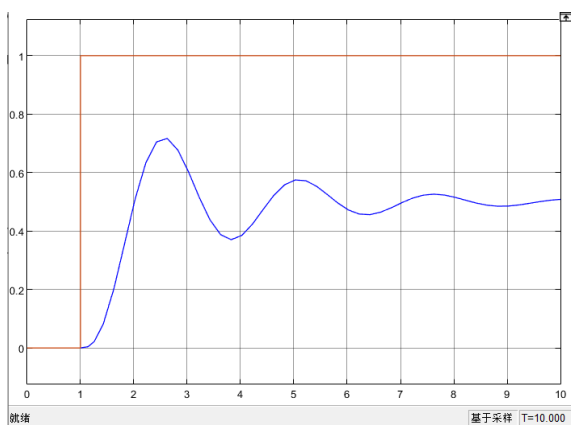


图 3_3 K=10 时的阶跃响应曲线

图 3_4 K=40 时的阶跃响应曲线

6. 仿真系统与实际系统存在差异性，请从运放的非线性角度出发（饱和特性、死区特性、时延特性）等方面，在题 5 中 K=10 的情况下，对仿真系统进行“逼真性”改造，观察控制效果。也可就非线性控制谈一谈你的理解。（加分题）

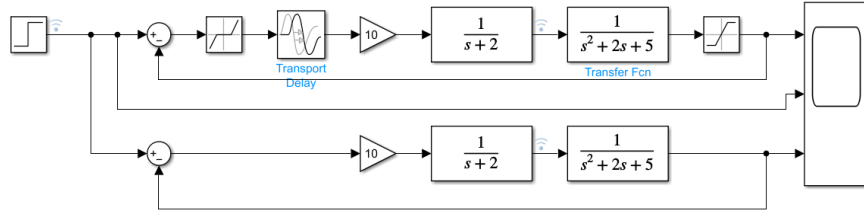


图 4_1 “逼真性”改造后的系统

饱和特性：添加 Saturation 模块，设置饱和上限和下限，模拟运放的饱和特性。观察仿真结果，加入饱和特性后，超出饱和上限/下限的输出会被限制，导致出现削顶失真。



图 4_2 加入(-0.6,0.6)的饱和特性

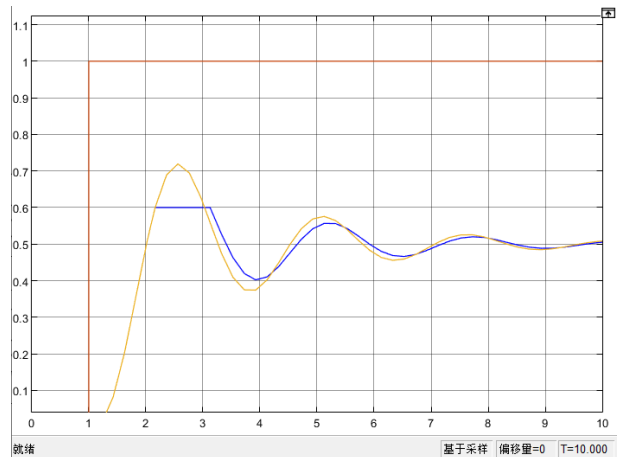


图 4_3 加入饱和特性后的输出

死区特性：添加 Dead Zone 模块，设置死区起点和终点，模拟运放的死区特性。观察仿真结果，加入死区特性后，在死区范围内的微小偏差被忽略，无法对系统进行调节，导致输出结果偏小。



图 4_4 加入(-0.1,0.1)的死区特性

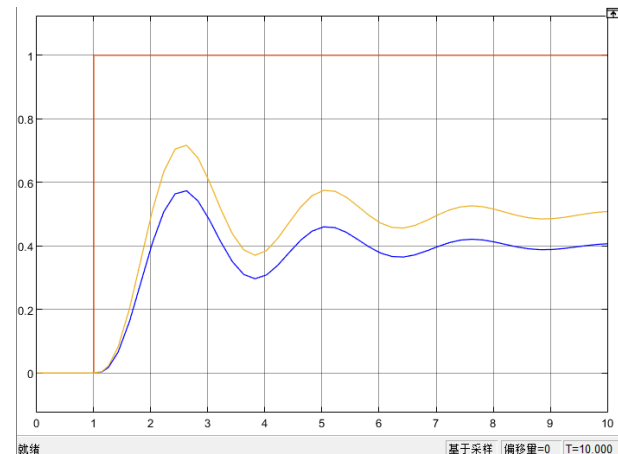


图 4_5 加入死区特性后的输出

时延特性：添加 Transport Delay 模块，设置时滞参数，模拟运放的时延特性。观察仿真结果，加入时延特性后，反馈信号经过延迟后传送到输入端，导致收敛速度变慢。

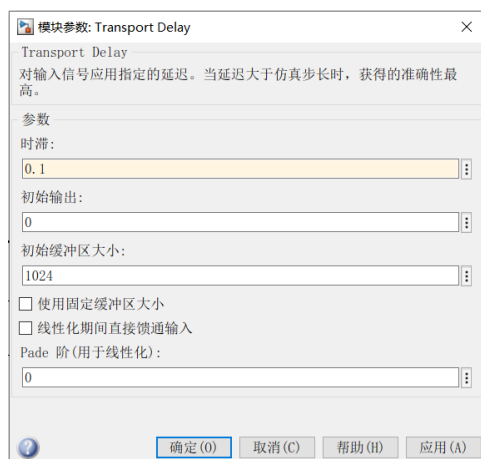


图 4_6 加入 0.5s 的时延特性

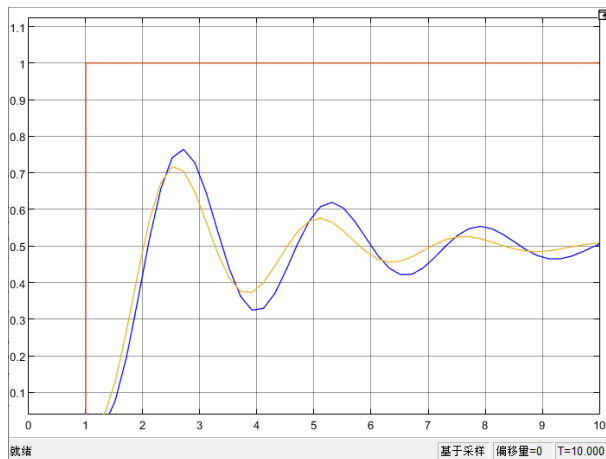


图 4_7 加入时延特性后的输出

四、实验总结

本次实验中，我利用 MATLAB 相关函数，对已知传递函数的系统进行了分析，完成了伯德图、奈奎斯特图和根轨迹图的绘制，并且通过伯德图计算了系统的稳定裕度，通过根轨迹图判断了系统的稳定性，加深了对理论知识的认识与理解。此外，考虑到实际系统与仿真系统间存在差异，我加入死区特性、饱和特性和时延特性，完成了仿真系统的“逼真性”改造，并对非线性特性对实验结果的影响和原因进行了分析，加深了对实际系统的认识与理解。