东南大学自动控制实验室

实 验 报 告

课程名称： 自动控制原理

实验名称： 实验三 Matlab/Simulink 仿真实验

院（系）： 自动化 **专 业：** 自动化

姓 名： 陈鲲龙 **学 号：** 08022311

实验时间： 2024.12.8 **评定成绩：**

审阅教师：

目录

实验三 Matlab/Simulink 仿真实验

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、实验内容

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

代码：

```
clc,clear,close all%08022311
% 定义传递函数
num = [0.05, 1];  % 分子系数
den = [0.02, 0.3, 1];  % 分母系数，展开为 0.2s^2 + 0.3s + 1
% 创建传递函数对象
H = tf(num, den);
% 通过 tf2zp 函数将传递函数转为零极点增益形式
[z, p, k] = tf2zp(num, den);  % 返回零点、极点和增益
% 显示零点、极点和增益
disp('零点：');
disp(z);  % 显示零点
disp('极点：');
disp(p);  % 显示极点
disp('增益：');
disp(k);  % 显示增益
% 转换为状态空间形式
sys_ss = ss(H);  % 转换为状态空间
% 显示状态空间矩阵
disp('状态空间表达式：');
disp('A = ');
disp(sys_ss.A);
disp('B = ');
disp(sys_ss.B);
disp('C = ');
disp(sys_ss.C);
disp('D = ');
disp(sys_ss.D);
```

结果：

```
1    clc,clear,close all%08022311
```

命令行窗口

```
零点:
   -20

极点:
   -10
    -5

增益:
    2.5000

状态空间表达式:
A =
  -15.0000   -6.2500
    8.0000         0

B =
     4
     0

C =
    0.6250    1.5625

D =
     0
```

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

（1） 求两模型串联后的系统传递函数。

（2） 求两模型并联后的系统传递函数。

（3） 求两模型在负反馈连接下的系统传递函数。

手算：

$H_1(s)=\dfrac{s+5}{s(s+1)(s+2)}$ $\quad H_2(s)=\dfrac{1}{s+1}$

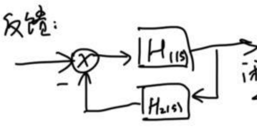
1° 串联 $H_1(s)*H_2(s)=\dfrac{s+5}{s(s+1)^2(s+2)}=\dfrac{s+5}{s^4+4s^3+5s^2+2s}$ [1, 5] [1, 4, 5, 2, 0]

2° 并联 $H_1(s)+H_2(s)=\dfrac{s+5}{s(s+1)(s+2)}+\dfrac{1}{s+1}=\dfrac{(s+5)(s+1)+s(s+1)(s+2)}{s(s+1)^2(s+2)}$

※不可通分、约分.

$=\dfrac{s^3+4s^2+8s+5}{s^4+4s^3+5s^2+2s}$ [1, 4, 8, 5] [1, 4, 5, 2, 0]

3° 负反馈：



闭环传函 $=\dfrac{H_1(s)}{1+\underbrace{H_1(s)\cdot H_2(s)}_{\text{开环传函}}}=\dfrac{\frac{s+5}{s(s+1)(s+2)}}{1+\frac{s+5}{s(s+1)^2(s+2)}}$

$=\dfrac{(s+5)(s+1)}{s(s+1)^2(s+2)+s+5}=\dfrac{s^2+6s+5}{s^4+4s^3+5s^2+3s+5}$ [1, 6, 5] [1, 4, 5, 3, 5]

Matlab 验证：

代码：

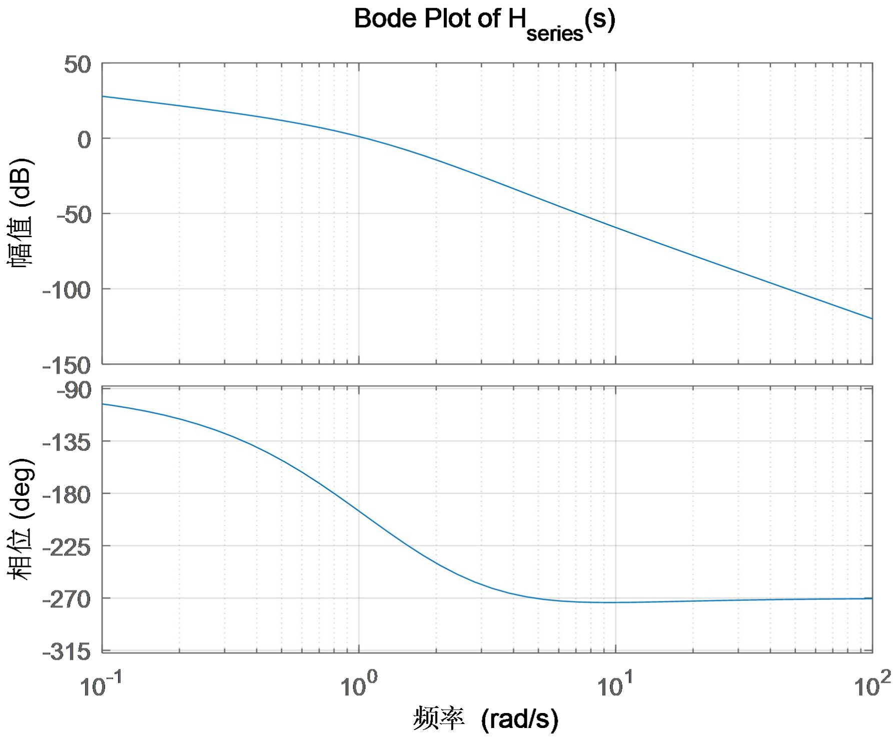
```matlab
%% (2)
% 定义传递函数 H1(s) 和 H2(s)
H1 = tf([1, 5], conv([1,0],conv([1,1],[1,2])));  % (s+5)/s(s+1)(s+2)
H2 = tf(1, [1, 1]);  % 1/(s+1)
% (1) 串联
H_series = series(H1, H2);
disp('串联传递函数:');
disp(H_series);
% (2) 并联
H_parallel = parallel(H1, H2);
disp('并联传递函数:');
disp(H_parallel);
% (3) 负反馈
H_feedback = feedback(H1, H2);  % 默认反馈为单位反馈
disp('负反馈传递函数:');
disp(H_feedback);
```

结果：

```
命令行窗口
串联传递函数:
  tf - 属性:

      Numerator: {[0 0 0 1 5]}
    Denominator: {[1 4 5 2 0]}
       Variable: 's'

并联传递函数:
  tf - 属性:

      Numerator: {[0 1 4 8 5]}
    Denominator: {[1 4 5 2 0]}
       Variable: 's'

负反馈传递函数:
  tf - 属性:

      Numerator: {[0 0 1 6 5]}
    Denominator: {[1 4 5 3 5]}
       Variable: 's'
```

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。

Bode 图：



参数：

```
警告: 闭环系统不稳定。
> 位置: DynamicSystem/margin (第 77 行)
位置: sy3_1_08022311 (第 52 行)
系统裕度信息:
幅值裕度（Gain Margin, GM）: -5.07 dB
相位裕度（Phase Margin, PM）: -19.37 degrees
幅值交越频率（Gain Crossover Frequency, Wcg）: 0.80 rad/s
相位交越频率（Phase Crossover Frequency, Wcp）: 1.06 rad/s
```

代码：

```
%% (3)
% 绘制Bode图
figure;
bode(H_series);
grid on;
title('Bode Plot of H_{series}(s)');
% 求幅值裕度（Gain Margin, GM）和相位裕度（Phase Margin, PM）
[GM, PM, Wcg, Wcp] = margin(H_series);
% 将幅值裕度和相位裕度转换为分贝
GM_dB = 20 * log10(GM);
% 输出裕度信息
disp('系统裕度信息:');
fprintf('幅值裕度（Gain Margin, GM）: %.2f dB\n', GM_dB);
fprintf('相位裕度（Phase Margin, PM）: %.2f degrees\n', PM);
fprintf('幅值交越频率（Gain Crossover Frequency, Wcg）: %.2f rad/s\n', Wcg);
fprintf('相位交越频率（Phase Crossover Frequency, Wcp）: %.2f rad/s\n', Wcp);
```

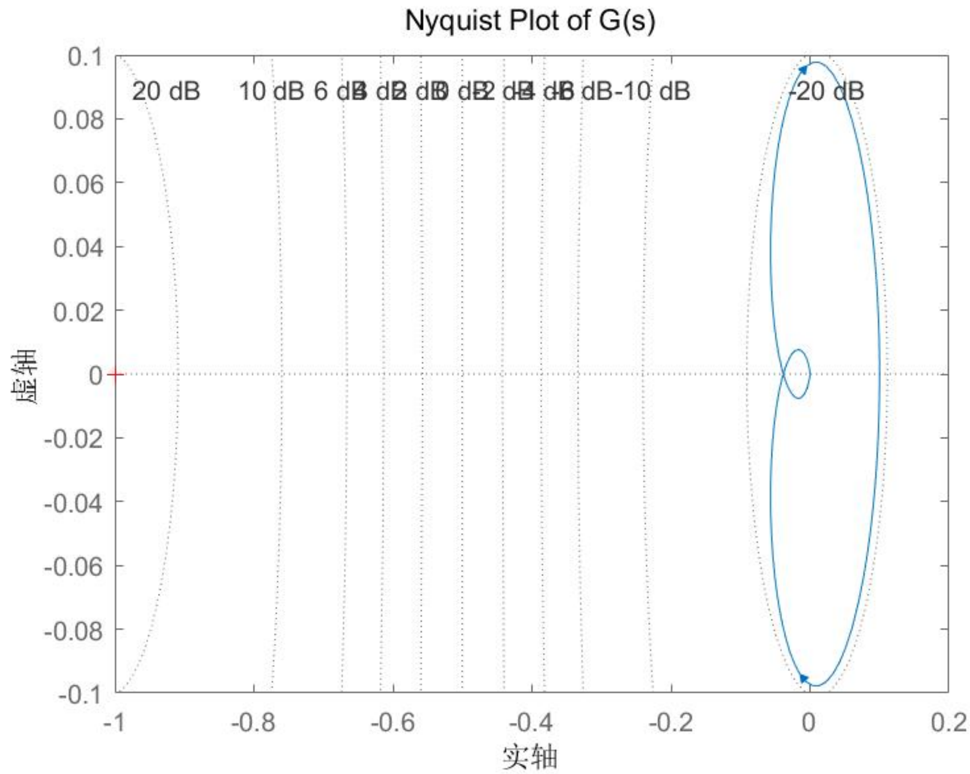
4．给定系统开环传递函数为$G(s)=\dfrac{K}{(s+2)(s^2+2s+5)}$，绘制系统的根轨迹图与奈奎斯特曲线，并求出系统稳定时的增益 K 的范围。

代码：

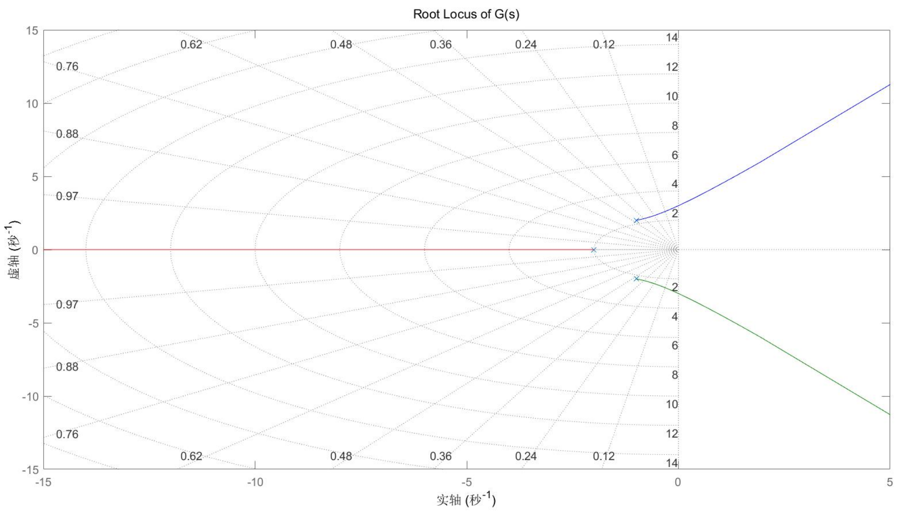
```
%% (4)
% 定义开环传递函数 G(s)
numerator = 1;                  % 分子系数 K 作为比例放在外部分析
denominator = conv([1, 2], [1, 2, 5]);  % 分母 (s+2)(s^2+2s+5)
G = tf(numerator, denominator);
% 绘制根轨迹图
figure;
rlocus(G);  % 根轨迹
title('Root Locus of G(s)');
grid on;
% 绘制奈奎斯特曲线
figure;
nyquist(G);
title('Nyquist Plot of G(s)');
grid on;
% 求稳定时增益 K 的范围
% 使用 rlocus 找特征根实部的符号变化
[~, poles] = rlocus(G);
real_poles = real(poles);  % 提取极点实部
% 判断稳定性，找所有实部小于 0 时的增益 K
stable_gains = rlocus(G);  % 获取所有增益范围对应的极点
% 输出结果
disp('根据根轨迹分析系统稳定时的增益范围:');
disp('K 的值满足系统稳定的条件。可以通过图观察细节。');
```

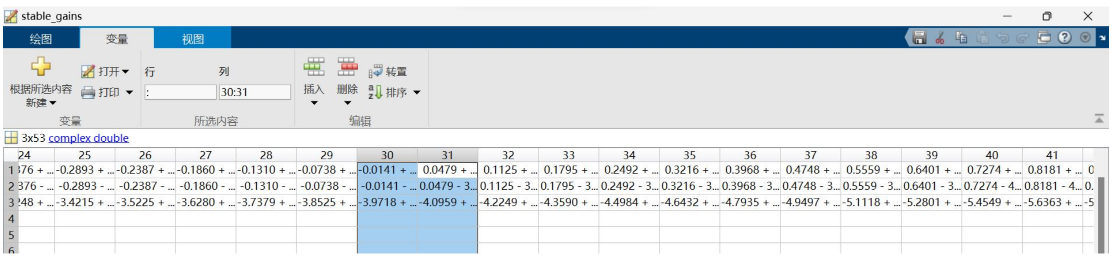
奈奎斯特曲线：

从程序结果来看，增益在 30-31 时跨过了虚轴，所以 K<30



根轨迹图：





	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
1	76 + ...	-0.2893 + ...	-0.2387 + ...	-0.1860 + ...	-0.1310 + ...	-0.0738 + ...	-0.0141 + ...	0.0479 + ...	0.1125 + ...	0.1795 + ...	0.2492 + ...	0.3216 + ...	0.3968 + ...	0.4748 + ...	0.5559 + ...	0.6401 + ...	0.7274 + ...	0.8181 + ...
2	376 - ...	-0.2893 - ...	-0.2387 - ...	-0.1860 - ...	-0.1310 - ...	-0.0738 - ...	-0.0141 - ...	0.0479 - 3...	0.1125 - 3...	0.1795 - 3...	0.2492 - 3...	0.3216 - 3...	0.3968 - 3...	0.4748 - 3...	0.5559 - 3...	0.6401 - 3...	0.7274 - 4...	0.8181 - 4...
3	48 + ...	-3.4215 + ...	-3.5225 + ...	-3.6280 + ...	-3.7379 + ...	-3.8525 + ...	-3.9718 + ...	-4.0959 + ...	-4.2249 + ...	-4.3590 + ...	-4.4984 + ...	-4.6432 + ...	-4.7935 + ...	-4.9497 + ...	-5.1118 + ...	-5.2801 + ...	-5.4549 + ...	-5.6363 + ...

从程序结果来看，增益在 30-31 时跨过了虚轴，所以 K<30

不过手算结果为 K<26：

sys 特征方程: $1+\frac{K}{(s+2)(s^2+2s+3)}=0$ $K>0$

即 $s^3+2s^2+3s+2s^2+4s+10+K=0$

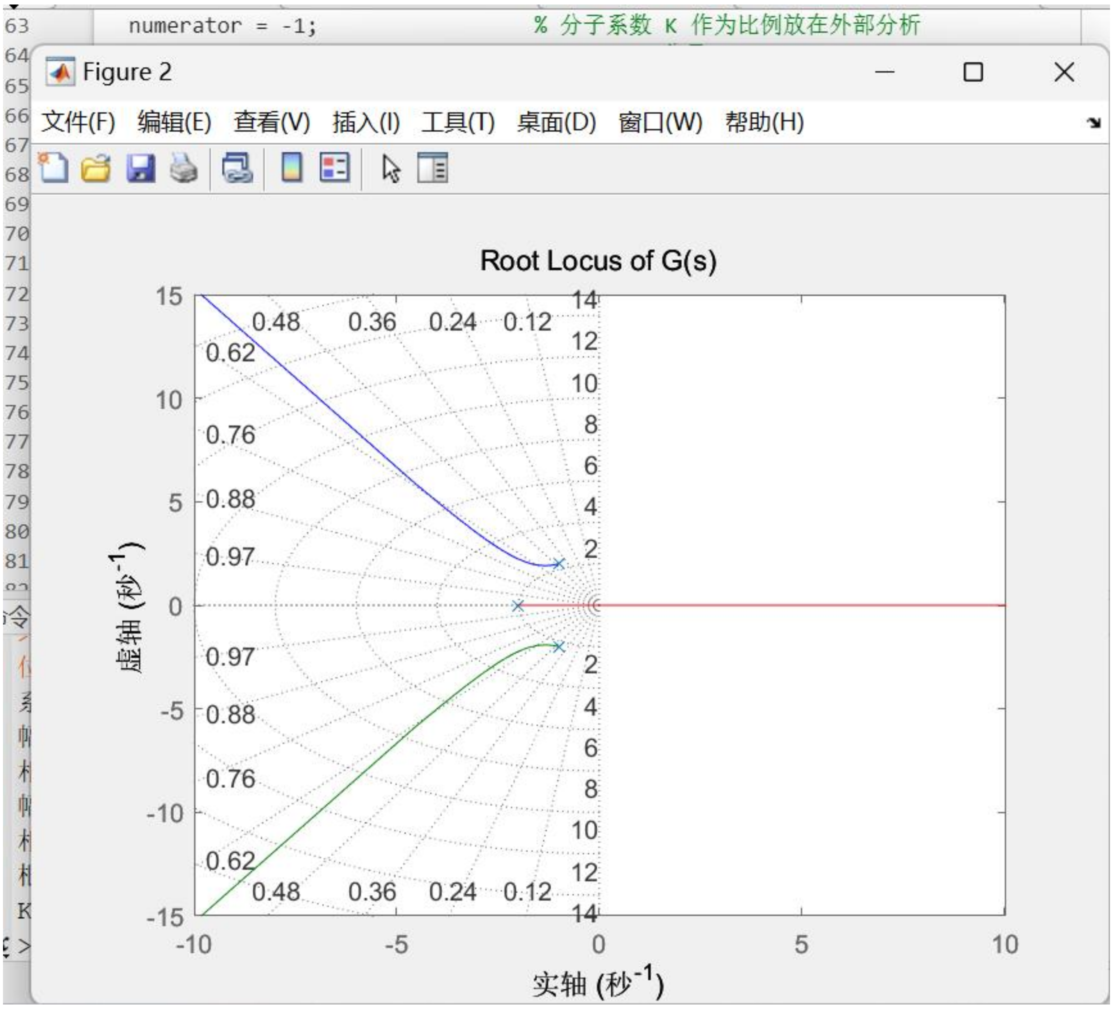
即 $s^3+4s^2+9s+(10+K)=0$

$$\begin{array}{c|cc} s^3 & 1 & 9 \\ s^2 & 4 & 10+K \\ s^1 & \frac{\overset{26}{\cancel{36-10}}-K}{4} & 0 \\ s^0 & 10+K & \end{array}$$

∴ 使 sys 稳定: $K<26$

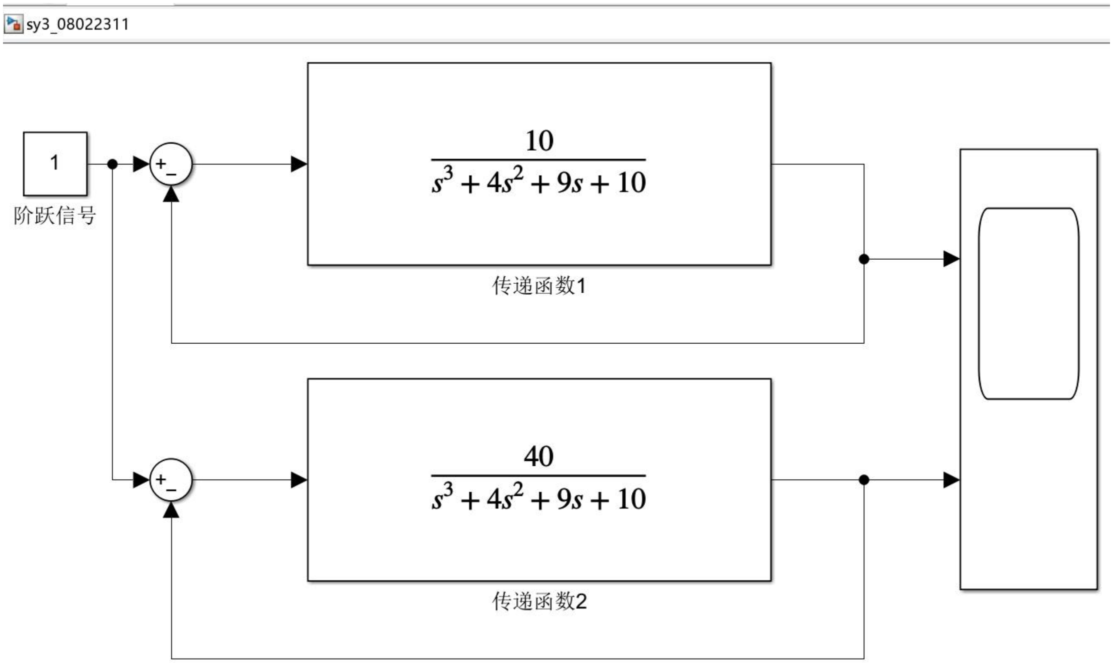
劳斯判据最后一行体现 K>-10，所以还要看负的 K

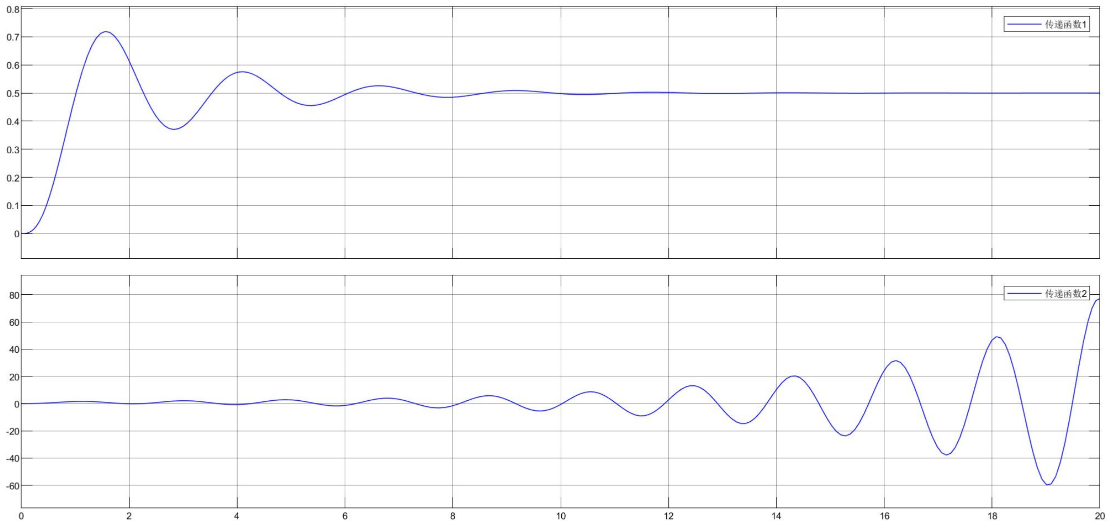
更正：K 从-1 增大到-无穷 如下图



所以最终范围为-10<K<26，且 K 不等于 0！

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。

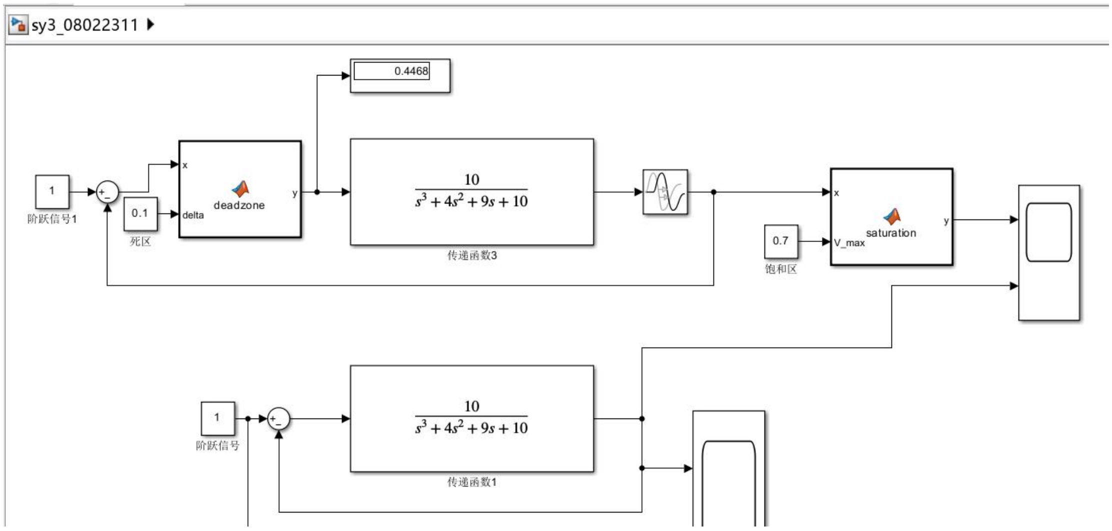




可以看到K=10时系统稳定，而K=40时系统不稳定，这与上一问求系统稳定时K的范围的结果是一致的。

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。（加分题）

改动模型如下：



饱和函数：

sy3_08022311 ▸ MATLAB Function

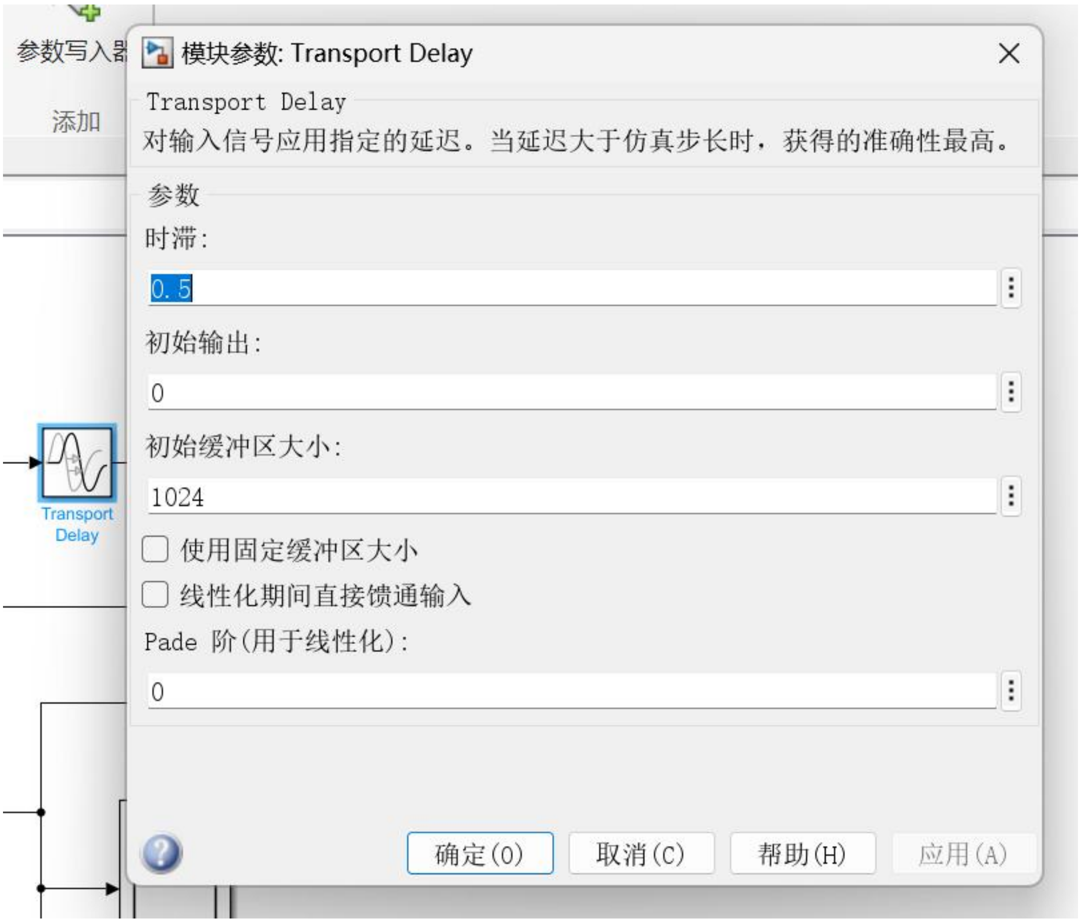
```
%饱和函数
function y = saturation(x, V_max)
    if x > V_max
        y = V_max;  % 上饱和
    elseif x < -V_max
        y = -V_max; % 下饱和
    else
        y = x;        % 非饱和区
    end
end
```

死区函数：

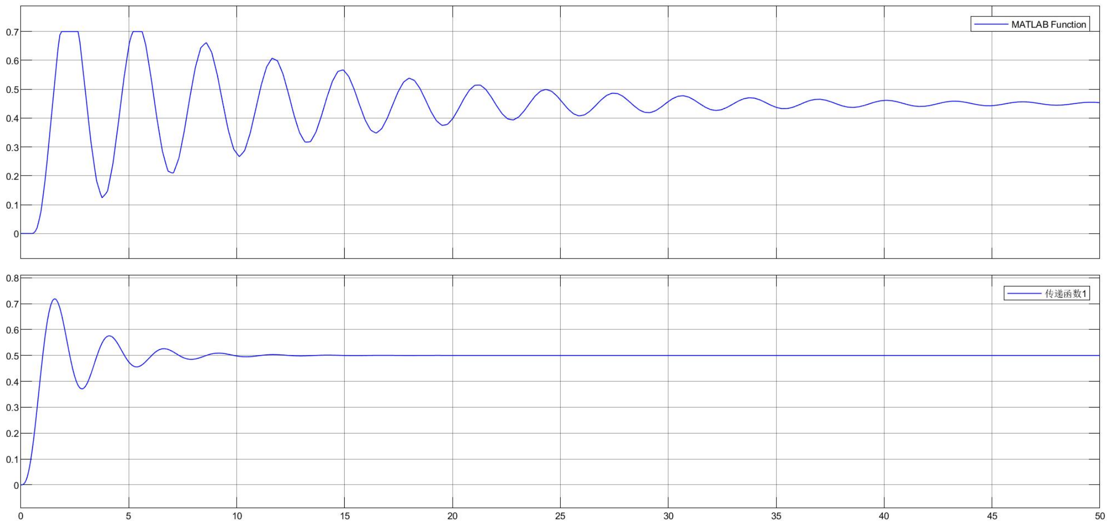
sy3_08022311 ▸ MATLAB Function1

```
% 死区函数
function y = deadzone(x, delta)
    if abs(x) < delta
        y = 0;  % 输入信号在死区内时，输出为零
    else
        y = x - delta * sign(x);  % 输入信号在死区外时，输出为去掉死区的信号
    end
end

```

时延参数：



结果对比：



分析：对比输出波形可以发现，经过饱和特性、时延特性、死区特性的逼真性改造后，饱和特性使波形出现削顶；时延特性让系统稳定时间更长，达到平稳更缓慢；死区特性让系统的输出减小。

三、实验总结

本次实验将自控理论与 matlab simulink 软件结合，通过软件仿真结果能更深刻地理解系统稳定性分析以及实际运放特性对系统输出的改变和影响。