自动控制理论 A

Matlab 仿真实验报告

实 验 名 称	：	根轨迹与频率特性分析
姓　　　名	：	Fweil
学　　　号	：	? ? ? ?
班　　　级	：	? ? ? ? ? ?
撰 写 日 期	：	? ? ? ? ? ? ? ?

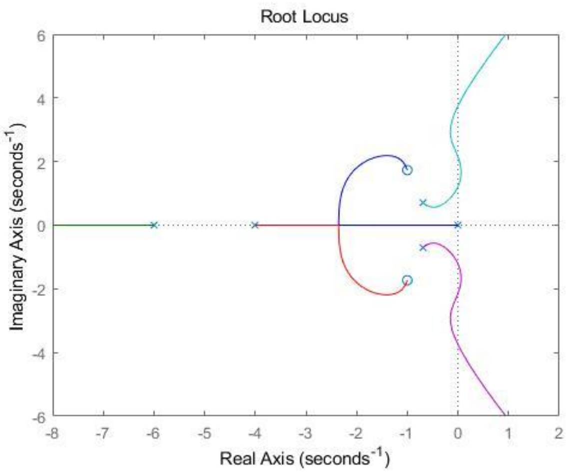
哈尔滨工业大学（深圳）

一、 基于根轨迹的性能分析

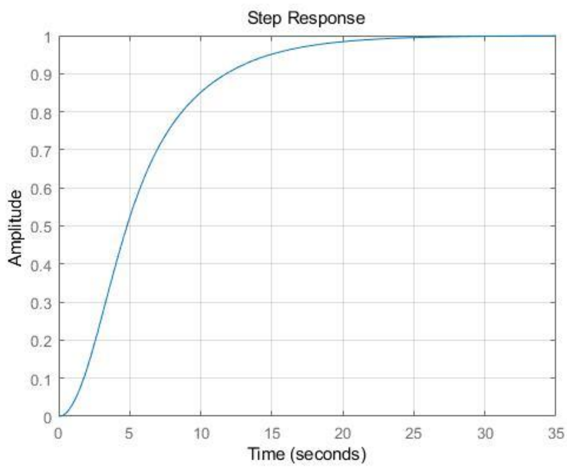
1. 对开环传递函数 $G(s)$、$G_1(s)$和 $G_2(s)$分别画出关于根轨迹增益k的闭环根轨迹图，给出根轨迹的分离点、与虚轴的交点，给出使闭环系统稳定的参数k的范围。

(1) 开环传递函数 $G(s)$

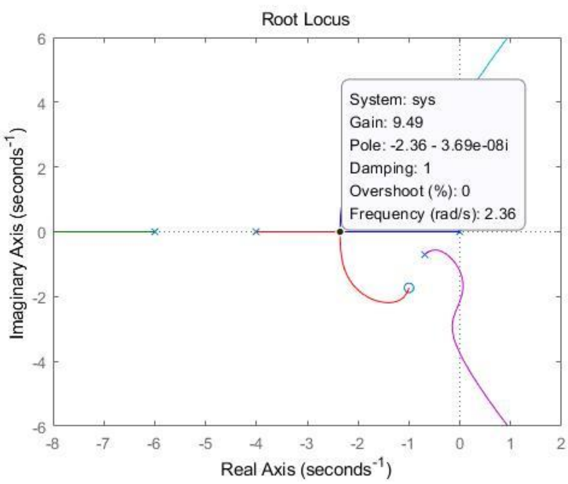
- **开环传递函数 $G(s)$关于根轨迹增益k的闭环根轨迹图如下**



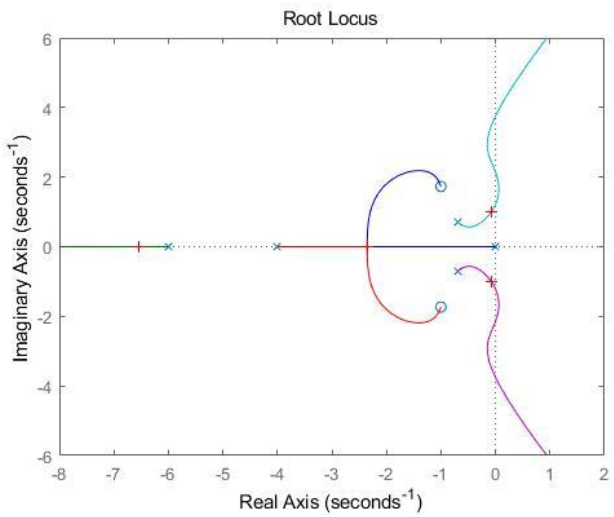
- **根轨迹增益$k = 1$时，单位反馈闭环系统的单位阶跃响应图如下**



- **开环传递函数 $G(s)$根轨迹的分离点如下**



可知开环传递函数 $G(s)$根轨迹的分离点为$(-2.36,0i)$，该极点对应的开环增益$k=9.4867$，其它极点位置如下：



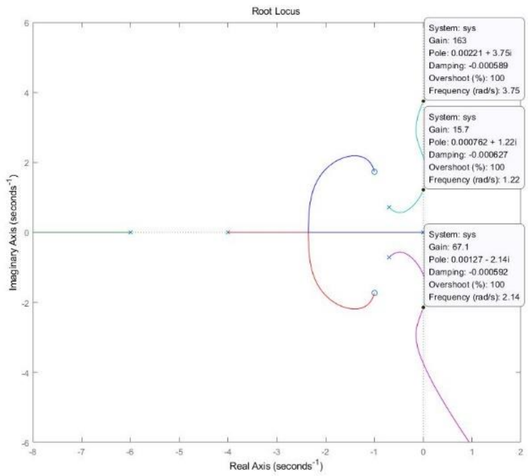

```
k =

    9.4867


p =

  -6.5521 + 0.0000i
  -2.3598 + 0.0000i
  -2.3516 + 0.0000i
  -0.0683 + 1.0193i
  -0.0683 - 1.0193i
```

- **开环传递函数 $G(s)$根轨迹与虚轴的交点如下**



可知开环传递函数 $G(s)$根轨迹与虚轴的交点位于$(0,\pm1.22i)$、$(0,\pm2.14i)$、$(0,\pm3.75i)$，对应的开环增益k分别为15.7、67.1、163。

- **闭环系统稳定的参数k的范围**

$$0<k<15.7\ ,67.1<k<163$$

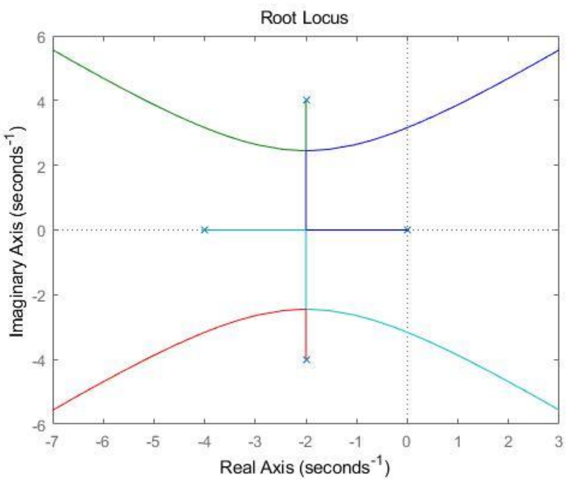
- **m 文件的代码**

```
clc;clear;close all;
%定义开环传递函数 G(s)
num=[1,2,4];
den=conv(conv([1,4,0],[1,6]),[1,1.4,1]);
sys=tf(num,den);
%绘制开环传递函数 G(s)的根轨迹图
```

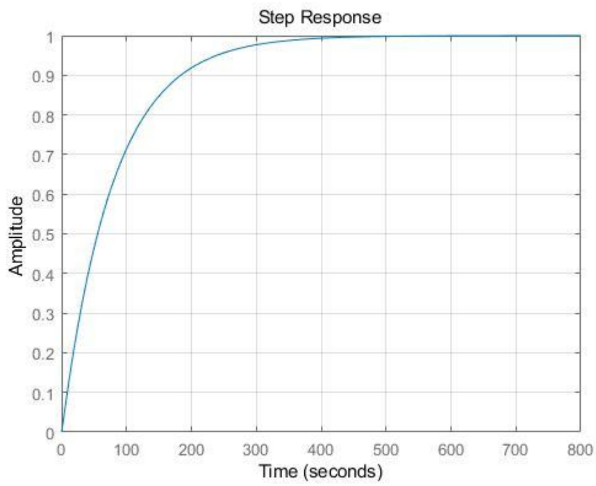
```
figure(1);
rlocus(sys);
axis([-6.5 0.5 -6 6]);
%确定特定极点对应开环增益以及该增益对应的其它极点
[k,p]=rlocfind(sys)
%绘制 k=1 时单位阶跃曲线
figure(2);
%注意：matlab以sys/(1+sys)形式计算闭环传函时分子分母不约分，导致分母最高次项为10次
step(sys/(1+sys));
grid on;
```

(2) 开环传递函数 $G_1(s)$

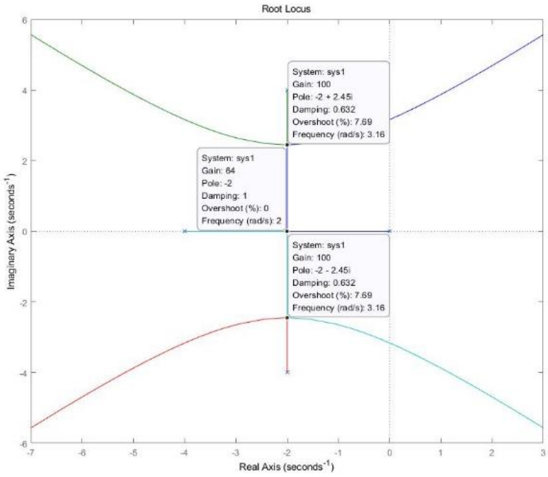
- **开环传递函数 $G_1(s)$关于根轨迹增益k的闭环根轨迹图如下**



- **根轨迹增益$k = 1$时，单位反馈闭环系统的单位阶跃响应图如下**

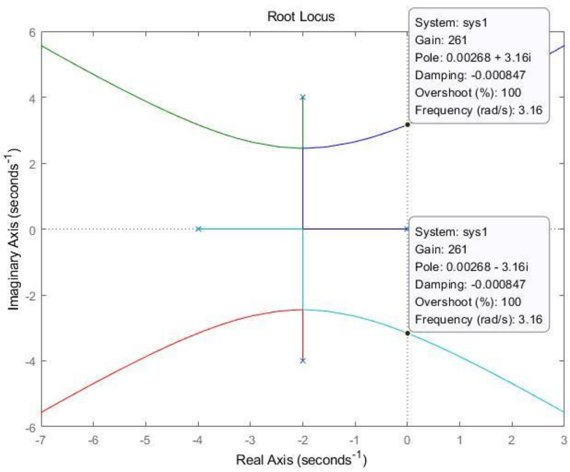


- **开环传递函数 $G_1(s)$根轨迹的分离点如下**



可知开环传递函数 $G_1(s)$根轨迹的分离点为$(-2,0\mathrm{i})$、$(-2,\pm 2.45i)$。

- **开环传递函数 $G_1(s)$根轨迹与虚轴的交点如下**



可知开环传递函数 $G_1(s)$根轨迹与虚轴的交点位于$(0,\pm 3.16i)$，对应的开环增益k为261。

- **闭环系统稳定的参数k的范围**

$$0 < k < 261$$

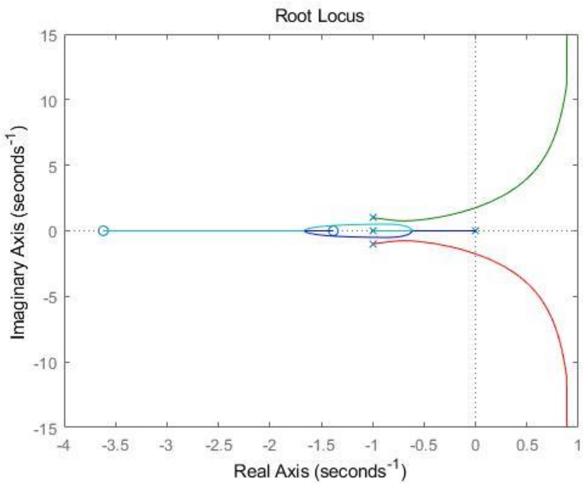
- **m 文件的代码**

```
clc;clear;close all;
%定义开环传递函数 G1(s)
num1=[1];
den1=conv([1,4,0],[1,4,20]);
sys1=tf(num1,den1);
%绘制开环传递函数 G1(s)的根轨迹图
figure(1);
rlocus(sys1);
axis([-7 3 -6 6]);
%绘制单位阶跃曲线
```

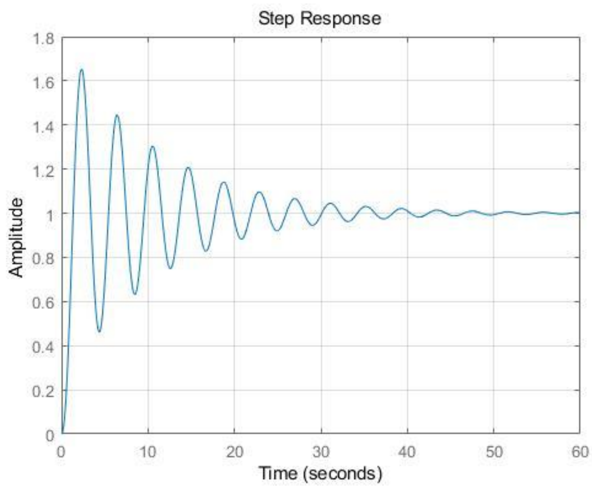
```
figure(2);
step(sys1/(1+sys1));
grid on;
```

(3) 开环传递函数 $G_2(s)$

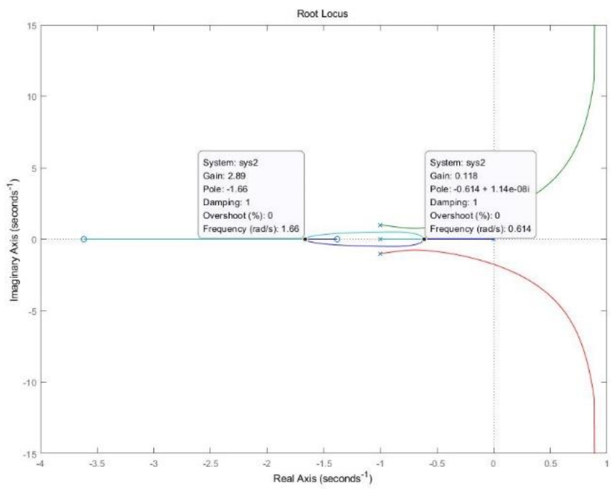
- **开环传递函数 $G_2(s)$关于根轨迹增益k的闭环根轨迹图如下**



- **根轨迹增益$k = 1$时，单位反馈闭环系统的单位阶跃响应图如下**

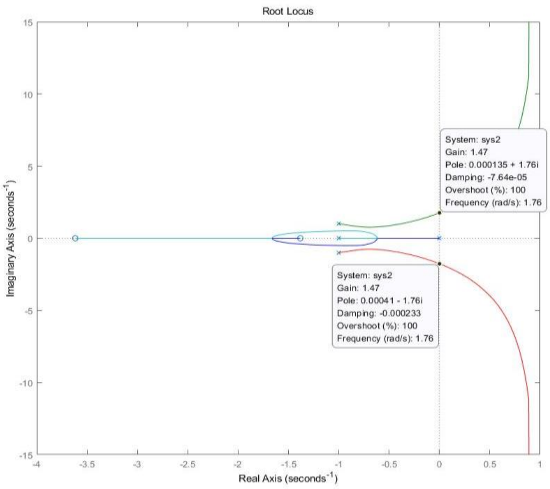


- **开环传递函数 $G_2(s)$根轨迹的分离点如下**



可知开环传递函数 $G_2(s)$根轨迹的分离点为$(-0.614,0i)$、$(-1.66,0i)$。

- **开环传递函数 $G_2(s)$根轨迹与虚轴的交点如下**



可知开环传递函数 $G_2(s)$根轨迹与虚轴交点为$(0,\pm 1.76\mathrm{i})$，其对应的开环增益k为1.47。

- **闭环系统稳定的参数k的范围**

$$0 < k < 1.47$$

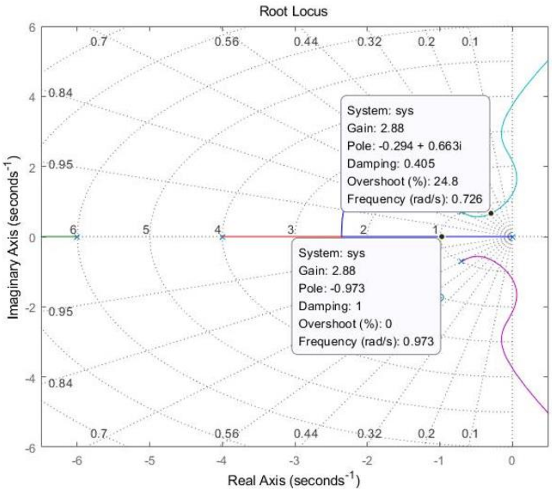
- **m 文件的代码**

```
%定义开环传递函数 G2(s)
num2=[1,5,5];
den2=conv([1,1,0],[1,2,2]);
sys2=tf(num2,den2);
%绘制开环传递函数 G2(s)的根轨迹图
figure(1);
rlocus(sys2);
axis([-4 1 -15 15]);
%绘制单位阶跃曲线
figure(2);
step(sys2/(1+sys2));
grid on;
```

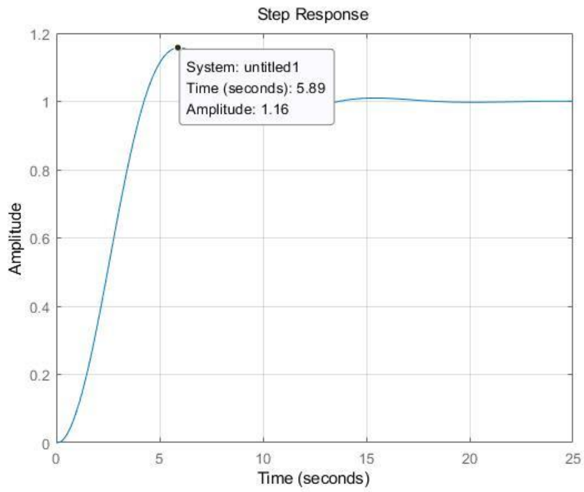
2. 对开环传递函数 $G(s)$、$G_1(s)$和 $G_2(s)$，借助等阻尼比射线，找出使闭环主导极点的阻尼比在 0.3～0.8 之间的某一根轨迹增益，画出在该增益下单位反馈闭环系统的阶跃响应。比较从阶跃响应上得到超调与从根轨迹信息框里的超调，进而给出简单的结论。

(1) 开环传递函数 $G(s)$

借助阻尼比射线，**取闭环主导极点的阻尼比$\xi = 0.405$**，此时**根轨迹增益$k = 2.88$**。



绘制该增益下单位反馈闭环系统的阶跃响应如下：



由根轨迹的信息框可知主导极点的超调量为：24.8%

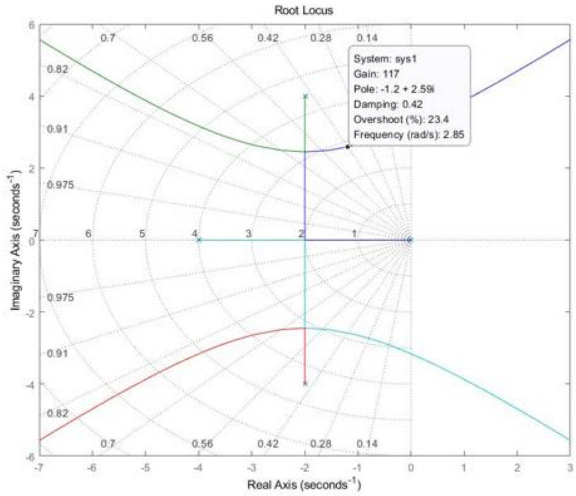
由根轨迹增益绘制单位反馈闭环系统阶跃响应的超调量为：16.0%

- **m 文件的代码**

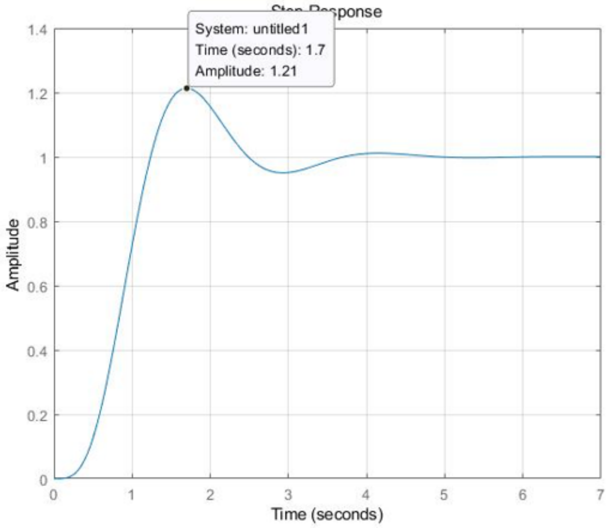
```
clc;clear;close all;
%定义开环传递函数 G(s)
num=[1,2,4];   den=conv(conv([1,4,0],[1,6]),[1,1.4,1]);
sys=tf(num,den);
%绘制开环传递函数 G(s)的根轨迹图
figure(1);
rlocus(sys);
grid
%限制坐标轴范围
axis([-8 2 -6 6]);
%绘制单位阶跃曲线
figure(2);
step(2.88*sys/(1+2.88*sys));
grid on;
```

(2) 开环传递函数 $G_1(s)$

借助阻尼比射线，**取闭环主导极点的阻尼比$\xi = 0.42$**，此时**根轨迹增益$k = 117$**。



绘制该增益下单位反馈闭环系统的阶跃响应如下：



由根轨迹的信息框可知主导极点的超调量为：23.4%

由根轨迹增益绘制单位反馈闭环系统阶跃响应的超调量为：21.0%

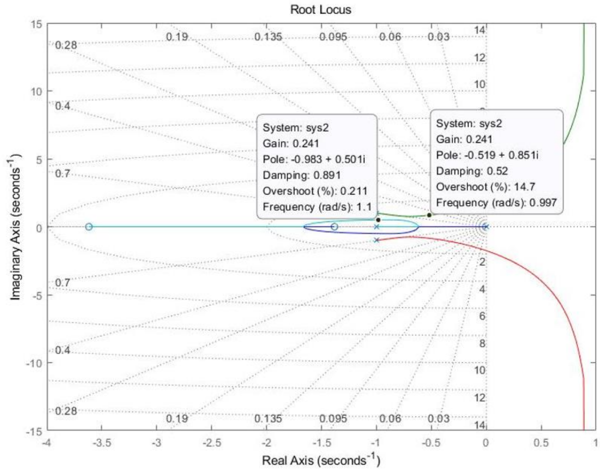
- **m 文件的代码**

```
clc;clear;close all;
%定义开环传递函数 G1(s)
num1=[1];
den1=conv([1,4,0],[1,4,20]);
sys1=tf(num1,den1);
%绘制开环传递函数 G1(s)的根轨迹图
figure(1);
rlocus(sys1);
grid
```

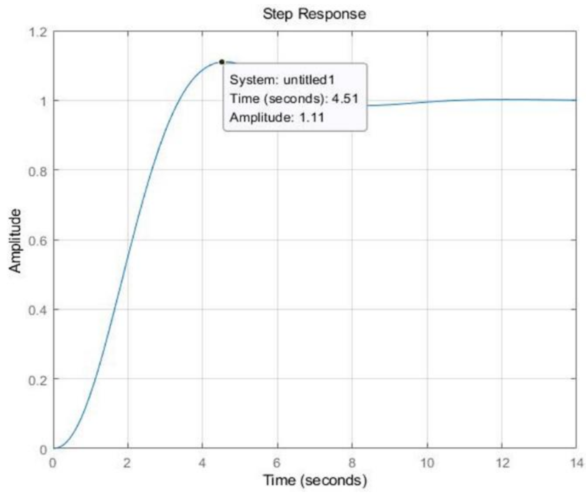
```
%限制坐标轴范围
axis([-7 3 -6 6]);
%绘制单位阶跃曲线
figure(2);
step(117*sys1/(1+117*sys1));
grid on;
```

(3) 开环传递函数 $G_2(s)$

借助阻尼比射线，**取闭环主导极点的阻尼比**$\boldsymbol{\xi = 0.52}$，此时**根轨迹增益**$\boldsymbol{k = 0.241}$。



绘制该增益下单位反馈闭环系统的阶跃响应如下：



由根轨迹的信息框可知主导极点的超调量为：$\boldsymbol{14.7\%}$

由根轨迹增益绘制单位反馈闭环系统阶跃响应的超调量为：$\boldsymbol{11.0\%}$

• **m 文件的代码**

```
clc;clear;close all;
%定义开环传递函数 G2(s)
num2=[1,5,5];
den2=conv([1,1,0],[1,2,2]);
sys2=tf(num2,den2);
```

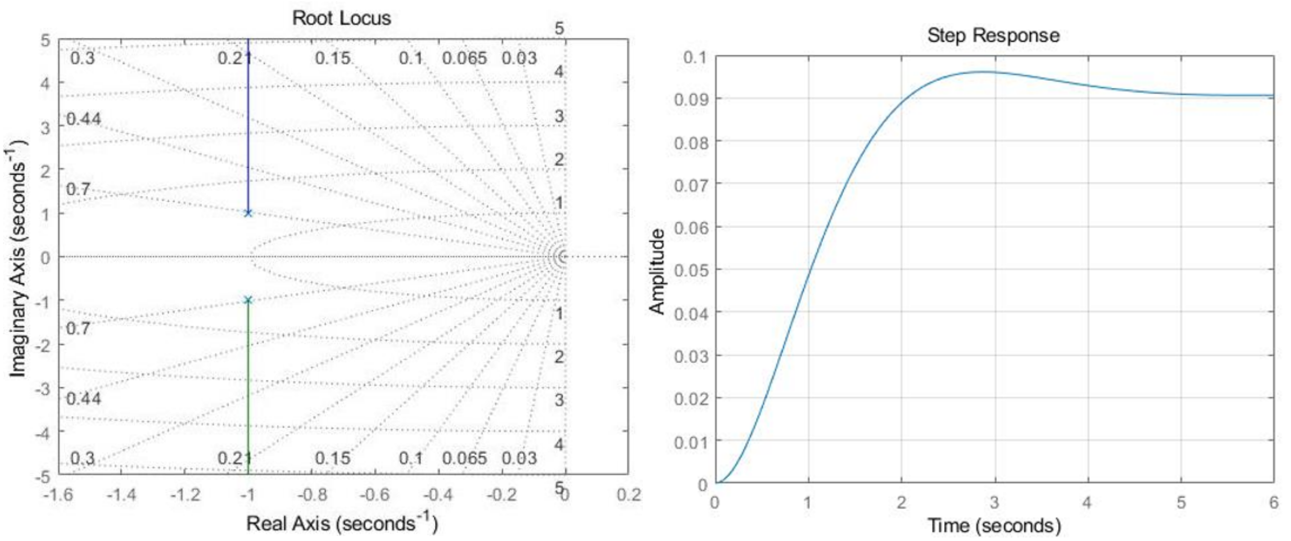
```
%绘制开环传递函数 G2(s)的根轨迹图
figure(1);
rlocus(sys2);
grid
%限制坐标轴范围
axis([-4 1 -15 15]);
%绘制单位阶跃曲线
figure(2);
step(0.241*sys2/(1+0.241*sys2));
grid on;
```

- **简单结论**

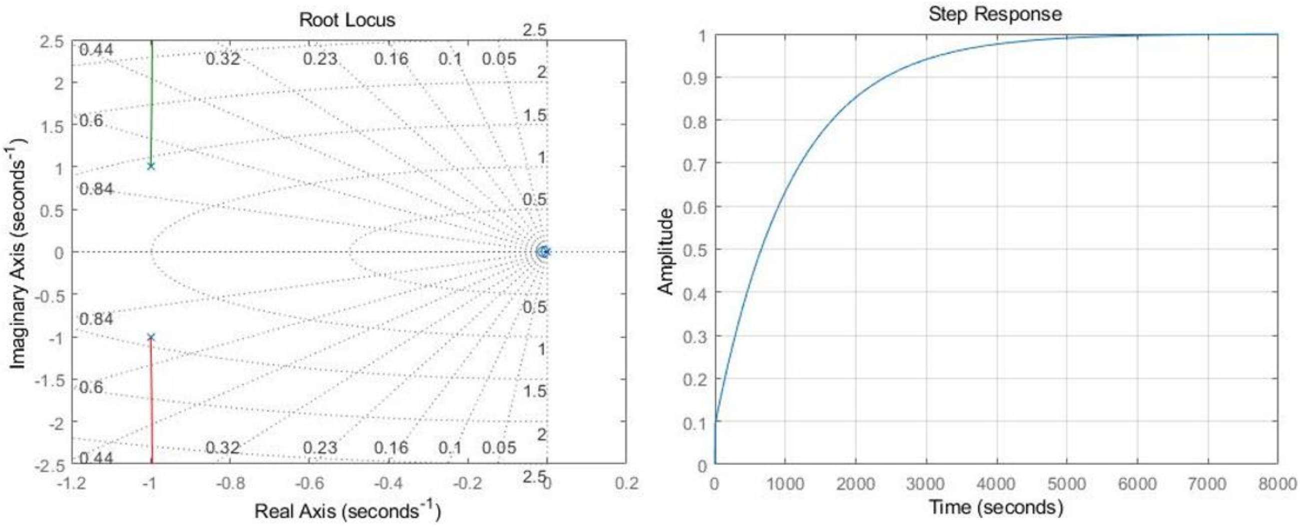
通过比较从阶跃响应上得到超调量与根轨迹信息框里的超调量可知，高阶系统的阶跃响应的超调量主要由闭环主导极点的超调量决定，二者在一定范围内十分相近。

3. 对开环传递函数 $G_3(s)$画出不同零点时的根轨迹，并与不含零点时的根轨迹进行比较，给出简单的结论。

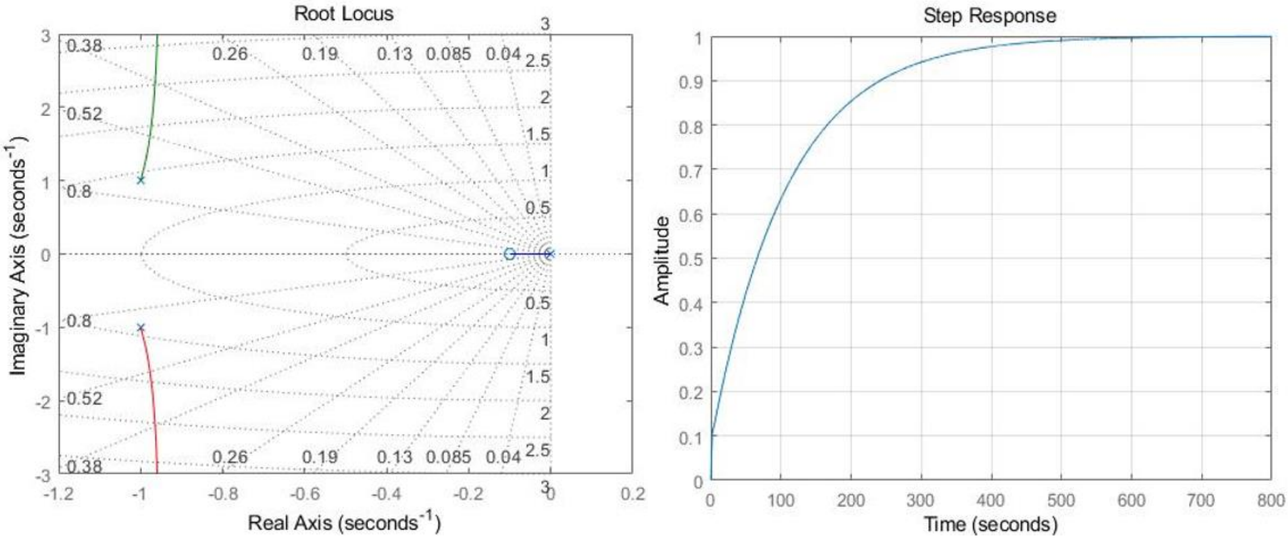
(1) 左图为$\boldsymbol{z_1 = 0}$的根轨迹，右图为开环增益$\boldsymbol{k = 0.2}$时的闭环系统阶跃响应曲线。



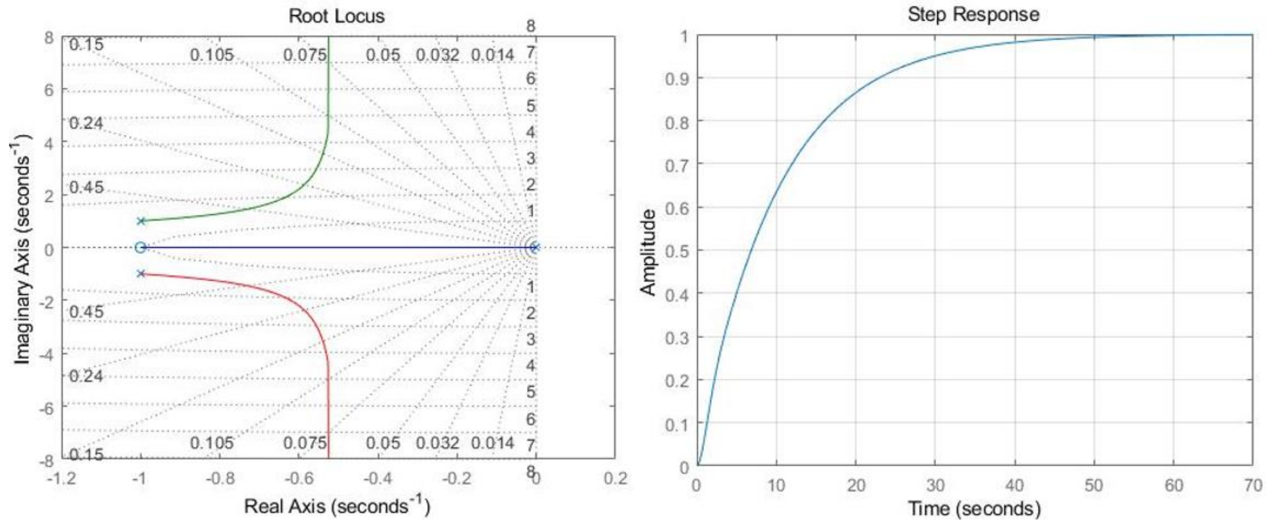
(2) 左图为$\boldsymbol{z_1 = -0.01}$的根轨迹，右图为开环增益$\boldsymbol{k = 0.2}$时的闭环系统阶跃响应曲线。



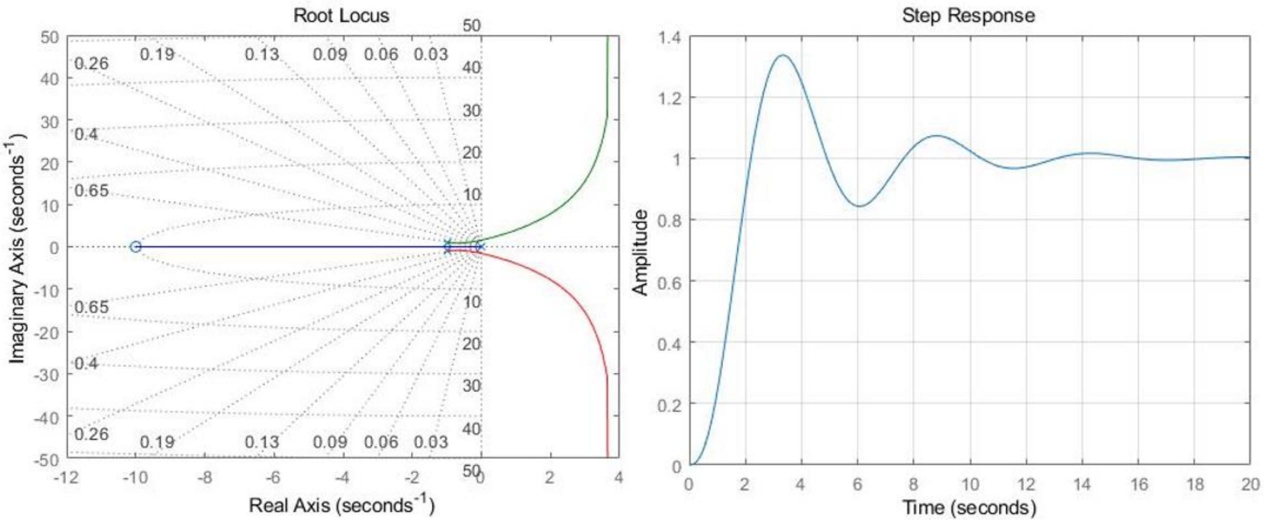
(3) 左图为$z_1 = -0.1$的根轨迹，右图为开环增益$k = 0.2$时的闭环系统阶跃响应曲线。



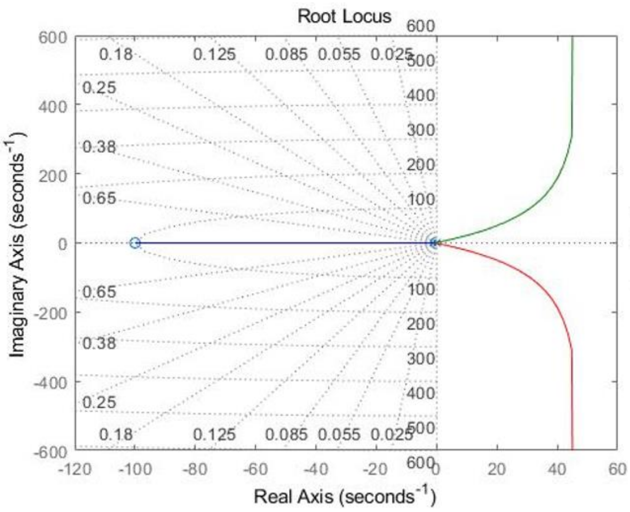
(4) 左图为$z_1 = -1$的根轨迹，右图为开环增益$k = 0.2$时的闭环系统阶跃响应曲线。

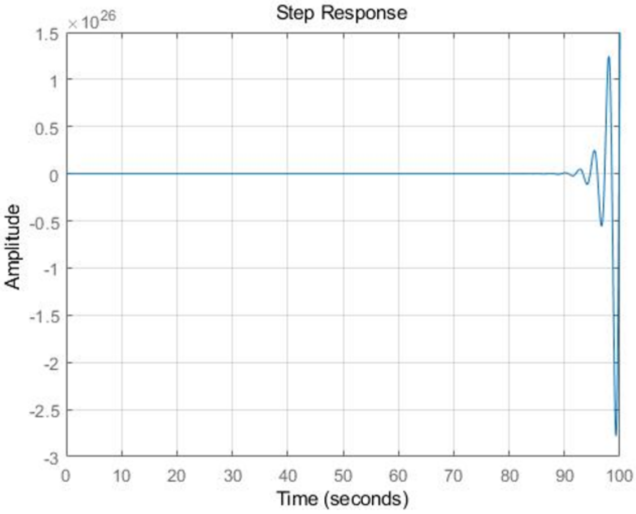


(5) 左图为$z_1 = -10$的根轨迹，右图为开环增益$k = 0.2$时的闭环系统阶跃响应曲线。



(6)左图为$z_1=-100$的根轨迹，右图为开环增益$k=0.2$时的闭环系统阶跃响应曲线。





• **简单结论**

当零点存在且零点距离虚轴越来越远的时候，实轴上的根轨迹越来越长，同时以$(-1,\pm 1i)$为起点的根轨迹渐近线不断右移与虚轴产生交点，从而使相同开环增益下的单位阶跃响应变得不稳定。除此之外，其还对闭环系统的响应速度有一定的影响。

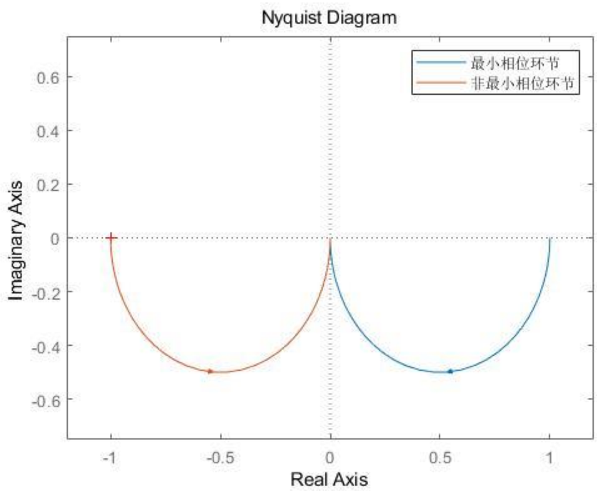
• m 文件的代码

```
clc;clear;close all;
%开环增益 k=0.2
k=0.2;
%图像次序
i=0;
%定义开环传递函数 G3(s)
for z1=[0,-0.01,-0.1,-1,-10,-100]
num3=[1,-z1];
den3=[1,2,2,0];
sys3=tf(num3,den3);
%绘制开环传递函数 G3(s)的根轨迹图
i=i+1;
figure(i);
rlocus(sys3);
grid on;
%绘制单位阶跃响应
i=i+1;
figure(i);
%开环增益 k=0.2 时，闭环系统单位阶跃响应
step(k*sys3/(1+k*sys3));
grid on;
end
```

二、 线性系统的频率特性分析

1. 固定 K 和 T, 在同一幅图里绘制一阶惯性环节$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$和非最小相位的惯性环节$G(s)=\frac{K}{Ts-1}$的 Nyquist 图，说明它们的 Nyquist 图的关系。（**Nyquist 图频率为非负频率**）

• **固定$K=1$，$T=1$，绘制$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$和$G(s)=\frac{K}{Ts-1}$的 Nyquist 图（非负频率）如下：**



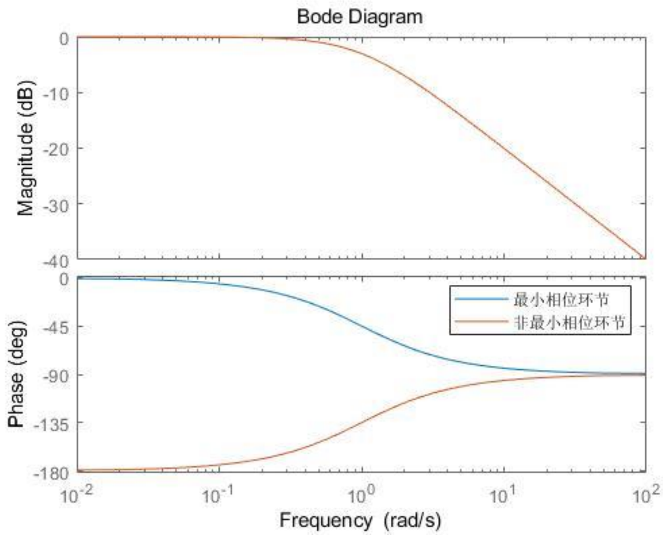
可见最小相位的惯性环节 Nyquist 图和非最小相位的惯性环节 Nyquist 图关于虚轴对称。

• **m 文件的代码**

```
clc;clear;close all;
%定义 K 值、T 值
K=1;
T=1;
%定义最小相位系统的惯性环节
num1=K;
den1=[T,1];
sys1=tf(num1,den1);
%绘制最小相位系统的惯性环节的 Nyquist 曲线
nyquist(sys1);
hold on;
%定义非最小相位系统的惯性环节
num2=K;
den2=[T,-1];
sys2=tf(num2,den2);
%绘制非最小相位系统的惯性环节的 Nyquist 曲线
nyquist(sys2);
axis([-1.2,1.2,-0.75,0.75]);
legend('最小相位环节','非最小相位环节');
hold off;
```

2. 固定 K 和 T，在同一幅图里绘制一阶惯性环节$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$和非最小相位的惯性环节$G(s)=\frac{K}{Ts-1}$的 Bode 图，说明它们的 Bode 图的关系。

• **固定$K=1$，$T=1$，绘制$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$和$G(s)=\frac{K}{Ts-1}$的 Bode 图如下：**



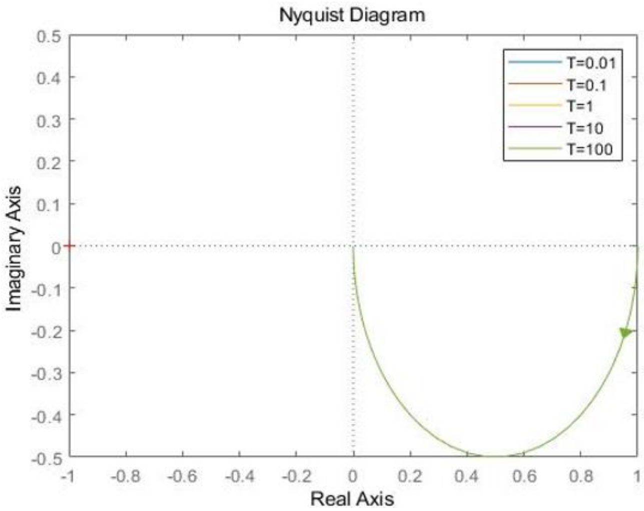
可见最小相位惯性环节和非最小相位惯性环节的对数幅频特性相同，对数相频特性关于$-90°$对称。非最小相位环节相位绝对值大于最小相位环节。

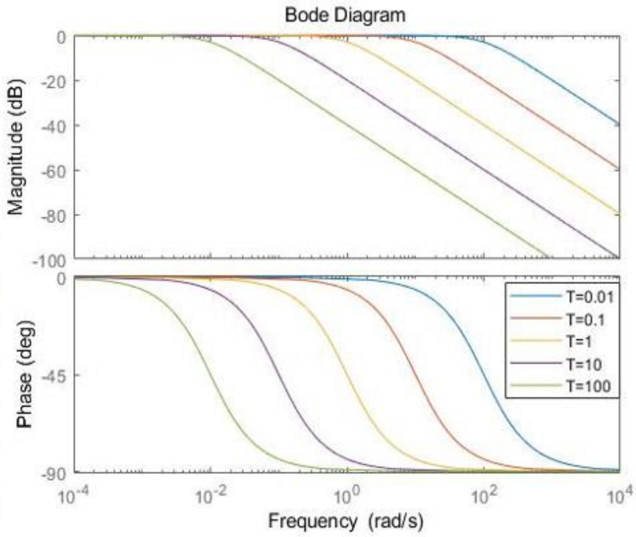
• **m 文件的代码**

```
clc;clear;close all;
%定义 K 值
K=1;
%定义 T 值
T=1;
%定义最小相位系统的惯性环节
num1=K;
den1=[T,1];
sys1=tf(num1,den1);
%绘制最小相位惯性环节 Bode 图
bode(sys1);
hold on;
%定义非最小相位系统的惯性环节
num2=K;
den2=[T,-1];
sys2=tf(num2,den2);
%绘制非最小相位惯性环节 Bode 图
bode(sys2);
legend('最小相位环节','非最小相位环节');
hold off;
```

3. 固定 K，分别在同一幅图绘制不同 T 时一阶惯性环节$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图，分析 T 的变化对 Nyquist 曲线和 Bode 图的影响。

• **固定$K=1$，T分别取0.01、0.1、1、10和100，$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：**





可见对于一阶惯性环节固定K，增大T的值，不会影响奈奎斯特图，但是会使 Bode 的对数幅频特性和对数相频特性发生左移。

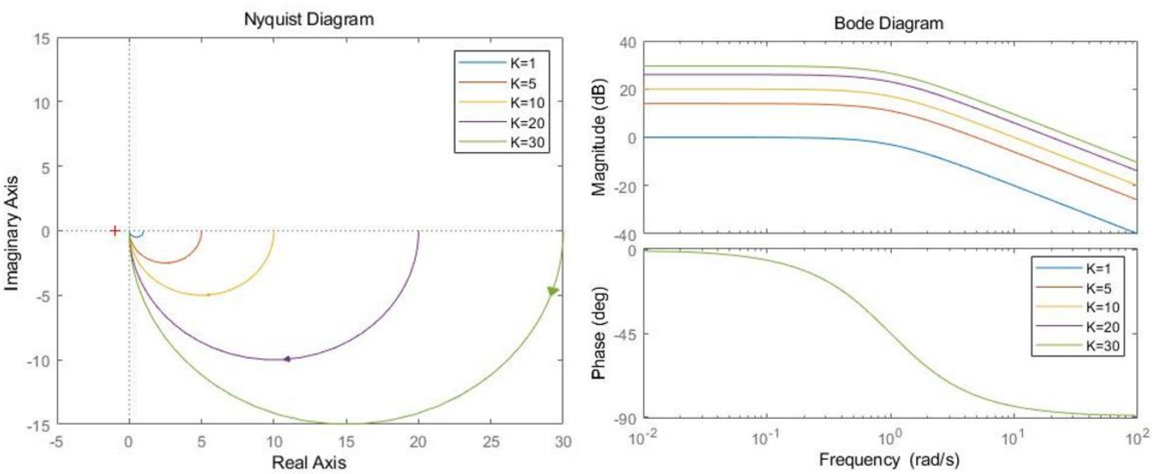
• **m 文件的代码**

```
clear;clc;close all;
%固定 K 值
K=1;
%定义传递函数分子系数
num=K;
%绘制 Nyquist 图
for T=[0.01,0.1,1,10,100]
 %定义一阶惯性环节传递函数
    den=[T,1];
    sys=tf(num,den);
    figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
end
figure(1);
legend('T=0.01','T=0.1','T=1','T=10','T=100');
hold off;
%绘制 Bode 图
for T=[0.01,0.1,1,10,100]
 %定义一阶惯性环节传递函数
    den=[T,1];
```

```
    sys=tf(num,den);
    figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('T=0.01','T=0.1','T=1','T=10','T=100');
hold off;
```

4. 固定 T，分别在同一幅图绘制不同 K 时一阶惯性环节$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图，分析 K 的变化对 Nyquist 曲线和 Bode 图的影响。

• **固定$T=1$，K分别取1、5、10、20和30时，$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：**



可见对于一阶惯性环节固定T，增大K的取值，不会影响对数相频特性，但会使对数幅频特性曲线上移，还会使奈奎斯特曲线圆心右移且半径增大，但都终于原点。

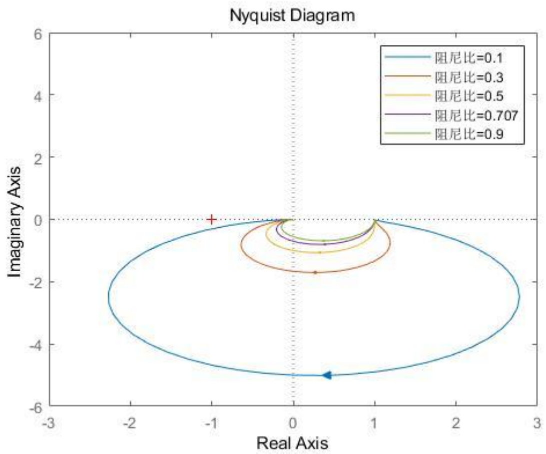
• **m 文件的代码**

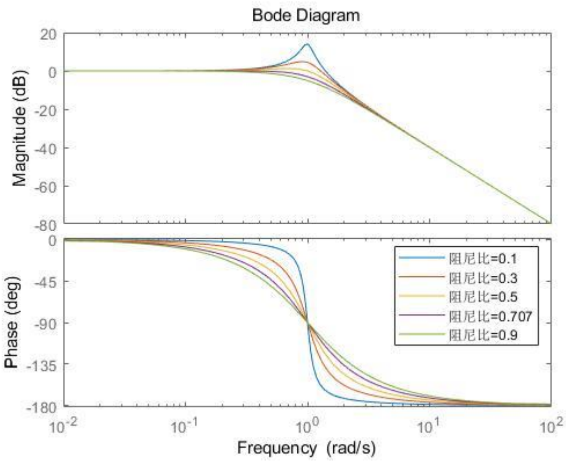
```
clc;clear;close all;
%固定 T 值
T=1;
%定义传递函数分母系数
den=[T,1];
%绘制 Nyquist 图
for K=[1,5,10,20,30]
 %定义一阶惯性环节传递函数
    num=[K];
    sys=tf(num,den);
figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
```

```
end
figure(1);
legend('K=1','K=5','K=10','K=20','K=30');
hold off;
%绘制 Bode 图
for K=[1,5,10,20,30]
 %定义一阶惯性环节传递函数
    num=K;
    sys=tf(num,den);
figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('K=1','K=5','K=10','K=20','K=30');
hold off;
```

5. T 固定，分别在同一幅图绘制不同阻尼比时二阶振荡环节$G(s)=\frac{1}{(Ts)^2+2T\xi s+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图，分析阻尼比的变化对 Nyquist 曲线和 Bode 图的影响。

•固定$T=1$，ξ分别取0.1、0.3、0.5、0.707和0.9时，$G(s)=\frac{1}{(Ts)^2+2T\xi s+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：





由图可知，T不变，阻尼比减小时，对数相频特性越理想越接近矩形波，而奈奎斯特曲线会越来越大。特别地，阻尼比小于 0.707 时，幅频特性会出现谐振现象。

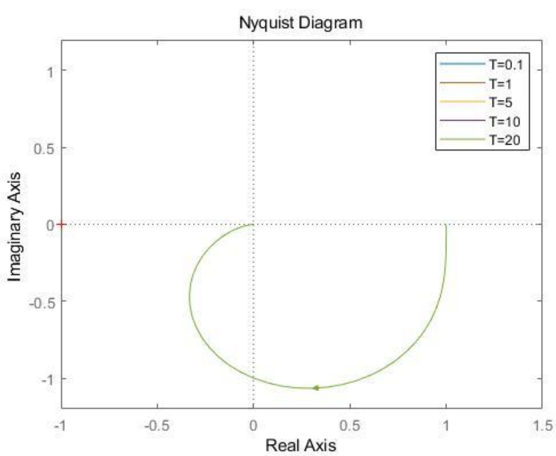
• m 文件的代码

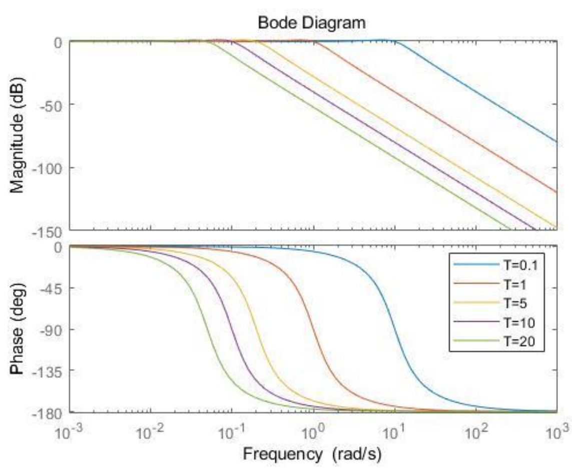
```
clc;clear;close all;
%固定 T 值
T=1;
%定义传递函数分子系数
num=[1];
```

```
%绘制 Nyquist 图
for sigma=[0.1,0.3,0.5,0.707,0.9]
 %定义二阶振荡环节传递函数
    den=[T*T,2*T*sigma,1];
    sys=tf(num,den);
figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
end
figure(1);
legend('阻尼比=0.1','阻尼比=0.3','阻尼比=0.5','阻尼比=0.707','阻尼比=0.9');
hold off;
%绘制 Bode 图
for sigma=[0.1,0.3,0.5,0.707,0.9]
 %定义二阶振荡环节传递函数
    den=[T*T,2*T*sigma,1];
    sys=tf(num,den);
figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('阻尼比=0.1','阻尼比=0.3','阻尼比=0.5','阻尼比=0.707','阻尼比=0.9');
hold off;
```

6. 阻尼比固定，分别在同一幅图绘制不同时间常数时$G(s)=\frac{1}{(Ts)^2+2T\xi s+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图，分析时间常数 T 的变化对 Nyquist 曲线和 Bode 图的影响。

• **固定$\xi=0.5$，T分别取0.1、1、5、10和20时，$G(s)=\frac{1}{(Ts)^2+2T\xi s+1}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：**





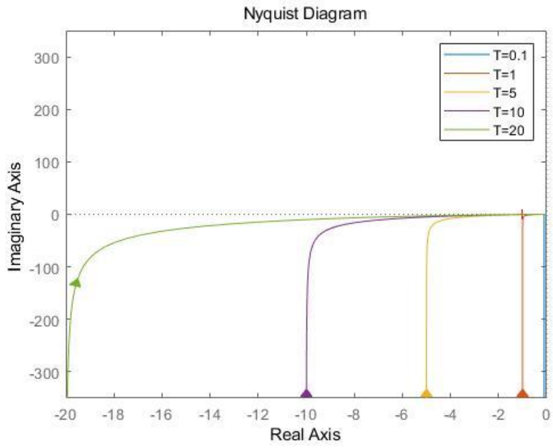
由图可知，固定$\xi = 0.5$，T 增大时，其奈奎斯特曲线不变，对数幅频曲线、对数相频曲线均发生左移。

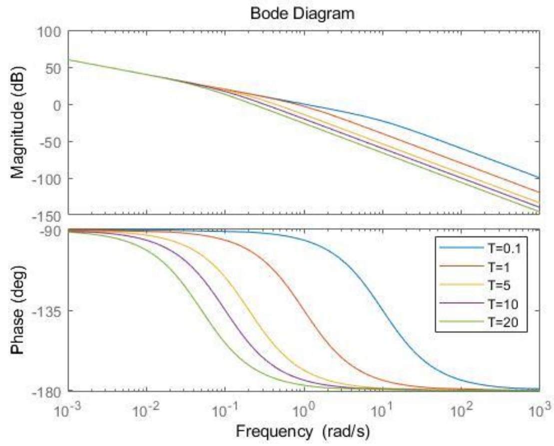
- **m 文件的代码**

```
clc;clear;close all;
%固定阻尼比
sigma=0.5;
%定义传递函数分子系数
num=[1];
%绘制 Nyquist 图
for T=[0.1,1,5,10,20]
 %定义二阶振荡环节传递函数
    den=[T*T,2*T*sigma,1];
    sys=tf(num,den);
figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
end
figure(1);
legend('T=0.1','T=1','T=5','T=10','T=20');
hold off;
%绘制 Bode 图
for T=[0.1,1,5,10,20]
 %定义二阶振荡环节传递函数
    den=[T*T,2*T*sigma,1];
    sys=tf(num,den);
figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('T=0.1','T=1','T=5','T=10','T=20');
hold off;
```

7. K 固定，分别在同一幅图绘制不同时间常数 T 时$G(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图，分析时间常数 T 的变化对 Nyquist 曲线和 Bode 图的影响。

- **固定$K = 1$，T分别取0.1、1、5、10和20时，$G(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：**





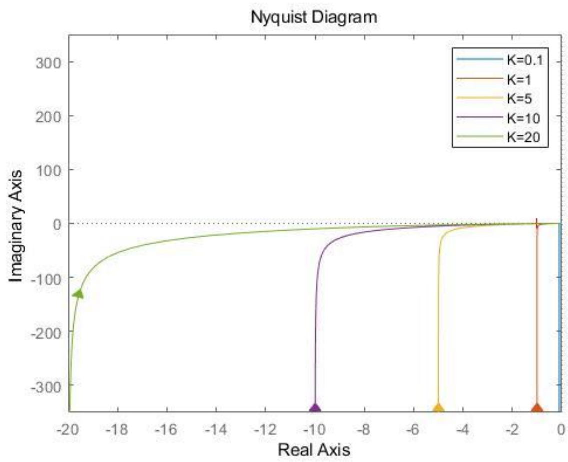
由图可知，固定$K=1$，T增大时，其奈奎斯特曲线不断左移，且对数幅频特性右端向左平移，对数相频特性亦是向左平移。

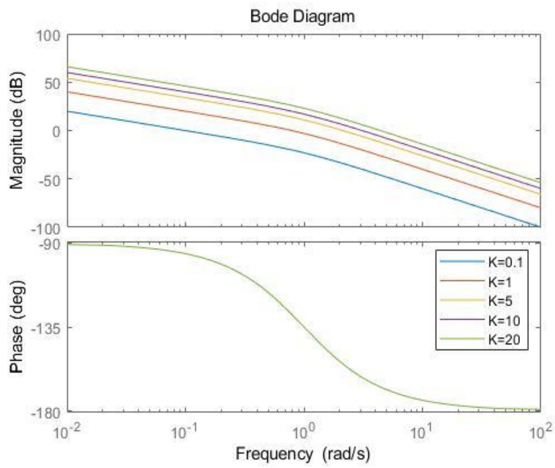
• **m** 文件的代码

```
clc;clear;close all;
%固定 K
K=1;
%定义传递函数分子系数
num=[K];
%绘制 Nyquist 图
for T=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    den=[T,1,0];
    sys=tf(num,den);
figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
end
figure(1);
legend('T=0.1','T=1','T=5','T=10','T=20');
hold off;
%绘制 Bode 图
for T=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    den=[T,1,0];
    sys=tf(num,den);
figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('T=0.1','T=1','T=5','T=10','T=20');
hold off;
```

8. T 固定，分别在同一幅图绘制不同开环增益 K 时$G(s)=\frac{K}{s(Ts+1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图，分析开环增益 K 的变化对 Nyquist 曲线和 Bode 图的影响。对给定的 K 和 T，判断单位反馈闭环系统的稳定性。

(1) 固定$T=1$，K分别取0.1、1、5、10和20时，$G(s)=\frac{K}{s(Ts+1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：





由图可知，固定$T=1$，K增大时，奈奎斯特曲线不断左移，其对数幅频曲线不断上移，对数相频曲线不变。

• m 文件的代码

```
clc;clear;close all;
%固定 T
T=1;
%绘制 Nyquist 图
for K=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    num=K;
    den=[T,1,0];
    sys=tf(num,den);
figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
end
figure(1);
legend('K=0.1','K=1','K=5','K=10','K=20');
hold off;
%绘制 Bode 图
for K=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    num=K;
    den=[T,1,0];
    sys=tf(num,den);
```

```
figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('K=0.1','K=1','K=5','K=10','K=20');
hold off;
```

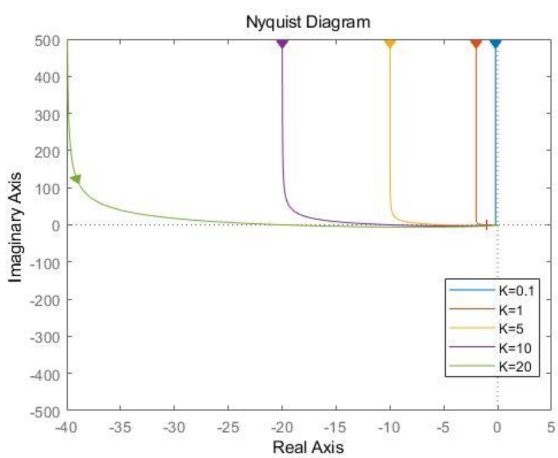
(2) 给定K和T，二者均大于 0，判断单位反馈闭环系统的稳定性

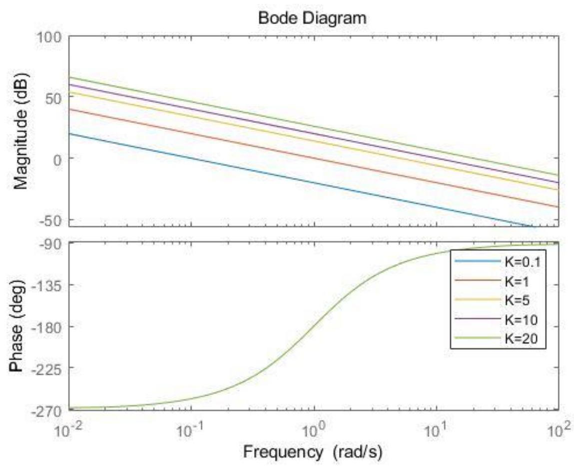
对于给定的K和T，其单位反馈闭环系统的传递函数为$\Phi(s)=\frac{K}{Ts^2+s+K}$，由劳斯判据可知只要$K$、$T$均大于 0 时，闭环系统稳定。

由 Nyquist 稳定判据可知，开环传递函数右半平面极点数$P=0$，对于给定的K和T，其补画后的 Nyquist 图绕$(-1,0i)$逆时针圈数为$R=0$，说明闭环传递函数右半平面极点数$Z=0$，可知闭环系统稳定。

9. 固定 T 和τ，分别在同一幅图绘制不同 K 时$G(s)=\frac{K(\tau s+1)}{s(Ts-1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图；固定 T 和 K，分别在同一幅图绘制不同τ时$G(s)=\frac{K(\tau s+1)}{s(Ts-1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图。分析 K 和τ的变化对 Nyquist 曲线和 Bode 图的影响，并分析单位反馈闭环系统的稳定性。特别注意$K\tau=1$这一分界点。

(1) 固定T和τ，K分别取0.1、1、5、10和20时，$G(s)=\frac{K(\tau s+1)}{s(Ts-1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：





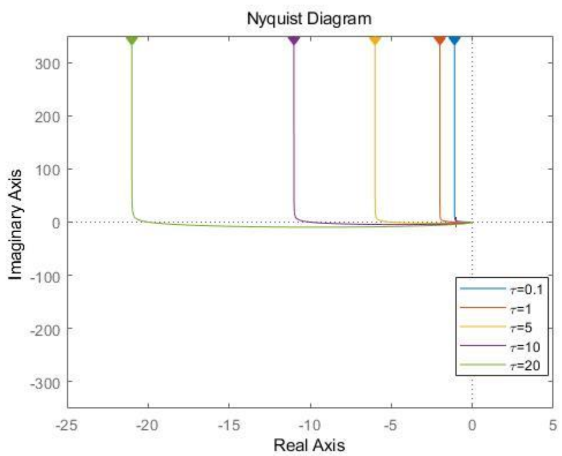
由图可知，固定$T=1$、$\tau=1$，K增大时，其奈奎斯特曲线不断左移，对数幅频曲线不断上移，而对数相频曲线不变。

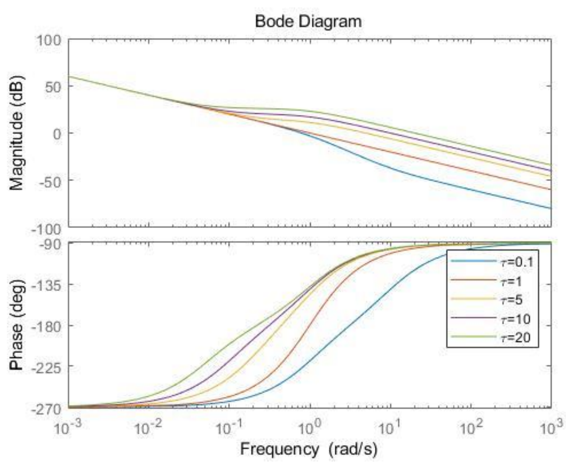
• m 文件的代码

```
clc;clear;close all;
%固定 T 和 Tau
T=1;
Tau=1
```

```
%绘制 Nyquist 图
for K=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    num=[K*Tau,K];
    den=[T,-1,0];
    sys=tf(num,den);
figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
end
figure(1);
legend('K=0.1','K=1','K=5','K=10','K=20');
hold off;
%绘制 Bode 图
for K=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    num=[K*Tau,K];
    den=[T,-1,0];
    sys=tf(num,den);
figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('K=0.1','K=1','K=5','K=10','K=20');
hold off;
```

(2) 固定 T 和 K，τ取0.1、1、5、10和20时，$G(s)=\frac{K(\tau s+1)}{s(Ts-1)}$的 Nyquist 图和 Bode 图如下：





由图可知，固定$T=1$、$K=1$， τ增大时，奈奎斯特曲线不断左移，对数幅频曲线低频部分几乎不变，高频部分上移，对数相频曲线不断左移。

- **m 文件的代码**

```matlab
clc;clear;close all;
%固定 T
T=1;
%固定 K
K=1;
%绘制 Nyquist 图
for Tau=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    num=[K*Tau,K];
    den=[T,-1,0];
    sys=tf(num,den);
figure(1);
    nyquist(sys);
    hold on;
end
figure(1);
legend('\tau=0.1','\tau=1','\tau=5','\tau=10','\tau=20');
hold off;
%绘制 Bode 图
for Tau=[0.1,1,5,10,20]
 %定义传递函数
    num=[K*Tau,K];
    den=[T,-1,0];
    sys=tf(num,den);
figure(2);
    bode(sys);
    hold on;
end
figure(2);
legend('\tau=0.1','\tau=1','\tau=5','\tau=10','\tau=20');
hold off;
```

(3) 注意$K\tau = 1$这一点，分析单位反馈闭环系统的稳定性

其单位反馈闭环系统的传递函数为$\Phi(s) = \frac{K(\tau s+1)}{Ts^2+(K\tau-1)s+K}$。

则特征方程为$D(s) = Ts^2 + (K\tau - 1)s + K = 0$，由劳斯判据可知，当$K\tau > 1$时，单位反馈闭环系统稳定；当$K\tau = 1$时，单位反馈闭环系统临界稳定；当$K\tau < 1$时，单位反馈闭环系统不稳定。

根据 Nyquist 稳定判据，当$K\tau > 1$时，开环传递函数在右半平面极点数$P = 1$，其补画后的 Nyquist 图绕$(-1, 0i)$逆时针圈数为$R = 2N = 2(N_+ - N_-) = 1$，说明闭环传递函数右半平面极点数$Z = 0$，可知单位反馈闭环系统稳定；

当$K\tau = 1$时，单位反馈闭环系统临界稳定；

当$K\tau < 1$时，同样$P = 1$，其补画后的 Nyquist 图绕$(-1, 0i)$逆时针圈数为$R = 2N = 2(N_+ - N_-) = -1$，说明闭环传递函数右半平面极点数$Z = 2$，单位反馈闭环系统不稳定。