

## 《自动控制原理 A》MATLAB分析与设计仿真实验任务书（2021）

### 一、仿真实验内容及要求

#### 1. MATLAB 软件

要求学生通过课余时间自学掌握 MATLAB 软件的基本数值运算、基本符号运算、基本程序设计方法及常用的图形命令操作；熟悉 MATLAB 仿真集成环境 Simulink 的使用。

#### 2. 各章节实验内容及要求

##### 1) 第三章 线性系统的时域分析法

- 对教材第三章习题 3-5 系统进行动态性能仿真，并与忽略闭环零点的系统动态性能进行比较，分析仿真结果；
- 对教材第三章习题 3-9 系统的动态性能及稳态性能通过仿真进行分析，说明不同控制器的作用；
- 在 MATLAB 环境下选择完成教材第三章习题 3-28，并对结果进行分析；
- 在 MATLAB 环境下完成英文讲义 P153.E3.3；
- 对英文讲义中的循序渐进实例“Disk Drive Read System”，在  $K_a = 100$  时，试采用微分反馈控制方法，并通过控制器参数的优化，使系统性能满足  $\sigma\% < 5\%$ ， $t_s \leq 250ms$ ， $d_{ss} < 5 \times 10^{-3}$  等指标。

##### 2) 第四章 线性系统的根轨迹法

- 在 MATLAB 环境下完成英文讲义 P157.E4.5；
- 利用 MATLAB 绘制教材第四章习题 4-5；
- 在 MATLAB 环境下选择完成教材第四章习题 4-10 及 4-17，并对结果进行分析；
- 在 MATLAB 环境下选择完成教材第四章习题 4-23，并对结果进行分析。

##### 3) 第五章 线性系统的频域分析法

- 利用 MATLAB 绘制本章作业中任意 2 个习题的频域特性曲线；

##### 4) 第六章 线性系统的校正

- 利用 MATLAB 选择设计本章作业中至少 2 个习题的控制器，并利用系统的单位阶跃响应说明所设计控制器的功能；
- 利用 MATLAB 完成教材第六章习题 6-21 控制器的设计及验证；
- 对英文讲义中的循序渐进实例“Disk Drive Read System”，试采用 PD 控制并优化控制器参数，使系统性能满足给定的设计指标  $\sigma\% < 5\%$ ， $t_s < 150ms$ 。

##### 5) 第七章 线性离散系统的分析与校正

- 利用 MATLAB 完成教材第七章习题 7-19 的最小拍系统设计及验证；
- 利用 MATLAB 完成教材第七章习题 7-22 的控制器的设计及验证；
- 对英文讲义中的循序渐进实例“Disk Drive Read System”进行验证，计算  $D(z)=4000$  时系统的动态性能指标，并说明其原因。

## 二、仿真实验时间安排及相关事宜

1. 依据课程教学大纲要求，仿真实验共 6 学时，教师应在第 3 学周下发仿真任务书，并按课程进度安排上机时间；学生须在实验之前做好相应的准备，以确保在有限的机时内完成仿真实验要求的内容；
2. 实验完成后按规定完成相关的仿真实验报告，仿真实验报告书写时要求先陈述题目，然后编写程序或绘制 simulink 框图，继而给出实验结果，最后对结果进行分析说明；
3. 仿真实验报告请参照有关样本制作并 A4 纸打印、侧面装订（正文部分 5 号宋体）。

自动化系《自动控制原理》课程组

2021 年 8 月 21 日

## 第三章 线性系统的时域分析法

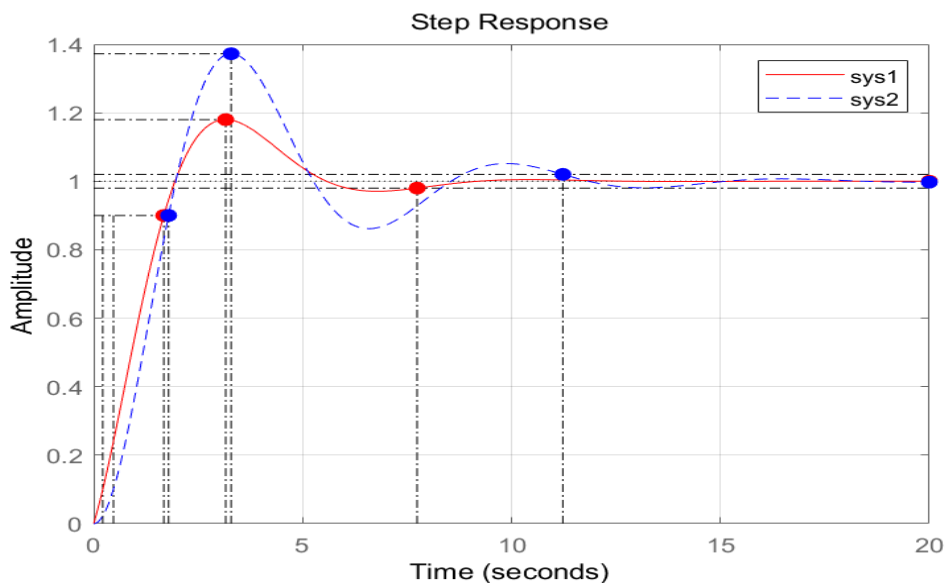
1. 设单位反馈系统的开环传递函数为  $G(s) = \frac{0.4s+1}{s(s+0.6)}$

对该系统进行动态性能仿真，并与忽略闭环零点的系统动态性能进行比较，分析仿真结果。

解：

程序如下：

```
numg1=[0.4 1];  
deng1=[1 0.6 0];  
numg2=[1];  
deng2=[1 0.6 0];  
numh=[1];  
denh=[1];  
[num1,den1]=feedback(numg1,deng1,numh,denh);  
sys1=tf(num1,den1);  
[num2,den2]=feedback(numg2,deng2,numh,denh);  
sys2=tf(num2,den2);  
t=0:0.01:20  
figure  
step(sys1,'r',sys2,'b--',t);  
grid  
程序运行结果如下：
```

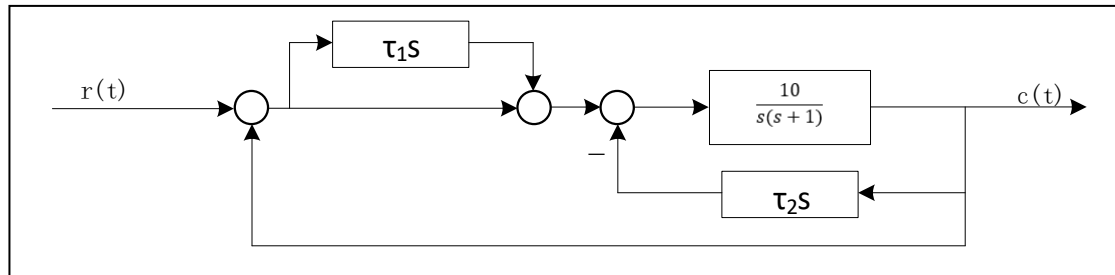


结果对比与分析：

参数 系统	上升时间	调节时间	峰值时间	峰值	超调量 (%)
有闭环零点(实线)	1.46	7.74	3.16	1.18	18
无闭环零点(虚线)	1.32	11.2	3.29	1.37	37.2

由图可以看出, 闭环零点的存在可以在一定程度上减小系统的响应时间, 但是同时也增大了超调量, 所以, 在选择系统的时候应该同时考虑减小响应时间和减小超调量。并在一定程度上使二者达到平衡, 以满足设计需求。

2. 设控制系统如图所示。



要求:

(1) 取  $\tau_1=0$ ,  $\tau_2=0.1$ , 计算测速反馈校正系统的超调量、调节时间和速度误差;

(2) 取  $\tau_1=0.1$ ,  $\tau_2=0$ , 计算测速反馈校正系统的超调量、调节时间和速度误差。

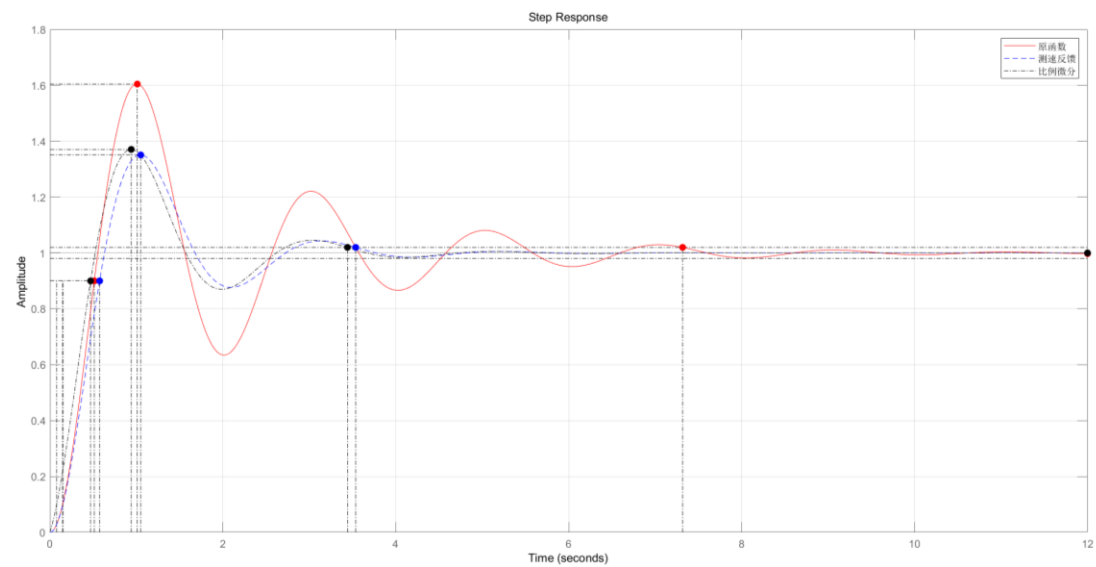
对教材第三章习题 3-9 系统的动态性能及稳态性能通过仿真进行分析, 说明不同控制器的作用。

解:

程序如下:

```
numg1=[10];
deng1=[1 1 0];
numg2=[0.1 0];
deng2=[1];
numh=[1];
denh=[-1];
denr=[1 2 10];
sys1=tf(numg1,deng1);
sys2=tf(numg2,deng2);
G1=feedback(sys1,numh,denh);
G2=feedback(sys1,sys2,denh);
sys3=series(1,G2);
G3=feedback(sys3,numh,denh);
sys4=parallel(sys2,numh);
sys5=series(sys4,sys1);
G4=feedback(sys5,numh,denh);
p=roots(denr);
t=0:0.01:12;
figure
step(G1,'r',G3,'b--',G4,'g',t);
grid;
```

程序运行结果如下：



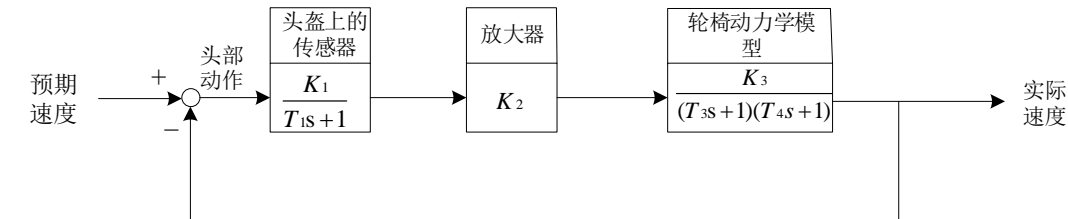
结果对比与分析：

参数 系统	上升时间	调节时间	峰值时间	峰值	超调量 (%)
原系统（实线）	0.367	7.32	1.01	1.6	60.5
测速反馈（虚线）	0.425	3.54	1.05	1.35	35.1
比例微分（点划线）	0.392	3.44	0.94	1.37	37.1

从两个系统动态性能的比较可知：测速校正控制器可以降低系统的峰值和超调量的上升时间；而比例-微分控制器可以加快系统的上升时间和调节时间，但是会增加超调量，所以针对不同的系统要求应采用不同的控制器，使系统满足设计需求。

3. 一种新型电动轮椅装有一种非常实用的速度控制系统，能使颈部以下有残障的人士自行驾驶这种电动轮椅，该系统在头盔上以  $90^\circ$  间隔安装了四个速度传感器，用来指示前、后、左、右四个方向。头盔传感系统的综合输出与头部运动的幅度成正比。下图给出了该控制系统的结构图，其中时间常数  $T_1=0.5s$ ， $T_2=1s$ ， $T_3=0.25s$ 。要求：

- （1）确定使系统稳定的  $K$  的取值 ( $K=K_1K_2K_3$ )；
- （2）确定增益  $K$  的取值，使系统单位阶跃响应的调节时间等于  $4s$  ( $\Delta=2\%$ )，并计算此时系统的特征根。



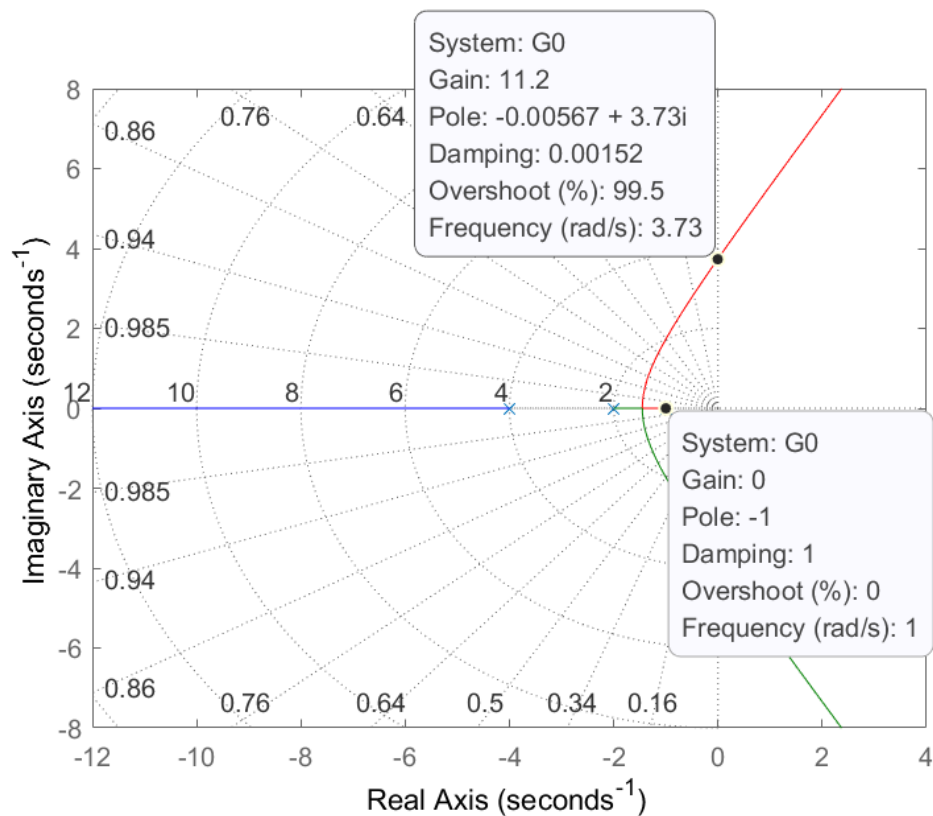
在 MATLAB 环境下选择完成该题，并对结果进行分析。

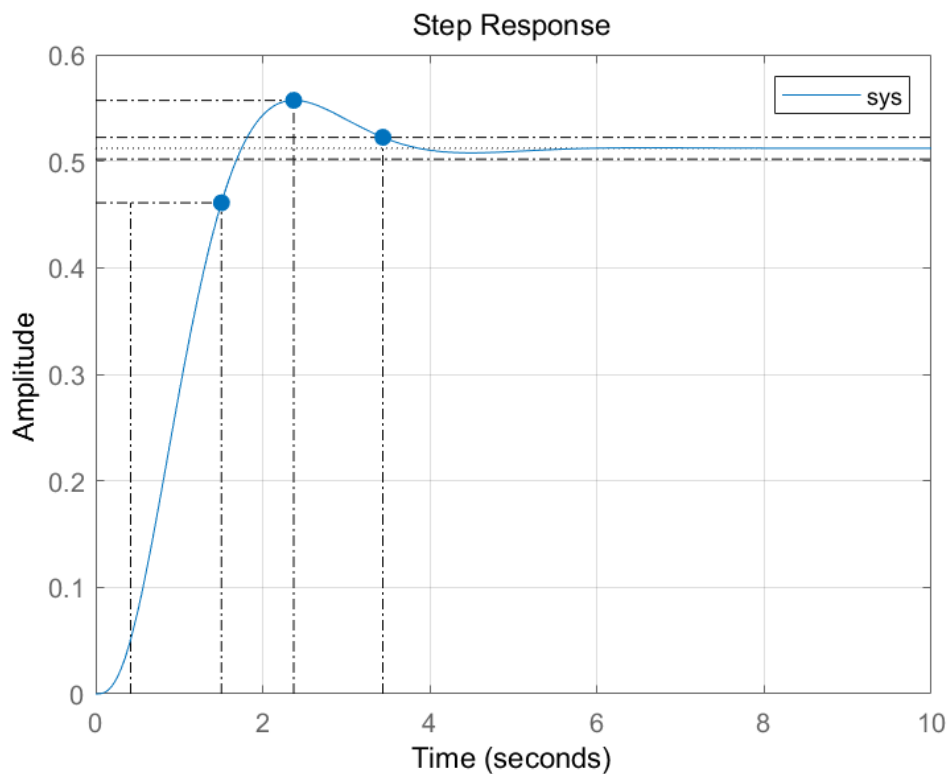
解：

程序如下：

```
num0=8;  
den0=[1 7 14 8];  
G0=tf(num0,den0)
```

```
rlocus(G0)
figure(1)
T1=0.5;
T2=1;
T3=0.25;
K=1.05;
num1=[K];
den1=[T1 1];
num2=[1];
den2=[T2*T3 T2+T3 1];
[numc, denc]=series(num1, den1, num2, den2);
[num, den]=cloop(numc, denc)
roots(den)
t=0: 0.01:10;
figure
step(num, den, t);
grid;
程序运行结果如下:
```





结果对比与分析：

参数 系统	上升时间	调节时间	峰值时间	峰值	超调量 (%)
控制系统（实线）	1.09	3.44	2.37	0.557	8.78

由此可得 $-1 < K < 11.25$ ，测得超调量  $\sigma \% = 8.78\%$ ，调节时间  $t = 3.44s$

4. A closed-loop control system is shown in Fig3.2,

- 1) Determine the transfer function  $C(s)/R(s)$ .
- 2) Determine the poles and zeros of the transfer function.
- 3) Use a unit step input,  $R(s)=1/s$ , and obtain the partial fraction expansion for  $C(s)$  and the steady-state value.
- 4) Plot  $c(t)$  and discuss the effect of the real and complex poles of the transfer function

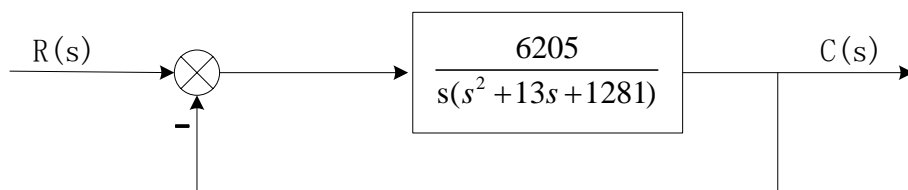


Fig 3.2

有题可知系统的开环传递函数为  $G(s) = \frac{6205}{s(s^2 + 13s + 1281)}$

要求：

- (1) 确定系统的零极点；
- (2) 在单位阶跃响应下分析系统的稳态性能；
- (3) 试分析传递函数的实虚极点对响应曲线的影响。

在 MATLAB 环境下完成该题。

解：

程序如下：

```
numg1=[1 0];  
deng1=[1 13 1281];  
num=6205;  
den=conv(numg1,deng1);  
G=tf(num,den);  
sys=feedback(G,1,-1);  
figure(1);  
pzmap(sys);  
[z,k,p]=tf2zp(num,den);  
grid;  
t=0:0.01:5;  
figure(2);  
step(sys,t);  
grid;
```

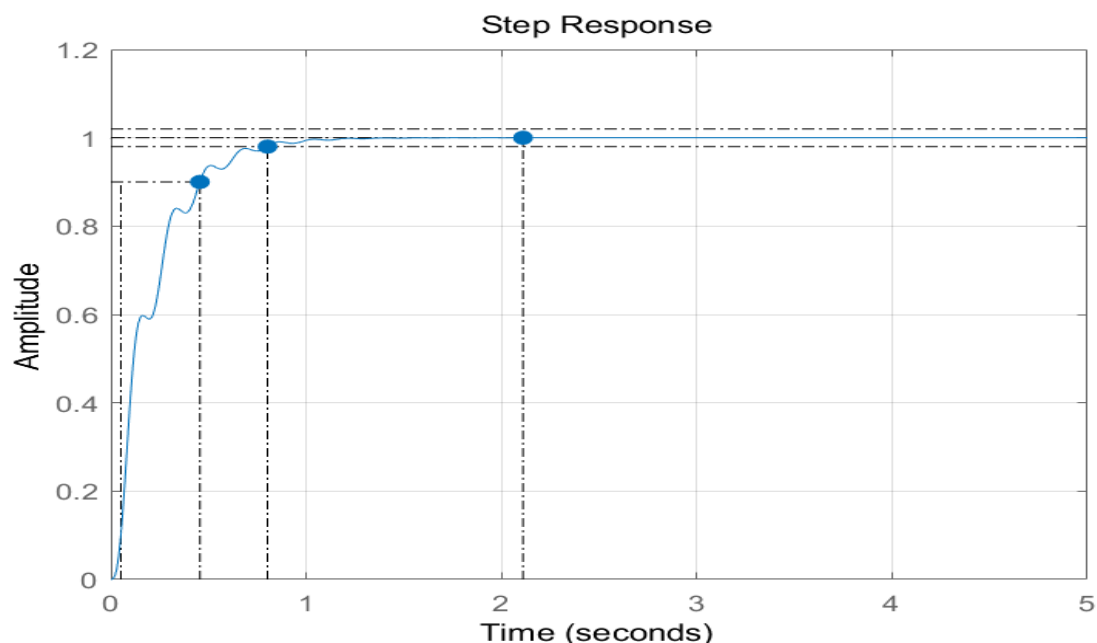
- (1) 求得系统的零极点为：

$z = \text{empty}$

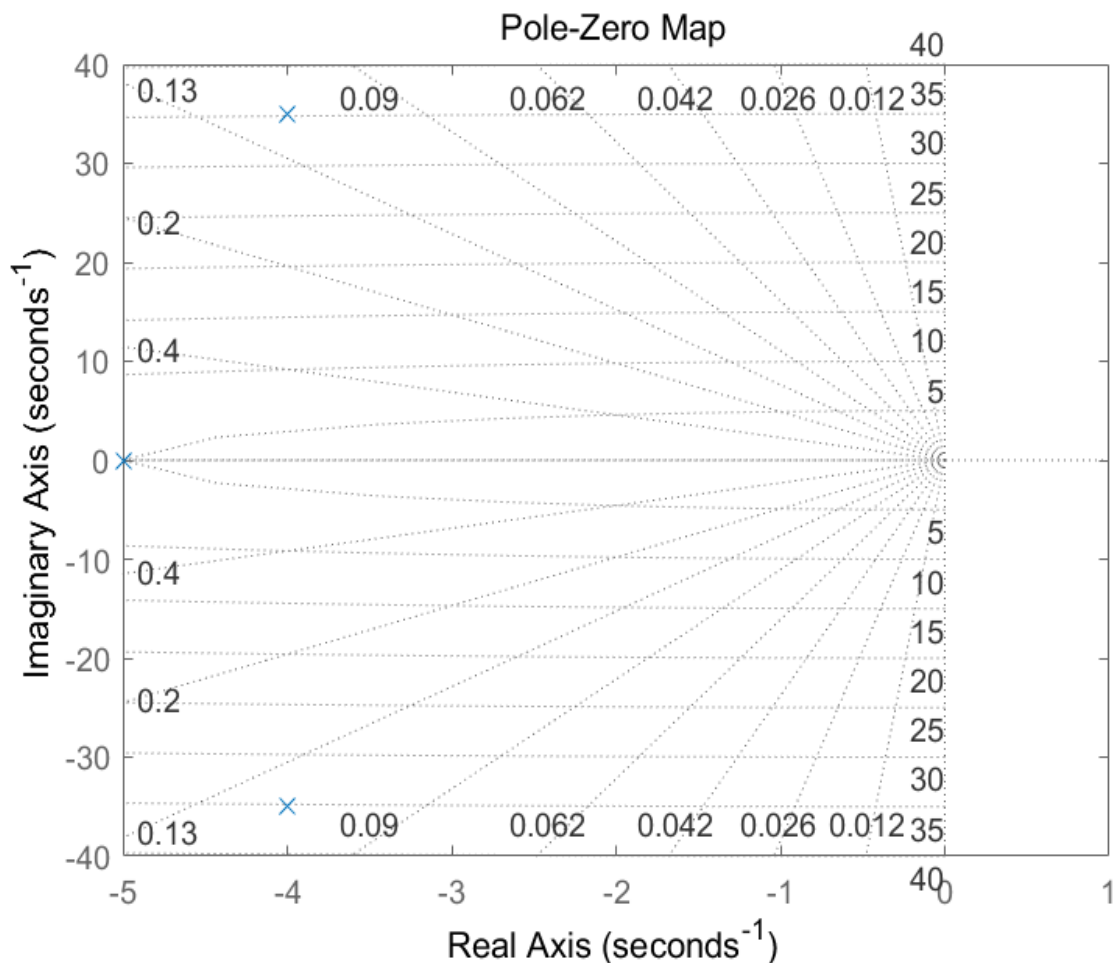
$k = 0$  和  $-6.5 + 35.1959i$  和  $-6.5 - 35.1959i$

$p = 6205$

- (2) 该系统的单位阶跃响应曲线和零极点分布图如下







由图可知：

(1) 特征方程的特征根都具有负实部，响应曲线单调上升，故闭环系统稳定，实数根输出表现为过阻尼单调上升，复数根输出表现为震荡上升。

(2) 该系统的上升时间=0.405，峰值时间=2.11，超调量=0.000448，峰值为 1。由于闭环极点就是微分方程的特征根，因此它们决定了所描述系统自由运动的模态，而且在零初始响应下也会包含这些自由运动的模态。也就是说，传递函数的极点可以受输入函数的激发，在输出响应中形成自由运动的模态。

5. 对英文讲义中的循序渐进实例“Disk Drive Read System”，在  $K_a = 100$  时，试采用微分反馈控制方法，并通过控制器参数的优化，使系统性能满足：

$\sigma\% < 5\%$ ,  $t_s \leq 250ms$ ,  $d_{ss} < 5 \times 10^{-3}$  等指标。

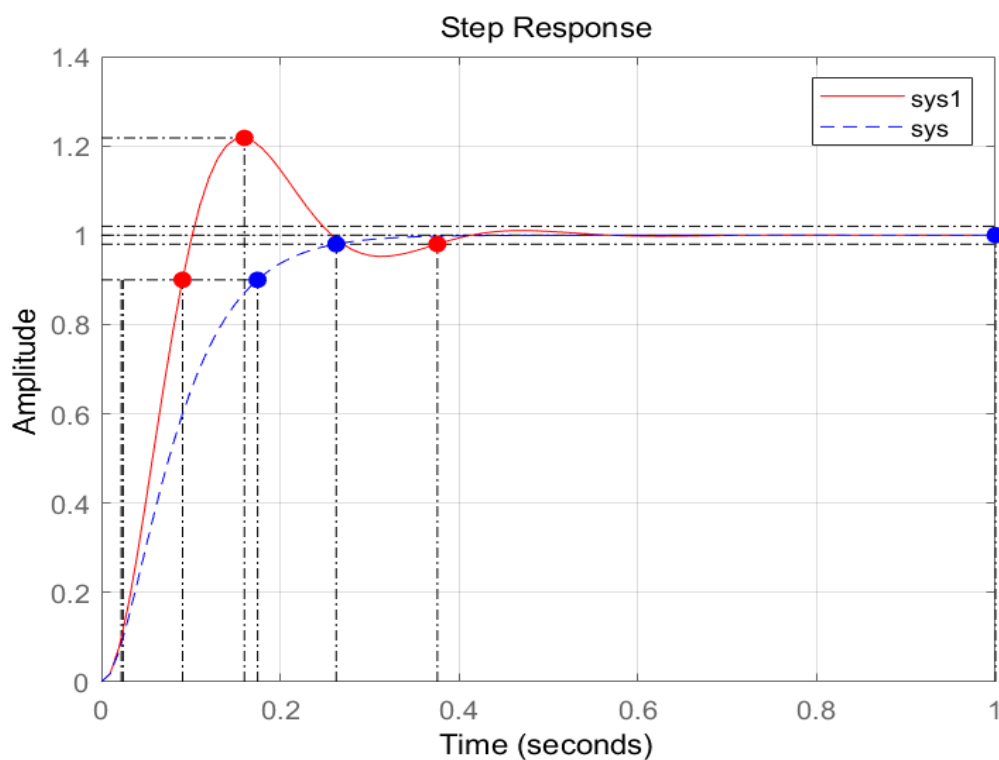
解：

程序如下：

```
numg1=[5000];
deng1=[1,1000];
numg2=[1];
deng2=[1 20];
numg3=[1];
```

```
deng3=[1 0];
G1=tf(numg1,deng1)
G2=tf(numg2,deng2);
Ga=series(100,G1);
Gb=series(Ga,G2);
G3=tf(numg3,deng3);
Gc=series(Gb,G3);
sys1=feedback(Gc,1);
t=0:0.01:1;
sys2=feedback(Gb,0.05);
sys3=series(sys2,G3);
sys=feedback(sys3,1);
step(sys1,'r',sys,'b--',t);
grid;
```

程序运行结果如下：



结果对比与分析：

参数 系统	上升时间	调节时间	峰值时间	峰值
原系统（实线）	0.0684	0.376	0.16	1.22
加微分反馈的 系统（虚线）	0.1507	0.262	0.486	1

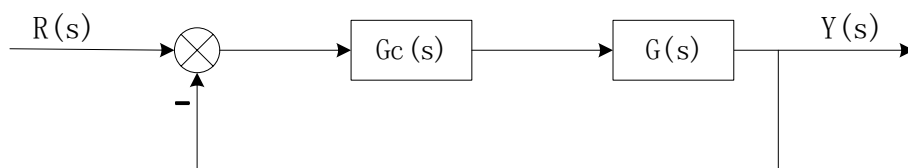
由图可知：添加微分反馈后系统扰动减小，自然频率不变，阻尼比变大，由欠阻尼变为过阻尼，使上升时间变大，超调量和调节时间变小，动态性能变好。但闭环增益减小，加大了系统的稳态误差。

## 第四章 线性系统的根轨迹法

1. A control system as shown in Fig4.1 has a plant  $G(s)=1/s(s-1)$

(1) When  $G_c(s)=k$ , show that the system is always unstable by sketching the root locus.

(2) When  $G_c(s)=K(S+2)/(S+20)$ , sketch the root locus and determine the range of  $K$  for which the system is stable. Determine the value of  $K$  and the complex roots when two roots lie on the  $j\omega$ -axis.



已知一个控制系统的开环传递函数为求：

(1) 当时，画出系统的根轨迹图；

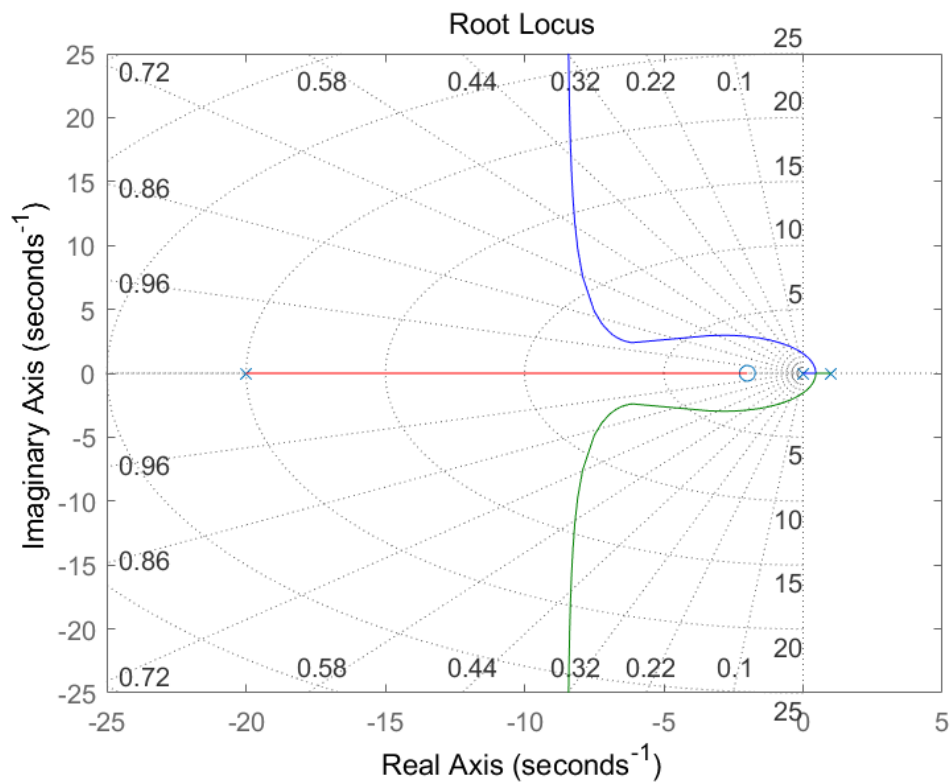
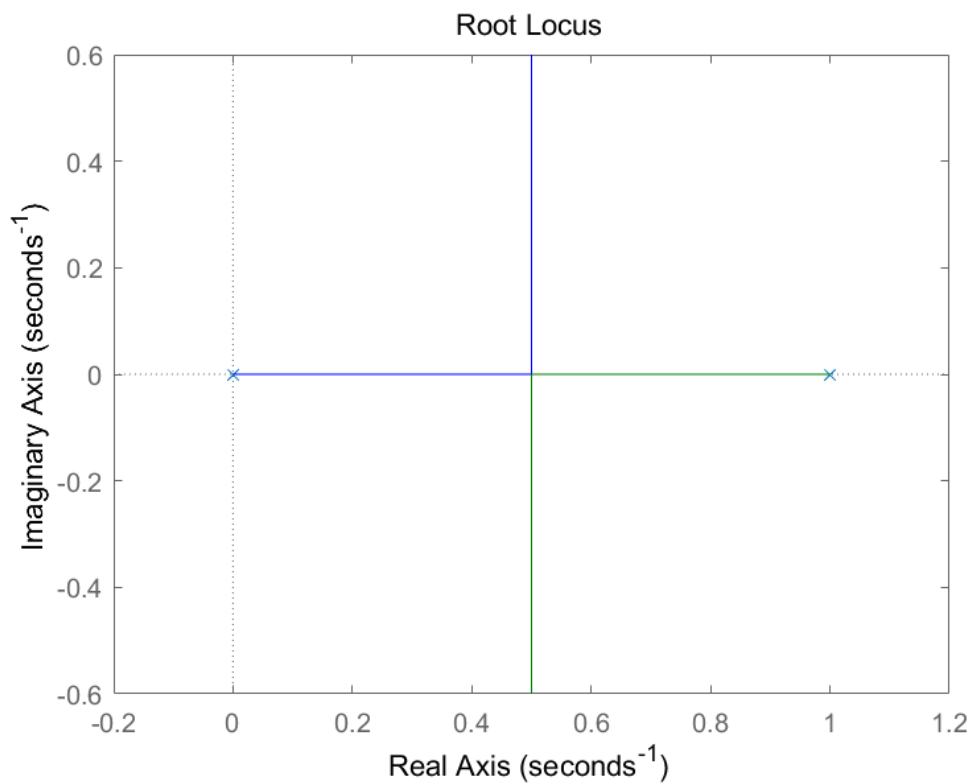
(2) 当画出系统根轨迹图，并确定系统稳定时 $K$ 的值。

解：

程序如下：

```
numg1=[1];
deng1=[1 -1 0];
numg2=[1 2];
deng2=[1 20];
G=tf(numg1,deng1);
figure(1)
rlocus(G);
Gc=tf(numg2,deng2);
sys=series(Gc,G);
figure(2)
rlocus(sys);
```

程序运行结果如下：



结果分析:

在第一小题的根轨迹图中可以看出,系统的闭环极点都位于 s 平面的右半平面,所以系统不

稳定：在第二小题的根轨迹图中可以看出，系统的根轨迹图与虚轴有两个交点，对应的开环增益为 20.6，系统稳定。

## 2. 概略绘出的根轨迹图。

设已知单位反馈控制系统的开环传递函数, 要求:

- (1) 确定 $G(s)=K*/s(s+1)(s+10)$ 产生纯虚根的开环增益;
- (2) 确定 $G(s)=K*(s+z)/s^2(s+10)(s+20)$ 产生纯虚根为 $\pm j1$ 的 $z$ 值和 $K*$ 值;
- (3) 概略绘制 $G(s)=K*/s(s+1)(s+3.5)(s+3+j2)(s+3-j2)$ 的闭环根轨迹图 (要求确定根轨迹的分离点、起始角和与虚轴的交点)。

系统的开环传函: 
$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+10)}$$

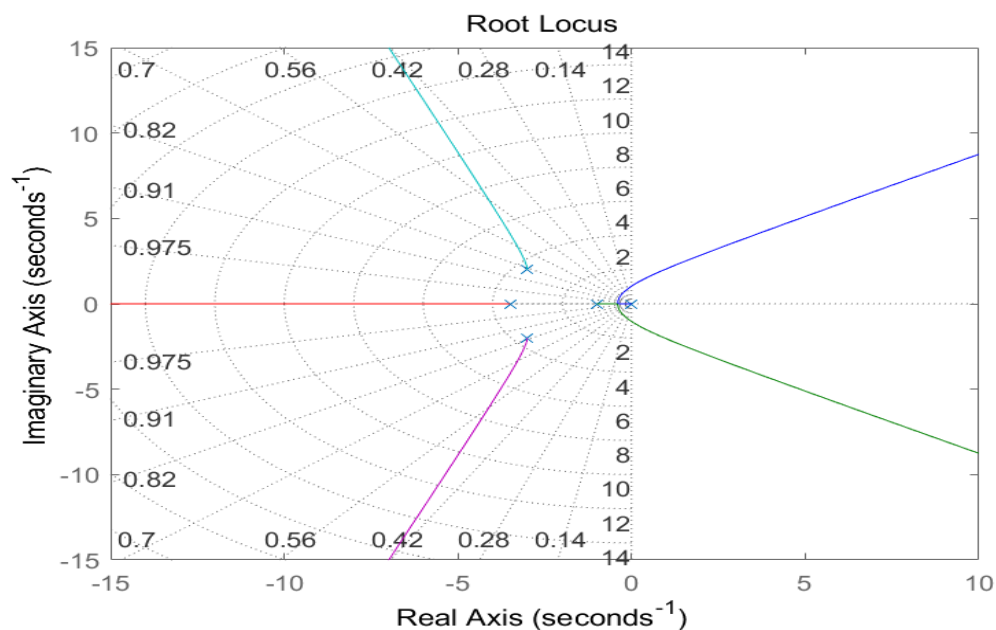
系统的开环传函: 
$$G(s) = \frac{30(s+z)}{s^2(s+1)(s+10)}$$

系统的开环传函: 
$$G(s) = \frac{73.04}{s(s+1)(s+3.5)(s+3+j2)(s+3-j2)}$$

解:

程序如下:

```
numg1=[];
deng1=[0 -1 -3.5 -3-2i -3+2i];
numh=[1];
G=zpk(numg1,deng1,numh);
rlocus(G);
程序运行结果如下:
```



3. 设反馈控制系统中  $G(s) = \frac{K^2}{s^2(s+2)(s+5)}$ ,  $H(s) = 1$  要求:

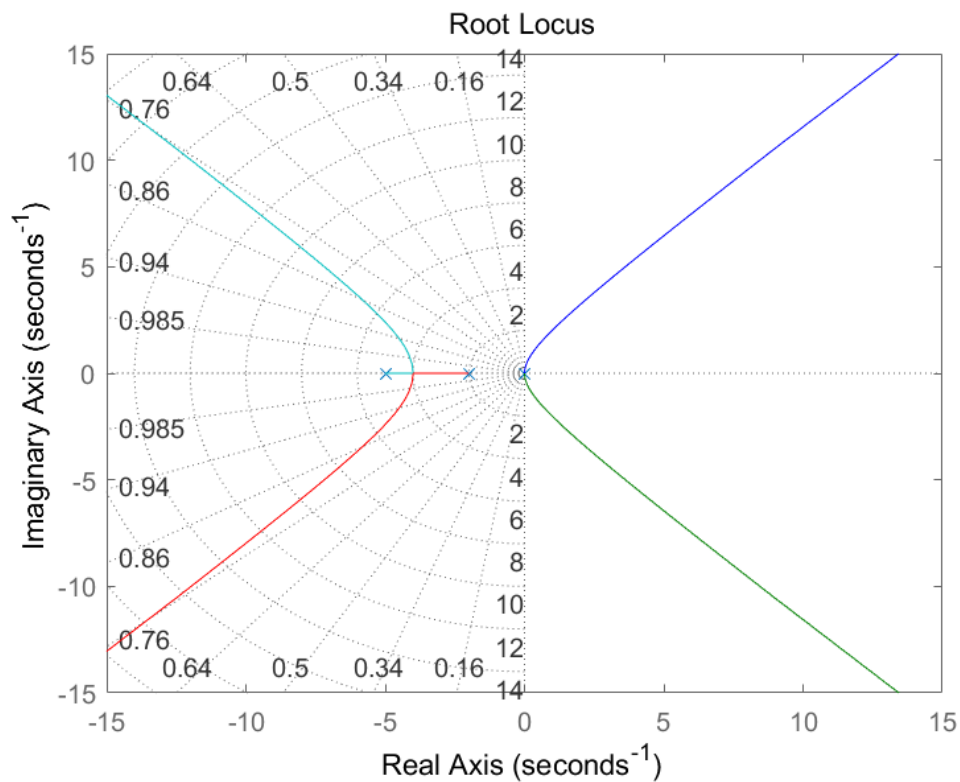
- (1) 概略绘出系统根轨迹图, 并判断闭环系统稳定性;
- (2) 如果改变反馈通路传递函数, 使  $H(s) = 1+2s$ , 试判断  $H(s)$

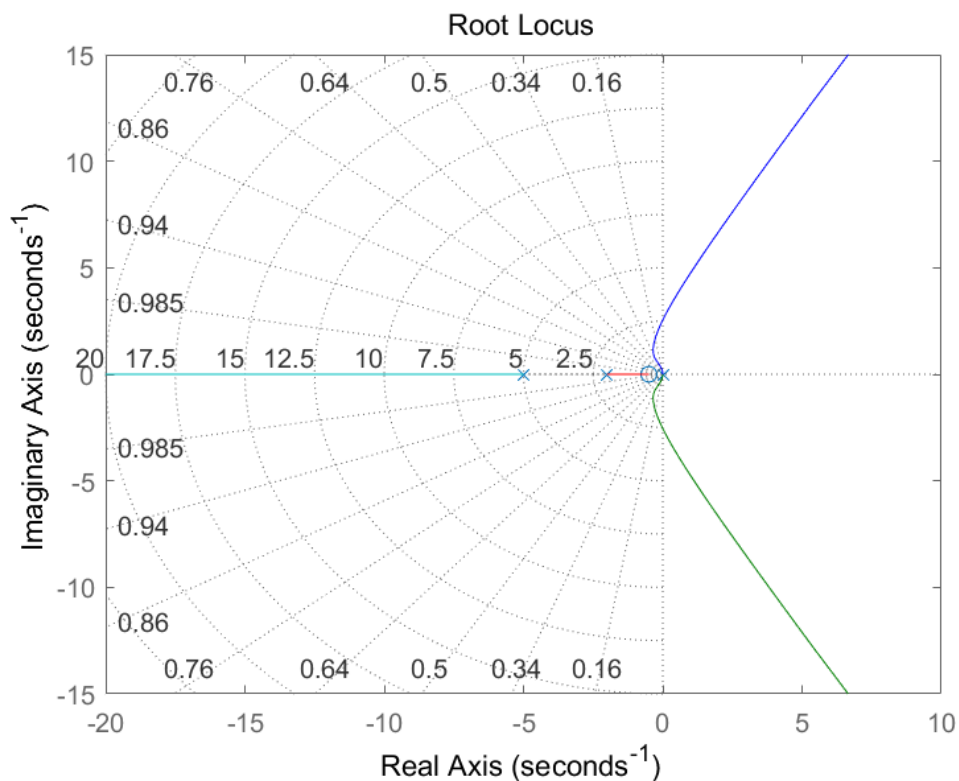
解:

程序如下:

```
numg1=[1 2 0 0];
deng1=[1 5];
numg2=[1];
deng2=conv(numg1, deng1);
G1=tf(numg2, deng2);
figure(1);
rlocus(G1);
numg3=[2 1];
G2=tf(numg3, deng2);
figure(2);
rlocus(G2);
```

程序运行结果如下:

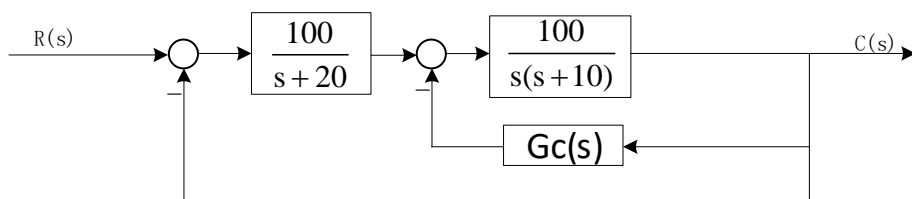




分析:

当  $H(s)=1$  时系统无零点, 系统临界稳定的增益为 71, 此时系统的根轨迹与虚轴的交点为  $\pm 3.18i$ ;  $H(s)=1+2s$  时, 系统加入一个一阶微分环节, 此时无论增益如何变化, 系统总处于稳定状态, 也就是说给系统加入一个一阶微分环节能大幅度提高系统的稳定性。

4. 设控制系统如图 4-41 所示, 其中  $G_c(s)$  是为改善性能而加入的校正装置, 若  $G_c(s)$  可从  $K_t s$ ,  $K_a s^2$ ,  $K_a s^2/(s+20)$  三种传递函数中任选一种, 你选择哪一种? 为什么?



系统开环传函

$$G_1(s) = \frac{10K_t s(s+2)}{(s+23.25)(s+3.375+j5.625)(s+3.375-j5.625)}$$

系统开环传函

$$G_1(s) = \frac{10K_a s^2(s+2)}{(s+23.25)(s+3.375+j5.625)(s+3.375-j5.625)}$$

系统开环传函

$$G_1(s) = \frac{10K_a s^2}{(s + 23.25)(s + 3.375 + j5.625)(s + 3.375 - j5.625)}$$

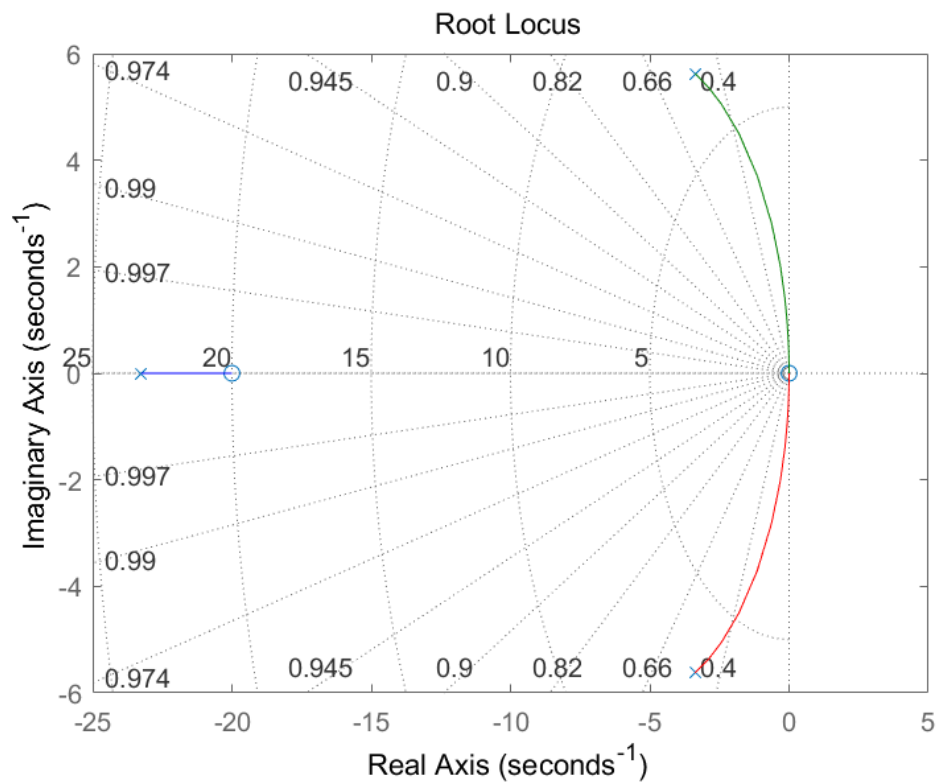
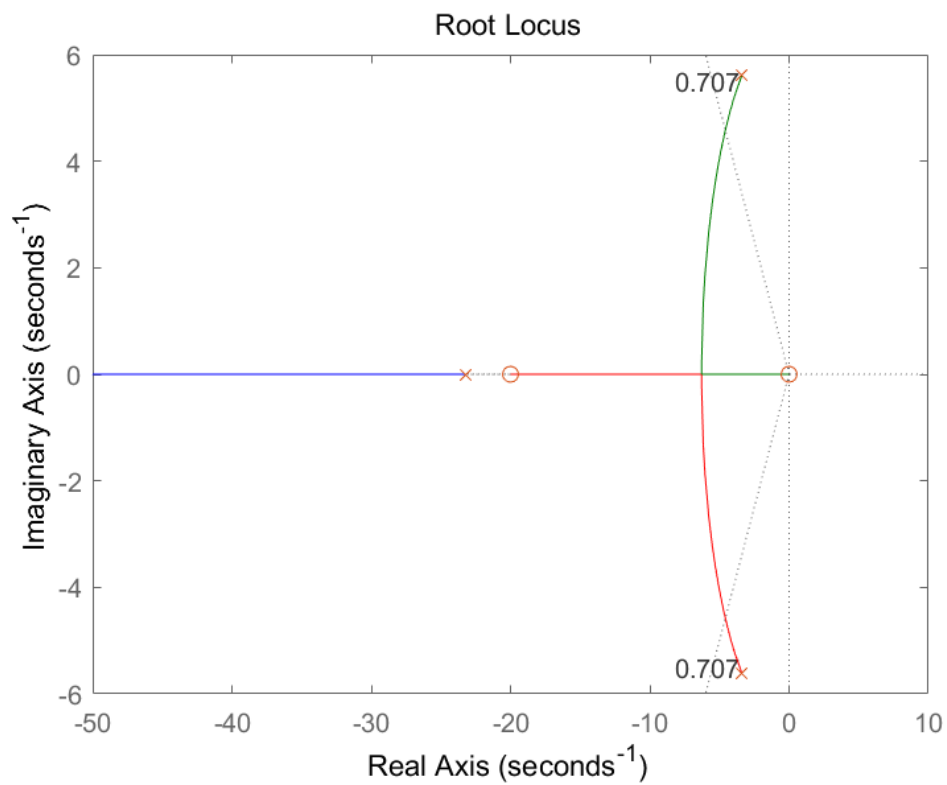
解：

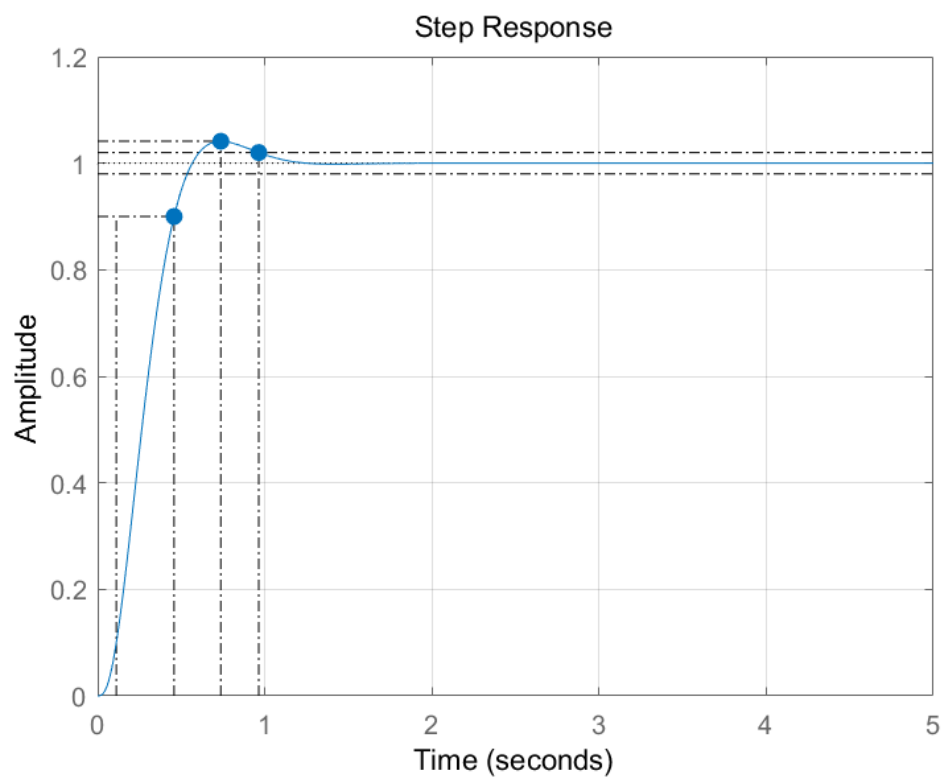
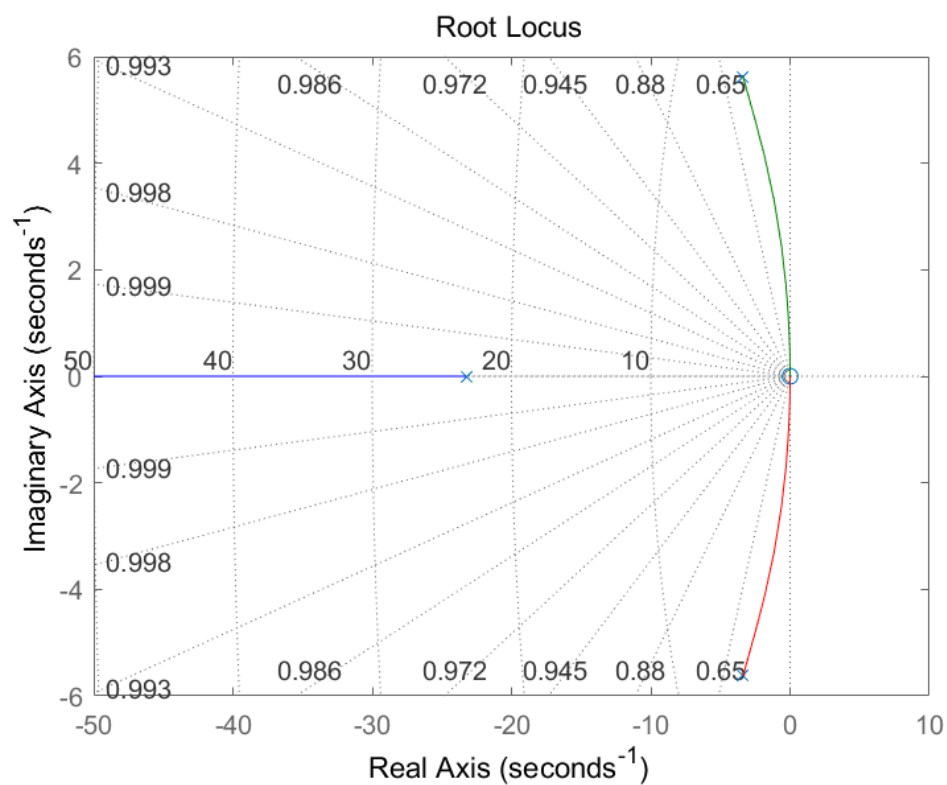
程序如下：

```
numg1=[0 -20];
deng1=[-23.25 -3.375-5.625i -3.375+5.625j];
numg2=[0 0 -20];
deng2=[-23.25 -3.375-5.625i -3.375+5.625i];
numg3=[0 0];
deng3=[-23.25 -3.375-5.625i -3.375+5.625i];
numh=[1];
G1=zpk(numg1,deng1,numh);
G2=zpk(numg2,deng2,numh);
G3=zpk(numg3,deng3,numh);
z=0.707;
figure(1)
rlocus(G1);
sgrid(z,'new')
K=3.02;
Kt=K/10;
hold on;
rlocus(G1,K)
figure(2)
rlocus(G2);
figure(3)
rlocus(G3);
num1=[100];
den1=[1 20];
num2=[10];
den2=[1 10 0];
num3=[Kt 0];
den3=[0 0 1];
[numf,denf]=feedback(num2,den2,num3,den3);
[numc,denc]=series(num1,den1,numf,denf);
[num,den]=cloop(numc,denc);
sys=tf(num,den);
t=0:0.001:5;
figure(4)
step(sys,t);
grid on;
```

程序运行结果如下：







分析:

由仿真图可知, 不同的开环增益K对系统的影响不同, K值越大, 系统的稳定性越差, 所以第一种稳定性最好。

5. 在直升机模式下, 飞机的高度控制系统如图所示:

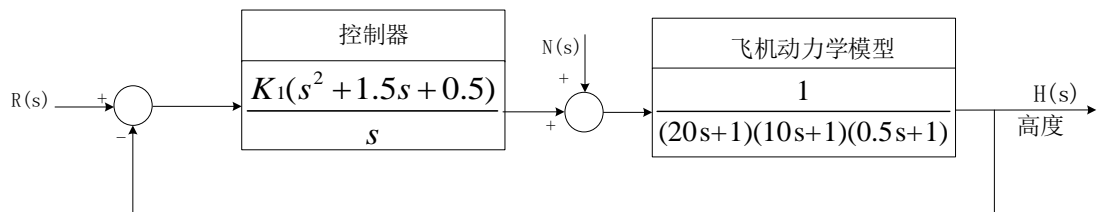
(1) 概略绘制出当控制器增益K1变化时系统根轨迹图, 确定使系统稳定的K1值范围;

(2) 当K1=280时, 求系统对单位阶跃输入 $r(t)=1(t)$ 的实际输出 $h(t)$ , 并确定系统的超调量和调节时间 ( $\Delta=2\%$ )

(3) 当K1=280,  $r(t)=0$ 时, 求系统对单位阶跃扰动 $N(t)=1/s$ 的输出 $h_n(t)$ ;

(4) 若在 $R(s)$ 和第一个比较点之间增加一个前置滤波器

$$Gp(s) = \frac{0.5}{s^2 + 1.5s + 0.5}$$



运行结果:

$$\text{sysn} = s / (100 s^4 + 215 s^3 + 310.5 s^2 + 421 s + 140)$$

解:

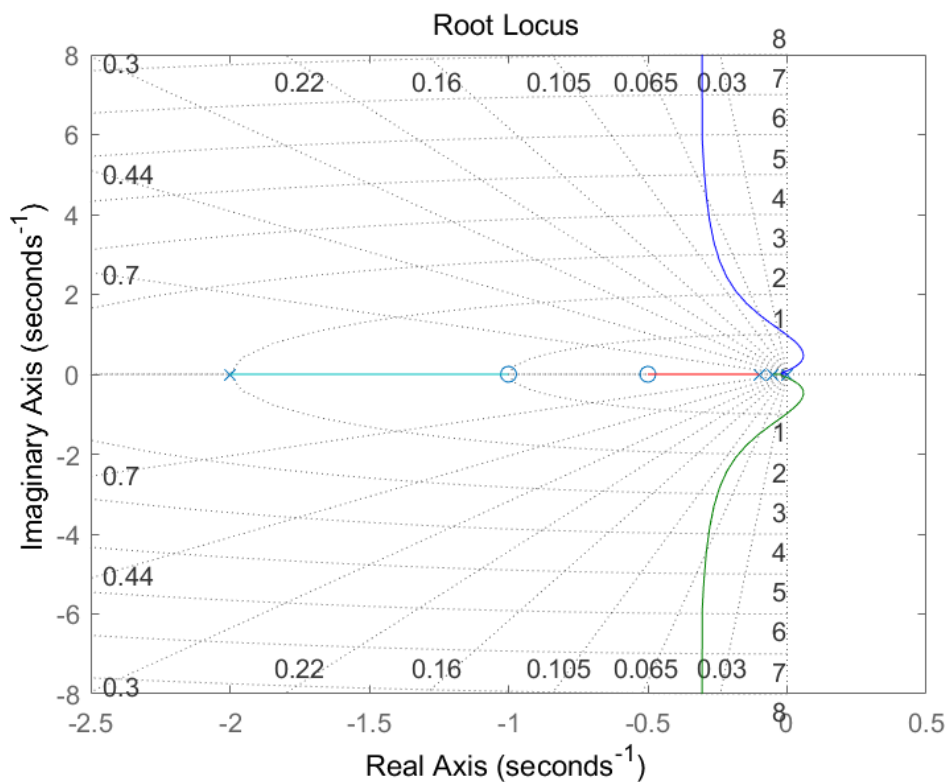
程序如下:

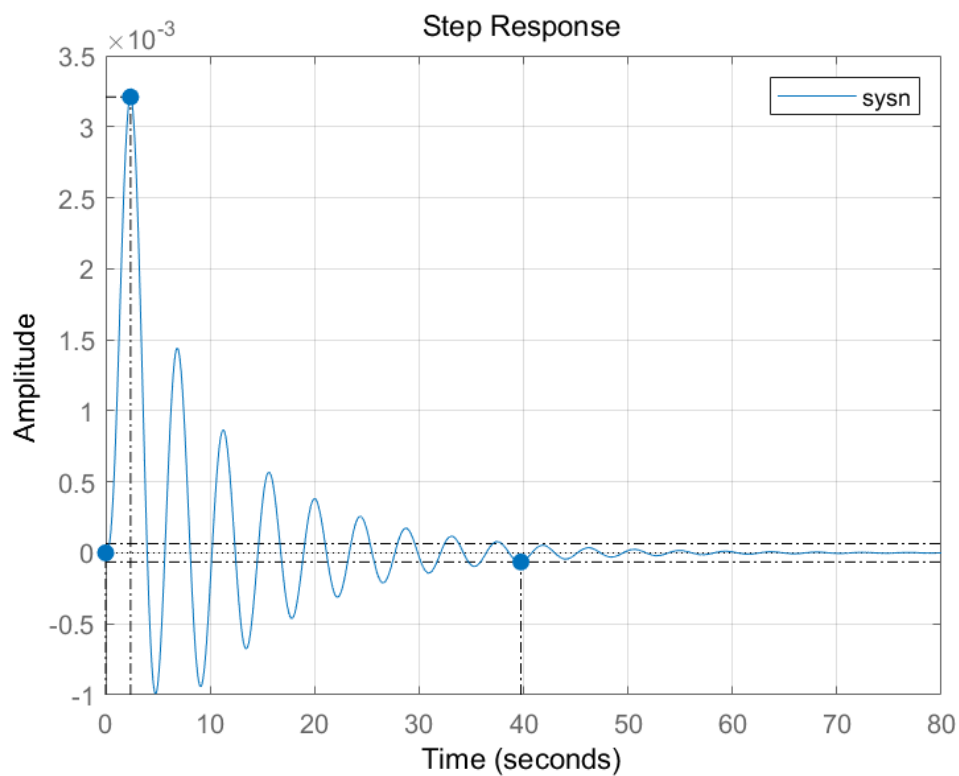
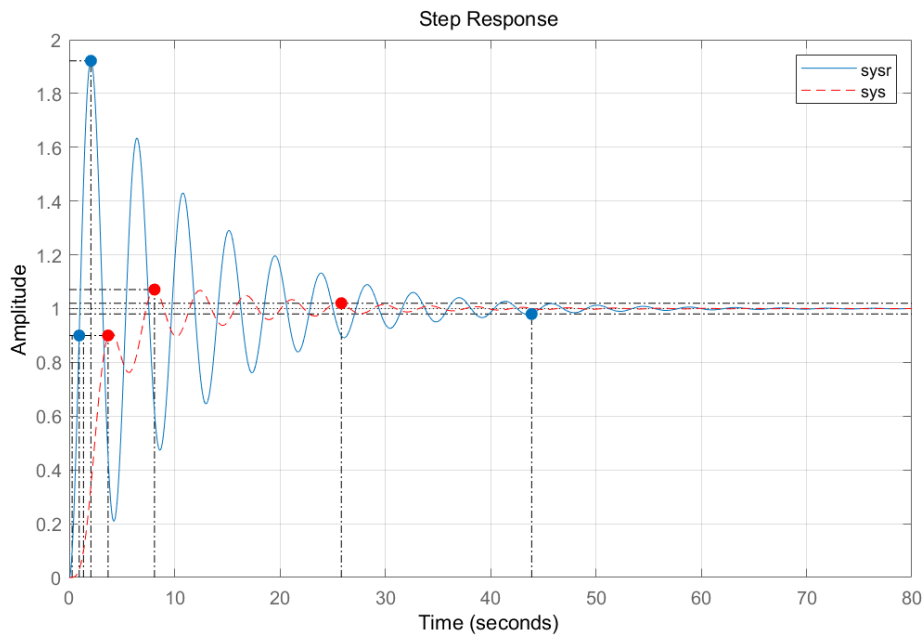
```
numg1=[-0.5 -1];
deng1=[0 -0.05 -0.1 -2];
numh1=[1];
G=zpk(numg1,deng1,numh1);
figure
rlocus(G);
K=280;
num1=[K 1.5*K 0.5*K];
den1=[0 0 1 0];
num2=[1];
den2=[100 215 30.5 1];
[numc,denc]=series(num1,den1,num2,den2);
[numr,denr]=cloop(numc,denc);
sysr=tf(numr,denr);
t=0:0.01:80;
figure
step(sysr,t);
hold on;
```

```

numf=[0.5];
denf=[1 1.5 0.5];
[num, den]=series(numr, denr, numf, denf);
sys=tf(num, den);
t=0: 0.01:80;
step(sys, t);
grid
K=280;
numh2=[K 1.5*K 0.5*K];
denh=[0 0 1 0];
numg2=[1];
deng2=[100 215 30.5 1];
[numn, denn]=feedback(numg2, deng2, numh2, denh);
sysn=tf(numn, denn);
t=0: 0.01:80;
figure
step(sysn, t);
grid
程序运行结果如下：

```





结果对比与分析:

参数 系统	上升时间	调节时间	峰值时间	峰值	超调量 (%)
$r(t)=1(t)$ (实线)	0.669	43.9	2.06	1.92	92.1
$r(t)=0$ (虚线)	2.33	25.8	8.1	1.07	7.08
有前置滤波器 (图三)	0	39.8	2.38	0.00321	

无前置滤波器时有两个闭环零点，虽然可以加快响应速度但却增大了振荡幅度，超调量过大。而有前置滤波器的闭环传递函数的闭环零点被前置滤波器完全对消，最终改善系统动态性能。

## 第五章 线性系统的频域分析法

1. 已知系统的开环传递函数为  $G(s) = \frac{10}{s(2s+1)(s^2+0.5s+1)}$ ，画出系统的概略频率特性

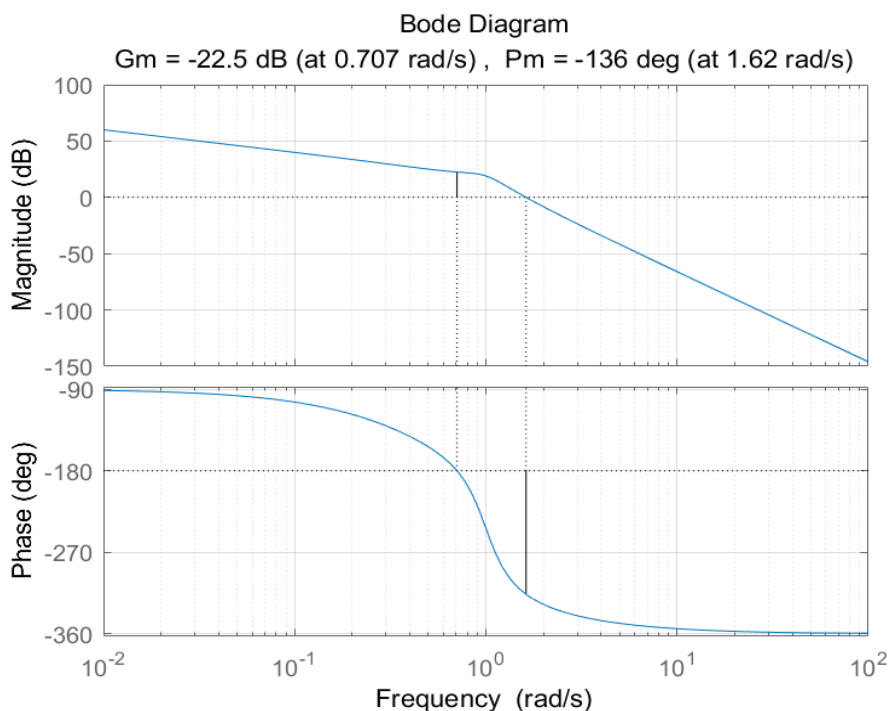
曲线。

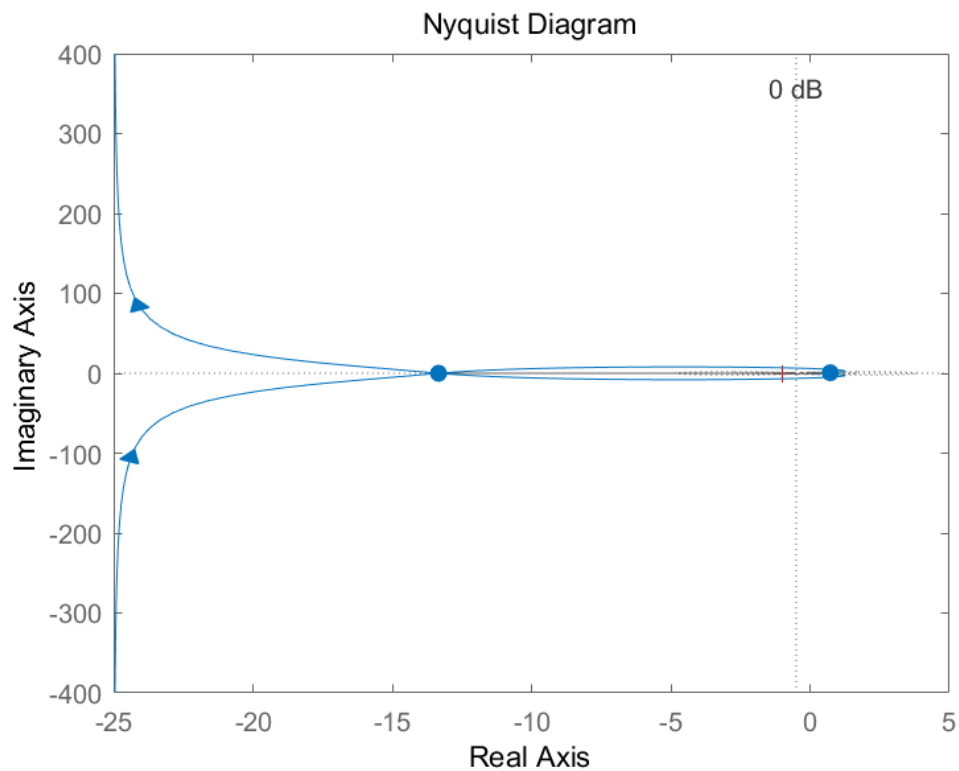
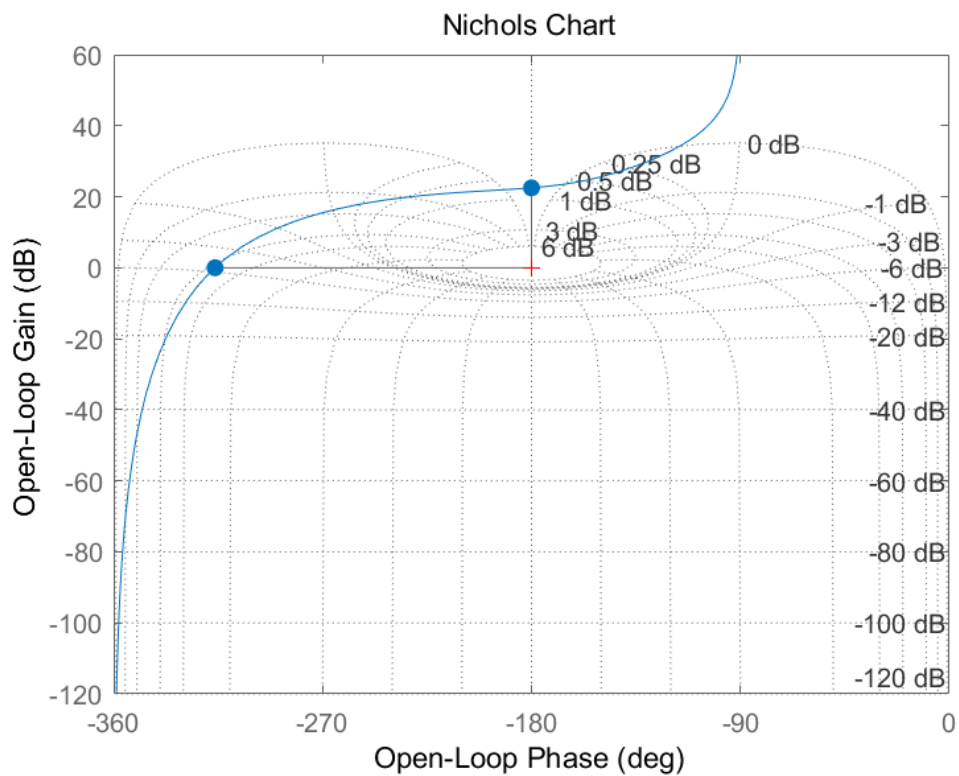
解：

程序如下：

```
numg1=[2 1 0];  
deng1= [1 0.5 1];  
numg2=10;  
deng2=conv(numg1,deng1);  
G=tf(numg2,deng2);  
figure(1);  
margin(G);  
figure(2);  
nichols(G);  
grid;  
figure(3);  
nyquist(G);
```

程序运行结果如下：





## 2. 已知系统开环传递函数

$$G(s)H(s) = \frac{s+1}{s(\frac{s}{2}+1)(\frac{s^2}{9}+\frac{s}{3}+1)}$$

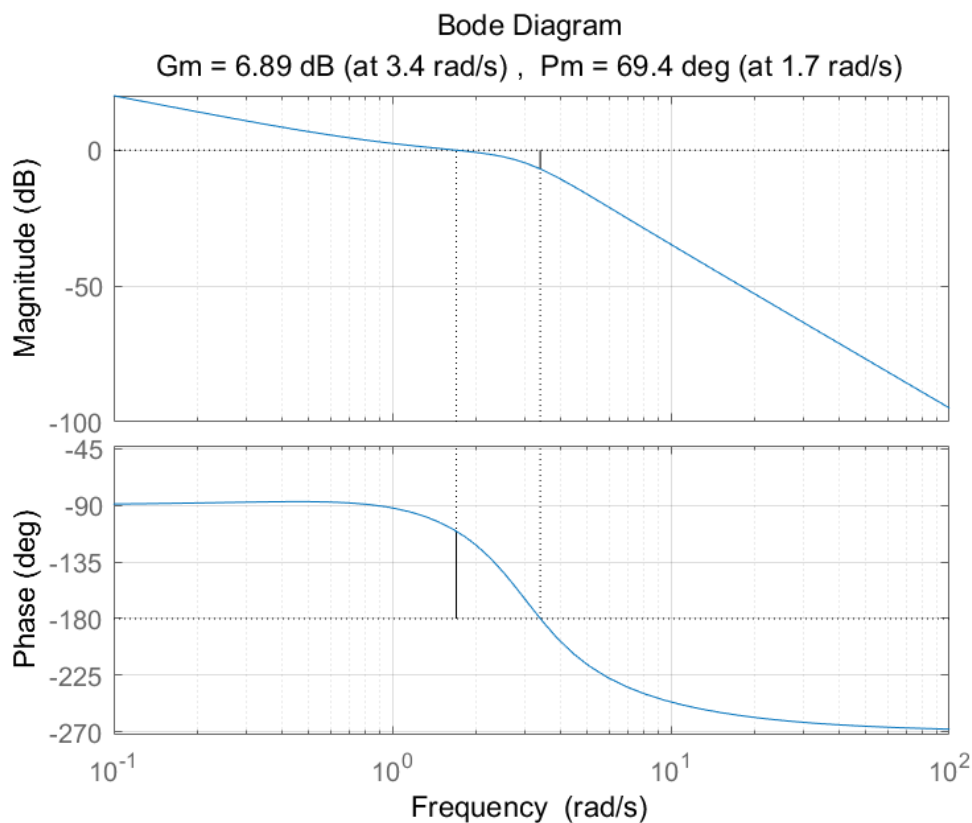
要求选择频率点，列表计算  $A(\omega)$ ， $L(\omega)$ ，并据此在半对数坐标纸上绘制系开环对数频率特性曲线。

解：

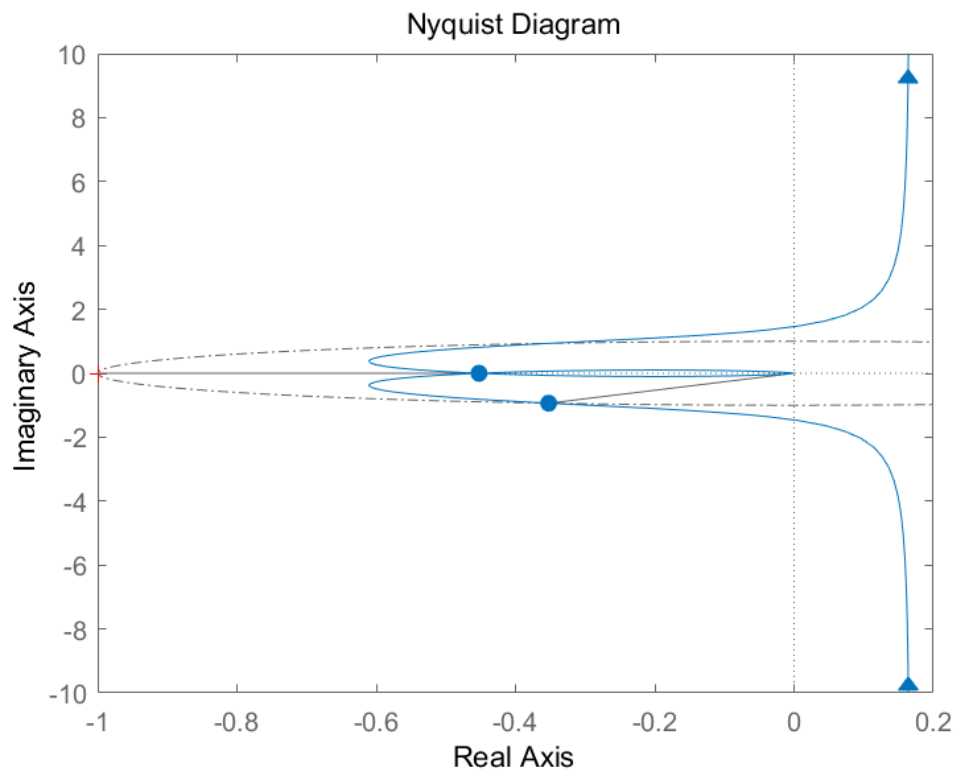
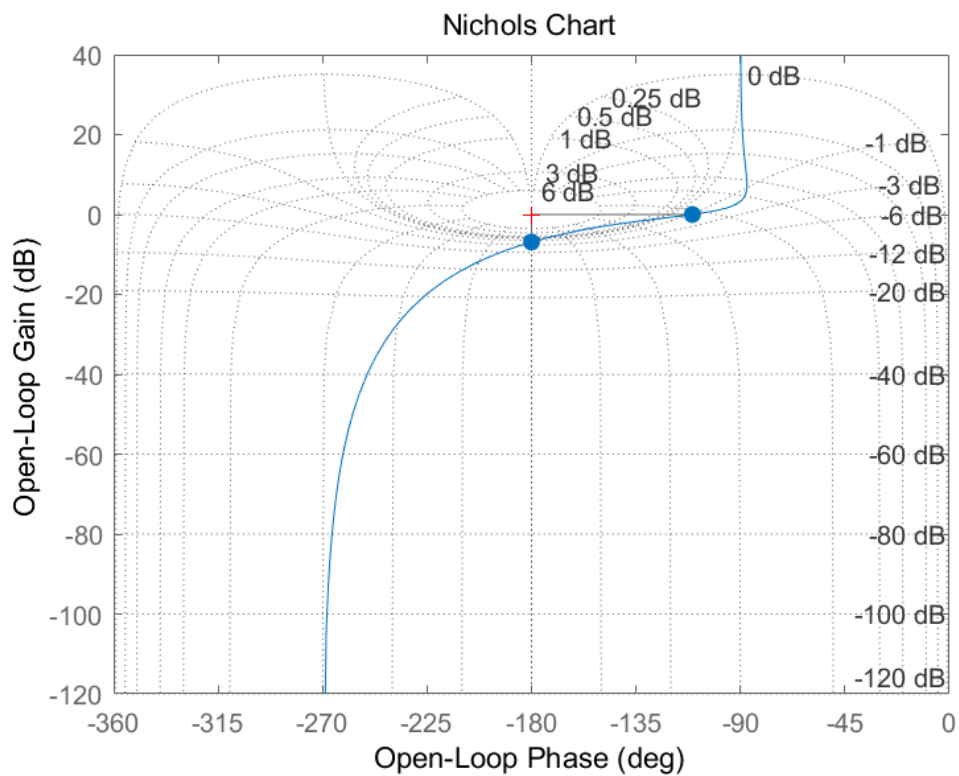
程序如下：

```
numg1=[0.5 1 0];
deng1= [1/9 1/3 1];
numg2=[1 1];
deng2=conv(numg1, deng1);
G=tf(numg2, deng2);
figure(1);
margin(G);
figure(2);
nichols(G);
grid;
figure(3);
nyquist(G);
```

程序运行结果如下：







## 第六章 线性系统的校正

1. 设有单位反馈的火炮指挥伺服系统，其开环传递函数为

$$G_0(s) = \frac{K}{s(0.2s+1)(0.5s+1)}$$

若要求系统最大输出速度为，输出位置的容许误差小于，试求：

- (1) 确定满足上述条件的最小K值，计算该K值下系统的相角裕度和幅值裕度；
- (2) 在前向通道中串联超前校正网络

$$G_0(s) = \frac{0.4s+1}{0.08s+1}$$

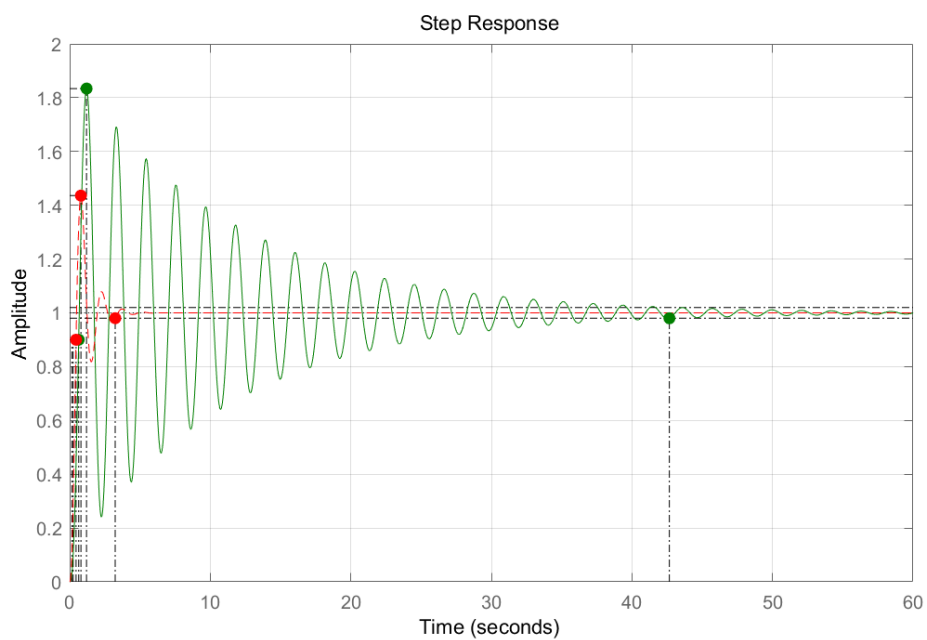
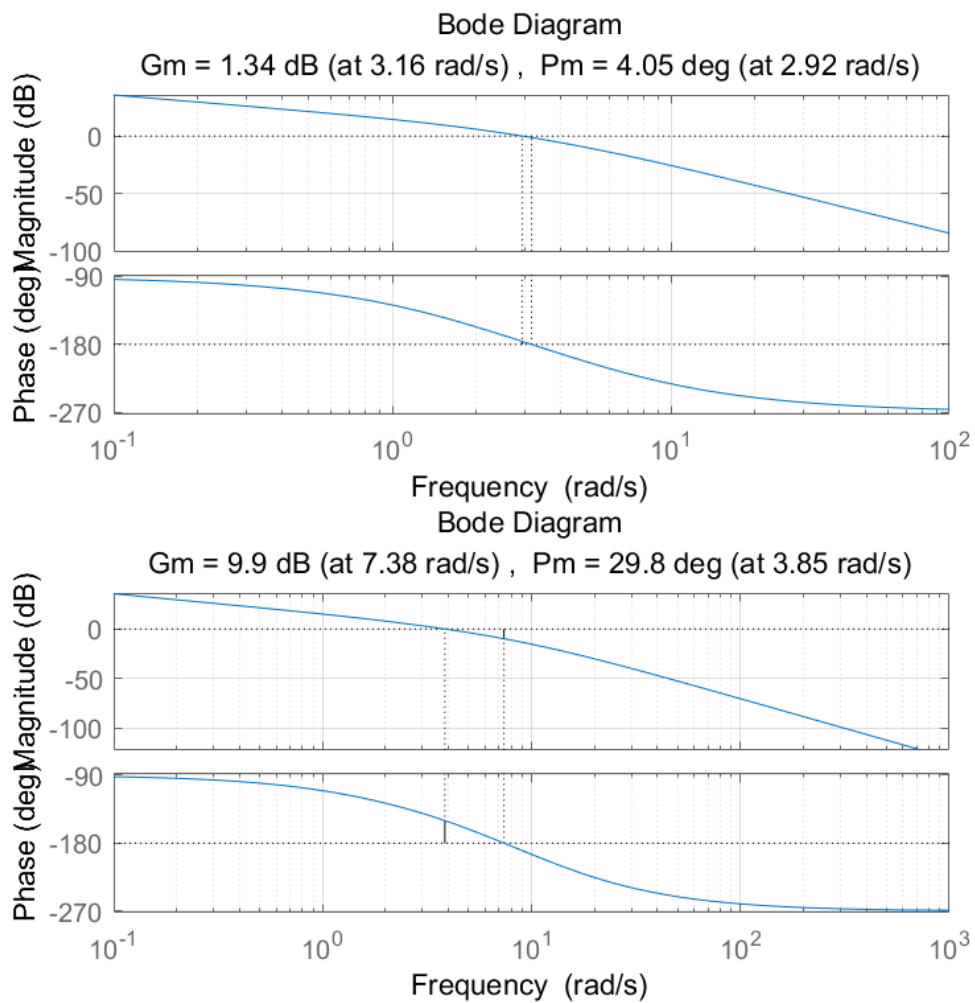
计算校正后系统的相角裕度和幅值裕度，说明超前校正对系统动态性能的影响。

解：

程序如下：

```
numg1=[0.2, 1, 0];  
deng1=[0.5, 1];  
numg3=[0.4, 1];  
deng3=[0.08, 1];  
K=6;  
deng2=conv(numg1, deng1);  
G0=tf(K, deng2);  
Gc=tf(numg3, deng3);  
G=series(Gc, G0);  
G1=feedback(G0, 1);  
G11=feedback(G, 1);  
figure(1);  
subplot(211);  
margin(G0);  
grid  
subplot(212);  
margin(G);  
grid  
figure(2)  
step(G1, 'r', G11, 'b—');  
grid
```

程序运行结果如下：



结果对比与分析：

参数 系统	相角裕度 (deg)	截止频率 (rad/sec)	幅值裕度 (dB)	穿越频率 (rad/sec)	超调量 (%)	调节时间 (sec)
校正前	4.05	2.92	1.34	3.16	83.3	42.7
校正后	29.8	3.85	9.9	7.38	43.5	3.24

由上图及表格可以看出，串联超前校正可以增加相角裕度，从而减少超调量，提高系统的稳定性，增大截止频率，从而缩短调节时间，提高快速性。

2. 设单位反馈系统的开环传递函数为  $G_0(s) = \frac{8}{s(2s+1)}$ ，若采用滞后-超前校正装置

$G_c(s) = \frac{(10+s)(2s+1)}{(100s+1)(0.2s+1)}$ ，对系统进行串联校正，试绘制校正前后的对数幅频渐进特性

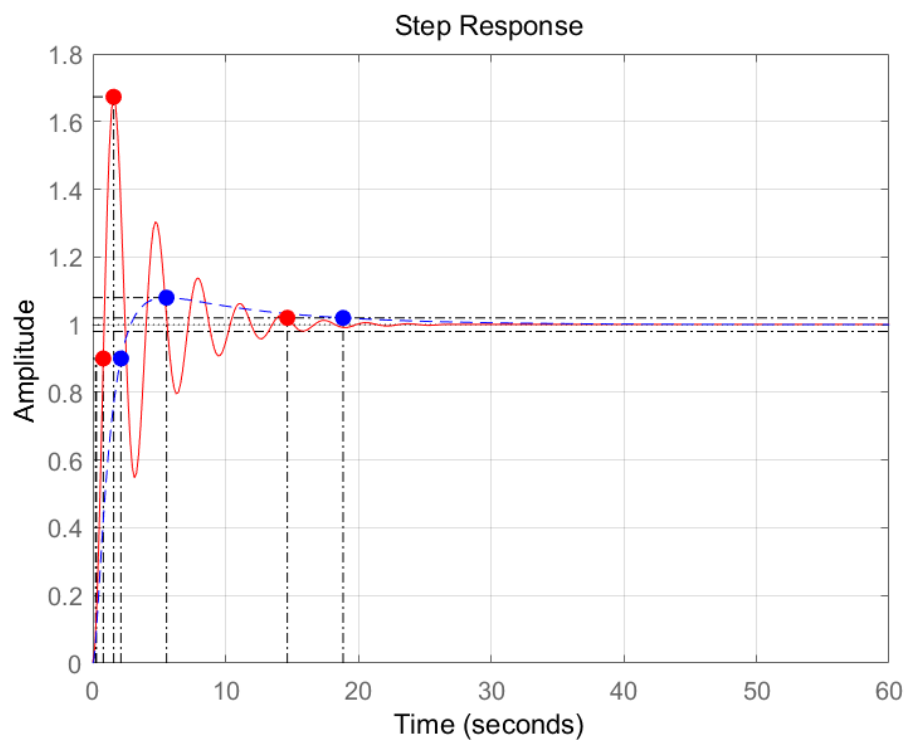
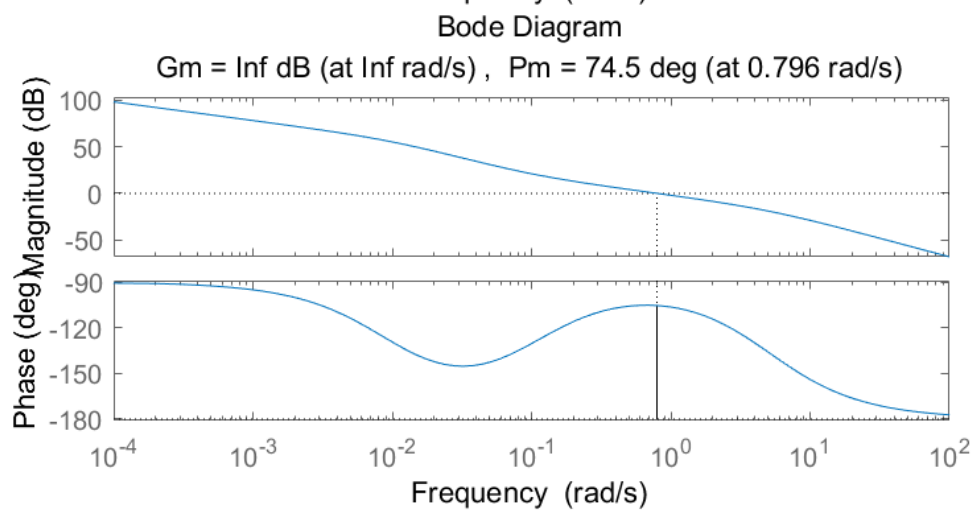
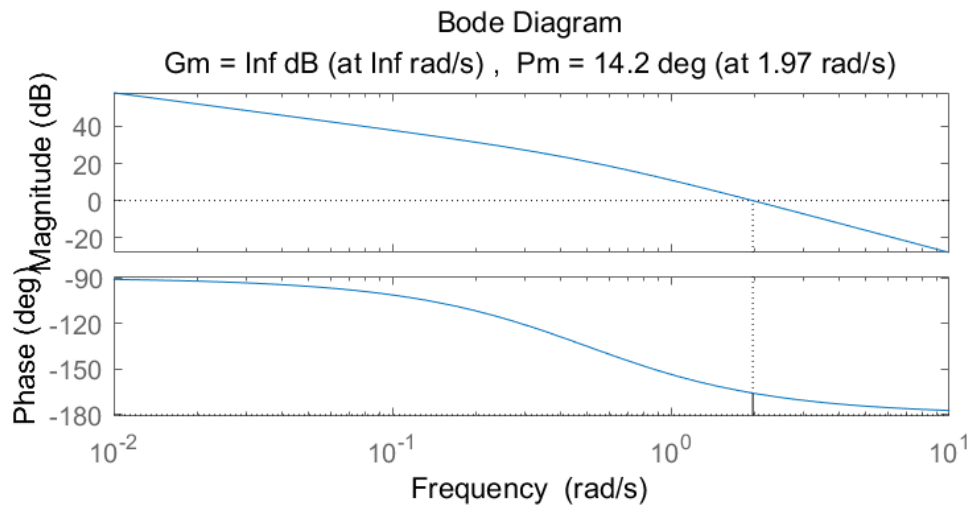
曲线，并计算校正前后的相角裕度。

解：

程序如下：

```
w=0.001:1:100;
numg1=[1,0];
deng1=[2,1];
deng2=conv(numg1,deng1);
numg3=[10,1];
deng3=[2,1];
numg4=[100,1];
deng4=[0.2,1];
deng5=conv(numg3,deng3);
deng6=conv(numg4,deng4);
K=8;
G0=tf(K,deng2);
Gc=tf(deng5,deng6);
G=series(G0,Gc);
subplot(211);
margin(G0);
subplot(212);
margin(G);
G1=feedback(G0,1);
G11=feedback(G,1);
figure(2);
step(G1,'r',G11,'b-');
grid;
```

程序运行结果如下：

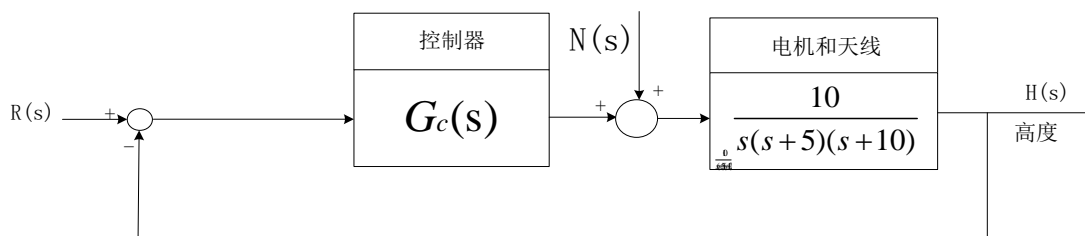


结果对比与分析:

参数 系统	相角裕度 (deg)	截止频率 (rad/sec)	幅值裕度 (dB)	穿越频率 (rad/sec)	超调量 (%)	调节时间 (sec)
校正前	14.2	1.97	Inf	Inf	67.2	14.7
校正后	74.5	0.796	Inf	Inf	7.98	18.9

由上图及表格可以看出当待校正系统不稳定时, 采用串联滞后-超前校正后可使系统的响应速度、相角裕度和稳态精度提高。

3. 大型天线可以用来接收卫星信号, 为了能跟踪卫星的运动, 必须保证天线的准确定向。天线指向控制系统采用电枢控制的电机驱动天线, 计算系统对单位阶跃扰动的响应。若要求系统斜坡响应的稳态误差小于1%, 阶跃响应的超调量小于5%, 调节时间小于2s。



要求:

- (1) 设计合适的校正网络, 并绘制校正后系统的单位阶跃响应曲线。
- (2) 当  $R(s)=0, N(s)=1/s$  时, 对系统输出  $C(s)$  的影响。

解:

程序如下:

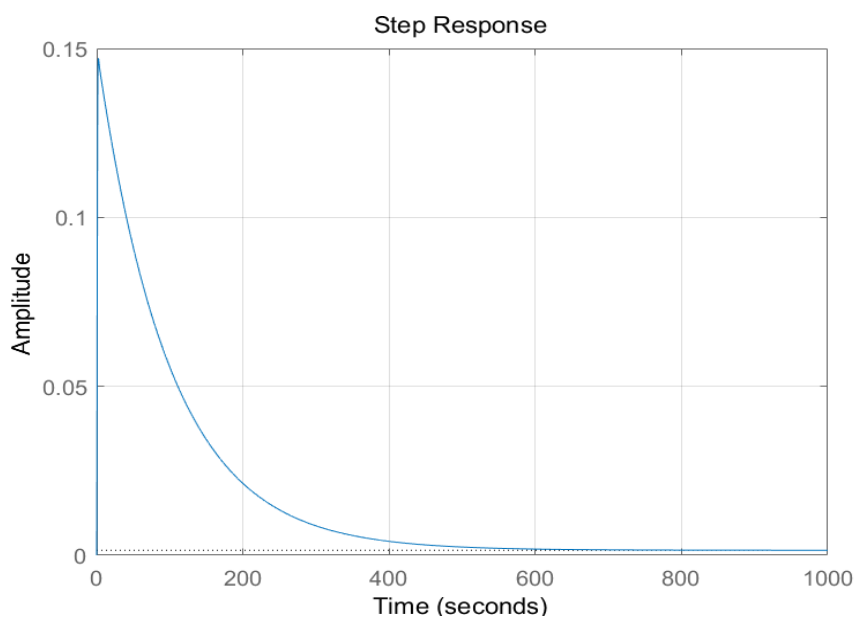
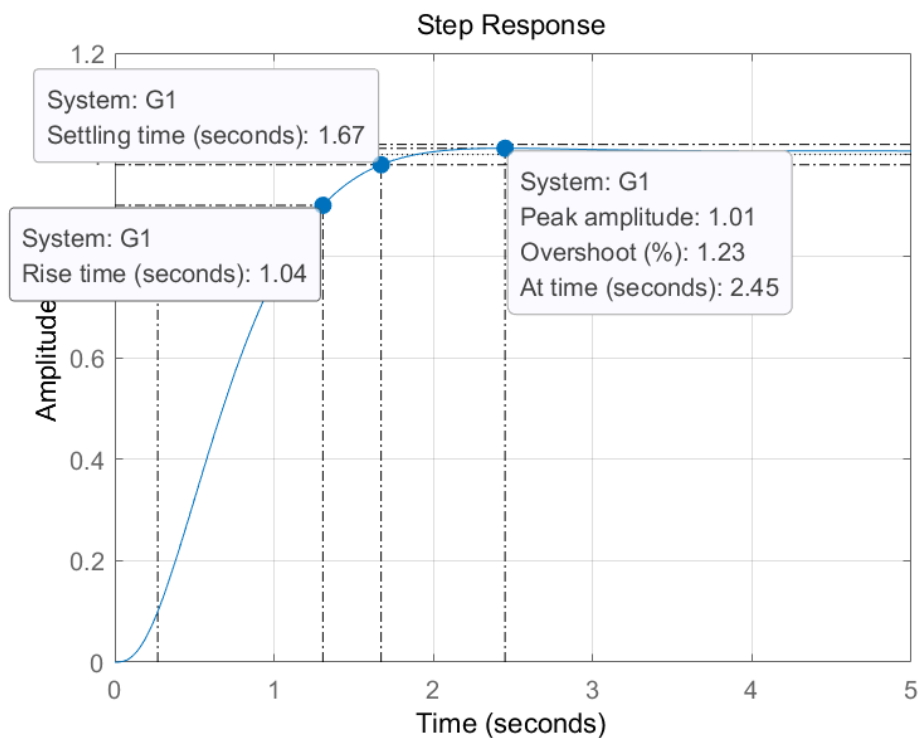
```

K=8;
z=0.01;
numg1=[1,0];
deng1=[1,5];
numg2=conv(numg1,deng1);
deng2=[1,10];
numg3=[10];
deng3=conv(numg2,deng2);
numg4=[1,z];
deng4=[1,5.5];
numg5=[1,0.0001];
deng5=[1,6.5];
numg6=conv(numg4,deng4);
deng6=conv(numg5,deng5);
G0=tf(numg3,deng3);
Gc=tf(K*numg6,deng6);

```

```
G=series(Gc,G0);  
G1=feedback(G,1);  
G2=feedback(G0,Gc);  
t=0:0.01:5;  
figure(1);  
step(G1,t);  
grid  
t1=0:0.01:1000;  
figure(2);  
step(G2,t1);  
grid
```

程序运行结果如下：



分析:

由系统的单位阶跃响应曲线, 表明系统的稳态性能为:  $\sigma\%=1.23\%<5\%$ ,  $t_s=1.67s<2s(\Delta=2\%)$ , 设计合理。

4. 对英文讲义中的循序渐进实例 “Disk Drive Read System”, 试采用 PD 控制并优化控制器参数, 使系统性能满足给定的设计指标  $\sigma\% < 5\%$ ,  $t_s < 150\text{ ms}$ 。

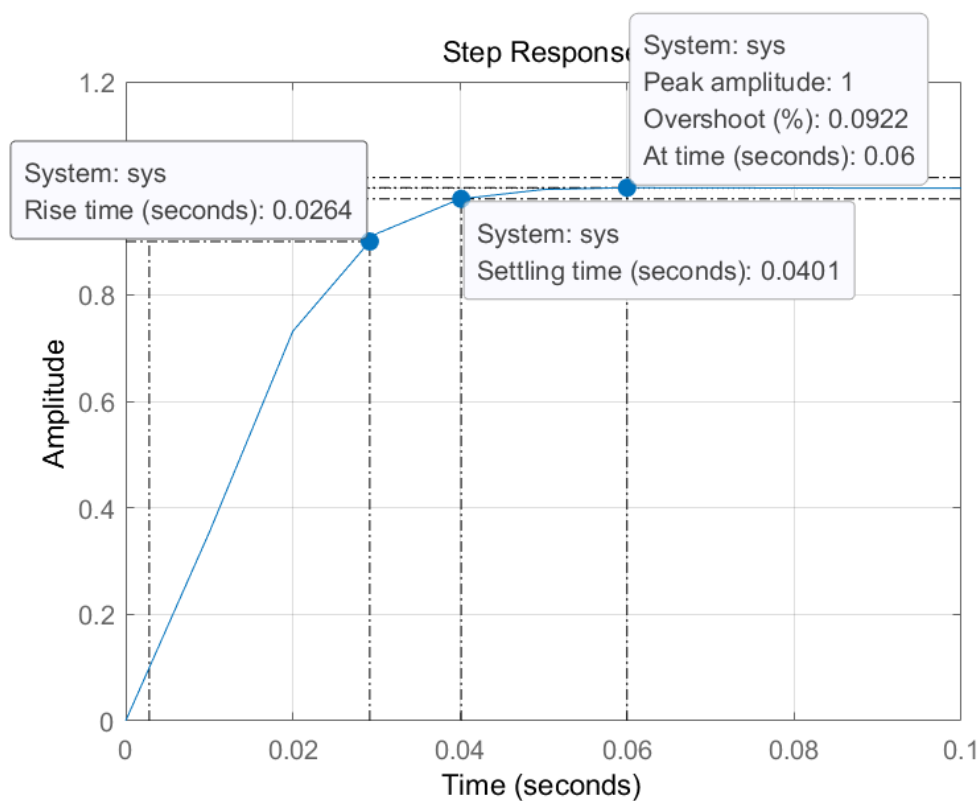
解:

程序如下:

```
numg1=[72.58];
deng1=[1 72.58];
numg2=[39.68];
deng2=[1 72.58];
numg3=conv(numg2,deng2);
deng3=[1];
numg4=[5];
deng4=[1];
numg5=[1];
deng5=[1 20 0];
Gps=tf(numg1,deng1);
Gcs=tf(numg3,deng3);
Gls=tf(numg4,deng4);
G2s=tf(numg5,deng5);
G1=series(Gcs,Gls);
G2=series(G1,G2s);
G3=feedback(G2,1,-1);
sys=series(G3,Gps);
t=0:0.01:0.1;
figure
step(sys,t);
grid;
```

程序运行结果如下:





结果分析:

参数	期望值	实际值
超调量	小于5%	0.0922%
调节时间	小于150ms	40.1ms

给系统串联一个PD控制器，只要参数选择合理，能大幅度提高系统的稳定性与快速性，在对系统响应要求较高时，可采用此种校正方式，使系统最大程度上满足设计需要。

## 第七章 线性离散系统的分析与校正

1. 已知离散系统如图所示，其中采样周期 $T=1$ ，连续部分传递函数为  $G_0(s) = \frac{1}{s(s+1)}$

试求当 $r(t)=1(t)$ 时，系统无稳态误差、过度过程在最少拍内结束的数字控制器 $D(z)$ 。

解:

程序如下:

$T=1$ ;

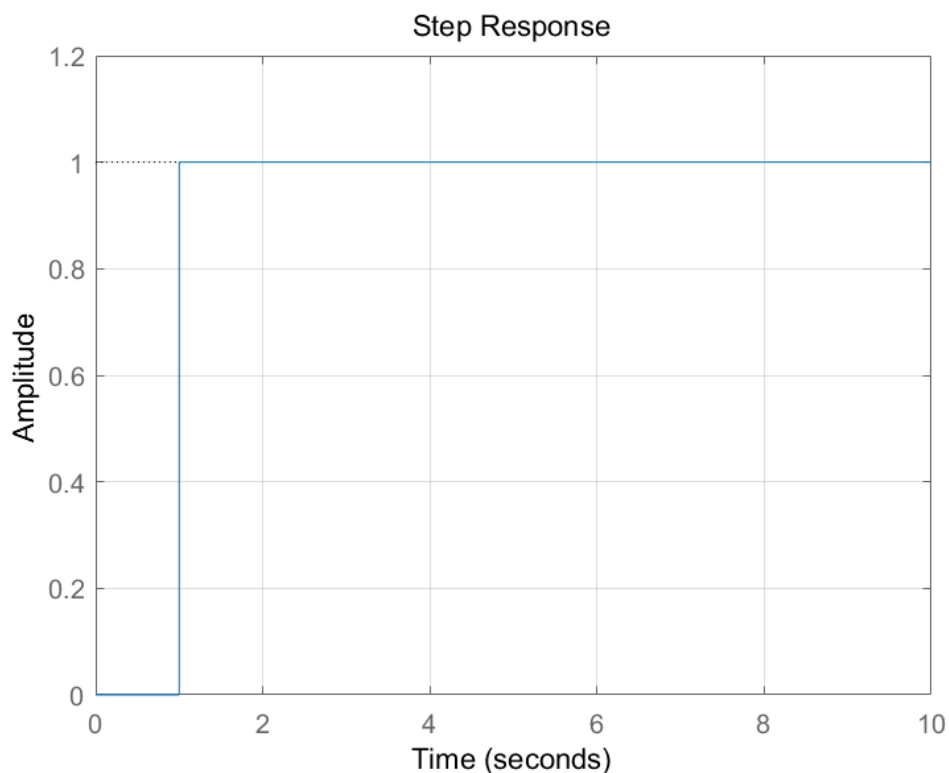
$t=0:1:10$ ;

```

numg1=[0,1];
deng1=[1,0];
numg2=[0,10,0,1.2];
sys=tf(numg1,deng1,T);
step(sys,t);
axis(numg2);
grid;

```

程序运行结果如下：



2. 用来直播足球联赛的新型可遥控摄像系统如图所示，摄像机可在运动场的上方上下移动，其中被控对象

$$G_0(s) = \frac{10}{s(s+1)(0.1s+1)}$$

要求：

- (1) 设计合适的连续控制器  $G_c(s) = \frac{s+a}{s+b}$ ，使系统的相角裕度  $r \geq 45^\circ$ ；
- (2) 选择采样周期  $T=0.01\text{S}$ ，采用  $G_c(s) \rightarrow D(z)$  变换方法，求出相应的数字控制器  $D(z)$ 。

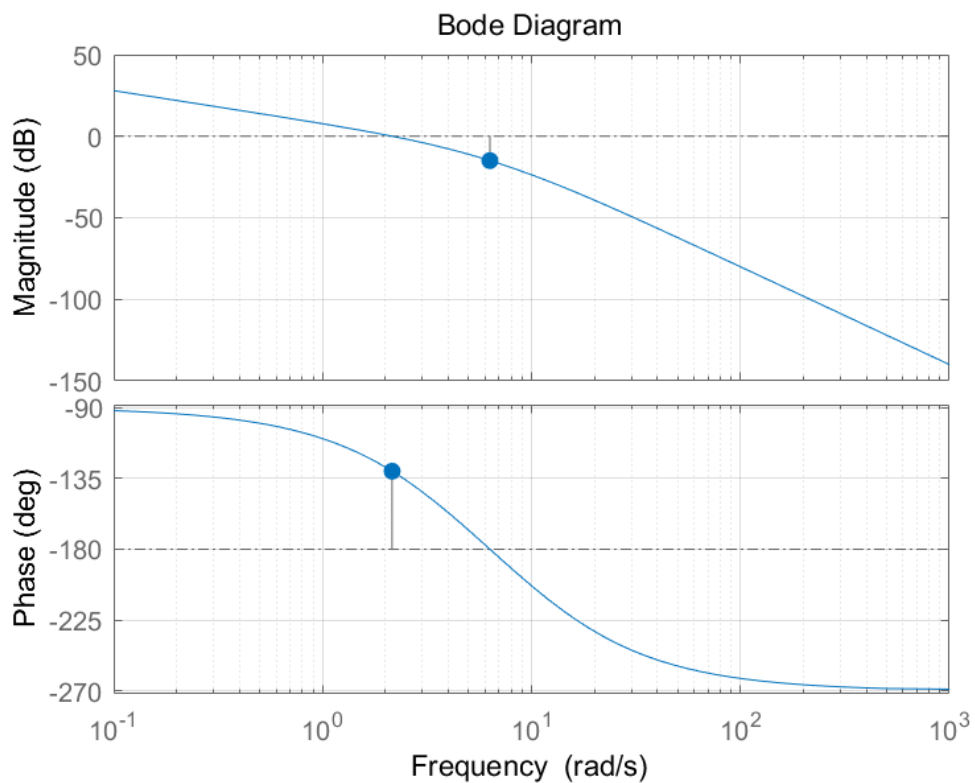
解：

(1)

程序如下：

```
t1=0:10;  
numg1=[2.5];  
deng1=[0.025, 0.35, 1, 0];  
sys=tf(numg1, deng1);  
bode(sys);  
grid;
```

程序运行结果如下：



(2)

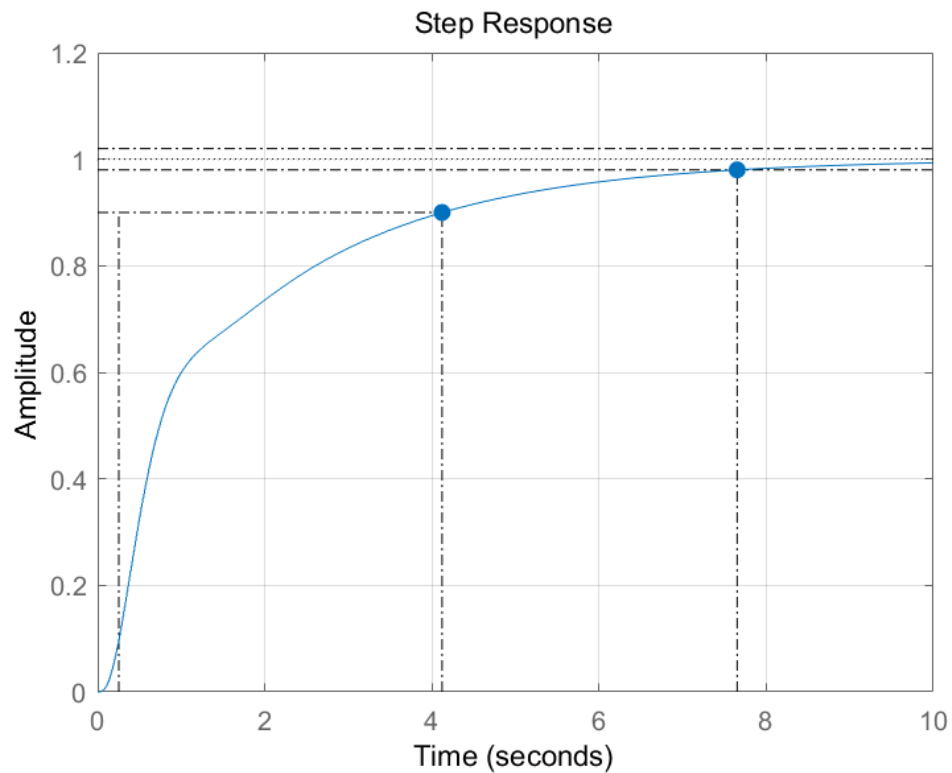
程序如下：

```
T=0.01;  
t2=0:0.01:10;  
numg1=[2.5];  
deng1=[0.025, 0.35, 1, 0];  
numg2=[1, -0.99];  
deng2=[1, -0.96];  
numg3=[0, 10, 0, 1.2];  
G=tf(numg1, deng1);  
Gz=c2d(G, T);  
Dz=tf(numg2, deng2, T);  
Gs=feedback(Gz*Dz, 1);  
step(Gs, t2);
```

```
axis(numg3);
```

```
grid;
```

程序运行结果如下：



3. 对英文讲义中的循序渐进实例“Disk Drive Read System”进行验证，计算 $D(z)=4000$ 时系统的动态性能指标，说明其原因。

解：

程序如下：

```
num=[1];
```

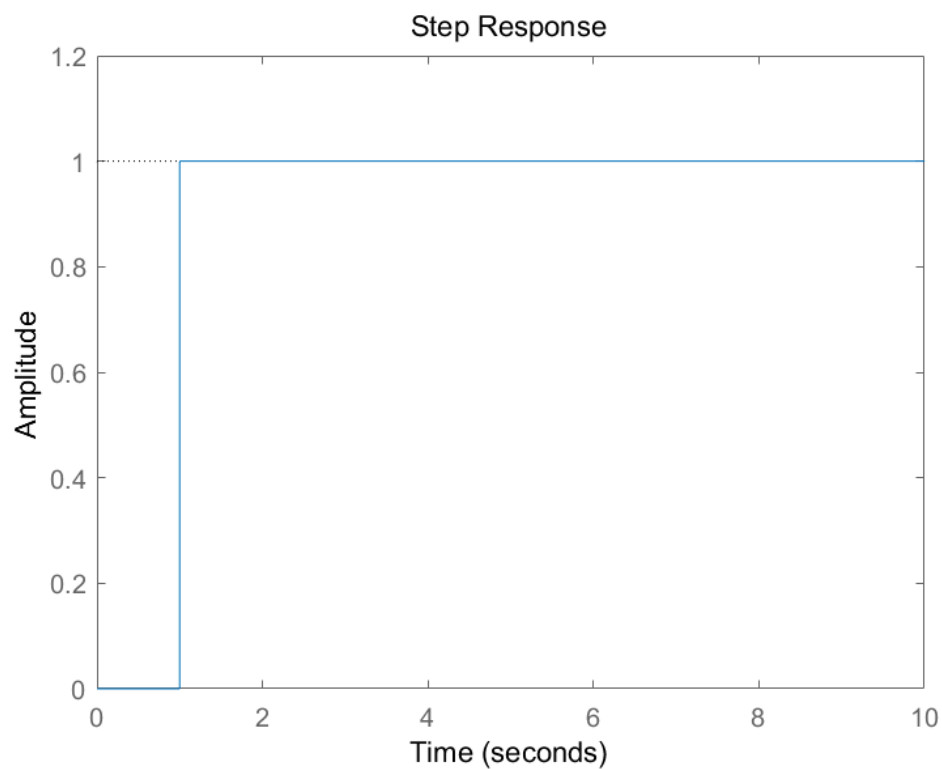
```
den=[1 0];
```

```
G=tf(num,den,-1);
```

```
step(G,25);
```

```
axis([0,10,0,1.2]);
```

程序运行结果如下：（单位阶跃响应）



结果分析：

由图可知，系统超调量为0，调节时间，稳态误差为0。为快速读取磁盘信息，要求系统在单位阶跃输入下为一拍系统，因此按一拍系统设计，加入数字控制器后，输入单位阶跃信号，系统会有稳定且快速的响应。