



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

控制系统matlab计算与仿真

线性控制系统的频率响应分析

主讲：刘希太



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

Matlab与控制系统频率特性分析

频域分析法是利用频率特性研究线性系统的一种经典方法，其特点在于用开环系统的奈奎斯特图、伯德图、尼克尔斯图分析闭环系统的稳态及动态性能。

◆ 常用频率特性分析指令

函数名	功能	格式
bode	Bode图绘制	bode(sys) [mag,phase,w]= bode(sys)
nichols	Nichols图绘制	nichols(sys)
nyquist	Nyquist图绘制	nyquist(sys)
freqresp	给定频率区间频率响应	H=freqresp(sys,w)
margin	计算增益和稳定裕度	[gm,pm,wcg,wcp]=margin(sys)

◆ 示例1：用matlab绘制nyquist图并判断稳定性

用Matlab绘制如下两系统的nyquist图并判断稳定性。

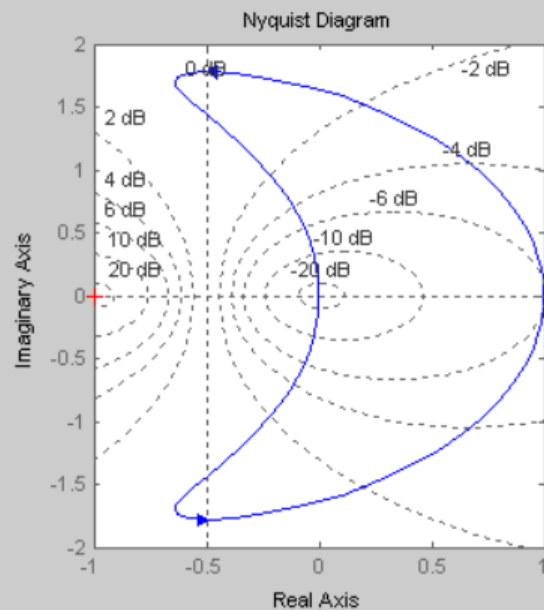
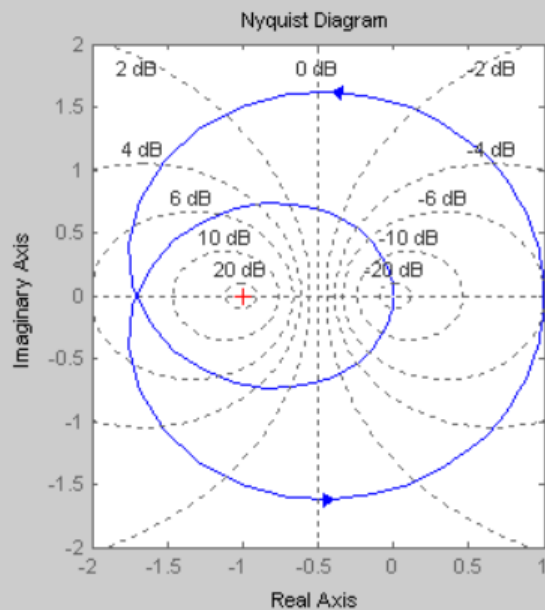
$$G_1(s) = \frac{15s^2 + 9s + 1}{(s-1)(2s-1)(3s+1)} = \frac{15s^2 + 9s + 1}{6s^3 - 7s^2 + 1}$$

$$G_2(s) = \frac{15s^2 + 9s + 1}{(s+1)(2s+1)(1-3s)} = \frac{15s^2 + 9s + 1}{-6s^3 - 7s^2 + 1}$$

```
g1=tf([15,9,1],[6,-7,0,1])  
g2=tf([15,9,1],[-6,-7,0,1])  
figure(1);  
subplot(1,2,1);nyquist(g1),grid  
subplot(1,2,2);nyquist(g2),grid
```

Figure 1

File Edit View Insert Tools Desktop Window Help



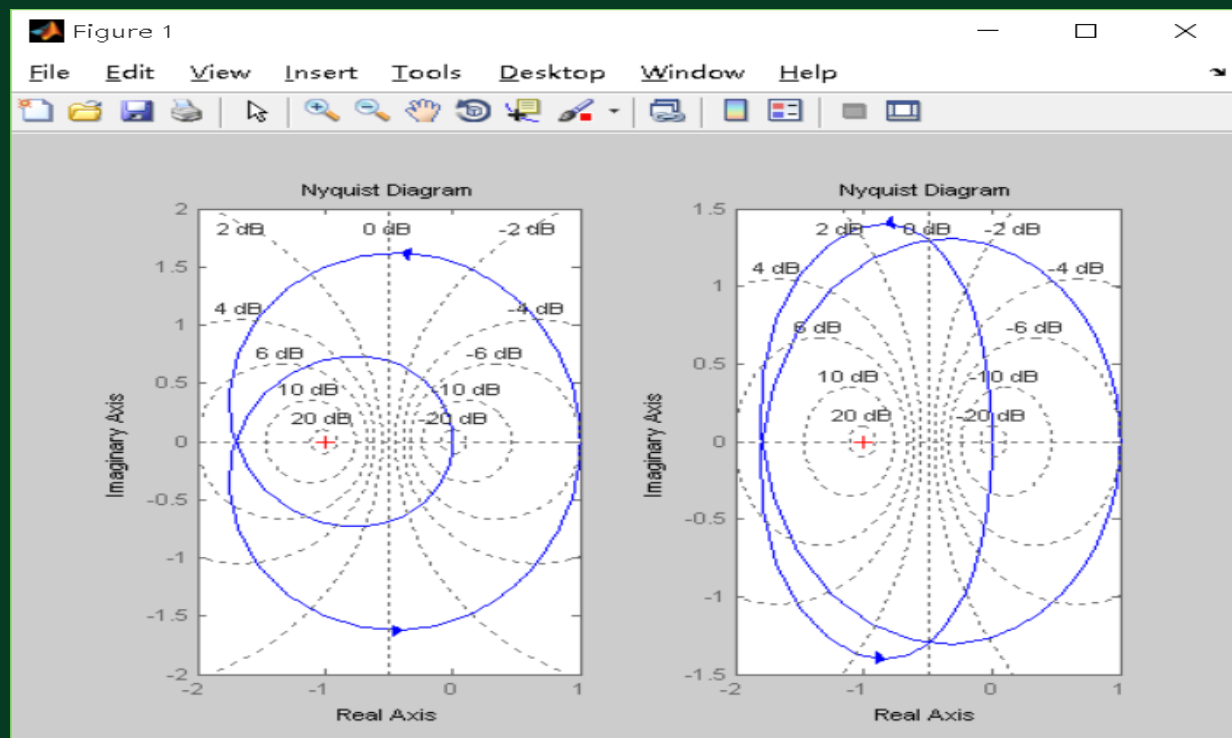
结论：左稳右不稳。

将后者略作改致动可达到稳定：

$$G_1(s) = \frac{15s^2 + 9s + 1}{(s-1)(2s-1)(3s+1)} = \frac{15s^2 + 9s + 1}{6s^3 - 7s^2 + 1}$$

$$G_2(s) = \frac{15s^2 + 9s + 1}{(s+1)(2s-1)(3s-1)} = \frac{15s^2 + 9s + 1}{6s^3 + s^2 - 4s + 1}$$

```
g1=tf([15,9,1],[6,-7,0,1])  
g2=tf([15,9,1],[6,1,-4,1])  
figure(1);  
subplot(1,2,1);nyquist(g1),grid  
subplot(1,2,2);nyquist(g2),grid
```



◆ 示例2: 用matlab绘制频率特性图并判断稳定性

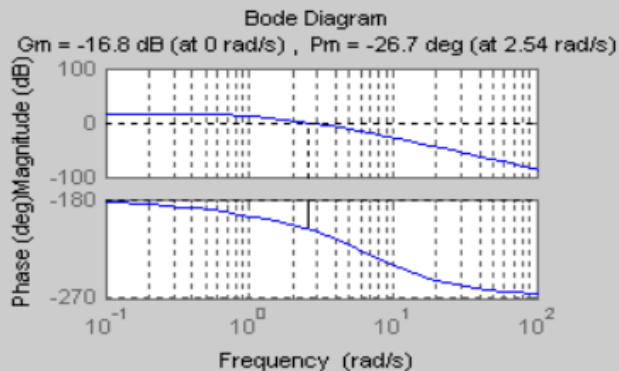
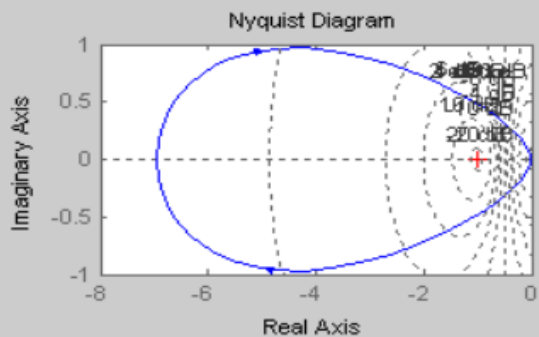
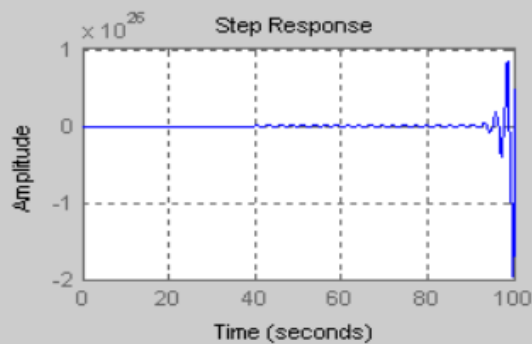
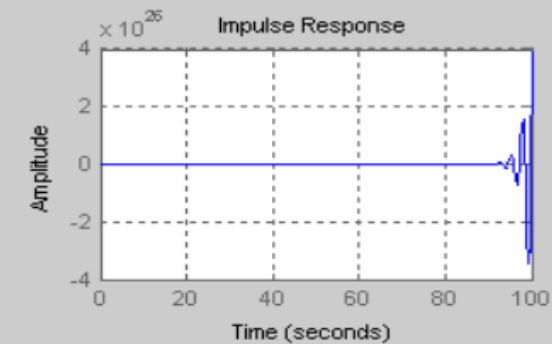
下图所示为开环不稳定系统, 试用matlab绘制其N氏图、bode图及对应闭环系统脉冲和阶跃响应图, 并判其闭环系统稳定性。系统加一零点 ($s+0.5$) 后重复以上步骤, 说明附加零点对系统性能的影响。

$$G_k(s) = \frac{50}{(s-1.2)(s+1)(s+6)}$$

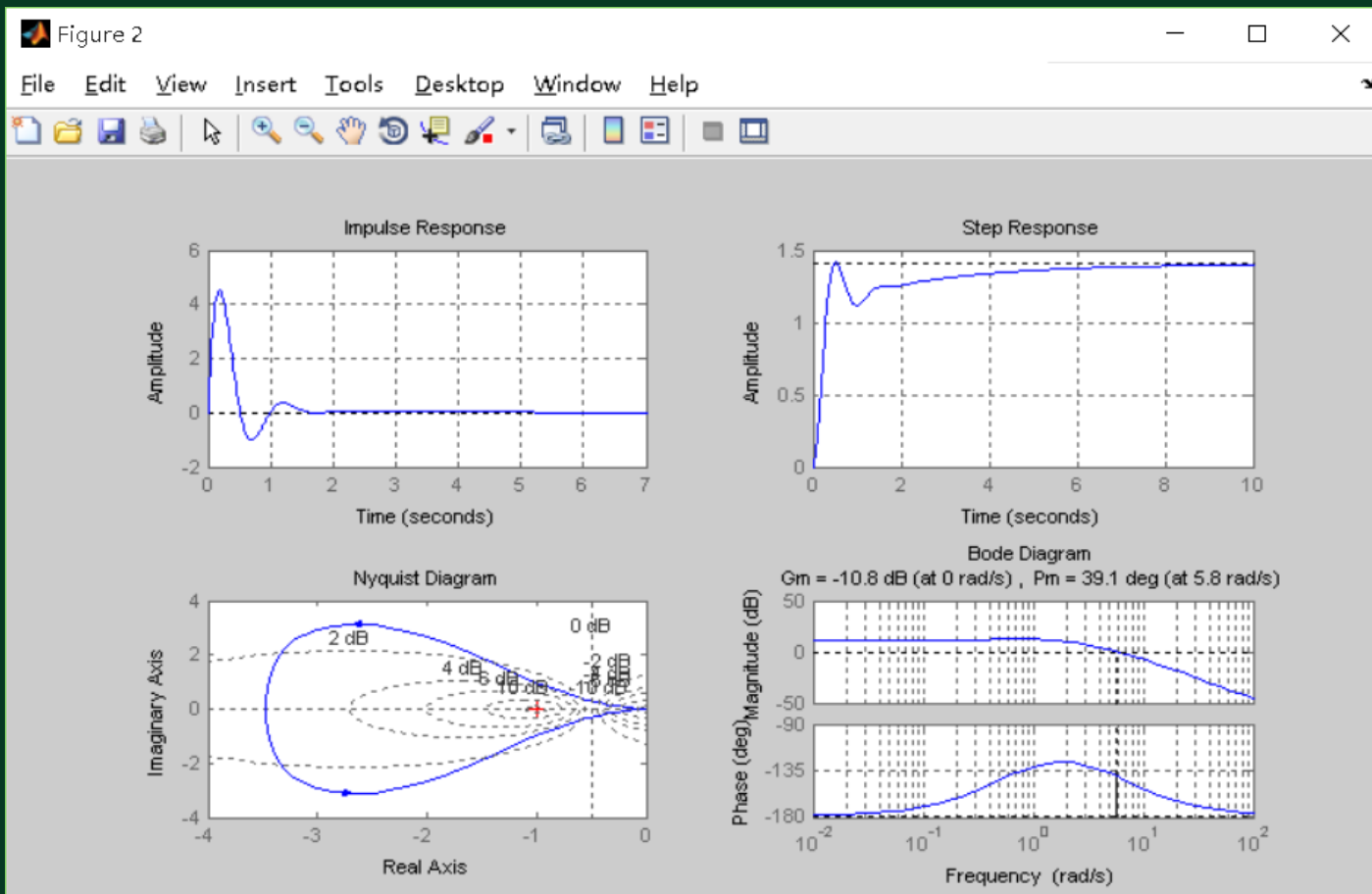

```
clear,  
s1=zpk([],[-6,-1,1.2],50);  
sb1=feedback(s1,1)  
figure(1)  
subplot(2,2,1); impulse (sb1), grid  
subplot(2,2,2);step(sb1),grid  
subplot(2,2,3); nyquist(s1), grid  
subplot(2,2,4); margin(s1), grid  
s2=zpk([-0.5],[-6,-1,1.2],50);  
sb2=feedback(s2,1)  
figure(2)  
subplot(2,2,1); impulse(sb2), grid  
subplot(2,2,2); step(sb2),grid  
subplot(2,2,3); nyquist(s2), grid  
subplot(2,2,4); margin(s2), grid
```

Figure 1

File Edit View Insert Tools Desktop Window Help



在线开放课程



◆ 示例3: 证明bode图幅频特性相加特性

利用matlab作出系统伯德图，分析系统各环节伯德图及其叠加后的总伯德图特点。

$$G(s) = \frac{24(0.25s + 0.5)}{(5s + 2)(0.05s + 2)}$$

$$G(s) = \frac{24(0.25s + 0.5)}{(5s + 2)(0.05s + 2)}$$

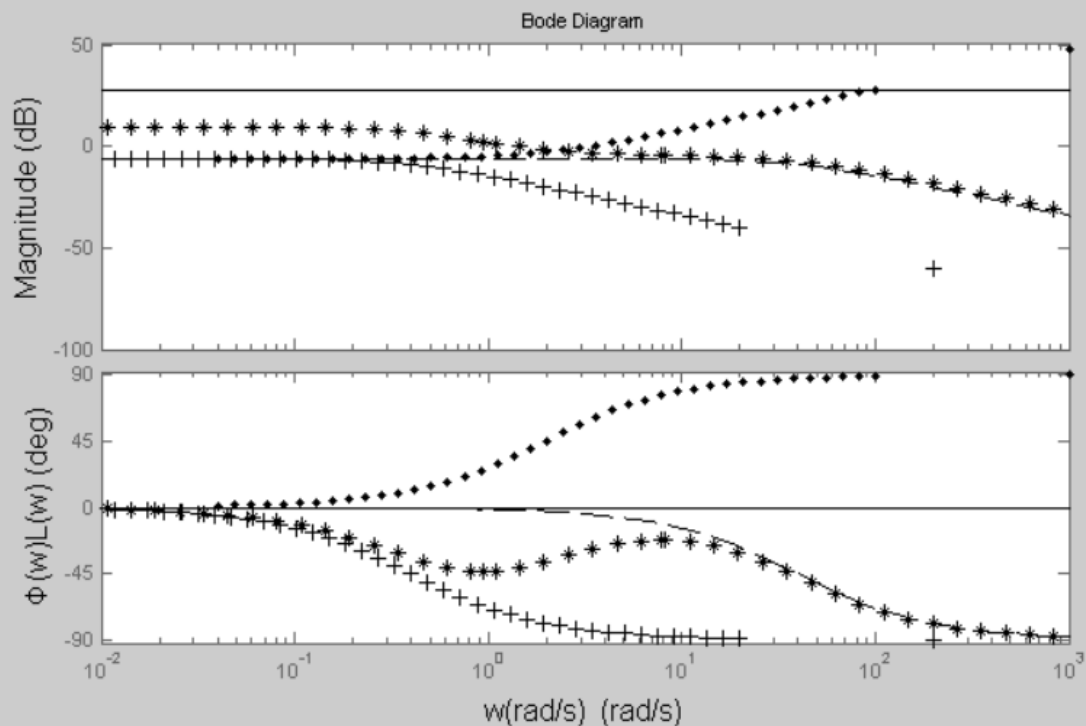
```
clear, clf
g0=tf(24,1);
g1=tf([0.25,0.5],1);
g2=tf(1,[5,2]);
g3=tf(1,[0.05,2]);
g=tf(conv(24,[0.25,0.5]),conv([5,2],[0.05,2]));
w=logspace(0,3);hold on;
figure(1);
bode(g0,'k-');
bode(g1,'k. ');
bode(g2,'k+');
bode(g3,'k--');
bode(g,'k*');
xlabel('w(rad/s)','FontSize',12);
ylabel('Φ(w)L(w)','FontSize',12)
```



Figure 1



File Edit View Insert Tools Desktop Window Help

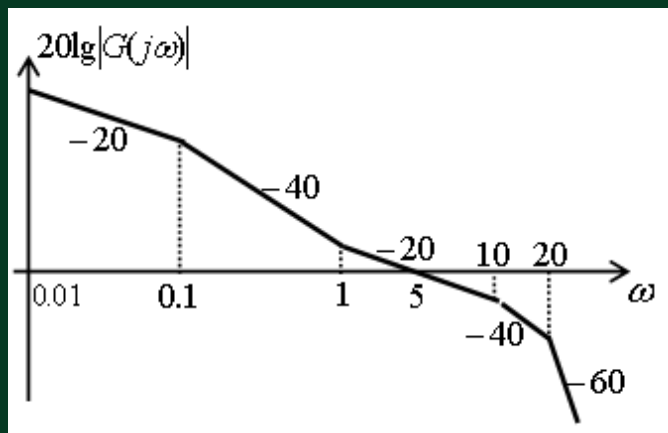
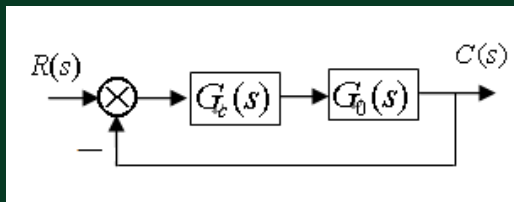


◆ 示例4: 频率特性综合应用题

系统结构图及校正后的对数幅频特性渐近线如下图所示, 校正前

开环传递函数为:
$$G_0(s) = \frac{80}{s(s+2)(s+20)}$$

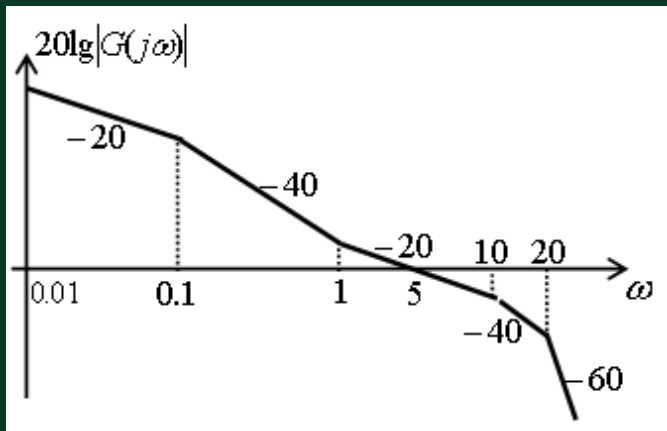
校正后交界频率 $\omega_c = 5$ 。



试完成以下步骤：

- (1) 给出串联校正装置的传递函数，并绘制其概略bode图；
- (2) 指出校正类型，并求校正后系统的相位裕度。
- (3) 试用mat lab编写仿真程序，实现以下功能：
 - ① 建立该系统校正环节数学模型，建立校正前和校正后系统开环、闭环数学模型；
 - ② 绘制校正前和校正后系统的单位阶跃响应；
 - ③ 绘制校正环节的bode图；
 - ④ 绘制系统校正前、后bode图, 并给出稳定裕度及交界频率值。

解：(1)设校正后系统开环增益为K，由图知校正后系统开环传递函数为：

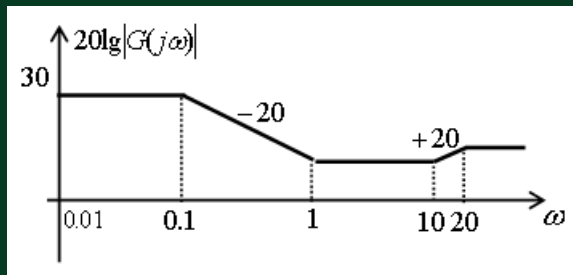


$$G(s) = G_0(s)G_c(s) = \frac{K(s+1)}{s(10s+1)(0.1s+1)(0.05s+1)}$$

$$\omega = \omega_c = 5 \Rightarrow \left. \frac{K(s+1)}{s(10s+1)} \right|_{s=j5} = 1 \Rightarrow K = 50$$

$$G_0(s) = \frac{2}{s(0.5s+1)(0.05s+1)} \Rightarrow G_c(s) = G(s)/G_0(s) = \frac{25(s+1)(0.05s+1)}{(10s+1)(0.1s+1)}$$

校正环节对数幅频特性渐近线：

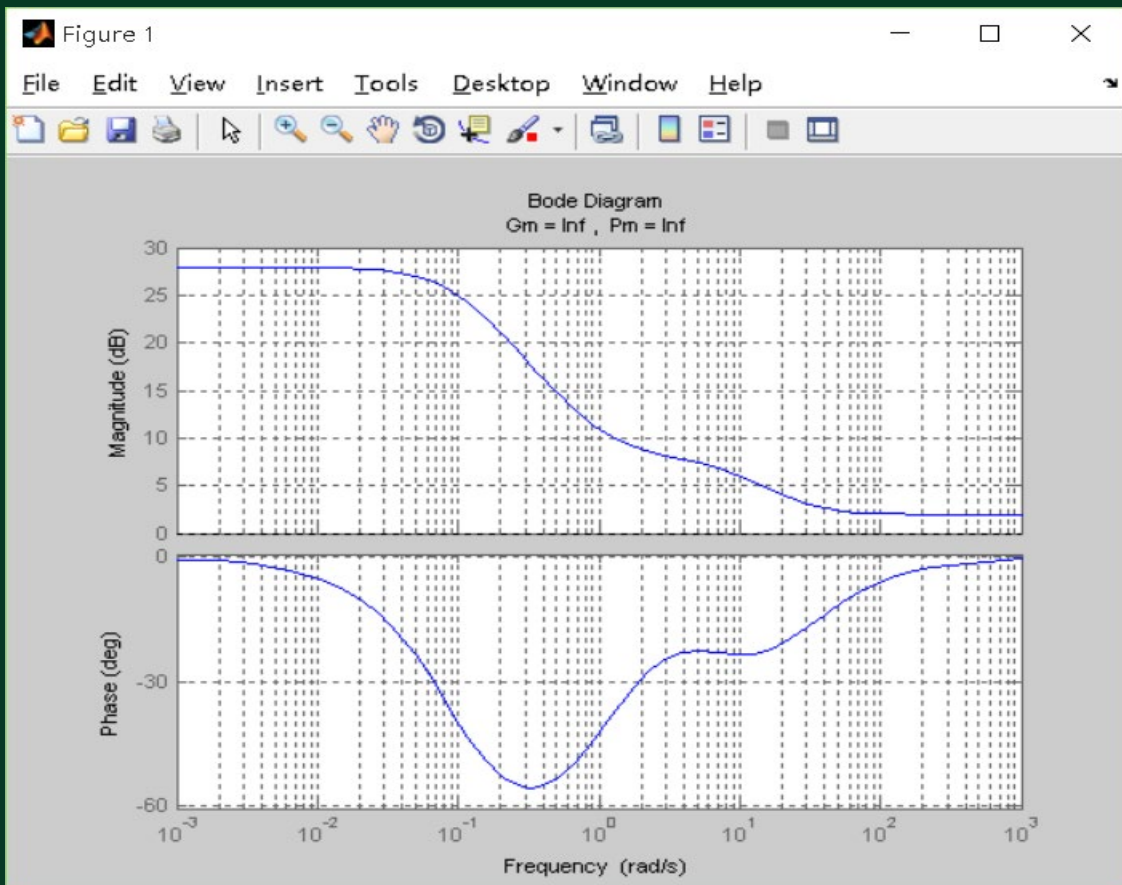


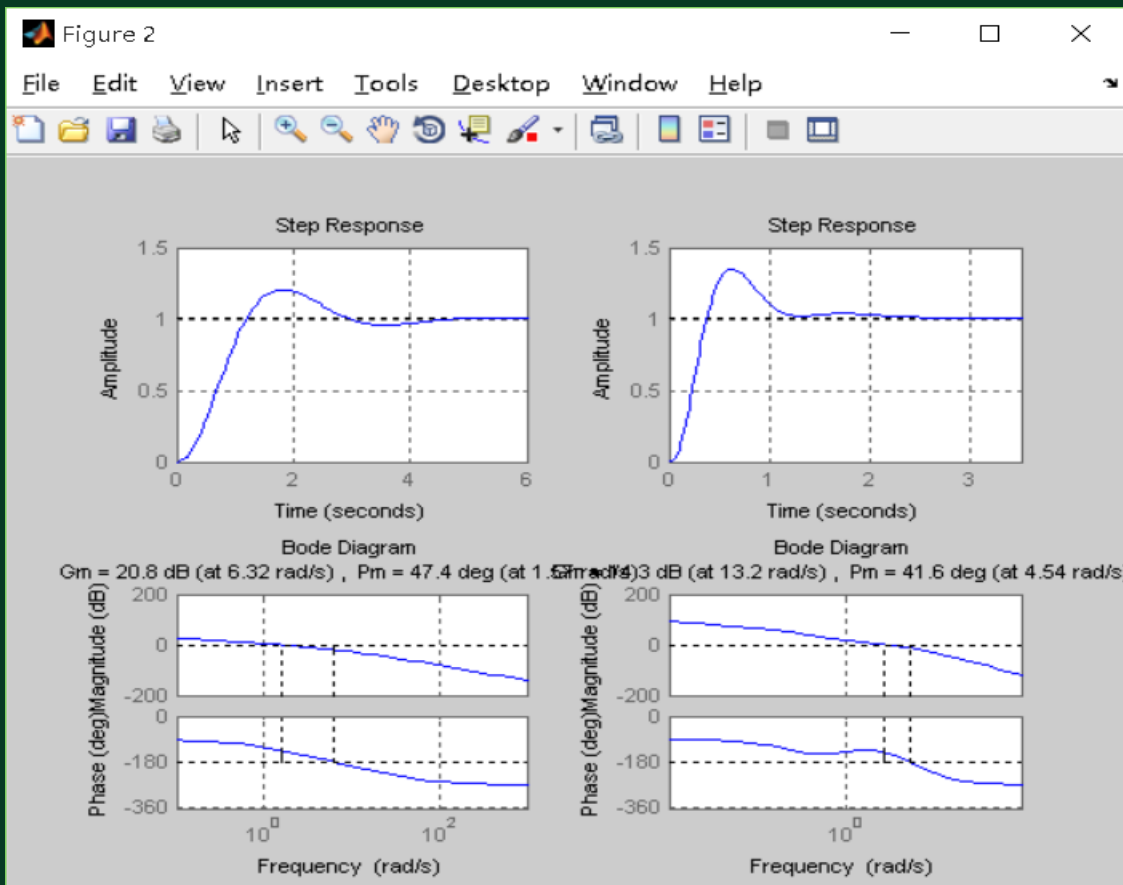
校正类型为相位滞后-超前校正。

校正后的相位裕度：

$$\gamma = 180^\circ + \varphi(\omega_c) = 180^\circ - 90^\circ + \tan^{-1} 5 - \tan^{-1} 50 - \tan^{-1} 0.5 - \tan^{-1} 0.25 = 39.2^\circ$$

```
s1=zpk([-1,-20],[-0.1,-10],1.25);  
s2=zpk([], [0,-2,-20],80);  
s3=zpk(-1,[0,-0.1,-10,-20],1000);  
sb2=feedback(s2,1)  
sb3=feedback(s3,1)  
figure(1)  
margin(s1),grid  
figure(2)  
subplot(2,2,1);step(sb2),grid  
subplot(2,2,2);step(sb3),grid  
subplot(2,2,3);margin(s2),grid  
subplot(2,2,4);margin(s3),grid  
[Gm,Pm,Wcg,Wcp]=margin(s2),grid  
[Gm,Pm,Wcg,Wcp]=margin(s3),grid
```





$G_m =$
11.0000

$P_m =$
47.4040

$W_{cg} =$
6.3246

$W_{cp} =$
1.5688

$G_m =$
5.1873

$P_m =$
41.6120

$W_{cg} =$
13.1529

$W_{cp} =$
4.5440



小结

用手工绘制概略的频率特性图是学习频率特性分析法中的重点和难点，也是考试重点和容易出错的内容。通过matlab工具分析多种系统频率特性可加深对频率特性规律的理解，也为对系统进行判稳和校正时方案的选择提供了依据。