

实验四

(一) 系统校正设计 1

1. 实验目的

- (1) Matlab 建模，按照题目要求用合适的校正装置进行设计（提示：用 rltool 工具）；
- (2) 比较分析设计前后的动态性能。

2. 实验内容

设单位反馈系统的开环传递函数为

$$G_0(s) = K/s(s+1);$$

试设计一个串联超前校正装置，使系统满足如下指标：

- (1) 相角裕度 $\gamma > 45^\circ$ ；
- (2) 在单位斜坡输入下的稳态误差 $ess(\infty) < 1/15$ rad；
- (3) 截止频率 $\omega_c \geq 7.5$ rad/s；

4. 数据记录和结果分析

- (1) 确定开环增益：

由 $ess=1/K_v < 1/15$ ；

所以取 $K=20$

则开环传递函数为: $G(s)=20/s(s+1)$ ；

绘制出原系统对数幅频特性渐进曲线：

代码：

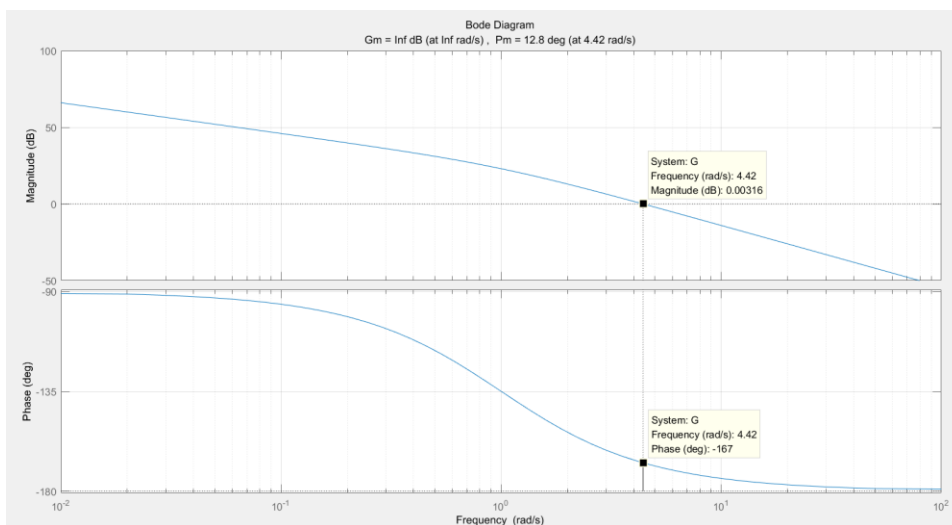
```
w = 0.01:1:100;
```

```
G= tf(20,[conv([1,0],[1,1]])); %待校正系统的开环传递函数
```

```
margin(G);
```

```
grid;
```

结果：



当 $|G(j\omega_c')|=1$ ，由图像可得，校正前的截止频率 $\omega_c' = 4.42$ rad/s；

则该系统的相角裕度为:

$$\gamma = 180^\circ - 90^\circ - \arctan \omega c' = 13^\circ$$

不满足题目要求，应采用超前校正装置改进；

(2) 设加入超前校正装置的传递函数为

$$G_c(s) = K_c \cdot (s + 1/\alpha T) / (s + 1/T);$$

其相角表达式为

$$\Phi_c(s) = \arctan \alpha T \omega - \arctan T \omega;$$

由课本所学有

① 相角最大值对应频率 $\omega_m = 1/T \sqrt{\alpha}$;

② $\sin \Phi_c(\omega_m) = (\alpha - 1) / (\alpha + 1)$;

③ 假设 $K_c/\alpha = 1$, $L_c(\omega_m) = 10 \lg \alpha$;

要求截止频率 $\omega_c \geq 7.5 \text{ rad/s}$ 时

可取 $\omega_m = \omega_c' = 8 \text{ rad/s}$, 则 $L_c(\omega_m) = -10.11 \text{ dB}$

由上述三式联立可得: $\alpha = 10.26$, $T = 0.039$;

所以超前校正传递函数为:

$$G_c(s) = 1/10.26 \cdot (1 + 0.4s) / (1 + 0.039s);$$

校正后开环传递函数为

$$G_c(s)G(s) = 20(1 + 0.4s) / s(s + 1)(1 + 0.039s);$$

其对数幅频特性渐进曲线为:

代码:

```
w = 0.01:1:100;
```

```
G = tf(20,[conv([1,0],[1,1]))];%待校正系统的开环传递函数
```

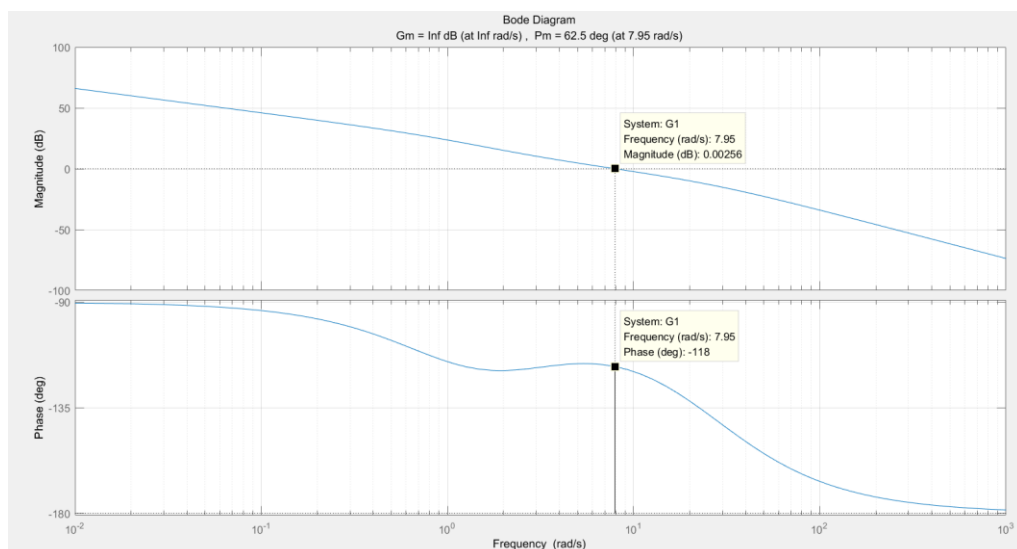
```
Gc = tf([0.4,1],[0.039,1]);%超前校正装置的传递函数
```

```
G1 = series(G,Gc);%已校正系统的开环传递函数
```

```
margin(G1);
```

```
grid;
```

结果:



其相角裕度为

$$\gamma = 180^\circ + \phi(\omega c'') = 90^\circ + \arctan 0.4\omega c'' - \arctan \omega c'' - \arctan 0.039\omega c'' = 62^\circ > 45^\circ$$

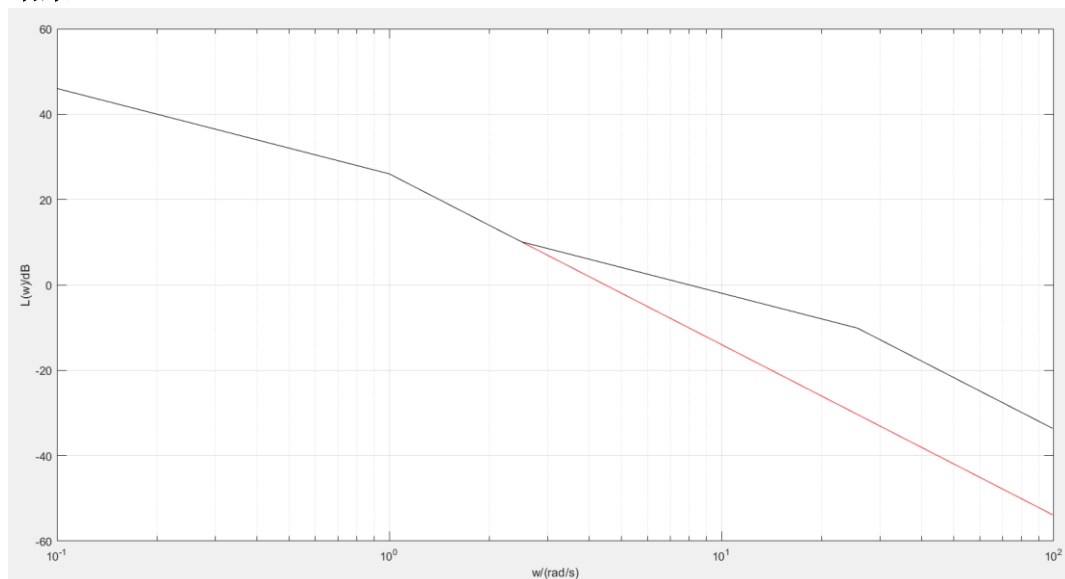
此时 $\omega c'' = 7.95 \text{ rad/s}$ ，满足要求的性能指标。

校正前后的对数幅频特性渐进曲线为：

代码：

```
w = 0.1:1:100;  
G = tf(20,[conv([1,0],[1,1]))];%待校正系统的开环传递函数  
Gc = tf([0.4,1],[0.039,1]);%超前校正装置的传递函数  
G1 = series(G,Gc);%已校正系统的开环传递函数  
%绘制待校正系统,超前校正网络和已校正系统的对数幅频渐近线  
figure(1);  
[x,y]=bd_asymp(G,w);  
[x1,y1]=bd_asymp(G1,w);  
semilogx(x,y,'r'); hold on  
semilogx(x1,y1,'k');  
grid;  
hold off
```

结果：

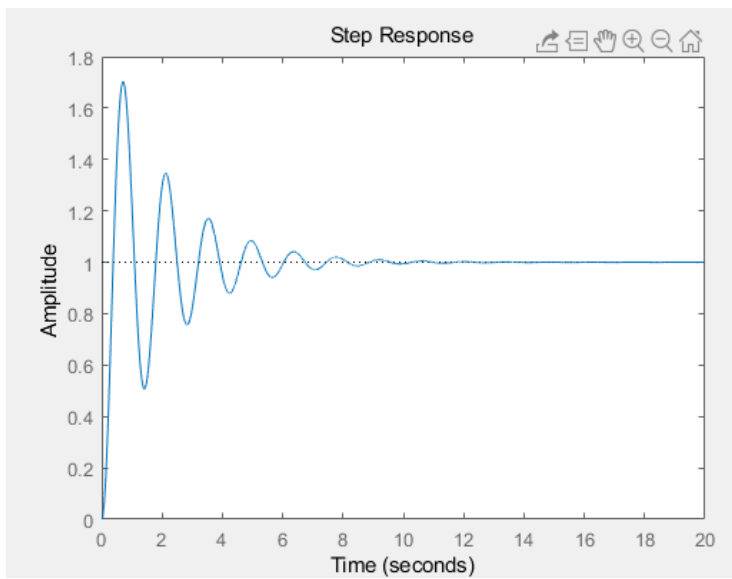


比较校正前后的单位阶跃响应：

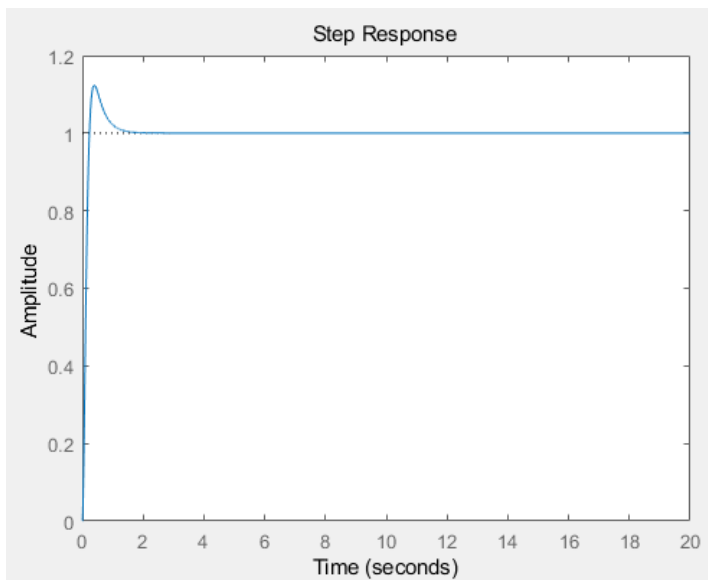
代码：

```
G = tf(20,[conv([1,0],[1,1]))];%待校正系统的开环传递函数  
Gc = tf([0.4,1],[0.039,1]);%超前校正装置的传递函数  
G1 = series(G,Gc);%已校正系统的开环传递函数  
G2=feedback(G,1);  
G3=feedback(G1,1);  
t=0:0.001:20;  
step(G2,t);  
figure,step(G3,t);
```

未校正时，



校正后，



可以得出，超前校正后减少了超调量和调节时间，增强了系统的稳定性和快速性；

(二) 系统校正设计 2

1. 实验目的

- (1) Matlab 建模，按照题目要求用合适的校正装置进行设计（提示：用 rltool 工具）；
- (2) 比较分析设计前后的动态性能。

2. 实验内容

设单位反馈系统的开环传递函数为

$$G(s) = K/s(s+1)(0.25s+1)$$

- (1) 若要求校正后系统的静态速度误差系数 $K_v \geq 5 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ ，相角裕度为 $\gamma \geq 45^\circ$ ，试设计串联校正装置；
- (2) 若除上述指标要求外，还要求系统校正后截止频率 $\omega_c \geq 2 \text{ rad/s}$ ，试设计串联校正装置；

3. 数据记录和结果分析

(1) 采用滞后校正

$$G(s) = K/s(s+1)(0.25s+1)$$

先确定开环增益

因为要求校正后系统的静态速度误差系数 $K_v \geq 5 \text{ (s}^{-1}\text{)}$

故可取 $K = K_v = 5$ ，则校正前系统传递函数为：

$$G(s) = 5/s(s+1)(0.25s+1);$$

绘制出对数幅频渐进特性曲线：

代码：

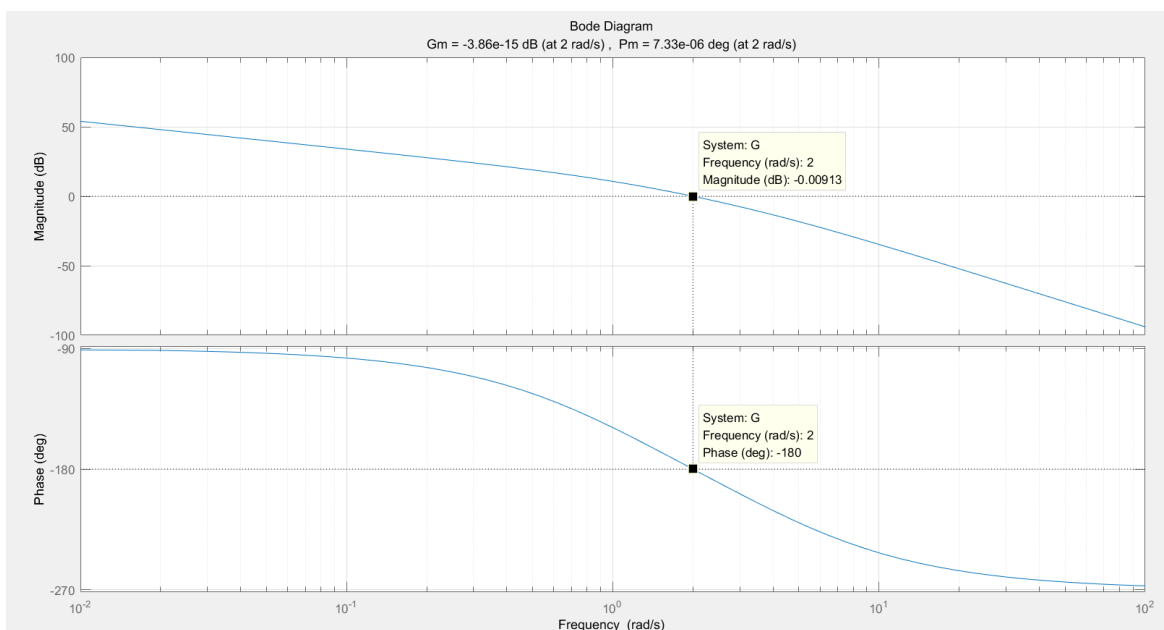
```
w = 0.001:1:100;
```

```
G = tf(5,[conv([1,0],conv([1,1],[0.25,1]))]);%待校正系统的开环传递函数
```

```
margin(G);
```

```
grid;
```

结果：



当 $|G(j\omega_c')|=1$ 时，由图可得校正前截止频率 $\omega_c'=2\text{rad/s}$;

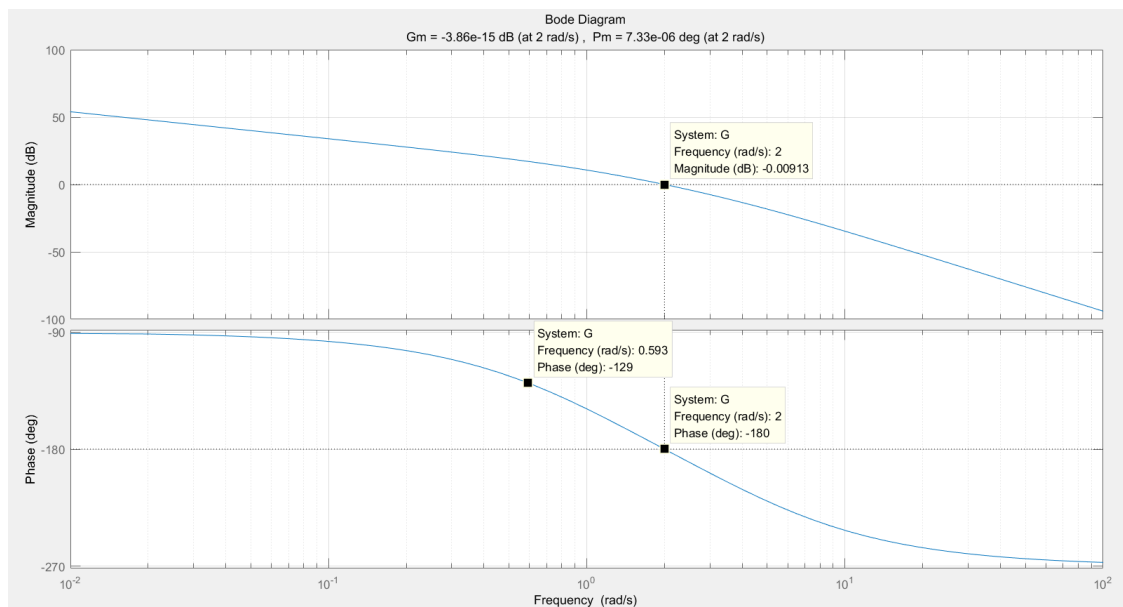
相角裕度为： $\gamma' = 180^\circ + \Phi(\omega_c') = 180^\circ - 90^\circ - \arctan \omega_c' - \arctan 0.25\omega_c' = 0^\circ$

系统不稳定，要使相角裕度为 $\gamma \geq 45^\circ$ ，可采用滞后校正。

设滞后校正的传递函数 $G_c(s) = (1+bTs)/(1+Ts)$

由期望裕度 r'' 确定新的截止频率 ω_c'' ;

在原系统相频特性曲线上找一点使其相角与 -180° 距离为期望裕度 45°
($+5^\circ \sim 12^\circ$)



由图像可得校正后系统截止频率应为： $\omega_c'' = 0.593 \text{ rad/s}$;

由 $20\lg b = -L'(\omega_c'')$ ，解得 $b = 0.118$;

由 $1/bT = 0.1\omega_c''$ 和 $b = 0.118$ ，解得 $T = 143.64$;

则滞后校正网络为： $G_c(s) = (1+bTs)/(1+Ts) = (16.95s+1)/(143.64s+1)$;

校正后系统传递函数为： $G(s) = 5(1+16.95s)/s(s+1)(0.25s+1)(1+143.64s)$

其对数幅频渐进特性曲线为：

代码：

```
w = 0.001:1:100;
```

```
G = tf(5,[conv([1,0],conv([1,1],[0.25,1]))]);%待校正系统的开环传递函数
```

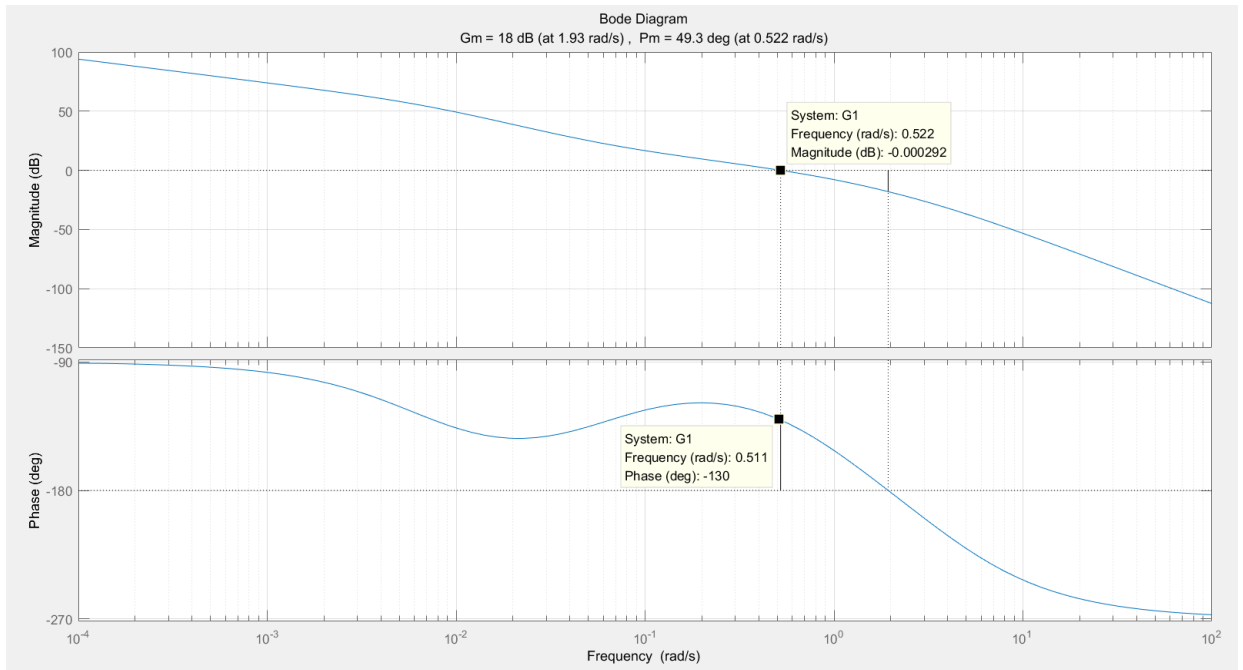
```
Gc = tf([16.95,1],[143.64,1]);%滞后校正网络的传递函数
```

```
G1 = series(G,Gc);
```

```
margin(G1);
```

```
grid;
```

结果：



计算校正后系统相角裕度为

$$\gamma = 90^\circ + \arctan 16.95\omega - \arctan \omega - \arctan 0.25\omega - \arctan 143.64\omega = 50^\circ > 45^\circ$$

满足设计要求。

绘制系统校正前、和校正后的对数幅频渐近线。

代码：

```
w = 0.001:1:100;
```

```
G= tf(5,[conv([1,0],conv([1,1],[0.25,1]))]);%待校正系统的开环传递函数
```

```
Gc= tf([16.95,1],[143.64,1]);%滞后校正网络的传递函数
```

```
G1= series(G,Gc);
```

```
[x,y]= bd_asymp(G,w);
```

```
[xc,yc]= bd_asymp(Gc,w);
```

```
[x11,y11]= bd_asymp(G1,w);
```

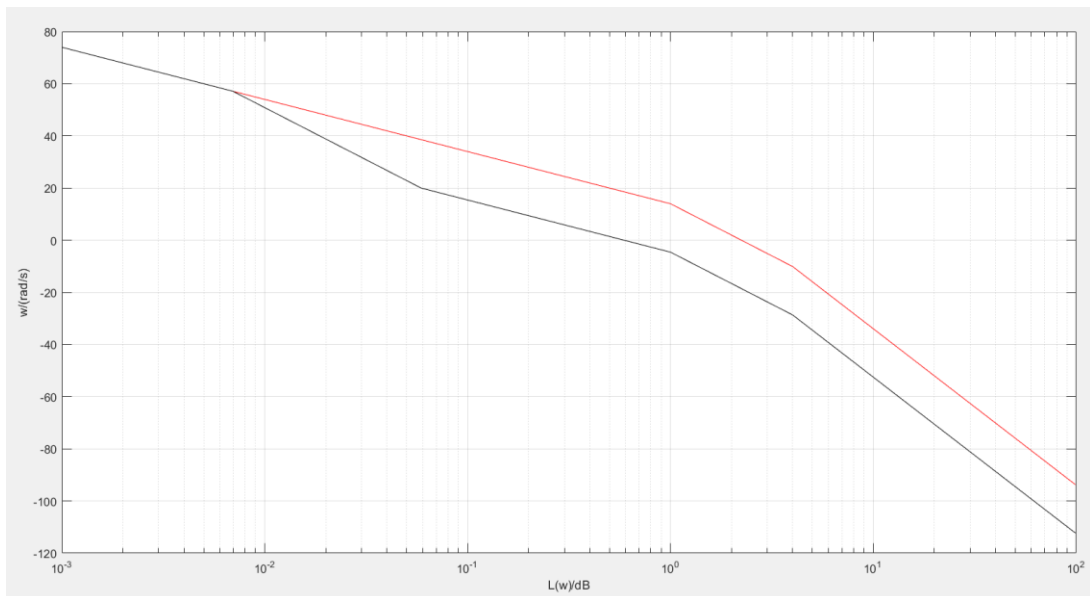
```
%绘制系统校正前、和校正后的对数幅频渐近线
```

```
figure(1);
```

```
semilogx(x,y,'r') ; hold on;
```

```
semilogx(x11,y11,'k');grid; hold off;
```

结果：



比较校正前后的单位阶跃响应，

代码：

```
G= tf(5,[conv([1,0],conv([1,1],[0.25,1]))]);%待校正系统的开环传递函数
```

```
Gc = tf([16.95,1],[143.64,1]);%滞后校正网络的传递函数
```

```
G1 = series(G,Gc);%校正后开环传递函数
```

```
G2=feedback(G,1);
```

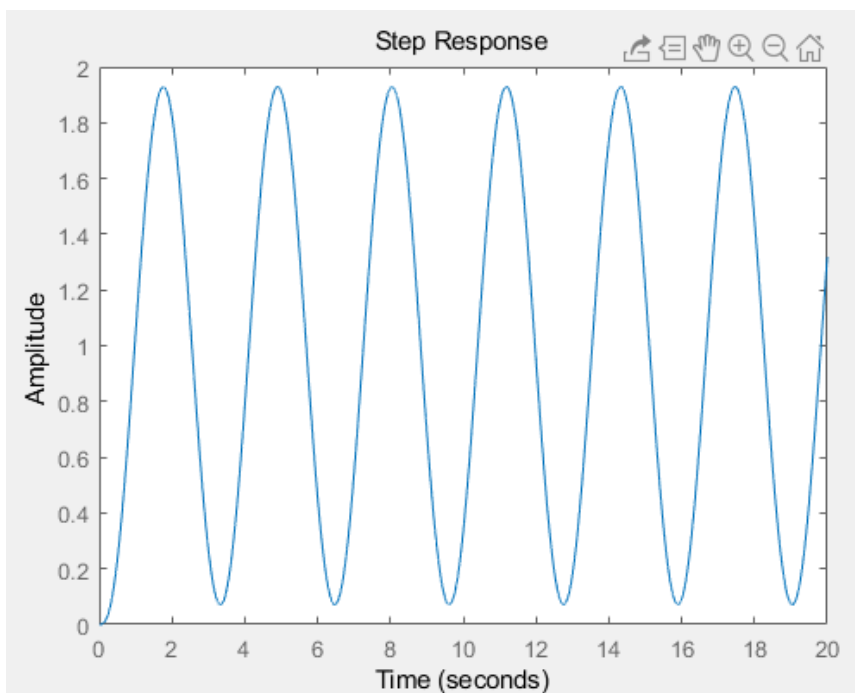
```
G3=feedback(G1,1);
```

```
t=0:0.001:20;
```

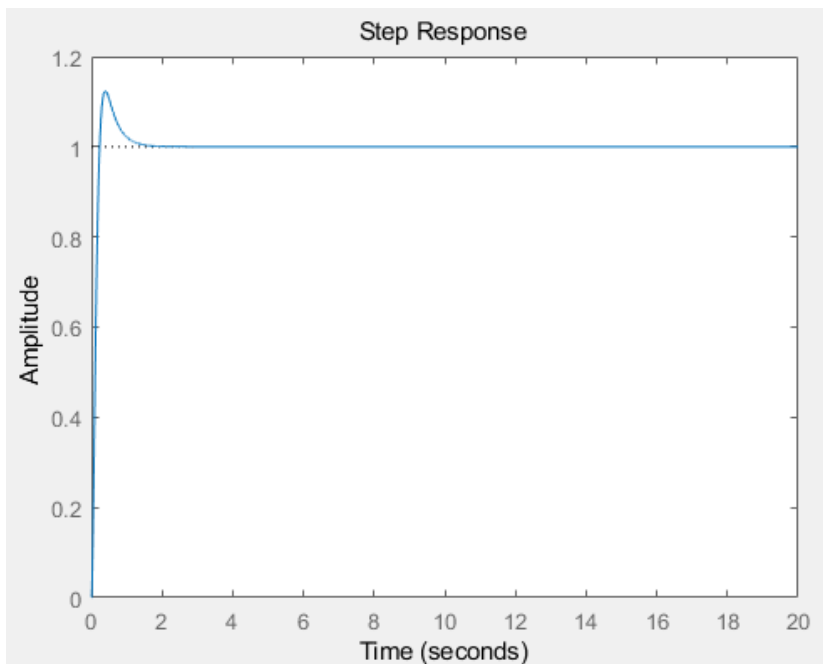
```
step(G2,t);
```

```
figure,step(G3,t);
```

校正前，



校正后，



可见，校正前系统临界稳定，校正后系统变得稳定，所以滞后校正改善了系统的动态性能，增强了系统的稳定性。

(2) 采用超前-滞后校正，

先采用超前网络 $G_c(s) = (s+1)/(0.08s+1)$;

超前校正后系统的传递函数为

$G_1(s) = 5/s(0.08s+1)(0.25s+1)$;

绘制出超前校正后系统的对数幅频特性曲线

代码：

```
w= 0.001:1:100;
```

```
G= tf(5,[conv([1,0],conv([1,1],[0.25,1]))]);%待校正系统的开环传递函数
```

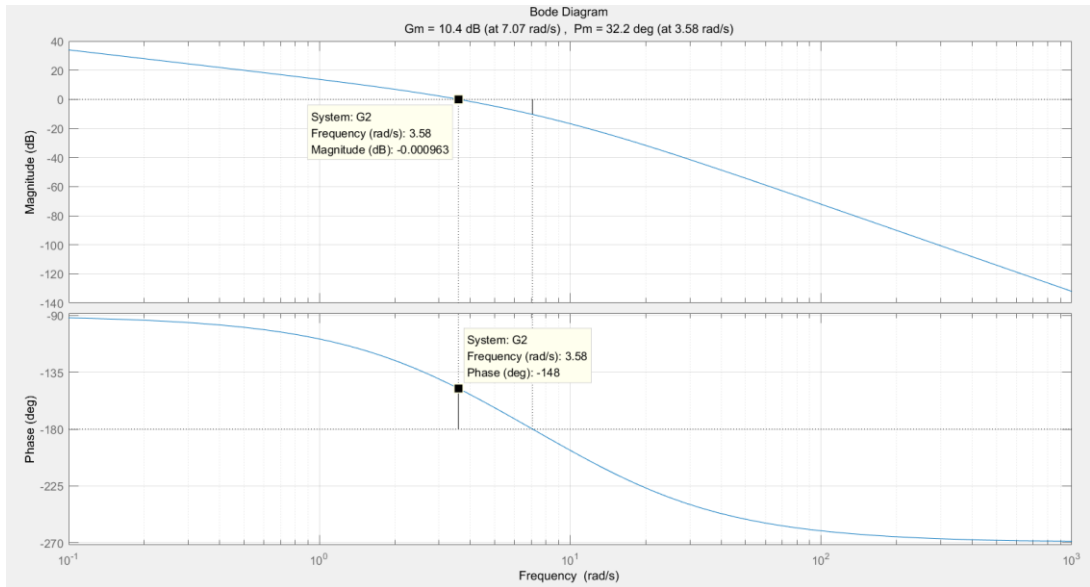
```
Gc1 = tf([1,1],[0.08,1]);
```

```
G2 = series(G,Gc1);
```

```
margin(G2);
```

```
grid;
```

结果：



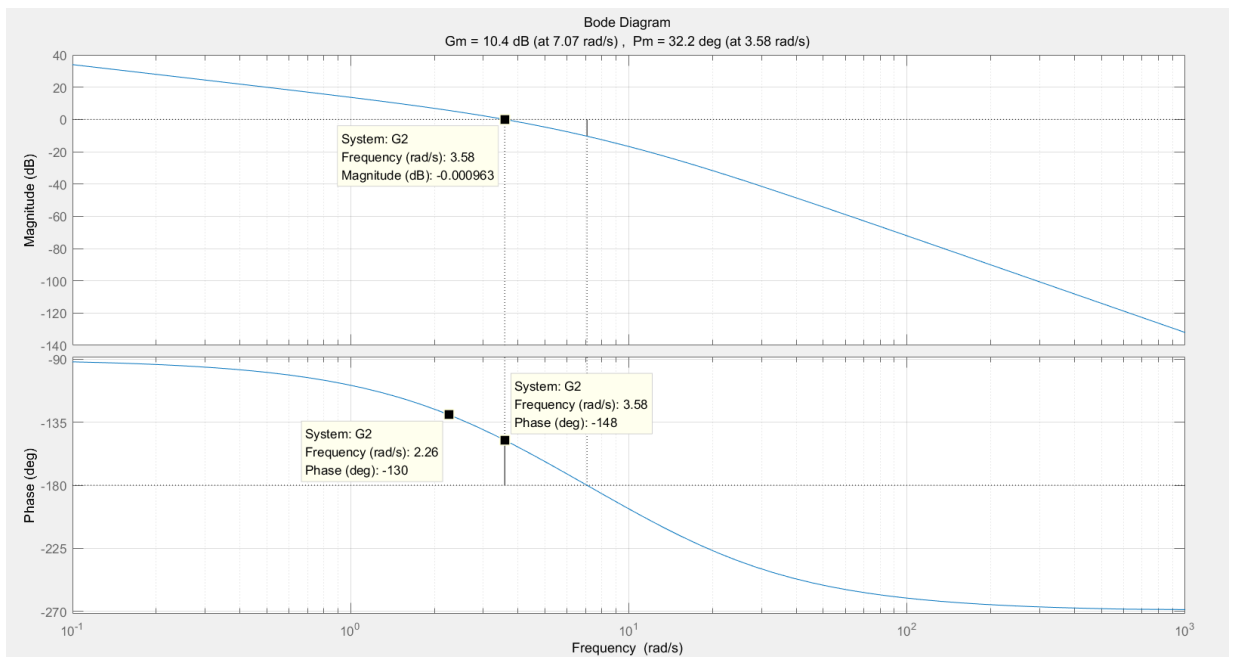
由图得出，超前校正后截止频率 $\omega_{c1}''=3.58 \text{ rad/s}$;

超前校正后相角裕度:

$$\gamma_1'' = 90^\circ - \arctan 0.08\omega_{c1}'' - \arctan 0.25\omega_{c1}'' = 32^\circ < 45^\circ;$$

不满足要求还需要滞后校正;

找到对应 45° ($+5^\circ \sim +12^\circ$) 对应的频率 $\omega_{c2}''=2.26 \text{ rad/s}$;



当 $\omega_{c2}''=2.26 \text{ rad/s}$ 时, $L1(\omega_{c2}'')=6.94 \text{ dB}$;

由 $20 \lg b = -L1'(\omega_{c2}'')$, 解得: $b=0.45$

又由 $1/bT=0.1\omega_{c2}''$ 和 $b=0.45$, 解得: $T=9.87 \text{ s}$

则滞后校正网络为: $G_c(s)=(1+bTs)/(1+Ts)=(4.44s+1)/(9.87s+1)$;

则超前滞后校正后系统传递函数为:

$$G(s) = 5(4.44s+1)/s(0.08s+1)(0.25s+1)(9.87s+1);$$

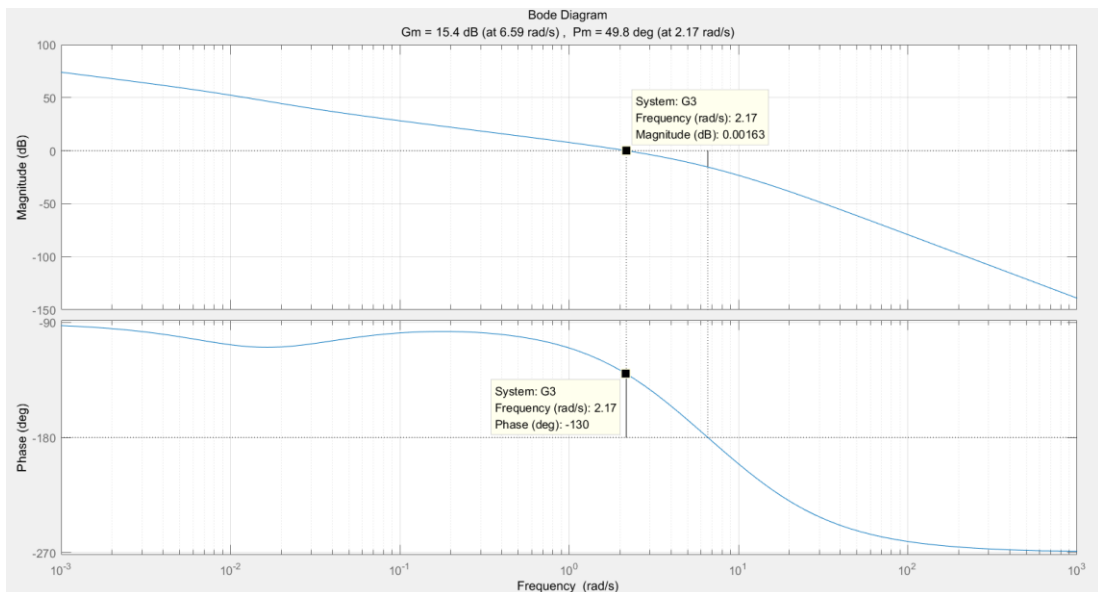
绘制出超前-滞后校正后系统的对数幅频特性曲线

代码:

```

w= 0.001:1:100;
G= tf(5,[conv([1,0],conv([1,1],[0.25,1]))]);%待校正系统的开环传递函数
Gc1 = tf([1,1],[0.08,1]);
G2 = series(G,Gc1);
Gc2=tf([4. 44,1],[9. 87,1]);
G3 = series(Gc2,G2);
margin(G3);
grid;
结果：

```



计算校正后系统相角裕度为

$Y'' = 90^\circ + \arctan 4\omega'' - \arctan 0.1\omega'' - \arctan 0.25\omega'' - \arctan 8\omega'' = 50^\circ > 45^\circ$
满足要求。

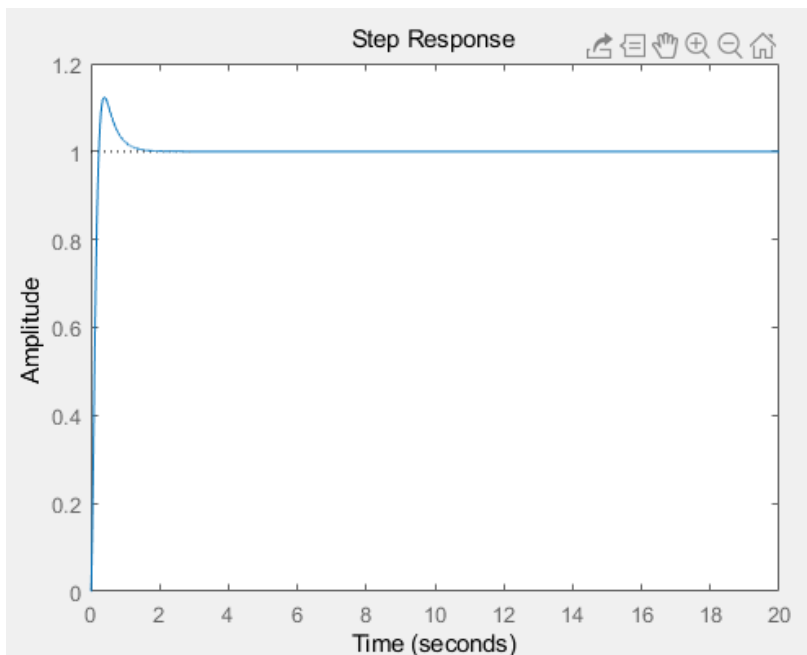
比较校正前后的单位阶跃响应

代码：

```

G= tf(5,[conv([1,0],conv([1,1],[0.25,1]))]);%待校正系统的开环传递函数
Gc = tf([16.95,1],[143.64,1]);%滞后校正网络的传递函数
G1 = series(G,Gc);%校正后开环传递函数
G2=feedback(G,1);
G3=feedback(G1,1);
t=0:0.001:20;
step(G2,t);
figure,step(G3,t);
校正后，

```



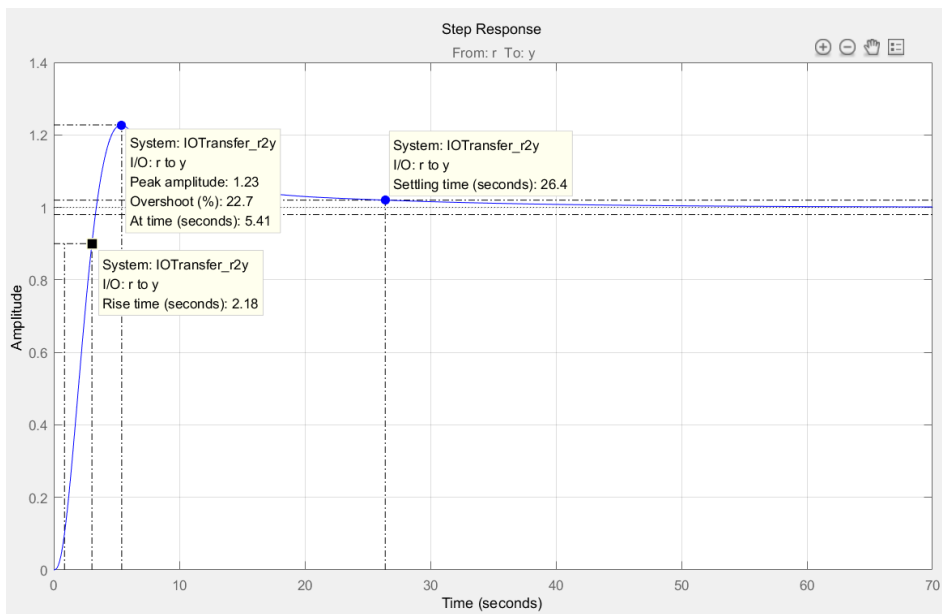
可见，超前滞后校正也可以明显的改善系统的稳定性；

（3）两种校正方式的比较：

作滞后校正系统的单位阶跃响应,测得

代码：

```
num=[84.75 5];
den=conv([1 1 0],conv([0.25 1],[143.64 1]));
sys=tf(num,den);
rltool(sys);
```

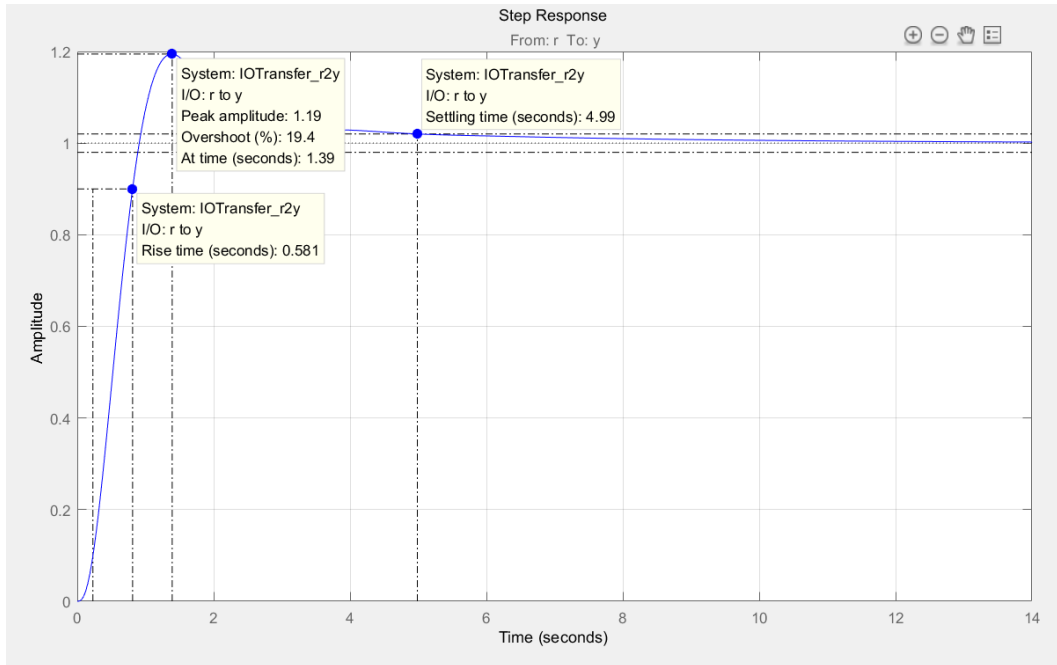


$\sigma \% = 22.7\%$, $t_p = 2.18s$, $t_s = 26.4s$ ($\Delta = 2\%$)

作滞后-超前校正系统的单位阶跃响应,测得

代码：

```
num=[84.75 5];  
den=conv([1 1 0],conv([0.25 1],[143.64 2]));  
sys=tf(num,den);  
rltool(sys);
```



$\sigma \% = 19.4\%$, $t_p = 0.581s$, $t_s = 4.99s$ ($\Delta = 2\%$)

超前滞后校正的调节时间明显小于滞后校正，超调量也有所下降，更好的改善了系统的动态性能，增强系统的快速性。