

# 金陵科技学院

## 课程设计报告



题    目	控制系统的校正及仿真
课 程 名 称	自动控制原理
院 部 名 称	机电工程学院
专        业	
班        级	
学 生 姓 名	
学        号	
课程设计地点	
课程设计学时	一周
指 导 教 师	

金陵科技学院教务处制

## 目录

1、课程设计达到的目的、题目及要求.....	3
1.1 课程设计应达到的目的 .....	3
1.2 课程设计题目及要求 .....	3
2、校正函数的设计.....	4
2.1 校正函数理论分析 .....	4
2.2 校正函数计算过程及函数的得出 .....	4
3、 传递函数特征根的计算.....	8
3.1 校正前系统的传递函数的特征根 .....	8
3.2 校正后系统的传递函数的特征根 .....	8
4、 系统动态性能的分析.....	10
4.1 校正前系统的动态性能分析 .....	10
4.2 校正后系统的动态性能分析 .....	13
5、系统的根轨迹分析.....	16
5.1 校正前系统的根轨迹分析 .....	16
5.2 校正后系统的根轨迹分析 .....	18
6、系统的幅相特性.....	20
6.1 校正前系统的幅相特性 .....	20
6.2 校正后系统的幅相特性 .....	20
7、系统的对数幅频特性及对数相频特性.....	22
7.1 校正前系统的对数幅频特性及对数相频特性 .....	22
7.2 校正后系统的对数幅频特性及对数相频特性 .....	23
8、心得体会.....	26
9、参考文献.....	27

# 1、课程设计达到的目的、题目及要求

## 1.1 课程设计应达到的目的

(1) 掌握自动控制原理的时域分析法，根轨迹法，频域分析法，以及各种补偿（校正）装置的作用及用法，能够利用不同的分析法对给定系统进行性能分析，能根据不同的系统性能指标要求进行合理的系统设计，并调试满足系统的指标。

(2) 学会使用 MATLAB 语言及 Simulink 动态仿真工具进行系统仿真与调试。

## 1.2 课程设计题目及要求

(1) 课程设计题目：

已知单位负反馈系统被控制对象的传递函数为  $G(s) = \frac{K}{s(s+1)(0.125s+1)}$ ，试

用频率法设计串联滞后校正装置，使系统的相角裕量  $\gamma \geq 30^\circ$ ，静态速度误差系数  $K_v \geq 10s$ 。

(2) 课程设计要求：

1) 首先，根据给定的性能指标选择合适的校正方式对原系统进行校正使其满足工作要求。要求程序执行的结果中有校正装置传递函数和校正后系统开环传递函数，校正装置的参数  $T$ ， $\tau$  等的值。

2) 利用 MATLAB 函数求出校正前与校正后系统的特征根，并判断其系统是否稳定，为什么？

3) 利用 MATLAB 作出系统校正前与校正后的单位脉冲响应曲线，单位阶跃响应曲线，单位斜坡响应曲线，分析这三种曲线的关系？求出系统校正前与校正后的动态性能指标  $\sigma\%$ 、 $t_r$ 、 $t_p$ 、 $t_s$  以及稳态误差的值，并分析其有何变化？

4) 绘制系统校正前与校正后的根轨迹图，并求其分离点、汇合点及与虚轴交点的坐标和相应点的增益  $K$  值，得出系统稳定时增益  $K$  的变化范围。绘制系统校正前与校正后的 Nyquist 图，判断系统的稳定性，并说明理由？

5) 绘制系统校正前与校正后的 Bode 图，计算系统的幅值裕量，相位裕量，幅值穿越频率和相位穿越频率。判断系统的稳定性，并说明理由？

## 2、校正函数的设计

### 2.1 校正函数理论分析

频率特性法设计串联无源滞后校正装置的方法：

(1) 根据稳态误差要求，确定开环增益  $K$ 。

(2) 利用已确定的开环增益，画出未校正系统的对数频率特性，确定未校正系统的剪切频率  $\omega_{c0}$ ，相角裕度  $\gamma_0$  和幅值裕度  $K_g$ 。

(3) 根据相角裕度  $\gamma$  要求，确定校正后系统剪切频率  $\omega_c$ 。考虑到滞后网络在新的剪切频率  $\omega_c$  处会产生一定的相角滞后，因此下式成立：

$$\gamma = \gamma_0 - \varphi_c \quad (3-1)$$

式中， $\gamma$  是校正后系统的指标要求值； $\gamma_0$  为未校正系统在  $\omega_c$  处对应的的相角裕度； $\varphi_c$  是滞后网络在  $\omega_c$  处的相角，在确定  $\omega_c$  前可取为  $6^\circ$  左右。于是根据式 (3-1) 的可计算出校正后系统的相角裕度，通过式 (3-1) 可计算出并在未校正系统的相频特性曲线上查出相应的  $\omega_c$  值。

(4) 根据下述关系式确定滞后网络参数  $b$  和  $T$ 。

$$20 \lg b = L(\omega_c) - L(\omega_{c0}) \quad (3-2)$$

$$\frac{1}{bT} = \left( \frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} \right) \omega_c \quad (3-3)$$

式 (3-2) 成立的原因是明显的，因为要保证校正后系统的剪切频率为上一步所选的  $\omega_c$  值，必须使滞后网络的衰减量  $20 \lg b$  在数值上等于未校正系统在新剪切频率  $\omega_c$  上的对数幅频数值  $L(\omega_c)$ ， $L(\omega_{c0})$  在未校正系统的对数幅频曲线上可以查出，于是由式(3-2)可计算出  $b$  值。

式 (3-3) 成立的理由是为了不使串联滞后校正的滞后相角对系统的相角裕度有较大影响(一般控制在  $-6^\circ \sim -14^\circ$  的范围内)。根据式(3-3)和已确定的  $b$  值，即可算出滞后网络的  $T$  值。

(5) 验算已校正系统相角裕度和幅值裕度。

### 2.2 校正函数计算过程及函数的得出

(1) 首先，由静态速度误差系数  $K_v = 10 \text{ s}^{-1}$ ，则有：

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{K_0}{s(s+1)(0.125s+1)} = K_0 = 10$$

所以，该系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(0.125s+1)}$$

(2) 确定未校正系统的剪切频率  $\omega_{c0}$ ，相角裕度  $\gamma_0$  和幅值裕度  $K_g$ 。

MATLAB 程序如下：

```
clear
K=10;num1=1;
den1=conv([1 0],[1 1]);
den=conv([0.125 1],den1);
s1=tf(K*num1,den);
figure(1);
margin(s1);
```

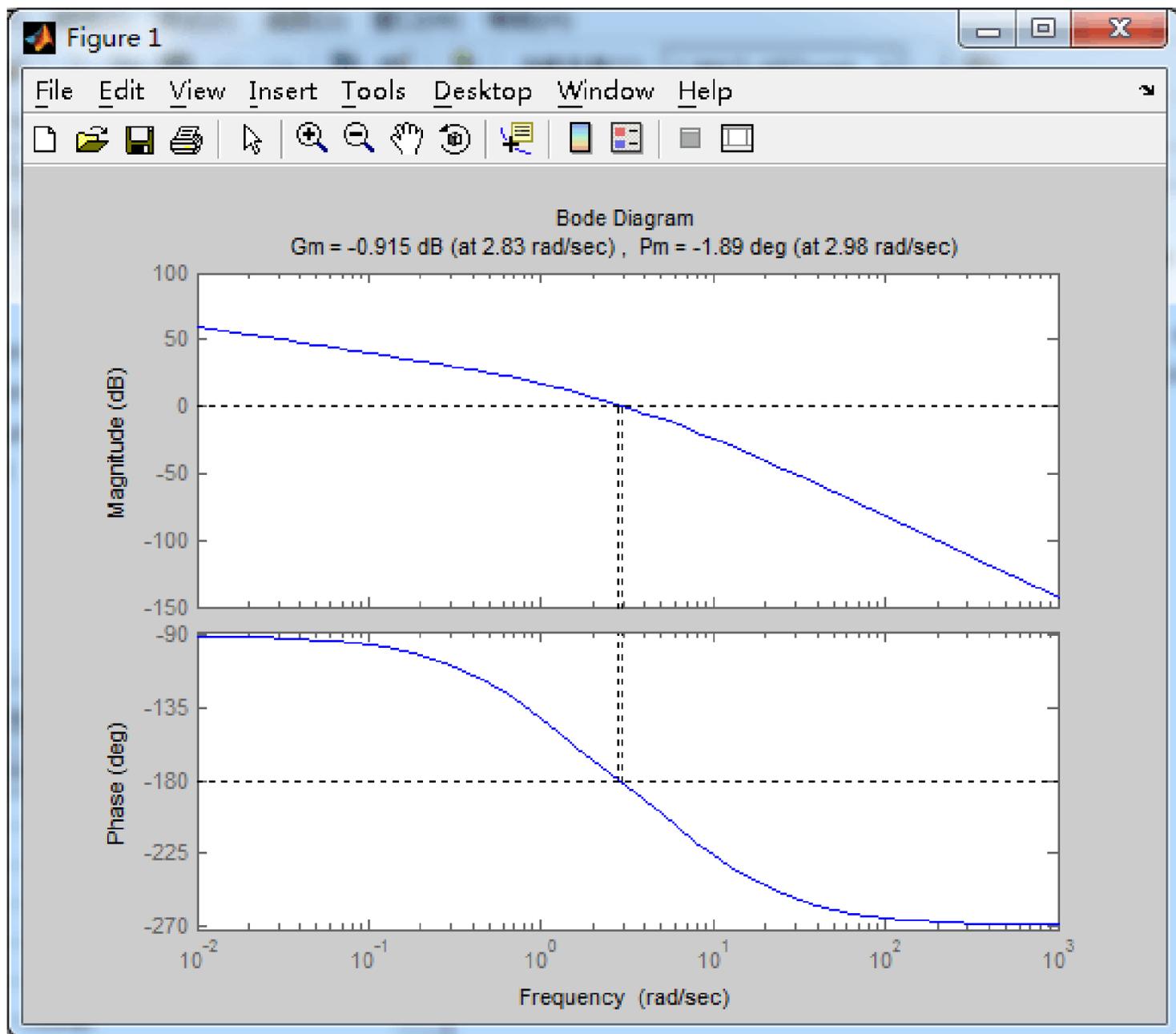


图 2-1 滞后校正前系统的 Bode 图

即校正前的剪切频率  $\omega_{c0} = 2.98 \text{ rad/s}$ ，相角裕度  $\gamma_0 = 1.89^\circ$ ，幅值裕度

$K_g = -0.915 \text{ dB}$

(3) 利用 MATLAB 语言计算出滞后校正器的传递函数。

要计算出校正后系统的传递函数，就编写求滞后校正器的传递函数的 MATLAB 程序，其中调用了求滞后校正器传递函数的函数 `lagc()`，`lagc.m` 保存在文件夹下，其中 `key=1` 时，为 `var=gama`，是根据要求校正后的相角稳定裕度计算滞后校正器；当 `key=2` 时，为 `var=wc`，则是根据要求校正后的剪切频率计算校正器。若已知系统的开环传递函数与要求校正后的相角稳定裕度

或剪切频率，求系统串联滞后校正器传递函数时，就可以调用此函数。

lagc.m 编制如下：

```
function [Gc]=lagc(key,sope,vars)
% MATLAB FUNCTION PROGRAM lagc.m
if key==1
    gama=vars(1);
    gama1=gama+5;
    [mu,pu,w]=bode(sope);
    wc=spline(pu,w',(gama1-180));
elseif key==2
    wc=vars(1);
end
num=sope.num{1};den=sope.den{1};
na=polyval(num,j*wc);
da=polyval(den,j*wc);
g=na/da;g1=abs(g);
h=20*log10(g1);
beta=10^(h/20);
T=10/wc;
betat=beta*T;
Gc=tf([T 1],[betat 1]);
MATLAB 程序如下：
```

```
clear
K=10;num1=1;
den1=conv([1 0],[1 1]);
den=conv([0.125 1],den1);
sope=tf(K*num1,den);
gama=32;
[Gc]=lagc(1,sope,[gama]);
```

程序结果为：

```
Transfer function:
 9.758 s + 1
-----
65.97 s + 1
```

即对于校正后系统的相角裕度  $\varphi_c \approx 32^\circ$  的滞后校正补偿器传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{9.758s + 1}{65.97s + 1}$$

(4) 校验系统校正后系统是否满足题目要求。

MATLAB 程序如下：

```
G=tf(10*[9.758 1],conv([0.125,1.125,1,0],[65.97 1]))
[Gm,Pm,Wcp,Wcg]=margin(G);
```

margin(G)程序结果为:

Transfer function:

$$97.58s + 10$$

$$8.246s^4 + 74.34s^3 + 67.09s^2 + s$$

即校正后系统的开环传递函数为:

$$G_c(s) = \frac{97.85s + 10}{8.246s^4 + 74.34s^3 + 67.09s^2 + s}$$

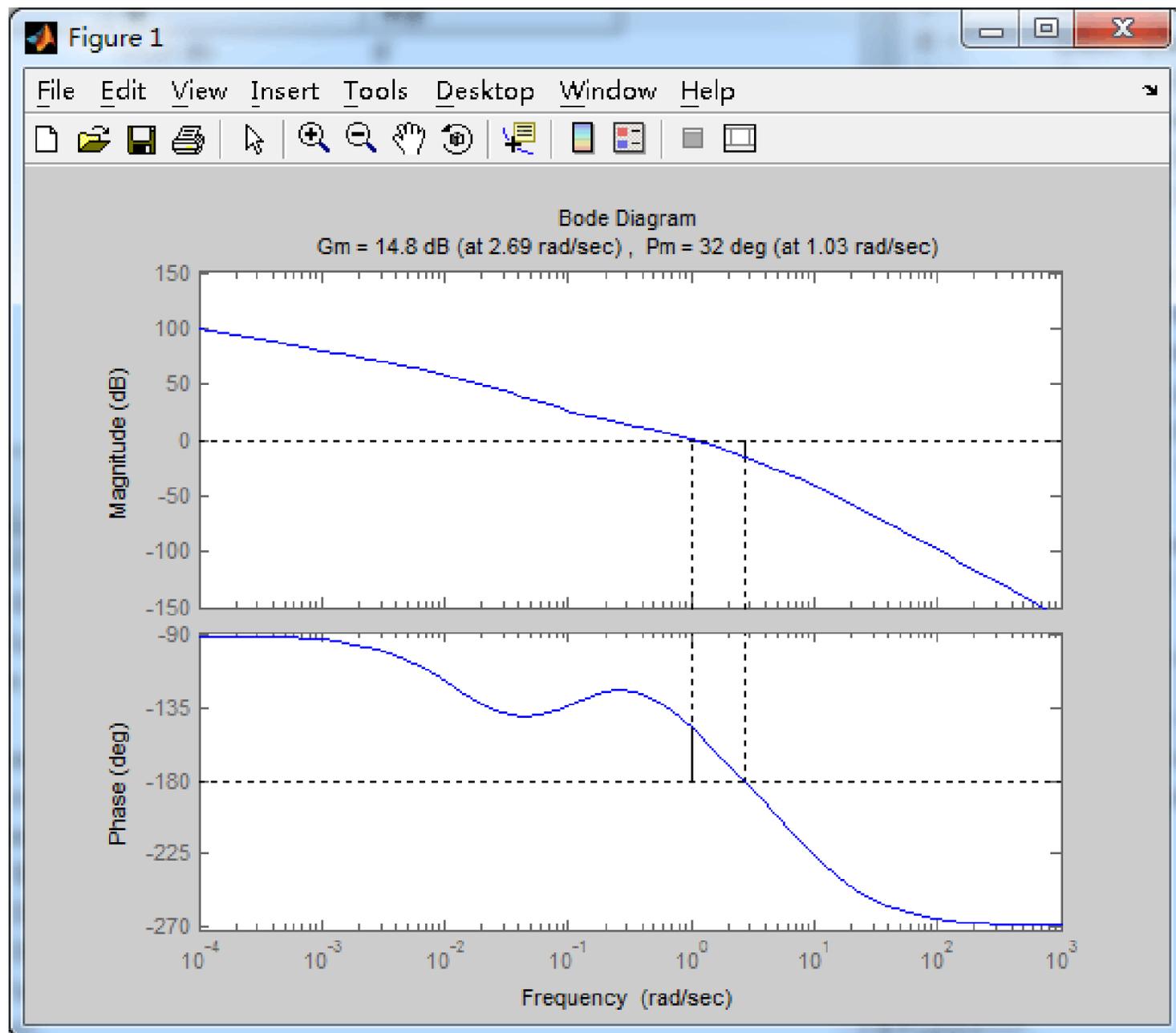


图 2.2 滞后校正后系统的 Bode 图

即剪切频率  $\omega_c = 1.03 \text{ rad/s}$ , 相角裕度  $\gamma_0 = 32^\circ > 30^\circ$ , 幅值裕度  $K_g = 14.8 \text{ dB}$ 。

满足题目要求。

### 3、 传递函数特征根的计算

#### 3.1校正前系统的传递函数的特征根

校正前的开环传递函数为：

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(0.125s+1)}$$

MATLAB 程序为：

```
clear
K=10;num1=1;
den1=conv([1 0],[1 1]);
den=conv([0.125 1],den1);
s1=tf(K*num1,den)
```

程序结果为：

```
Transfer function:
          10
-----
0.125 s^3 + 1.125 s^2 + s
```

故该系统的闭环特征方程为：

$$0.125s^3 + 1.125s^2 + s + 10 = 0$$

MATLAB 程序为：

```
>> clear
>> p=[0.125 1.125 1 10];
>> roots(p)
```

```
ans =

-9.0883
 0.0442 + 2.9666i
 0.0442 - 2.9666i
```

由于校正前系统单位负反馈的特征方程有右半平面的根，故校正前的闭环系统不稳定。

#### 3.2校正后系统的传递函数的特征根

校正后的开环传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{97.85s + 10}{8.246s^4 + 74.34s^3 + 67.09s^2 + s}$$

由以下程序求得闭环传递函数。

```
num1=[97.85 10];
den1=[8.246 74.34 67.09 1 0];
s=tf(num1,den1);
s1=feedback(s,1)
```

程序结果为：

Transfer function:

$$97.85 s + 10$$

---

$$8.246 s^4 + 74.34 s^3 + 67.09 s^2 + 98.85 s + 10$$

校正后的闭环传递函数为：

$$\Phi(s) = \frac{97.85s + 10}{8.246s^4 + 74.34s^3 + 67.09s^2 + 98.85s + 10}$$

故该系统的闭环特征方程为：

$$8.246s^4 + 74.34s^3 + 67.09s^2 + 98.85s + 10 = 0$$

MATLAB 程序为：

```
>> clear
>> p=[8.246 74.34 67.09 98.85 10];
>> roots(p)
```

ans =

```
-8.1991
-0.3540 + 1.1145i
-0.3540 - 1.1145i
-0.1082
```

由于校正后系统单位负反馈的特征方程没有右半平面的根，故校正后的闭环系统稳定。

## 4 系统动态性能的分析

### 4.1 校正前系统的动态性能分析

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(0.125s+1)}$$

(1) 单位脉冲响应

MATLAB 程序为:

```
k=10;n1=1;
den1=conv([1 0],[1 1]);
den=conv([0.125 1],den1);
s=tf(k*n1,den);
closep=feedback(s,1);
figure(1)
impz(closep)
title('校正前单位脉冲响应')
```

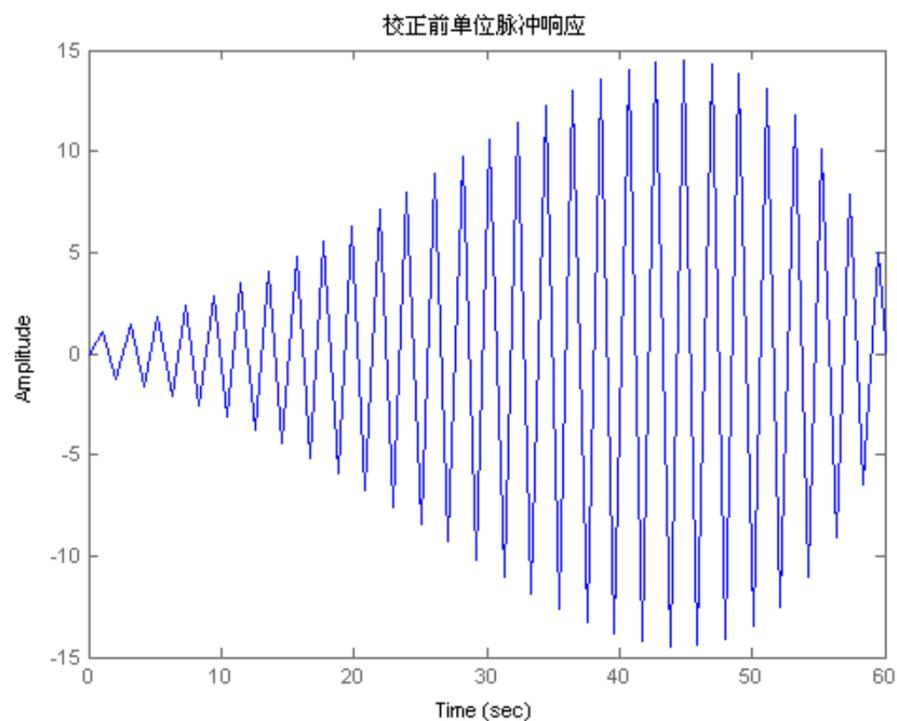
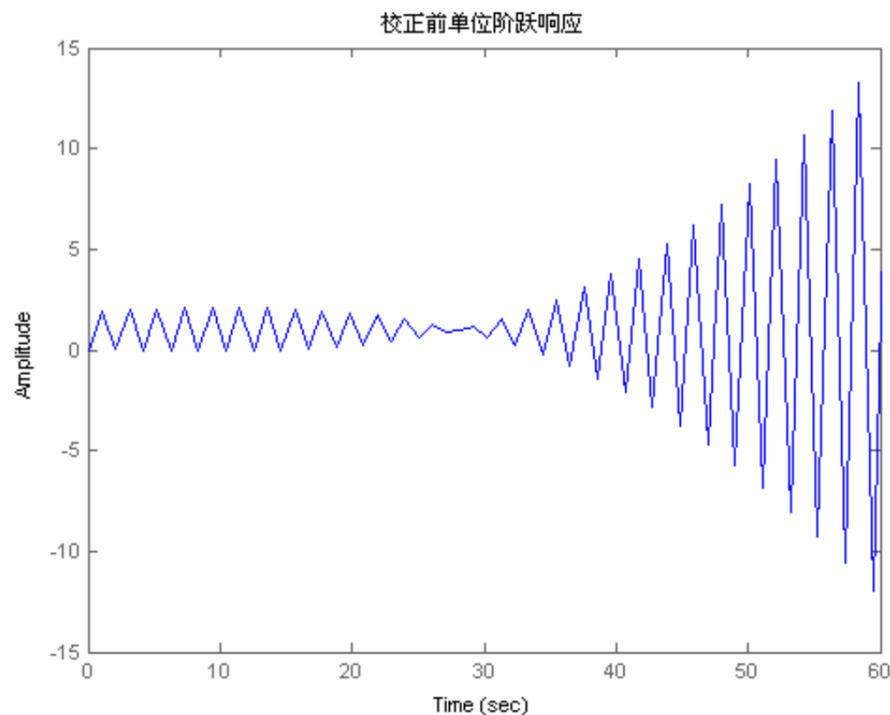


图 4-1 校正前系统的单位脉冲响应

(2) 单位阶跃响应

MATLAB 程序为:

```
k=10;n1=1;
den1=conv([1 0],[1 1]);
den=conv([0.125 1],den1);
s=tf(k*n1,den);
closep=feedback(s,1);
figure(1)
step(closep)
title('校正前单位阶跃响应')
```



4-2 校正前系统的单位阶跃响应

要计算出阶跃响应动态性能参数，就编写求解阶跃响应动态性能参数的 MATLAB 程序，其中调用了函数 `perf()`，`perf.m` 保存在 文件夹下，其中 `key=1` 时，表示选择 5% 误差带，当 `key=2` 时表示选择 2% 误差带。`y`，`t` 是对应系统阶跃响应的函数值与其对应的时间。函数返回的是阶跃响应超调量  $\sigma$  (即  $\sigma$ 、峰值时间  $t_p$ 、调节时间  $t_s$ )。 `perf.m` 编制如下：

```
function [sigma,tp,ts]=perf(key,y,t)
%MATLAB FUNCTION PROGRAM perf.m
%
%Count sigma and tp
[mp,tf]=max(y);
cs=length(t);
yss=y(cs);
sigma= (mp-yss)/yss
tp=t(tf)
%Count ts
i=cs+1;
n=0;
while n==0,
    i=i-1;
    if key==1,
        if i==1,
            n=1;
        elseif y(i)>1.05*yss,
            n=1;
        end;
    elseif key==2,
        if i==1,
            n=1;
        elseif y(i)>1.02*yss,
```

```

                n=1;
            end;
        end
    end;
    t1=t(i);
    cs=length(t);
    j=cs+1;
    n=0;
    while n==0,
        j=j-1;
        if key==1,
            if j==1,
                n=1;
            elseif y(j)<0.95*yss,
                n=1;
            end;
        elseif key==2,
            if j==1,
                n=1;
            elseif y(j)<0.98*yss,
                n=1;
            end;
        end;
    end;
    end;
    t2=t(j);
    if t2<tp
        if t1>t2;
            ts=t1
        end
    elseif t2>tp,
        if t2<t1,
            ts=t2
        else
            ts=t1
        end
    end
    end
    MATLAB

clear
global y t
s1=tf(10,[0.125 1.125 1 0]);
sys=feedback(s1,1);
figure(1)
step(sys)
[y,t]=step(sys);
perf(1,y,t)

```

sigma =      tp =      ts =

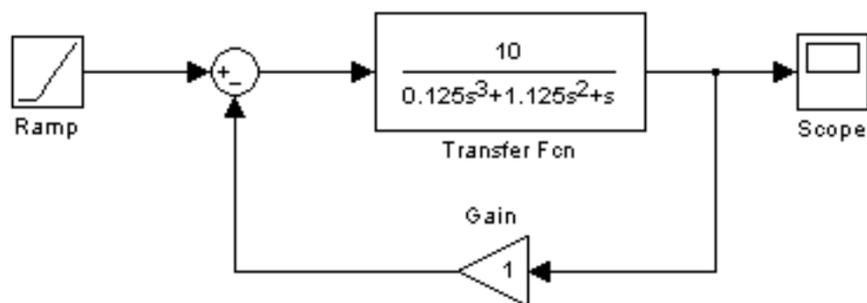
-2.1106      58.4102      59.4532

即：      -2.1106%,  $t_p=58.4102s$ ,  $t_s=59.4532s$ 。

因为校正前系统不稳定，所以该系统没有稳态误差  $e_{ss}$ 。

( ) 单位斜坡响应

在 Simulink 窗口里菜单方式下的单位斜坡响应的动态结构图如下：



4-3 校正前系统的单位斜坡响应的动态结构仿真图

校正前单位斜坡响应曲线如下所示：

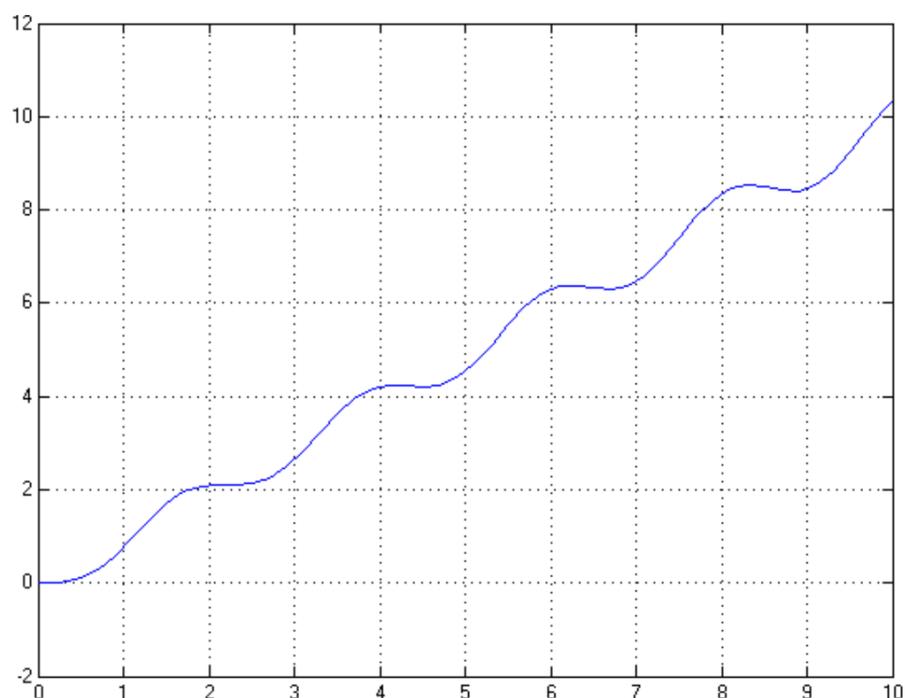


图 4-4 校正前系统的单位斜坡响应

## 4.2 校正后系统的动态性能分析

校正后的开环传递函数为：

$$G(s) \square G_c(s) \square \frac{97.85s \square 10}{8.246s^4 \square 74.34s^3 \square 67.09s^2}$$

(1) 单位脉冲响应

MATLAB 程序为：

```
clear
num=[97.85 10];
den=[8.246 74.34 67.09 1 0];
s=tf(num,den)
closep=feedback(s,1);
impulse(closep)
title('校正后单位脉冲响应')
```

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/618102007001006036>