西北工業大學
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

信号与系统实验报告

实验 4：连续和离散时间信号与系统的变换域分析实验

学院 软件学院

班级 14012104

学号 2021303423

姓名 申铭

2023 年 12 月 29 日

一、实验目的

- 掌握频域系统函数的概念和物理意义；
- 利用Matlab实现连续时间系统的频域分析。
- 掌握利用Matlab求连续时间函数的拉普拉斯变换和拉普拉斯反变换；
- 掌握利用Matlab求离散时间信号的z变换和反z变换；
- 掌握利用Matlab分析系统函数极零点分布与系统特性的关系

二、实验环境

- 操作系统：Windows10
- 编程软件：Matlab2019b

三、实验涉及的部分 MATLAB 函数

1、 freqs

- 功能：计算连续时间系统的频率响应
- 调用格式：freqs(b,a)，在当前窗口绘制幅频和相频曲线。

2、laplace

- 功能：求符号函数的拉普拉斯变换
- 调用格式：X = laplace(x)，求符号函数x的拉普拉斯变换。

3、ilaplace

- 功能：求符号函数的拉普拉斯反变换
- 调用格式：x = ilaplace(X)，求符号函数X的拉普拉斯反变换。

4、pzmap

- 功能：绘制连续时间系统的零极点图
- 调用格式：pzmap(b,a)，绘制由向量b和a构成的系统函数确定的零极点图。

5、impulse

- 功能：计算系统冲激响应
- 调用格式：impulse(b,a)，计算由向量b和向量a构成的系统函数对应系统的冲激响应。

6、tf2zp

- 功能：实现系统函数到极零点分布的转换，可用于绘制极零图
- 调用格式：tf2zp(b,a)，绘制由向量b和a构成的系统函数确定的零极点图。

7、zp2tf

- 功能：实现极零点分布到系统函数的转换
- 调用格式：(b,a) = zp2tf(z,p,k)；其中z,p,k分别为零点向量、极点向量、增益系数，b,a分别为系统函数的分子和分母多项式系数向量。

8、ztrans

- 功能：求符号函数的z变换
- 调用格式：X = ztrans(x)，求符号函数x的z变换。

9、iztrans

- 功能：求符号函数的z反变换
- 调用格式：x = iztrans(X)，求符号函数X的z反变换。

10、zplane

- 功能：绘制离散时间系统的零极点图
- 调用格式：zplane(b,a)；绘制由向量b和向量a构成的系统函数确定的零极点图。

11、impz

- 功能：绘制离散时间系统的单位函数响应
- 调用格式：impz(b,a,n)；绘制由向量b和向量a构成的的系统函数对应系统的单位函数响应前n个点。

四、实验内容

1、实验1: 连续时间系统的频域分析实验

（1） 已知某系统微分方程为：$y^{''}(t) + y(t) + y(t) = x(t)$，画出该系统的幅频和相频响应曲线。

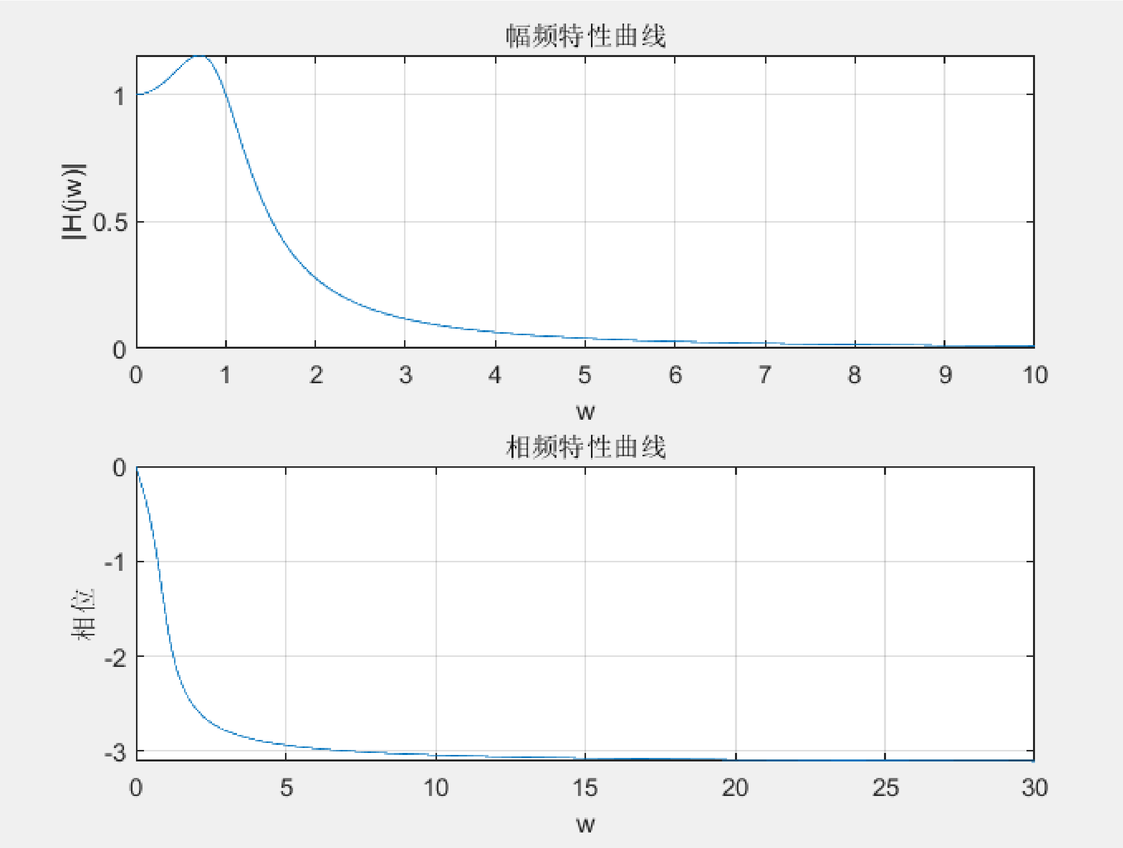
$$(s^2+s+1)Y(s) = X(s)$$
$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{s^2+s+1}$$
$$\text{由系统函数的性质：} H(j\omega) = \frac{1}{(j\omega)^2 + j\omega + 1}$$

- 源代码

```
%% 1.1
a = [1 1 1]
b = [1]
w = -4*pi:0.01:4*pi
h = freqs(b,a,w)
subplot(2,1,1)
%绘制幅频特性曲线
subplot(2, 1, 1)
plot(w,abs(h))
grid
xlabel('w')
ylabel('|H(jw)|')
title('幅频特性曲线')
%绘制相频特性曲线
subplot(2, 1, 2);
plot(w,angle(h))
grid
```

```
xlabel('w')
ylabel('相位')
title('相频特性曲线')
```

- 结果图

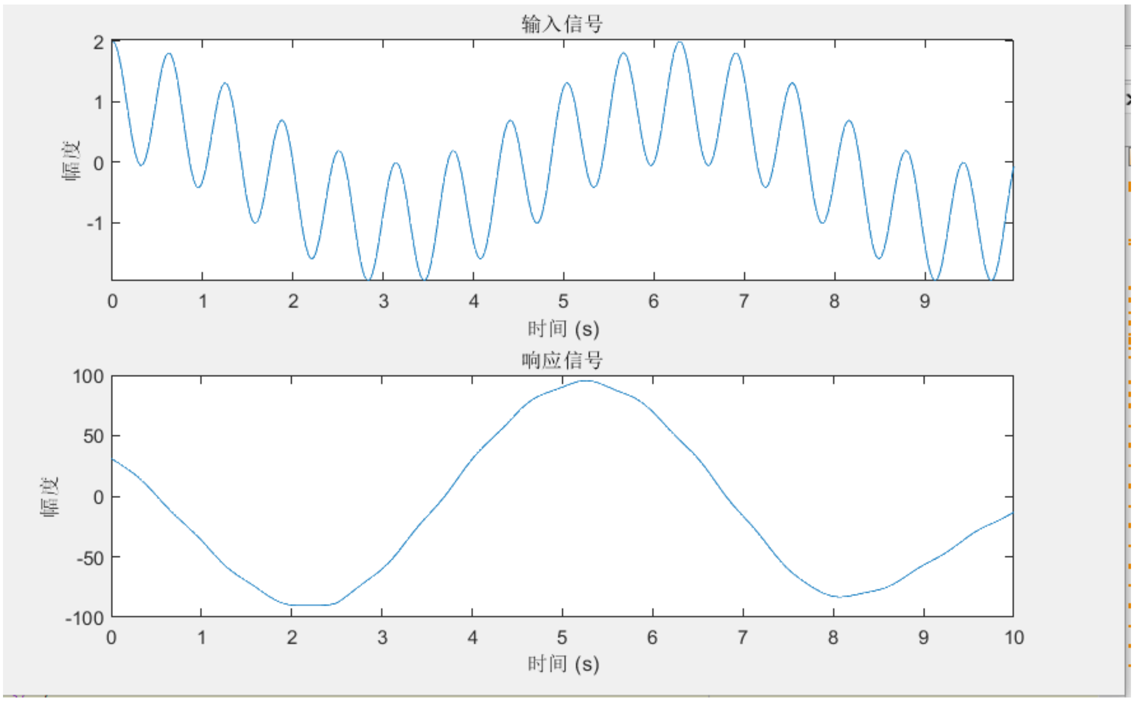


(2) 对于上题中的二阶系统，当输入信号为$f(t) = cos(t) + cos(10t)$时，求系统输出$y(t)$，绘制时域波形。结合实验结果，分析该系统的滤波特性。

- 源代码

```
%% 1.2
a = [1 1 1]
b = 1
t = -10:0.01:10
% 绘制输入信号
f = cos(t)+cos(10*t) % 输入信号
subplot(3,1,1)
plot(t,f)
title('输入信号')
xlabel('t')
ylabel('幅度')
% 绘制响应信号
y = filter(b,a,f)
subplot(3,1,2)
plot(t,y)
title('响应信号')
xlabel('t')
ylabel('幅度')
```

- 结果图



- 分析该系统的滤波特性：由图可知，输出波形的幅度没有明显变化，震荡却消失了。即频率较低的成分（cos(t)）变化较小，而对于频率较高的成分（cos(10t)）则有明显衰减，因此该系统具有良好的低通滤波特性。

2、实验2：s域实验

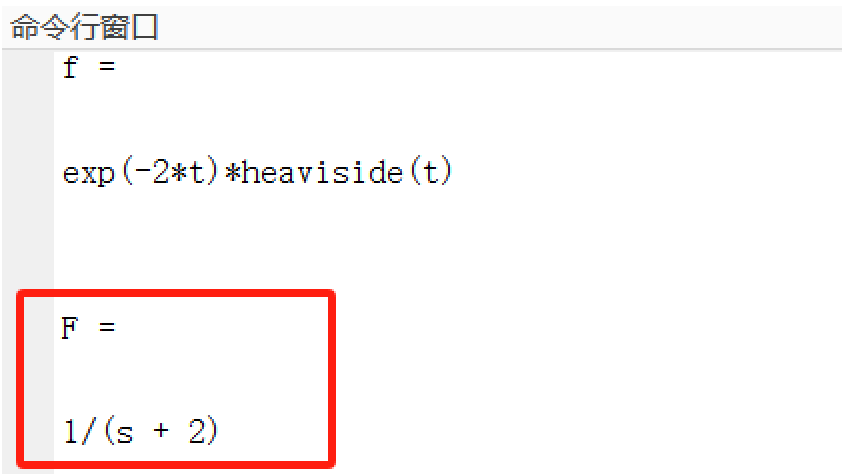
（1）（LT实验）利用MATLAB求下面式子的LT变换，说明收敛域

$$f_1(t) = e^{-2t}\varepsilon(t)$$

- 源代码

```
%% 2.1.1
syms t
f1 = exp(-2*t)*heaviside(t) %定义函数和
F1 = laplace(f1) %使用函数计算拉普拉斯变换
```

- 结果图



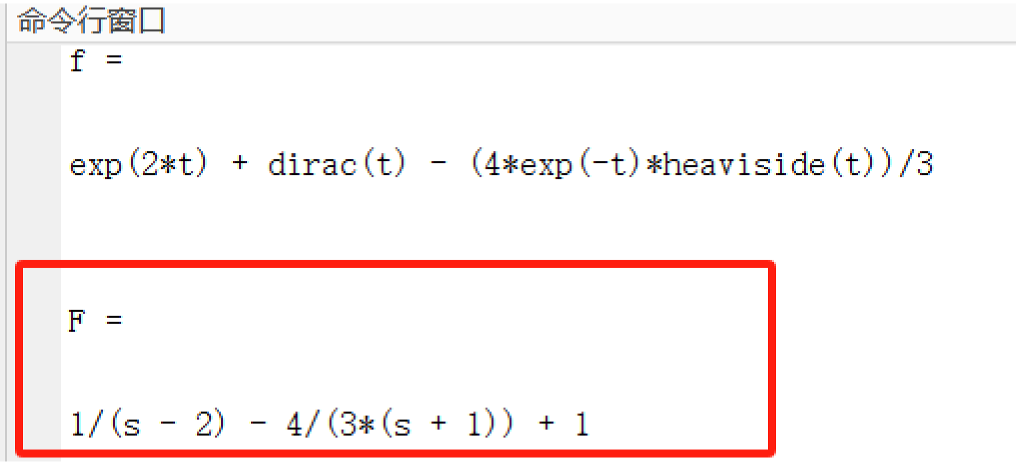
- **结果**：$F_1(s) = \frac{1}{s+2}$，**收敛域**：$Re[s] > -2$

$$f_2(t) = \delta(t) + e^{2t}\varepsilon(t) - \frac{4}{3}e^{-t}\varepsilon(t)$$

- 源代码

```
%% 2.1.2
syms t
f2 = dirac(t)+exp(2*t)-4/3*exp(-t)*heaviside(t) %定义函数
F2 = laplace(f) %使用函数计算拉普拉斯变换
```

- 结果图



```
命令行窗口
f =

exp(2*t) + dirac(t) - (4*exp(-t)*heaviside(t))/3


F =

1/(s - 2) - 4/(3*(s + 1)) + 1
```

- **结果：** $F_2(s) = \frac{1}{s-2} - \frac{4}{3(s+1)} + 1$，**收敛域：** $Re[s] > 2$

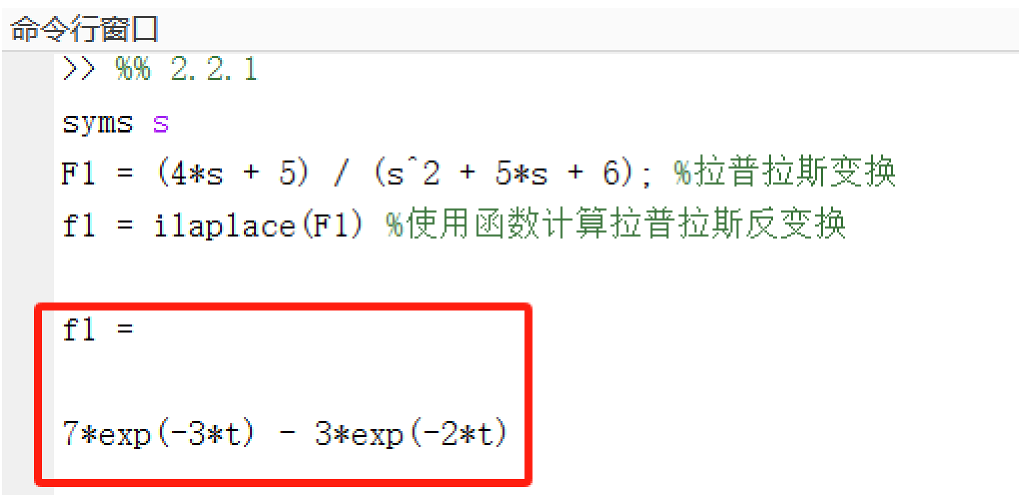
（2）（LT反变换实验）有始信号的拉斯变换如下，利用MATLAB求其拉普拉斯反变换

$$F_1(s) = \frac{4s+5}{s^2+5s+6}$$

- 源代码

```
%% 2.2.1
syms s
F1 = (4*s + 5) / (s^2 + 5*s + 6); %拉普拉斯变换
f1 = ilaplace(F1) %使用函数计算拉普拉斯反变换
```

- 结果图



```
命令行窗口
>> %% 2.2.1
syms s
F1 = (4*s + 5) / (s^2 + 5*s + 6); %拉普拉斯变换
f1 = ilaplace(F1) %使用函数计算拉普拉斯反变换

f1 =

7*exp(-3*t) - 3*exp(-2*t)
```

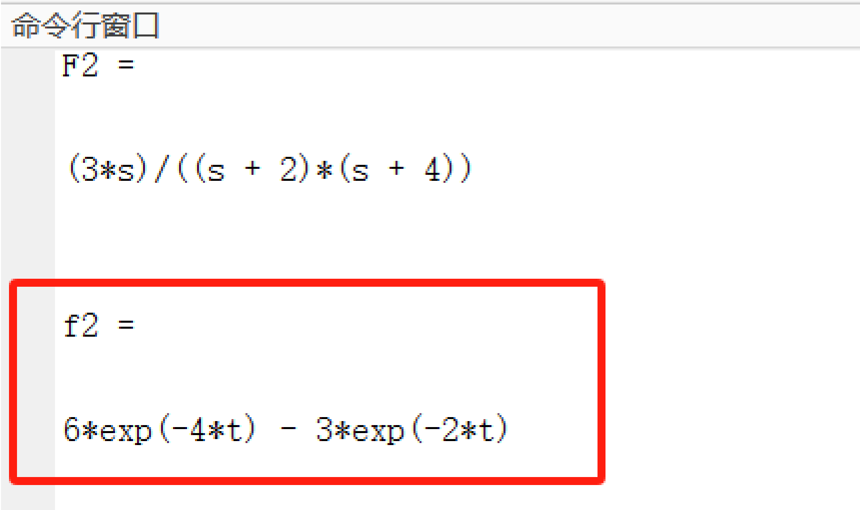
- **结果：** $f_1(t)=7e^{-3t}\epsilon(t)-3e^{-2t}\epsilon(t)$

$$F_2(s)=\frac{3s}{(s+4)(s+2)}$$

- 源代码

```
%% 2.2.2
syms s
F2 = 3*s/((s+4)*(s+2)) %拉普拉斯变换
f2 = ilaplace(F2) %使用函数计算拉普拉斯反变换
```

- 结果图



命令行窗口

```
F2 =

(3*s)/((s + 2)*(s + 4))

f2 =

6*exp(-4*t) - 3*exp(-2*t)
```

- **结果：** $f_2(t)=6e^{-4t}\epsilon(t)-3e^{-2t}\epsilon(t)$

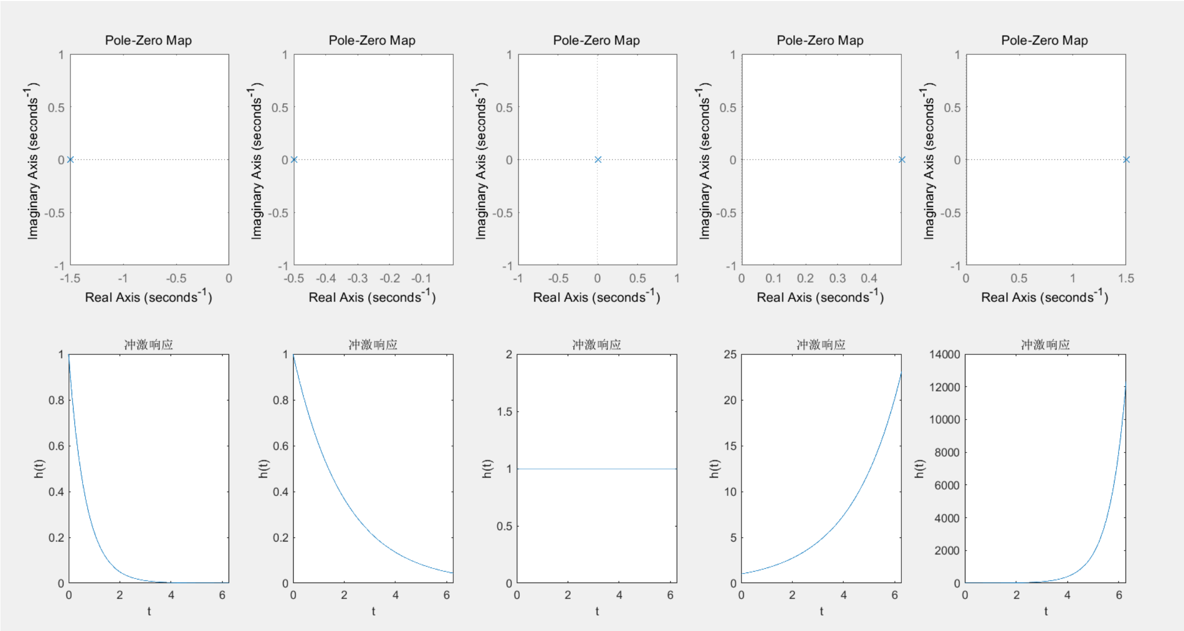
（3）(极点对系统特性的影响)某一阶系统的系统函数为$H(s)=\frac{1}{s-p}$,分别绘制极点处于-1.5，-0.5，0，0.5，1.5时的极零图及对应的冲激响应函数。观察现象，总结极点如何影响冲激响应函数，进而总结其对于系统稳定性的影响

- 源代码

```
%% 2.3
%通过for循环分别绘制极点处于-1.5，-0.5，0，0.5，1.5时的极零图及对应的冲激响应函数
T=[1.5 0.5 0 -0.5 -1.5]
for i=1:5
    b=[1]
    a=[1 T(i)]
    t=0:0.01:2*pi
    % 绘制极零图
    sys=tf(b,a)
    subplot(2,5,i)
    pzmap(sys)
    % 绘制冲激响应
    y = impulse(b,a,t)
    subplot(2,5,i+5)
    plot(t,y)
    xlabel('t')
    ylabel('h(t)')
    title('冲激响应')
```

```
end
```

- 结果图（从左到右极点分别为-1.5，-0.5，0，0.5，1.5）



总结极点如何影响冲激响应函数，进而总结其对于系统稳定性的影响：

系统全部极点落在 s 平面的左半平面时，冲激响应是收敛的，满足绝对可积条件，系统稳定。

系统有极点在 s 平面的右半平面或在虚轴上具有二阶以上，冲激响应是不收敛的，不满足绝对可积条件，系统不稳定。

系统函数没有极点落在右半平面,但在虚轴上有一阶极点,则系统临界稳定。

3、实验3：z域实验

（1）（ZT实验）利用MATLAB求信号 $f(k)=2^{k-1}\varepsilon(k)$ 的ZT变换，并说明收敛域。

- 源代码

```
%% 3.1
syms k z
f = 2^(k-1).*stepfun(k,0)   %定义函数
Fz = ztrans(f,k,z) %使用函数计算Z变换
```

- 结果图：

命令行窗口

```
f =

2^(k - 1)

F =

z/(2*(z - 2))
```

- **结果**：$F(z) = \frac{z}{2(z-2)}$，**收敛域**：$|z| > 2$

(2) （ZT反变换实验）有始信号的Z变换如下：

$$F(z) = \frac{2z^2 - 0.5z}{z^2 - 0.5z - 0.5}$$ **利用MATLAB求其单边反z变换**

- 源代码：

```
%% 3.2
syms z
Fz = (2*z*z-0.5*z)/(z*z-0.5*z-0.5) %定义有始信号的Z变换
f = iztrans(Fz) %使用函数计算反变换
```

- 结果图：

命令行窗口

```
Fz =

(- 2*z^2 + z/2)/(- z^2 + z/2 + 1/2)

f =

(-1/2)^n + 1
```

- **结果**：$f(k) = ((-0.5)^k + 1)\epsilon(k)$

(3) 利用MATLAB画出下列系统函数的极零图以及对应的时域单位函数响应$h(k)$的波形，并分析系统函数的极点对于时域波形的影响

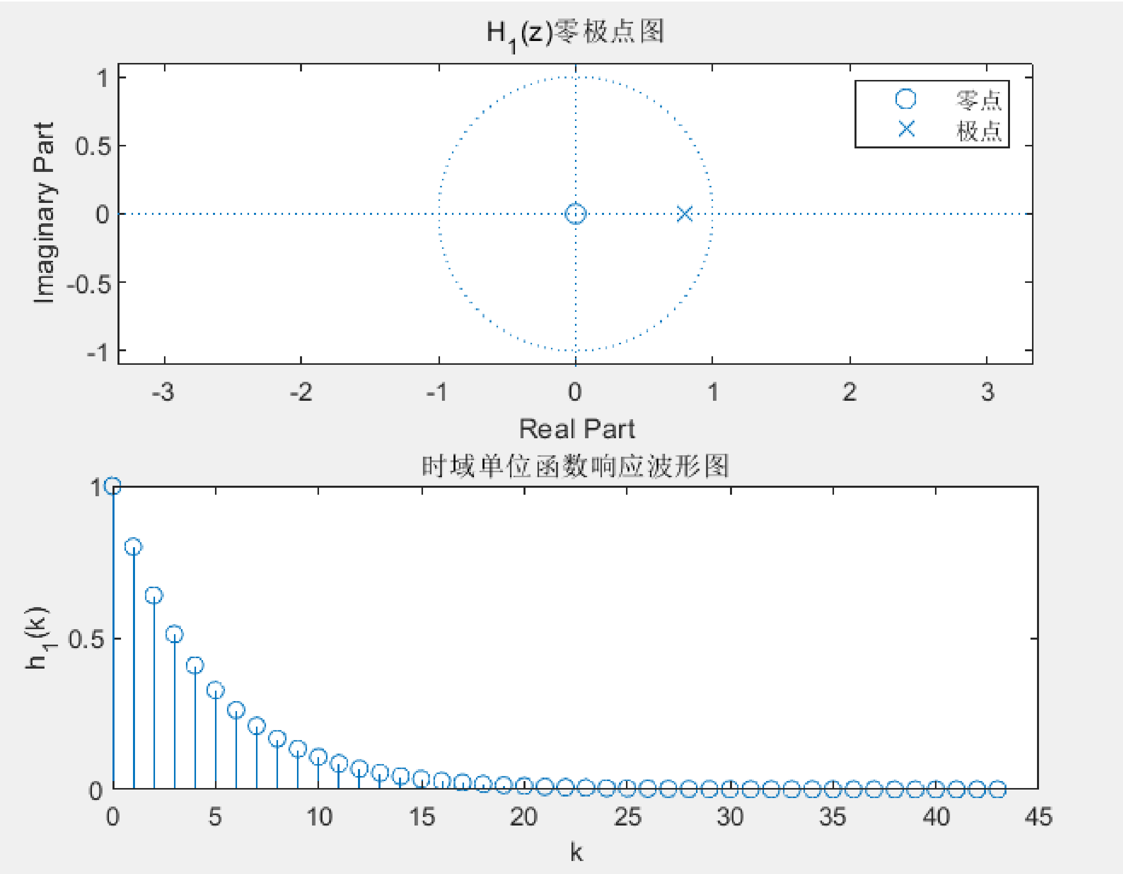
$$H_1(z) = \frac{z}{z - 0.8}$$

- 源代码

```
%% 3.3.1
% 定义的参数 a 和 b
```

```
b = [1]
a = [1 -0.8]
%绘制极零点图
subplot(2,1,1)
zplane(b,a)
legend('零点','极点')
title('H_1(z)零极点图')
%绘制时域单位函数响应波形图
subplot(2,1,2)
[h,k] = impz(b,a) %h(k)的波形
stem(k,h)
xlabel('k')
ylabel('h_1(k)')
title('时域单位函数响应波形图')
```

- 结果图



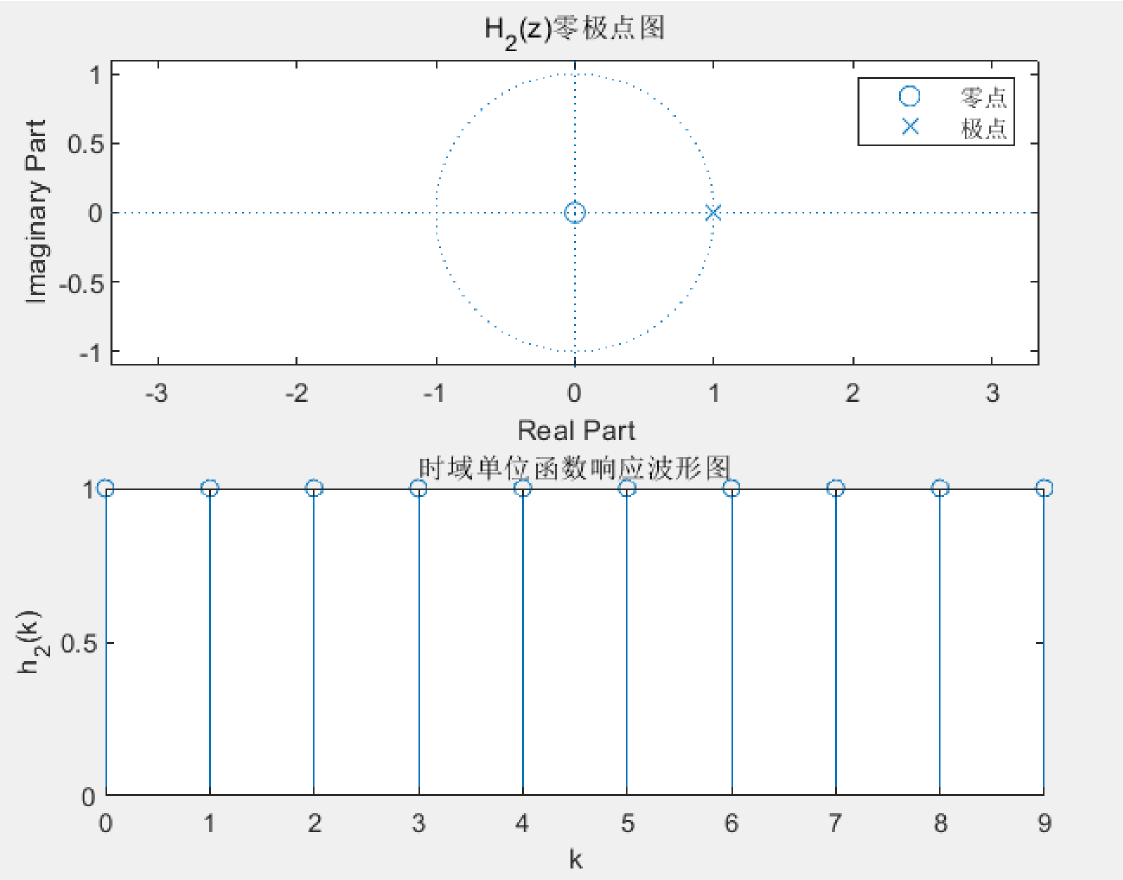
$$H_2(z) = \frac{z}{z-1}$$

- 源代码：

```
%% 3.3.2
% 定义的参数 a 和 b
b = [1]
a = [1 -1]
%绘制极零点图
subplot(2,1,1)
zplane(b,a)
legend('零点','极点')
title('H_2(z)零极点图')
```

```
%绘制时域单位函数响应波形图
subplot(2,1,2)
[h,k] = impz(b,a) %h(k)的波形
stem(k,h)
xlabel('k')
ylabel('h_2(k)')
title('时域单位函数响应波形图')
```

- 结果图：

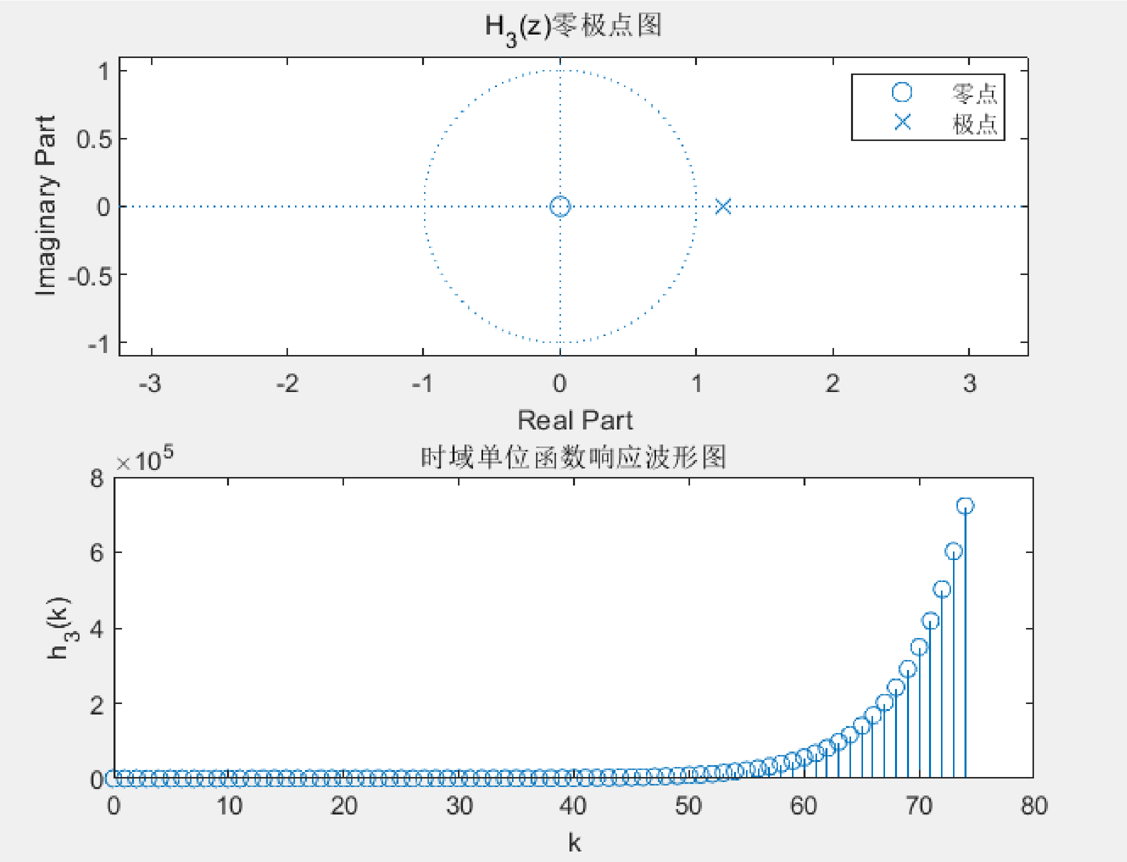


$$H_3(z) = \frac{z}{z-1.2}$$

- 源代码：

```
%% 3.3.3
% 定义的参数 a 和 b
b = [1]
a = [1 -1.2]
%绘制极零点图
subplot(2,1,1)
zplane(b,a)
legend('零点','极点')
title('H_3(z)零极点图')
%绘制时域单位函数响应波形图
subplot(2,1,2)
[h,k] = impz(b,a) %h(k)的波形
stem(k,h)
xlabel('k')
ylabel('h_3(k)')
title('时域单位函数响应波形图')
```

- 结果图：

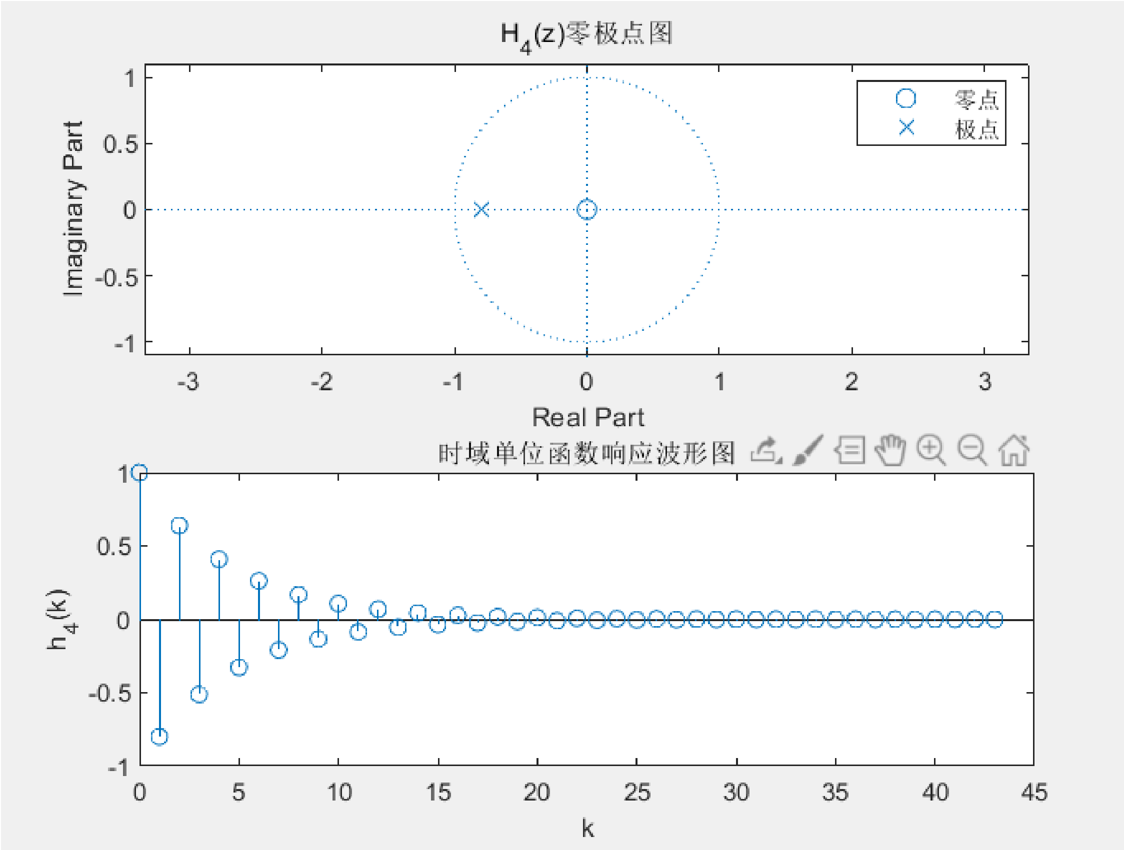


$$H_4(z) = \frac{z}{z+0.8}$$

- 源代码：

```
%% 3.3.4
% 定义的参数 a 和 b
b = [1]
a = [1 0.8]
%绘制极零点图
subplot(2,1,1)
zplane(b,a)
legend('零点','极点')
title('H_4(z)零极点图')
%绘制时域单位函数响应波形图
subplot(2,1,2)
[h,k] = impz(b,a) %h(k)的波形
stem(k,h)
xlabel('k')
ylabel('h_4(k)')
title('时域单位函数响应波形图')
```

- 结果图：

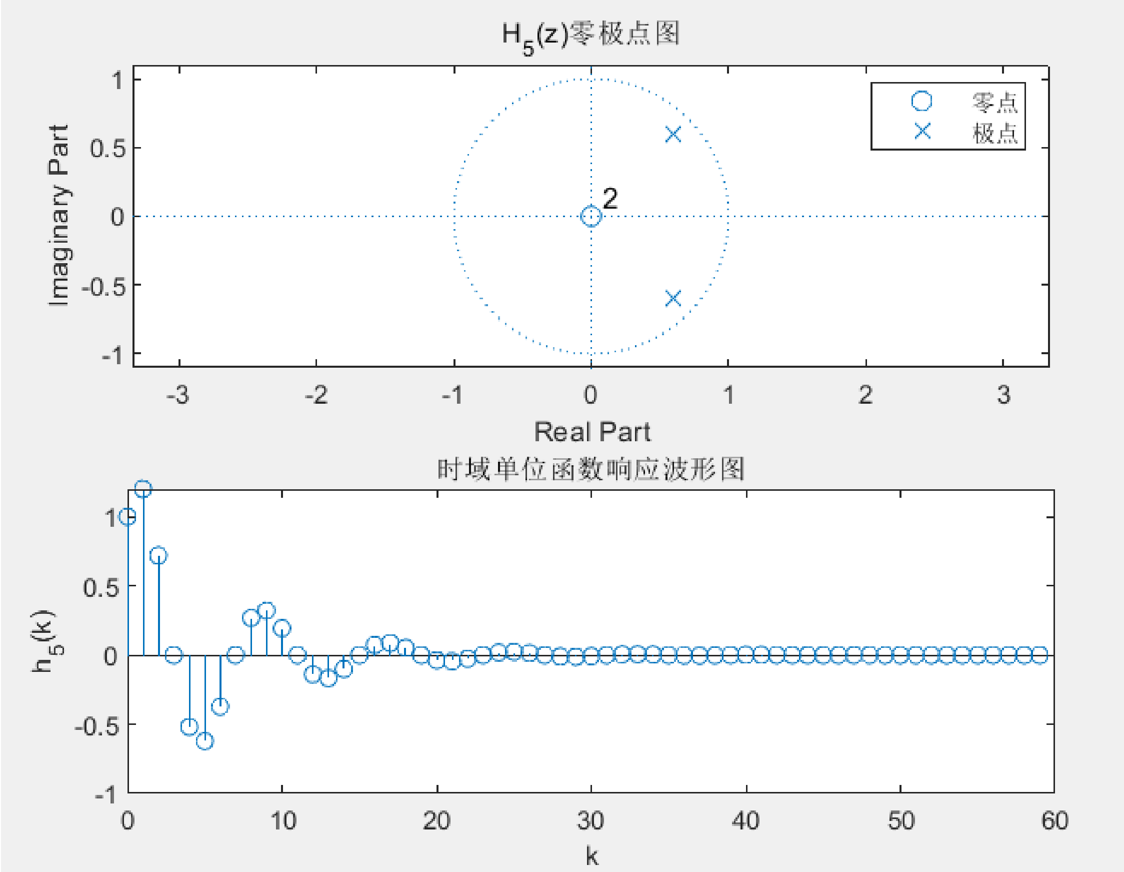


$$H_5(z) = \frac{z}{z^2 - 1.2z + 0.72}$$

- 源代码:

```
%% 3.3.5
% 定义的参数 a 和 b
b = [1]
a = [1 -1.2 0.72]
%绘制极零点图
subplot(2,1,1)
zplane(b,a)
legend('零点','极点')
title('H_5(z)零极点图')
%绘制时域单位函数响应波形图
subplot(2,1,2)
[h,k] = impz(b,a) %h(k)的波形
stem(k,h)
xlabel('k')
ylabel('h_5(k)')
title('时域单位函数响应波形图')
```

- 结果图:

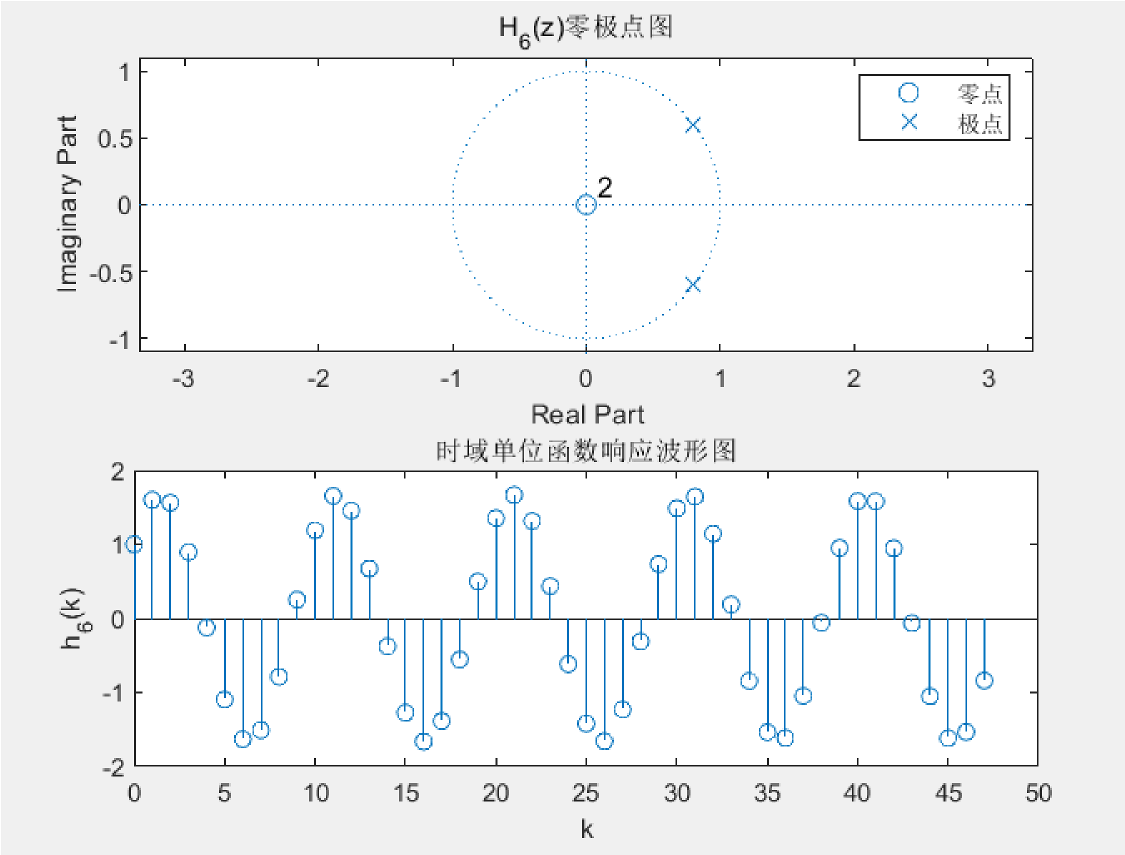


$$H_6(z) = \frac{z}{z^2 - 1.6z + 1}$$

- 源代码:

```
%% 3.3.6
% 定义的参数 a 和 b
b = [1]
a = [1 -1.6 1]
%绘制极零点图
subplot(2,1,1)
zplane(b,a)
legend('零点','极点')
title('H_6(z)零极点图')
%绘制时域单位函数响应波形图
subplot(2,1,2)
[h,k] = impz(b,a) %h(k)的波形
stem(k,h)
xlabel('k')
ylabel('h_6(k)')
title('时域单位函数响应波形图')
```

- 结果图:

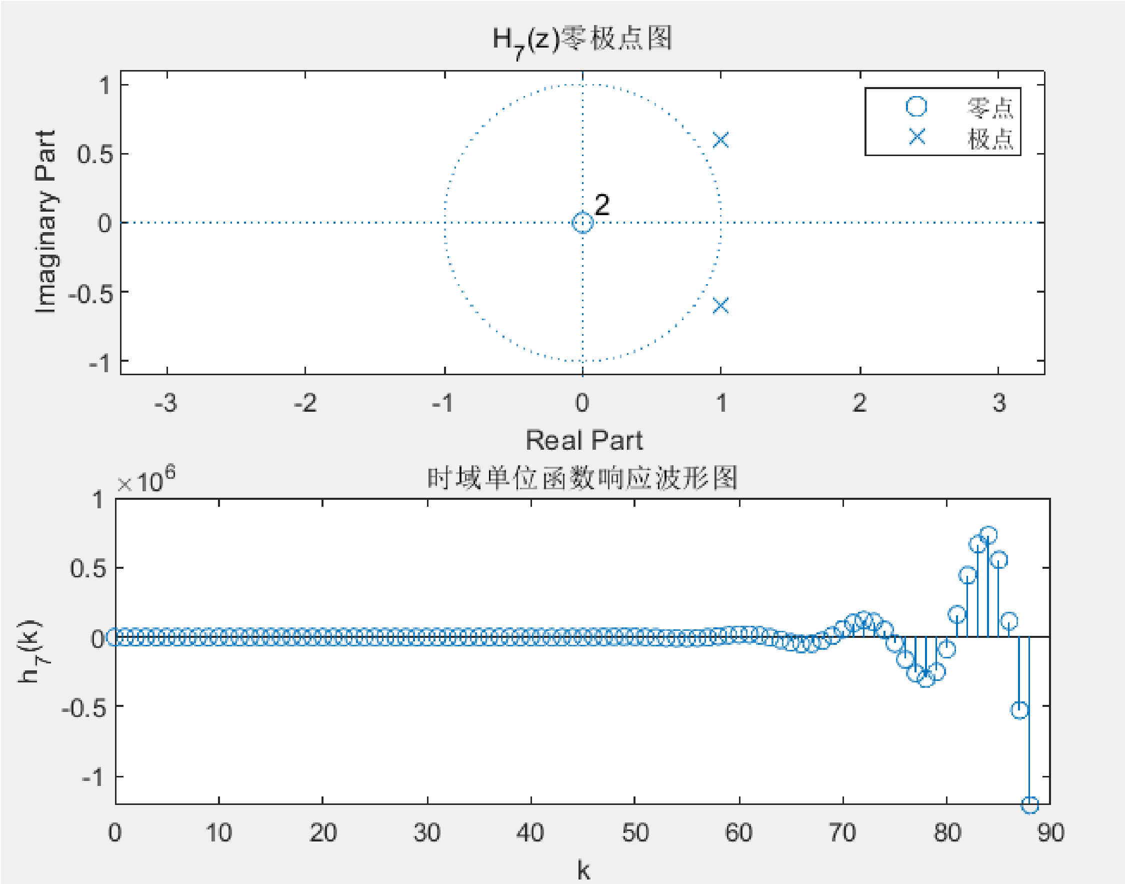


$$H_7(z) = \frac{z}{z^2 - 2z + 1.36}$$

- 源代码:

```
%% 3.3.7
% 定义的参数 a 和 b
b = [1]
a = [1 -2 1.36]
%绘制极零点图
subplot(2,1,1)
zplane(b,a)
legend('零点','极点')
title('H_7(z)零极点图')
%绘制时域单位函数响应波形图
subplot(2,1,2)
[h,k] = impz(b,a) %h(k)的波形
stem(k,h)
xlabel('k')
ylabel('h_7(k)')
title('时域单位函数响应波形图')
```

-



分析系统函数的极点对于时域波形的影响：

系统的所有极点都位于复平面的单位圆内，时域波形幅度逐渐减小，系统稳定。

如果有极点位于单位圆外，时域波形幅度逐渐增大，系统不稳定的。

如果所有极点在单位圆上，时域波形幅度不变，系统临界稳定。

五、实验体会和感悟

本次实验相对比较简单，没有像前几次遇到很编程上迷惑的问题，但是在实验过程中我感觉到理论知识的掌握还不是很熟练，有的名词看着很熟悉，但是想不起来具体含义，需要翻看ppt才能回想起来，理论课已经结束，需要抓紧时间复习。

通过本次实验，我对拉普拉斯变换和z变换的内容更加熟练掌握，同时也通过实验了解了系统函数极零点分布和系统特性的关系，掌握了matlab实现拉普拉斯变换和z变换的函数的方法。