专业：电子信息工程
姓名：王涵
学号：3200104515
日期：2022.12.18
地点：家

浙江大学实验报告

课程名称：控制理论(乙)　指导老师：韦巍　成绩：

实验名称：控制系统的频域分析

==

一、 实验目的

1. 掌握 MATLAB 语句绘制频域曲线；
2. 掌握频率分析的方法，即：伯德图、奈奎斯特图。

二、 实验原理

1. 频率分析法的特点：直观表现出系统的频率特性。

（1）Bode 图-对数频率特性曲线

$$G(s)=\frac{b_m s^m+b_1 s^{m-1}+\cdots+b_{m-1}s+b_m}{a_0 s^n+a_1 s^{n-1}+\cdots+a_{n-1}s+a_n}$$

$$G(j\omega)=\frac{k(j\omega+z_1)(j\omega+z_2)\cdots(j\omega+z_m)}{(j\omega+p_1)(j\omega+p_2)+\cdots+(j\omega+p_n)}$$

特点：

（1）增益与相位在不同频率下的变化与趋势，系统稳定性判断

（2）将幅频的乘法运算变为加减运算

（3）可通过实验法获取系统的频率响应，进而辨识出系统的传递函数

2. Nyquist（奈奎斯特）曲线-对数幅相曲线

根据开环频率特性在复平面绘出幅相轨迹，可判断闭环系统的稳定性

依据：

控制系统稳定的充要条件：Nyquist 曲线按逆时针包围临界点（-1，j0）p 圈，p 为开环传递函数位于右半 s 平面的极点数，否则闭环系统不稳定。当开环传递函数包含虚轴上的极点时，闭合曲线应以 ε $\rightarrow \mathbf{0}$ 的半圆从右侧绕过该极点。

3. Bode 图绘制

$$G_0(s)=\frac{num(s)}{den(s)}\quad \frac{num\text{ 分子多项式系数向量}}{den\text{分母多项式系数向量}}$$

函数：　(1)bode(num,den)

(2)bode(num,den,w)

(3)[mag,phase,w]=bode(num,den)

说明：

函数 1 中：给num,den做伯德图，角频率向量ω的范围自动设定

函数 2 中，角频率向量ω的范围由人工设定，ω为对数等分，由函数$logspace(\ \ )$完成，如$w=$

$logspace(-1, 1, 100)$

函数 3 中，返回变量格式。计算所得的幅值mag , 相角$phase$, 角频率ω, 返回至$matlab$命令窗口，不做图。

4. Nyquist 图绘制：

函数	说明
Nyquist(num, den)	w 的范围自动设定
Nyquist(num, den, w)	w 的范围手动设定
[re, im, w] = nyquist	返回 re，im，角频率，不做图

三、 实验内容

1. 绘制开环传递函数$G(s) = \frac{50}{(s+1)(s+5)(s-2)}$的 Bode 图，并判断该闭环系统的稳定性，画出单位闭环系统的单位冲击响应。

2. 一多环系统

$$G(s) = \frac{16.7s}{(0.85s+1)(0.25s+1)(0.0625s+1)}$$

结构如下图所示，试用$Nyquist$频率曲线判断系统的稳定性。

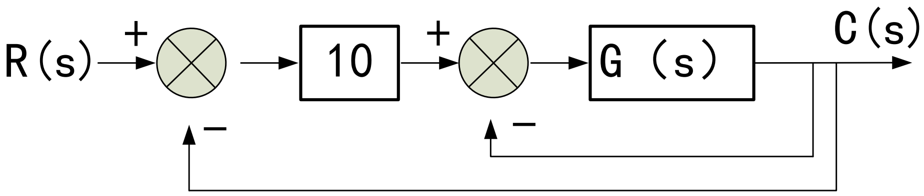

图 3.1 系统结构图

3. 在 Simulink 仿真环境中，组成上述闭环系统的仿真框图，观察并记录单位阶跃响应曲线。

四、 实验数据记录、处理和分析

1.实验一

实验代码：

```
%% Problem 1
num = [50];
den = conv(conv([1 1],[1 5]),[1 -2]);
% bode(num, den);
% margin(num ,den);
```

```
[A, B, C, D] = tf2ss(num, den);
sys = ss(A,B,C,D);
sys_feedback = feedback(sys,1);
t=0:0.1:10;
y=impulse(sys_feedback, t);
plot(t, y);
title('闭环系统单位冲激响应','fontweight','bold');
xlabel('t/s','fontsize',10,'fontweight','bold');
ylabel('U/V','fontsize',10,'fontweight','bold');
set(gca,'FontSize',20);
```

实验结果：

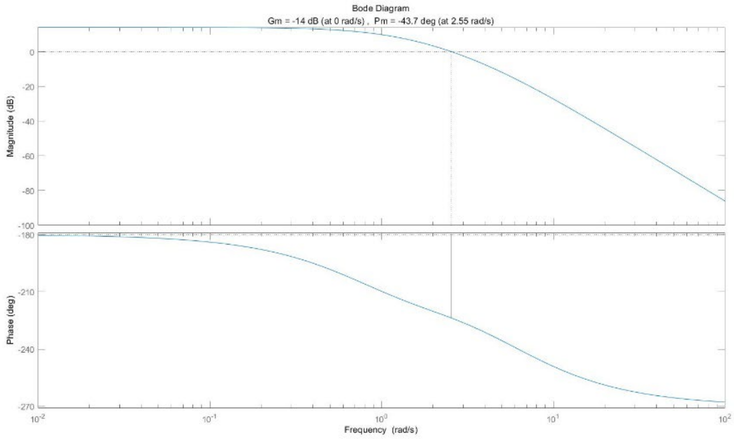

图 4.1 开环系统波特图

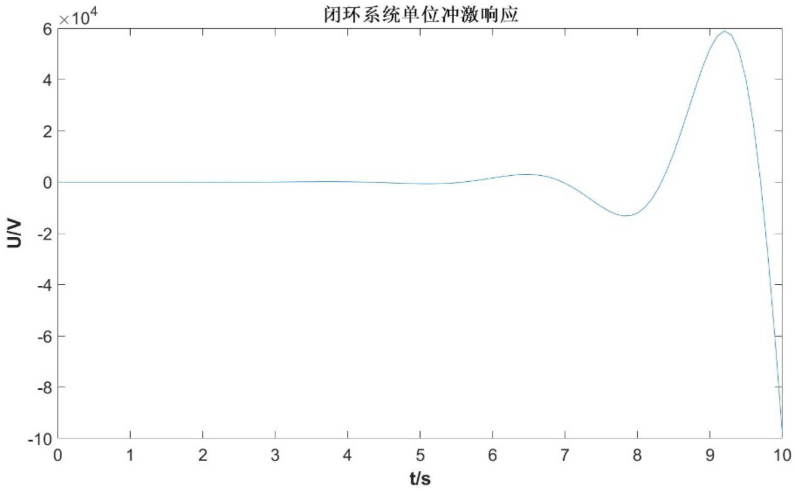

图 4.2 单位冲击响应

结果分析：

由图 4.1 可知该开环系统低频时 L(0)>0，ϕ(0)=-180°，当 w 趋向于∞时，L(∞)<0，ϕ(∞)=-270°，仿真结果与理论计算一致。由图可知该开环系统相位裕度和幅值裕度均小于 0，说明对应的单位反馈闭环系统是不稳定的。

图 4.2 为闭环系统的单位冲击响应，可以因为系统是不稳定的，所以接收到冲击之后，该系统的输出信号是围绕 0 值振荡的、振幅越来越大的，与理论推测一致。

2.实验二

实验代码：

```
%% Problem 2
num = [16.7 0];
den = conv(conv([0.85 1],[0.25 1]),[0.0625 1]);
sys = tf(num,den);
sys_feedback=feedback(sys,1);
t=0:0.02:20;
sys_feedback = sys_feedback*10;
nyquist(sys_feedback);
% nyquist(num, den);
grid;
```

实验结果：

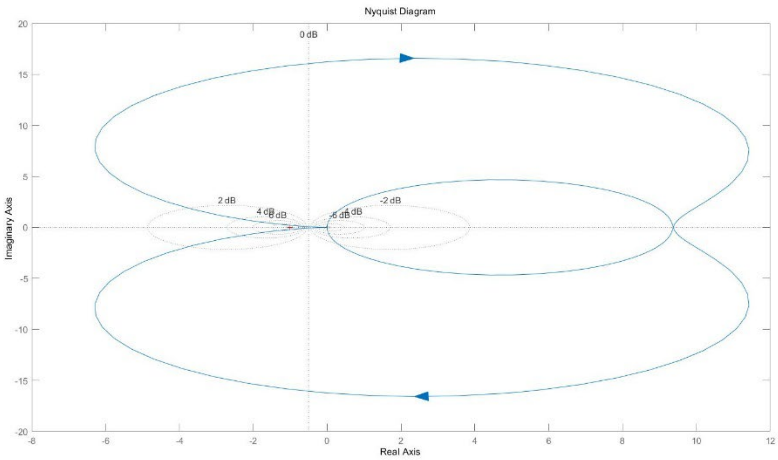

图 4.6 等效开环系统 nyquist 曲线

结果分析：根据流程图得到闭环系统，等效的开环传递函数 $G_3(s)$

```
>> sys_feedback

sys_feedback =

                 167 s
  --------------------------------------
  0.01328 s^3 + 0.2812 s^2 + 17.86 s + 1
```

利用该开环传递函数绘制奈奎斯特频率曲线，如图 4.6 所示，位于虚轴右侧的开环极点个数 P=0，由图 4.6 知频率曲线包围（-1，j0）的圈数 N=0，所以 Z=N+P=0，所以根据奈奎斯特定理可得该闭环系统稳定。

3.实验三

在 simulink 中搭建的模型如图 4.7 所示，该闭环系统的单位阶跃响应震荡多次后收敛到某一值附近，表明该系统是稳定的，但存在动态性能不佳的问题，比如根据图可以看出超调量较大、稳定时间较长。

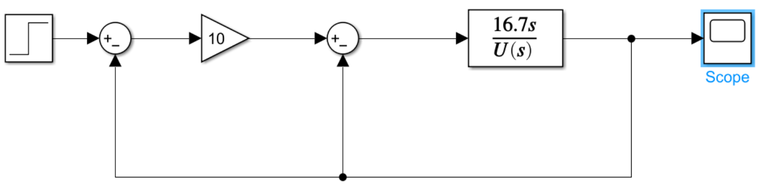

图 4.7 simulink 仿真模型

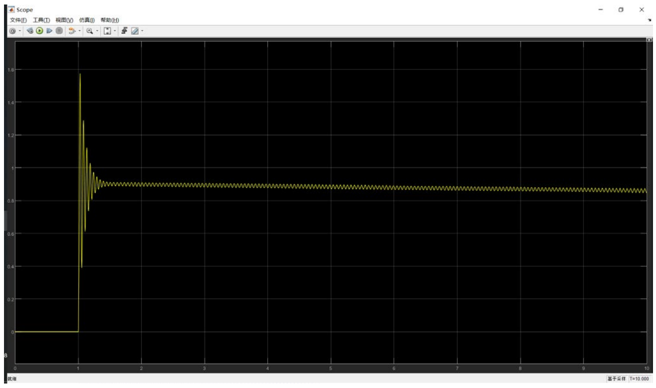

图 4.8 单位阶跃响应

五、 思考题

伯德图中相角裕量与幅值裕量的物理意义是什么？

相角裕量 γ 的物理意义是稳定系统在剪切频率 wc 处将相角减小 γ 度，则系统变为临界稳定；再减小，系统就会变为不稳定。幅值裕量的物理意义是稳定系统在相角穿越频率 wg 处将幅值增加 kg 倍，则系统处于临界状态；若增加的倍数大于 kg 倍，则系统变为不稳定。