

### 实验三、线性系统的频率特性及串联校正分析

姓名： 岳博 学号： 517021910825  
同组成员： 张弛 任课教师： 李少远、邹媛媛  
实验地点： SEIEE 4-402/404 实验日期： 2019-12-21

当我们在分析反馈控制系统的稳定性之后，有时往往会发现系统的品质指标不能令人满意。在这种情况下，就需要在原来的反馈控制系统内附加某种形式的校正。在很多实际情况中，采用的校正方法可以是多种多样。引入校正装置的目的在于用附加零极点的办法来改变系统的零极点分布、根轨迹或频率特性的形状。使系统既保证开环增益，满足一定的准确度要求以及稳定性的提高，同时也必须保证瞬态响应指标符合实际应用的需要。

#### [实验目的]

通过实验学习频率特性测量的基本原理，以及使用虚拟仪器测量若干典型环节频率特性的具体方法；学习使用频率特性法分析自动调节系统的动态特性，研究常用校正装置对系统的校正作用，学习调试校正参数的方法。

#### [实验原理]

电气校正装置一般分为有源网络和无源网络两种。

#### 一、有源校正

##### a) 比例微分积分（PID）校正

由运算放大器及阻容网络可组成 PID 有源网络。其线路及传递函数如下：

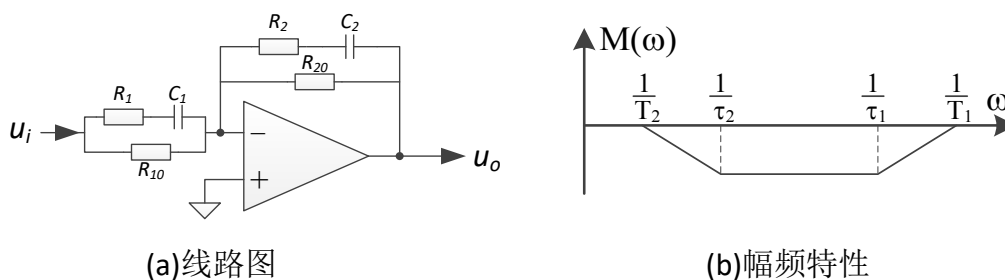


图 3-1 有源校正线路图及幅频特性

$$W(s) = -K \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

其中：

$$\tau_1 = (R_1 + R_{10})C_1$$

$$\tau_2 = R_2 C_2$$

$$T_1 = R_1 C_1$$

$$T_2 = (R_2 + R_{20})C_2$$

$$K = R_{20}/R_{10}$$

b) 比例微分（PD）校正

本实验装置上的有源校正网络采用了下图所示的电路。

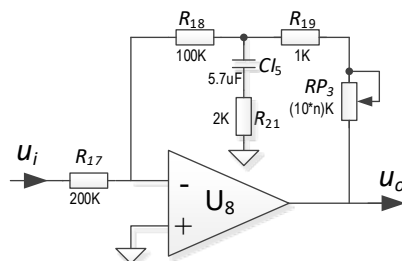


图 3-2 比例微分（PD）校正线路图

该环节对应的传递函数为：

$$W(s) = \frac{R_{18} + (R_{19} + RP_3)}{R_{17}} \left[ 1 + \frac{R_{18}(R_{19} + RP_3)C_{15}s}{(R_{18} + (R_{19} + RP_3))(R_{21}C_{15}s + 1)} \right]$$

该传递函数对应一个超前校正网络，当 $R_{18}$ 、 $RP_3 \gg R_{21}$ ，则在低频段以上传递函数可近似为：

$$W(s) = K[1 + Ts]$$

其中：

$$K = \frac{R_{18} + (R_{19} + RP_3)}{R_{17}}$$

$$T = \frac{R_{18}(R_{19} + RP_3)C_{15}}{R_{18} + (R_{19} + RP_3)}$$

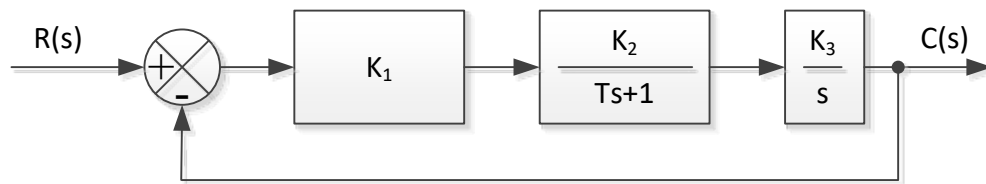
## 二、无源校正

a) 比例微分校正

b) 微积分校正

### [实验内容]

1. 了解 WaveForms:Network 虚拟仪器测量频率响应特性的原理，选择合适的信号源(SWA)，测量惯性环节#2、校正网络(RP3:10)以及积分器的频率特性，记录实验结果；并根据具体电路对象的结构和参数进行理论推导，与实验结果进行对比分析。
2. 搭建下图所示未校正实验系统，其中使用惯性环节#2、比例器#2，将阶跃输入信号幅值调整为 1V(RP0:2)，比例器#2 对应 RP4 刻度值调节到 10，测试记录该系统的阶跃响应曲线，测量系统最大超调量  $M_p$  及调整时间  $t_s$ 。

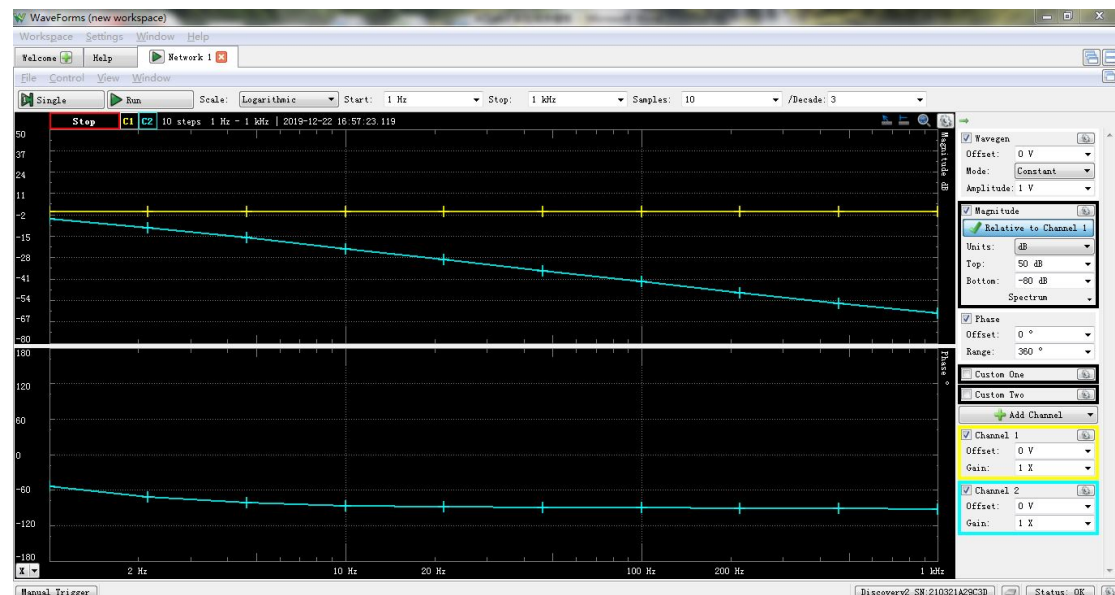


3. 在上图系统中加入校正网络，调节校正网络对应 RP3 刻度值到 10，确认系统为负反馈连接后，测试并记录加入校正网络后的阶跃响应曲线，测量系统最大超调量  $M_p$  及调整时间  $t_s$ ；并根据各电路对象的结构和参数进行理论推导，与实验结果进行对比分析。

### [实验报告要求]

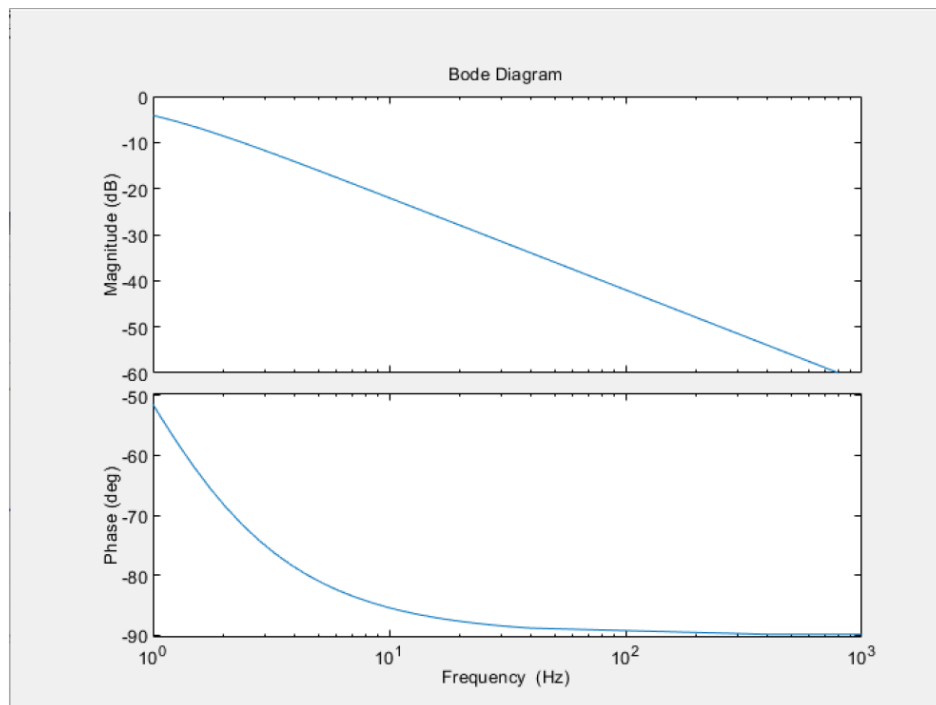
- 1、 惯性环节#2、校正网络以及积分器的频率特性实验、记录与分析；

#### (1) 惯性环节：



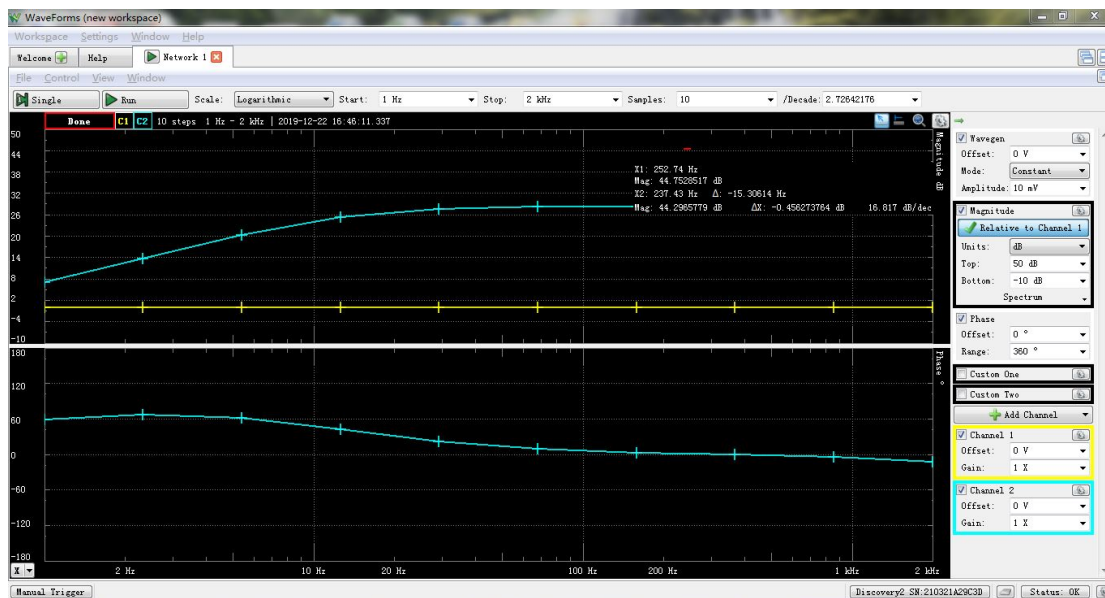
#### 理论分析：

传递函数是： $\frac{1}{1+0.2s}$ ，matlab 绘制 bode plot 如下：



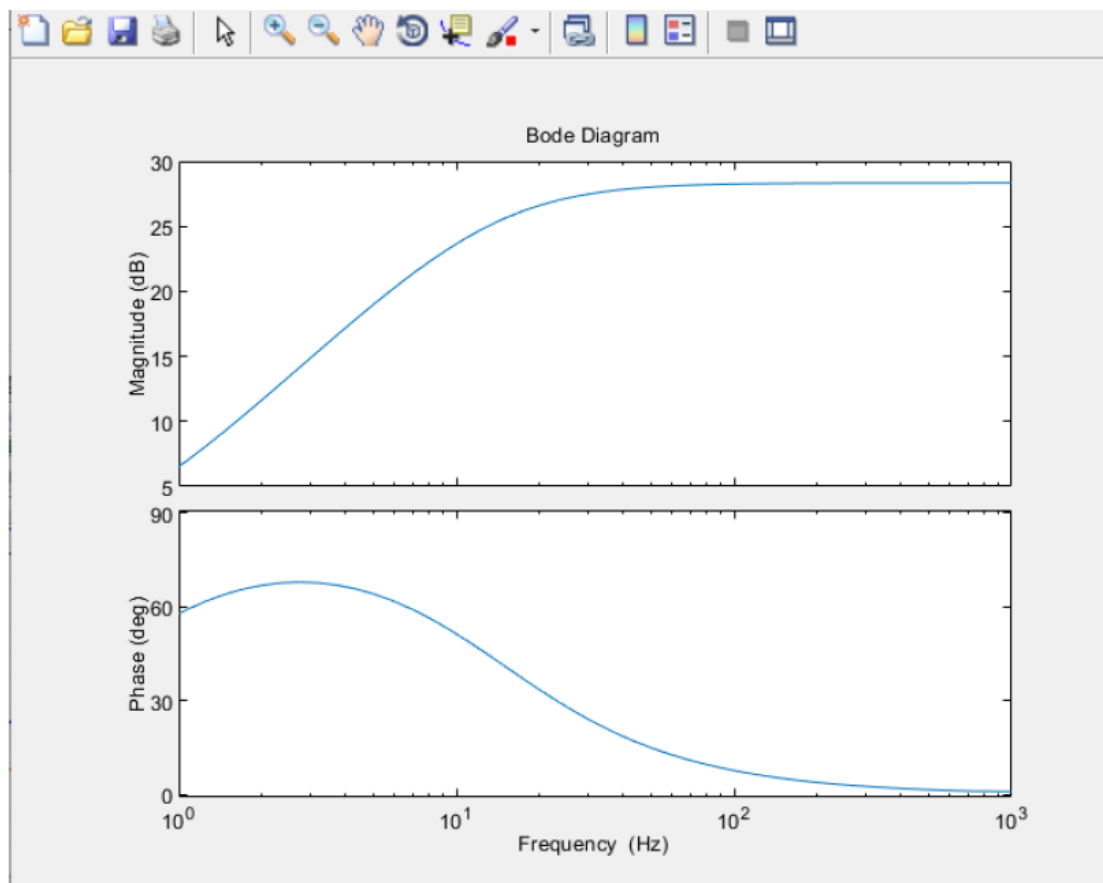
经测量分析，惯性环节实验部分斜率为-20dB/dec，幅频特性实验和理论基本满足相频特性，实验和理论有些微区别，因为实验部分的最低频率较大。

## (2) 校正网络



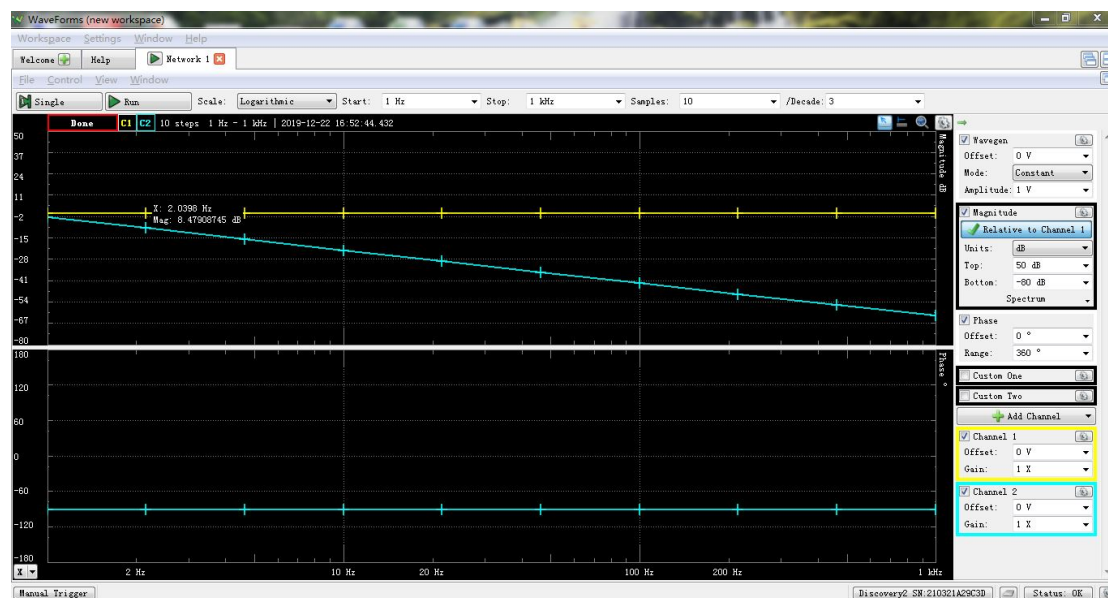
理论分析：

传递函数是： $\frac{0.30s+1}{0.01s+1}$ ，matlab 绘制 bode plot 如下：



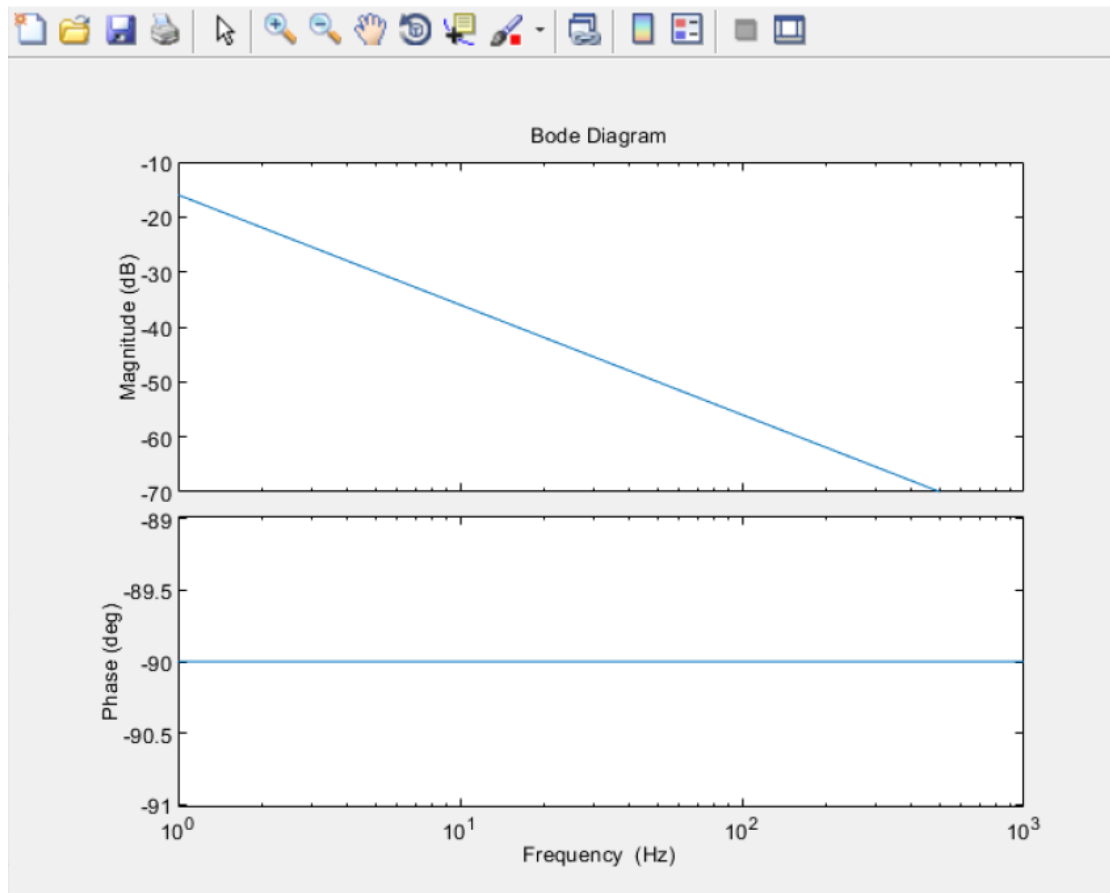
经测量分析，惯性环节实验部分斜率为+20dB/dec，幅频特性实验和理论基本满足  
相频特性也基本满足

### (3) 积分器：



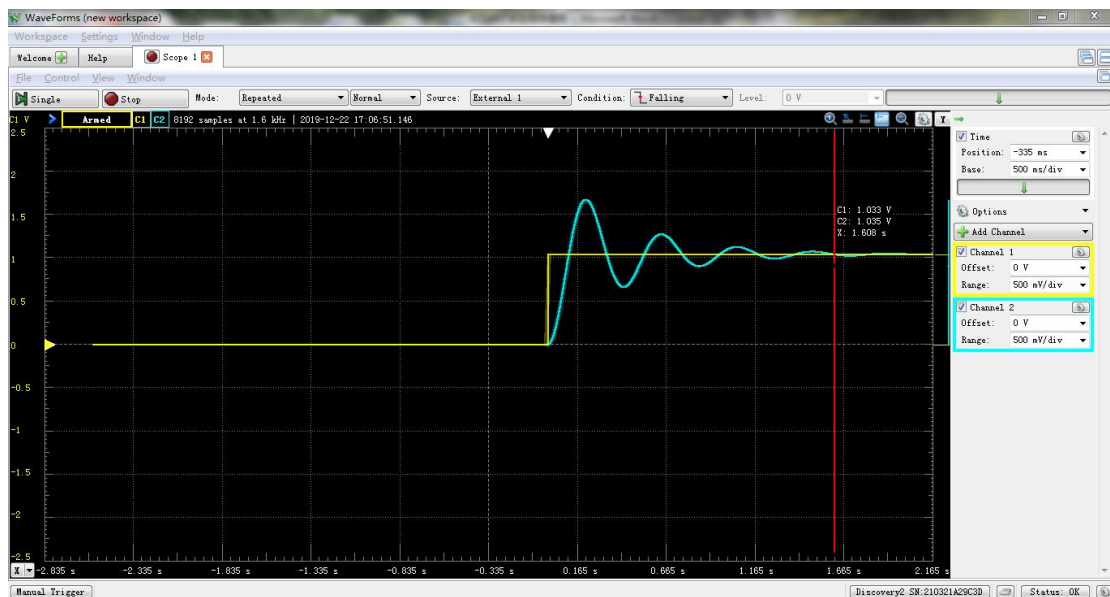
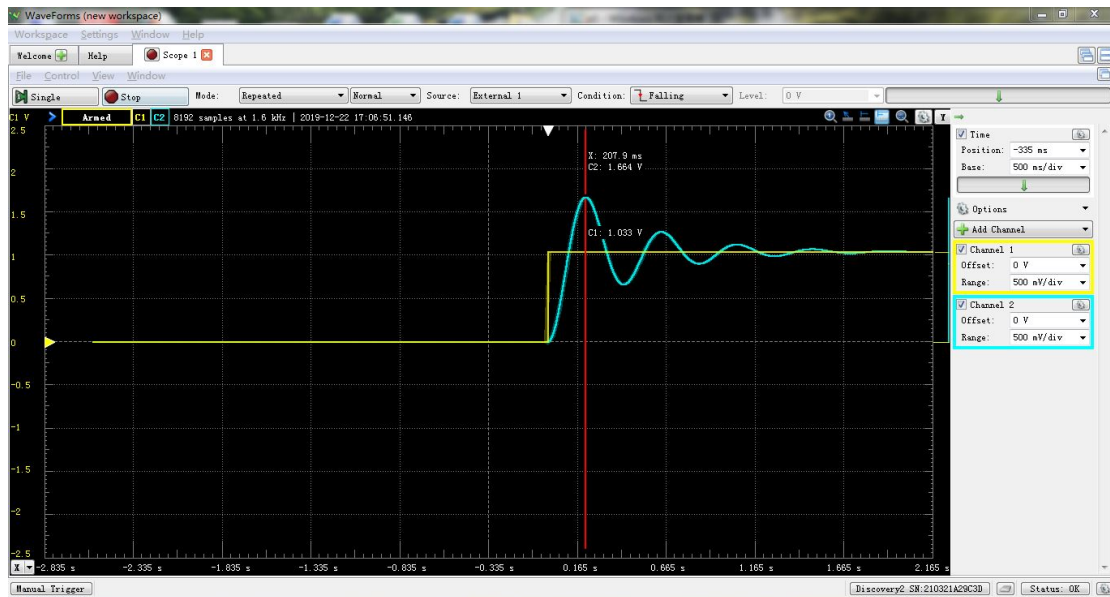
理论分析

传递函数是： $\frac{5}{s}$ ，matlab 绘制 bode plot 如下：



经测量分析，惯性环节实验部分斜率为+20dB/dec，幅频特性实验和理论基本满足  
相频特性也基本满足

2、未校正系统的阶跃响应实验结果与理论分析对比说明；



实验分析:

最大超调量:  $M_p = 66.4\%$

调整时间 (5%):  $t_s = 1.603s$

对比说明:

根据理论推导, 传递函数为:  $\frac{250}{s^2 + 5s + 250}$

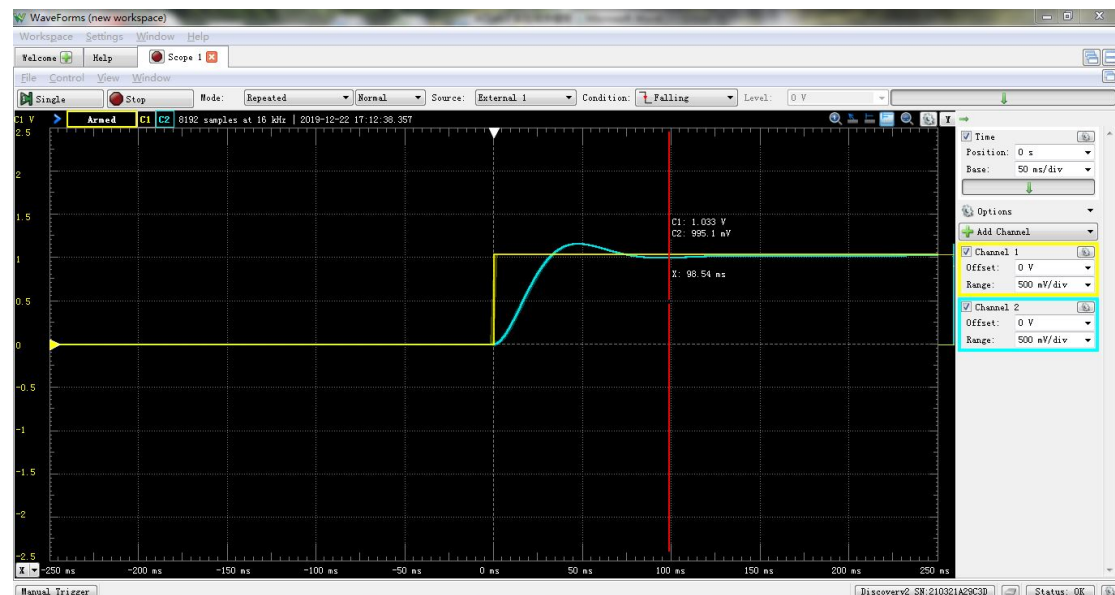
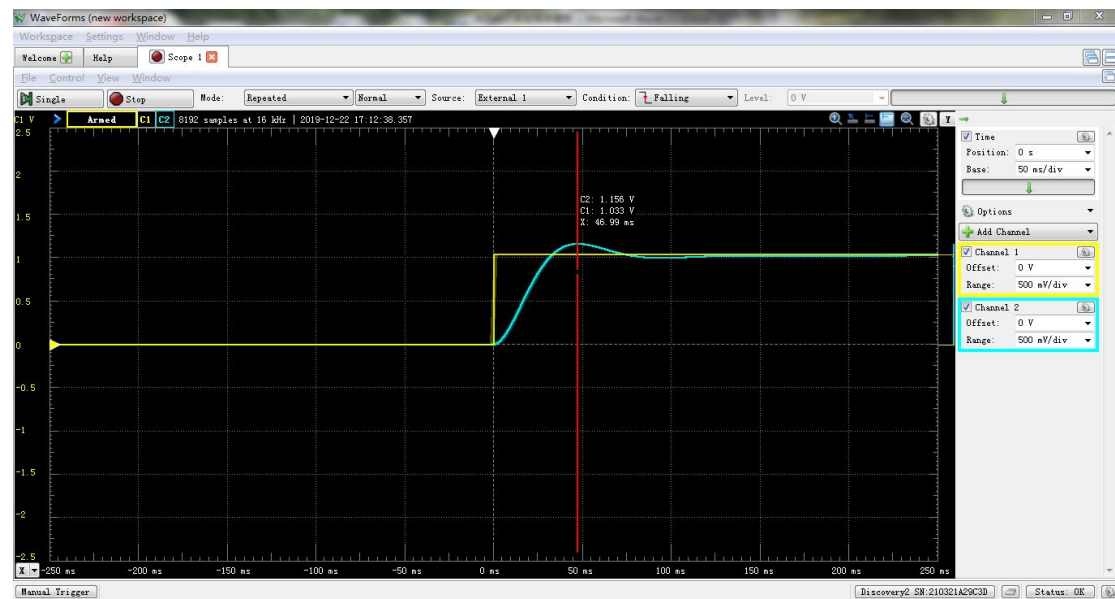
根据公式:

最大超调量:  $M_p = 60.5\%$

调整时间 (5%):  $t_s = 1.6s$

可见实验和理论符合情况较好。

### 3、校正后系统的阶跃响应实验结果与理论分析对比说明；



#### 实验分析：

最大超调量： $M_p = 15.6\%$

调整时间（5%）： $t_s = 98.54ms$

#### 对比说明：

可见系统经过校正网络调整之后，系统的动态指标有了较大改善。

### 4、实验结果分析、体会及建议。

答：超前网络可以改善系统的动态指标。

[讨论与思考]



1、微分、积分、微积分校正，各自有什么特点？

**答：**微分校正可以改善系统动态性能，积分校正可以改善系统稳态性能。微积分校正既可以改善系统动态性能，也可以改善系统的稳态性能。

2、有源校正与无源校正各有什么特点？

**答：**1) **无源校正网络：**阻容元件

优点：校正原件特性比较稳定

缺点：由于输出阻抗高但输入阻抗低，要另加放大器并进行隔离，没有放大增益，只有衰减。

2) **有源校正网络：**阻容元件+线性集成运算放大器

优点：带有放大器，增益可调，使用方便灵活

缺点：特性容易发生漂移

3、在配置实验电路时，如何确保系统具有负反馈？

**答：**看电路中接入模块的个数（如果是奇数个的话，就是负反馈；反之，不是正反馈）。如果不满足负反馈（偶数个模块），则接入 SW9 反相器，保证是负反馈。