



# 实验九：基于NI ELVIS的 线性系统的频率响应

---

# 提 纲

- 一. 实验目的
- 二. 实验任务/要求
- 三. 实验仪器、设备及材料
- 四. 实验原理
- 五. 实验步骤
- 六. 实验报告

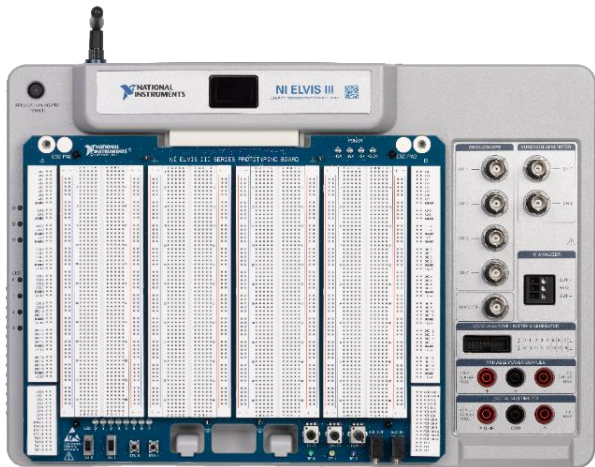
## 一、实验目的

- A. 了解频率特性函数曲线的定义和实验方法
- B. 掌握波德图的绘制方法;
- C. 了解由波特图确定系统开环传递函数的方法;

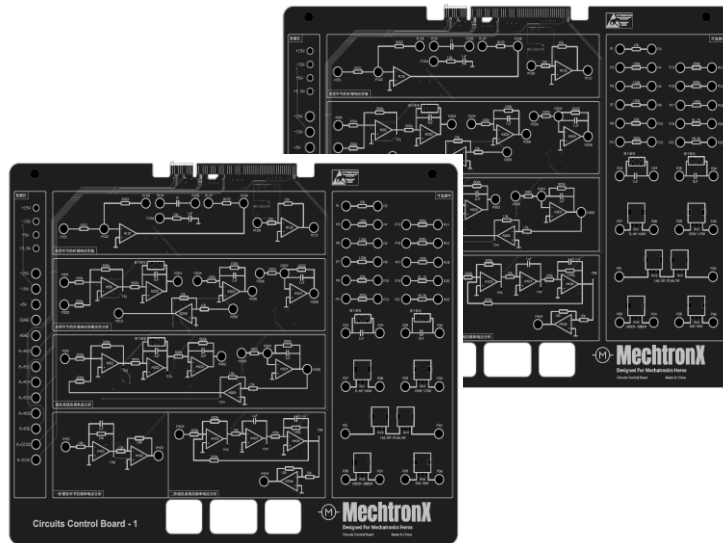
## 二、实验任务

- (1) 针对一阶惯性系统，绘制相应的伯德图，并对比分析不同电容值对系统性能的影响。
- (2) 针对二阶线性系统，绘制相应的伯德图，并对比分析不同电阻值对系统性能的影响。
- (3) 通过绘制的二阶线性系统伯德图，确定系统所对应的开环传递函数，并与理论计算的开环传递函数对比。

### 三、实验仪器



- 1 \* ELVIS III 主机
- 1 \* 原装面包板
- 1 \* 电源线
- 1 \* USB 数据连接线



- CCB实验拓展板卡-1
- 软插孔线若干



- CCB实验程序 (LabVIEW)
- LabVIEW 2018
- LabVIEW ELVIS III suite
- Control and Simulation module

#### 注意:

1. CCB板已安装, 无需插拔;
2. 实物连线时, 切勿带电操作。

## 四、实验原理

- 频域分析法是应用频率特性研究线性系统的一种经典方法。该方法最突出的优点是：可以通过实验方法确定系统的开环传递函数。
- 它以控制系统的频率特性作为数学模型，以频率 $\omega$ 为参变量,采用波德图、极坐标图或其他图表作为分析工具，来研究控制系统的动态性能与稳态性能。
- 频率特性的定义：
  - 幅频特性： $A(\omega) = |G(j\omega)|$ ，反映系统对不同频率正弦信号在稳态时的放大（或衰减）特性；
  - 相频特性： $\varphi(\omega) = \angle G(j\omega)$ ，反映系统在不同频率正弦信号的作用下，输出信号相对输入信号的相移。
  - 频率特性 $G(j\omega)$ ：系统的幅频特性和相频特性统称为系统的频率特性。

$$G(j\omega) = G(s) \Big|_{s=j\omega}$$

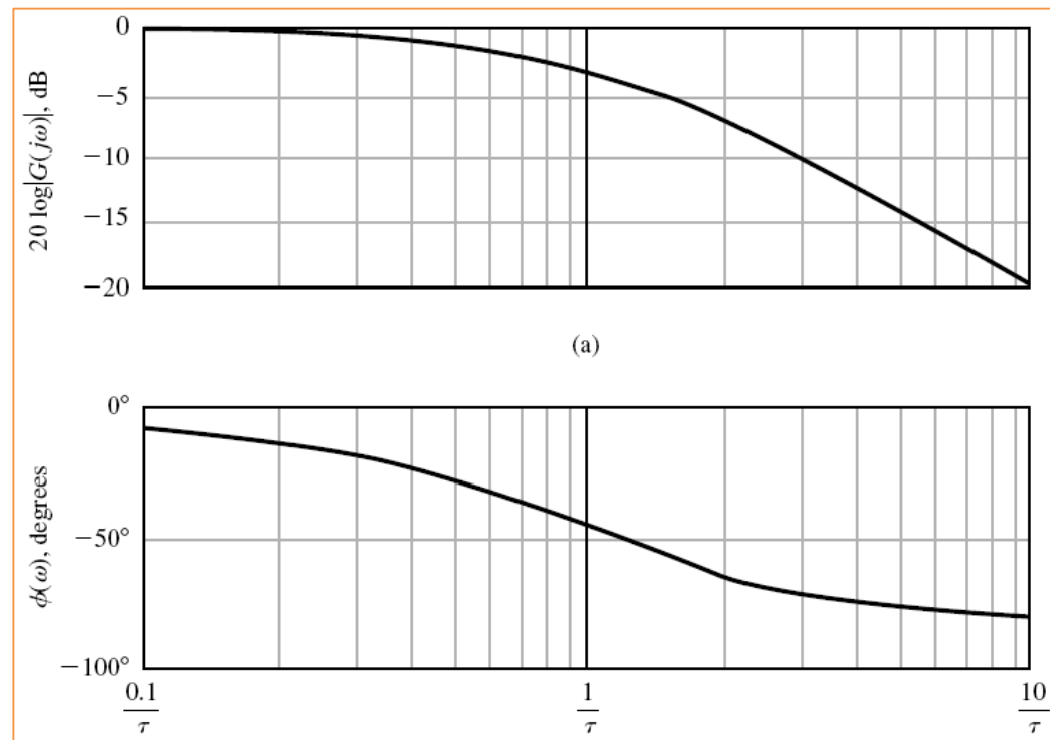
- 频率特性的几何表示方法：极坐标图、伯德图等。



## 四、实验原理

- 伯德图即对数频率特性曲线，它是将幅频特性和相频特性分别绘制在两个不同的坐标平面上，前者叫对数幅频特性，后者叫对数相频特性。
- 横轴（ $\omega$  轴）用对数 $\lg(\omega)$ 分度, 单位弧度/秒。对数幅频特性曲线的纵坐标表示对数幅频特性的函数值，单位是分贝[dB]。对数相频特性曲线的纵坐标表示相频特性的函数值，单位是度[°]。
- 对数幅频特性定义为：

$$\begin{cases} L(\omega) = 20\lg|G(j\omega)| \\ \varphi(\omega) = \angle G(j\omega) \end{cases}$$



## 四、实验原理

伯德图的优点包括：

1. 它把各串联环节幅值的乘除化为加减运算，从而简化了开环频率特性的计算与作图。
2. 利用渐近直线来绘制近似的对数幅频特性曲线，而且对数相频特性曲线具有奇对称于转折频率点的性质，这些可使作图大为简化。
3. 横轴（ $\omega$  轴）用对数分度，实现了横坐标的非线性压缩，便于在较大频率范围反应频率特性的变化情况。

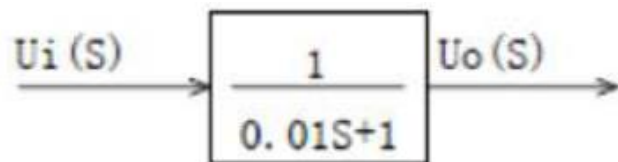
本次实验中，采用对数频率特性图来进行频域响应的分析研究。



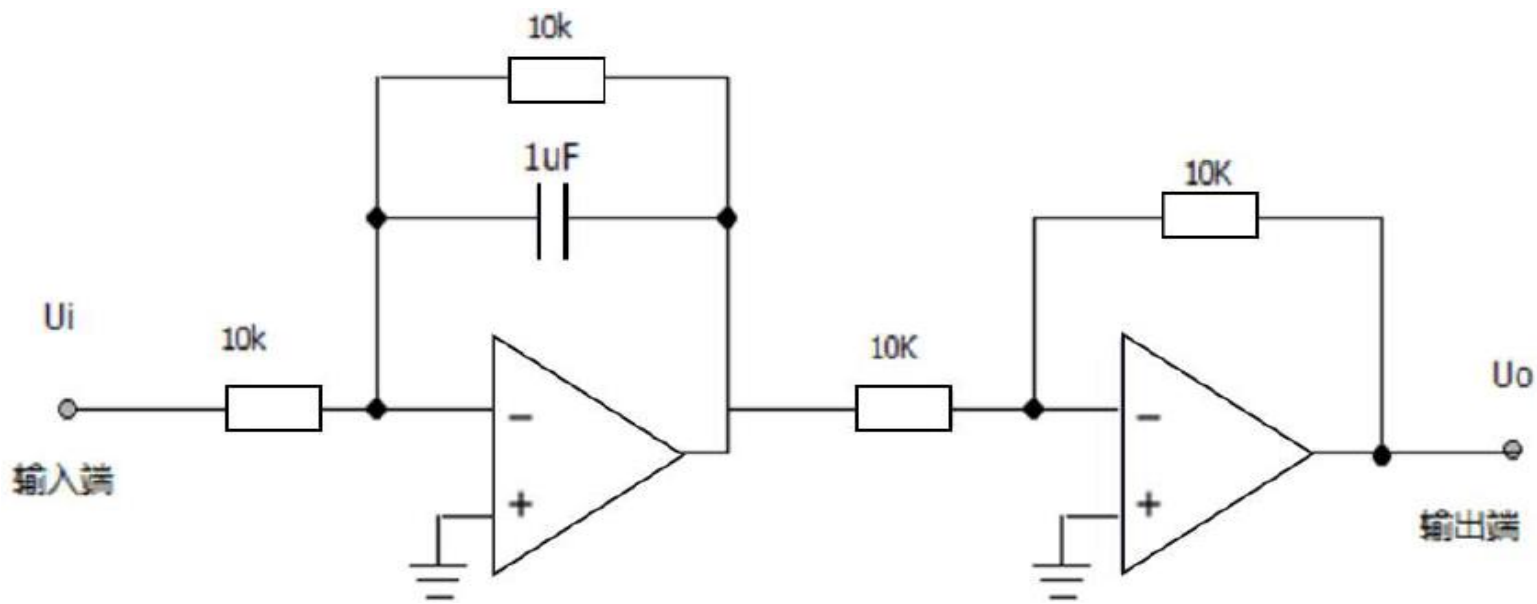
## 四、实验原理

### 一阶惯性系统

方框图:



模拟电路:



## 四、实验原理

开环传递函数:

$$G(S) = \frac{1}{0.01S + 1}$$

频率特性: 对数幅频:

$$L(\omega) = -20\lg\sqrt{1 + T^2\omega^2}$$

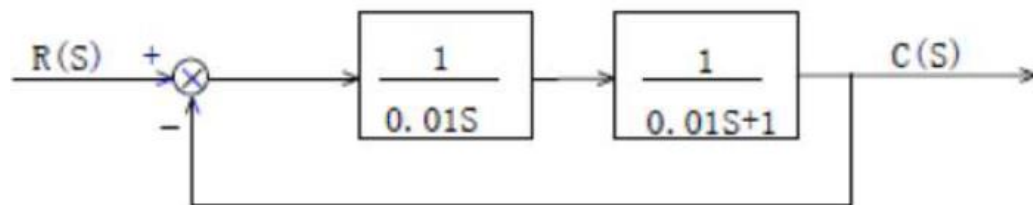
相频:

$$\varphi(\omega) = -\arctan(T\omega)$$

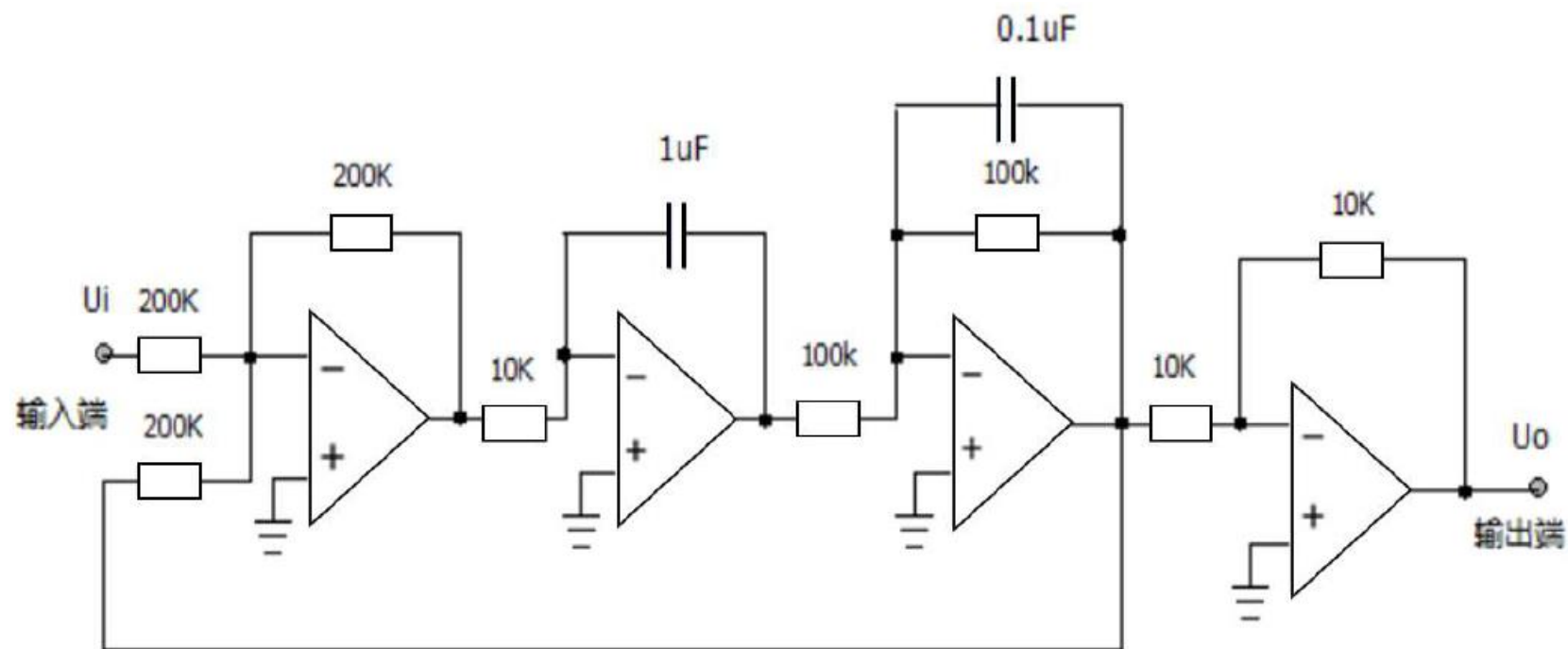
## 四、实验原理

### 二阶线性系统

方框图:



模拟电路:



## 四、实验原理

开环传递函数:

$$G(S) = \frac{1}{0.01S(0.01S + 1)}$$

闭环传递函数:

$$\Phi(S) = \frac{10^4}{S^2 + 10^2S + 10^4} \quad \Longleftrightarrow \quad \Phi(S) = \frac{K\omega_n^2}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2} \quad \text{标准公式}$$

$$\Rightarrow \quad \omega_n = \frac{1}{T} = 100(\text{rad/s}) \quad \xi = 0.5 \quad K = 1$$

频率特性:

$$L(\omega) = -20\lg \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad \varphi(\omega) = -\arctan \left( \frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \right)$$

## 五、实验步骤

### 频率响应分析实验步骤：

#### ① 打开程序“实验4 线性系统的频率响应实验”

- 程序位置：…\自动控制原理课程实验套件\实验4 线性系统的频率响应实验\实验代码
- 打开界面如图1所示
- 双击打开**Main.vi**，并单击程序运行按钮，运行界面如图2所示

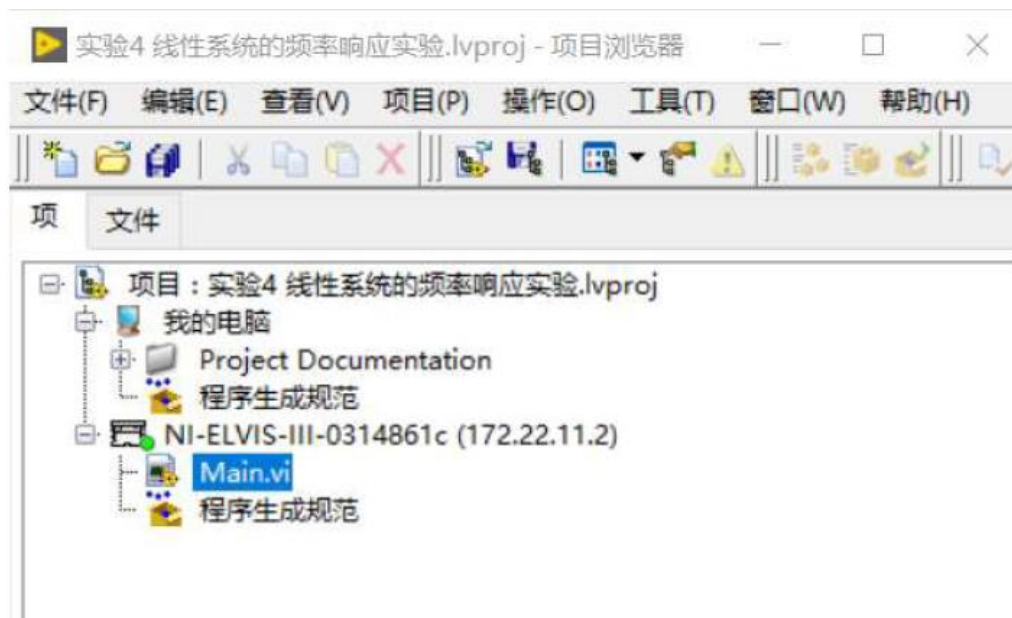


图1. 程序打开界面



图2. 程序运行界面

## 五、实验步骤

### 频率响应分析实验步骤:

- ② 关闭电源，根据一阶惯性系统模拟电路图或实物连线示意图3进行接线（请勿带电操作），并按照图4进行软件设置

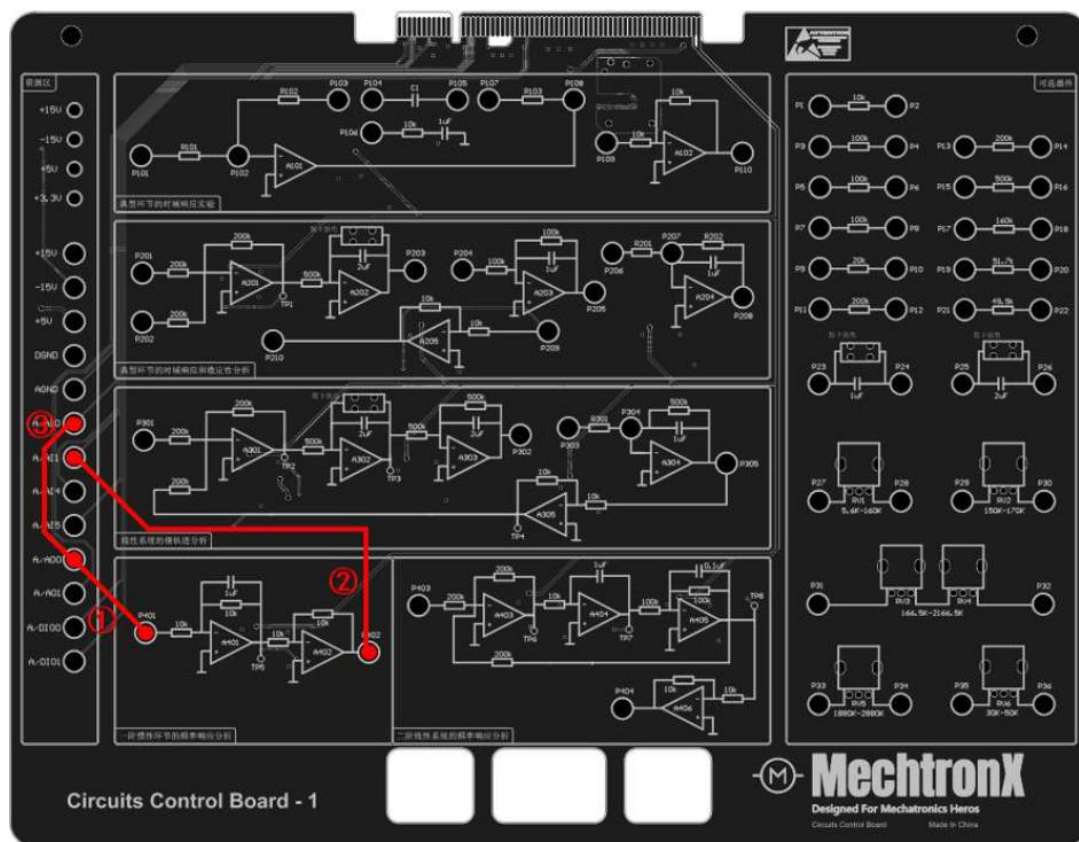


图3. 实物连线示意图



图4. 软件设置



五、实验步骤

③ 打开电源，点击开始按钮，运行程序并截图保存一阶惯性系统实验结果，并填写表1。

任务1：对于给定的一阶惯性系统，给出其对数幅频与相频特性曲线，并将测得的对数幅频和相频记录于下表（至少给出10组值）；

表1

| $\omega$ (rad) | $L(\omega)$ (dB) |     | $\varphi(\omega)$ (deg) |     |
|----------------|------------------|-----|-------------------------|-----|
|                | 理论值              | 实验值 | 理论值                     | 实验值 |
|                |                  |     |                         |     |
|                |                  |     |                         |     |
|                |                  |     |                         |     |

## 五、实验步骤

**任务2：**增加惯性系统频率响应附加实验分别给出电容 $C=1\mu F$ 和 $C=2\mu F$ 所对应的伯德图，并分析电容值对系统性能的影响。步骤如下：

- ① 关闭电源，根据如下一阶惯性系统模拟电路图或实物连线示意图5进行接线（请勿带电操作）。
- ② 打开电源，点击开始按钮，运行程序并截图保存当 $C = 1\mu F$ 时惯性系统的实验结果。
- ③ 重复以上实验，记录 $C = 2\mu F$ 时惯性系统的实验结果。

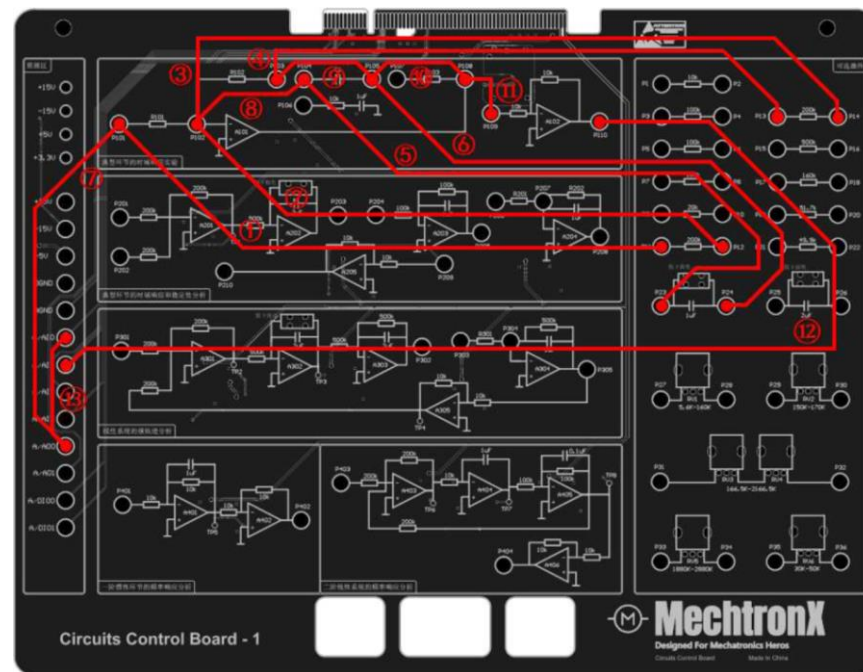
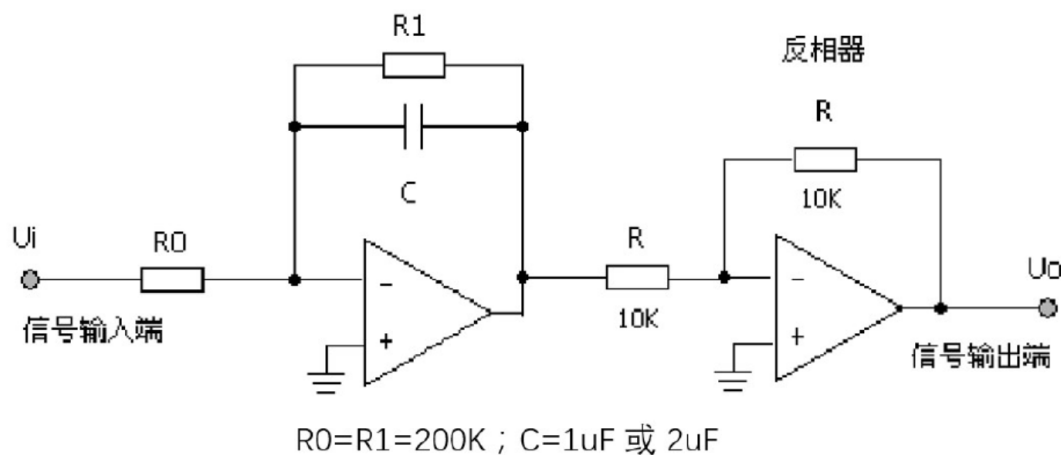


图5. 典型惯性环节模拟电路及实物连线示意图

## 五、实验步骤

### 二阶系统频率响应分析实验:

- ① 关闭电源，根据二阶线性系统模拟电路图或实物连线示意图6进行接线（请勿带电操作），并按照图7进行软件设置。

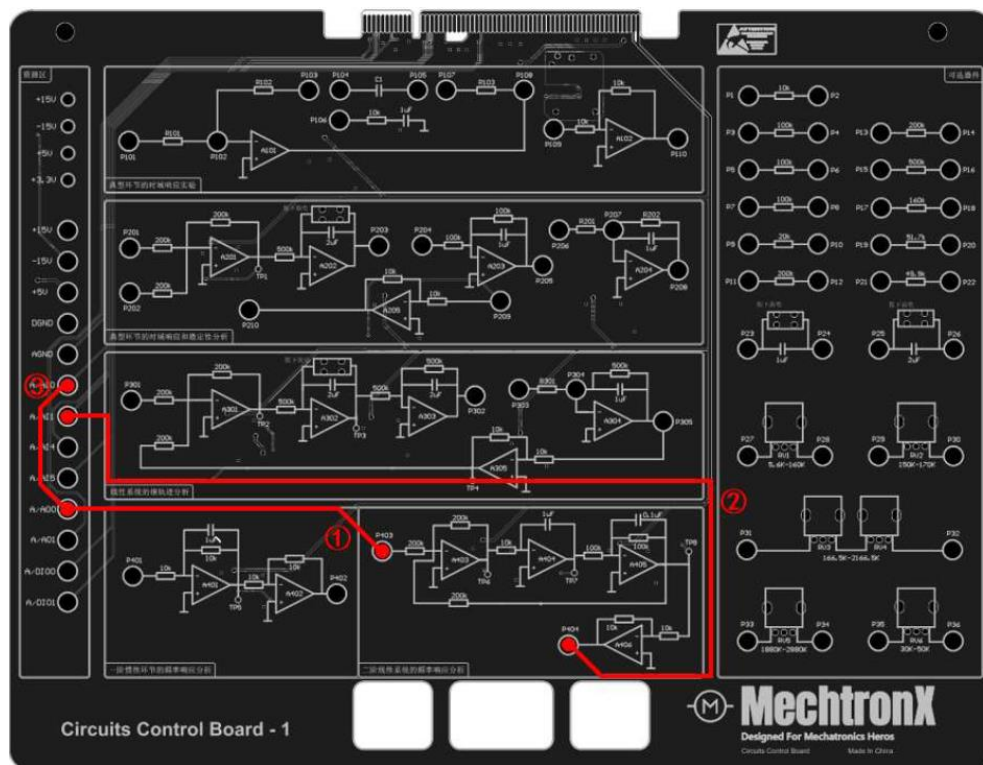


图6. 二阶系统实物连线示意图



图7. 二阶系统软件设置

五、实验步骤

- ② 打开电源，点击开始按钮，运行程序并截图保存二阶线性系统的实验结果，并填写表2。
- ③ 点击结束按钮，结束实验。
- ④ 待所有实验结束后，关闭ELVIS III试验台电源，并整理好导线。

任务3：对于给定的二阶线性系统，给出其对数幅频与相频特性曲线，并将测得的对数幅频和相频记录于下表（至少给出10组值）；

| $\omega$ (rad) | $L(\omega)$ (dB) |     | $\varphi(\omega)$ (deg) |     |
|----------------|------------------|-----|-------------------------|-----|
|                | 理论值              | 实验值 | 理论值                     | 实验值 |
|                |                  |     |                         |     |
|                |                  |     |                         |     |
|                |                  |     |                         |     |

## 五、实验步骤

任务4：增加二阶线性系统频率响应分析附加实验，分别给出电阻 $R=50k\Omega$ ,  $160k\Omega$ ,  $200k\Omega$ 时所对应的伯德图，并分析电阻值对系统性能的影响。

- ① 关闭电源，根据如下二阶线性系统模拟电路图或实物连线示意图8进行接线（请勿带电操作）。
- ② 打开电源，点击开始按钮，运行程序并截图保存当 $R = 50k\Omega$ 时二阶系统的实验结果。
- ③ 重复以上实验，分别记录 $R = 160k\Omega, 200k\Omega$ 时二阶系统的实验结果。

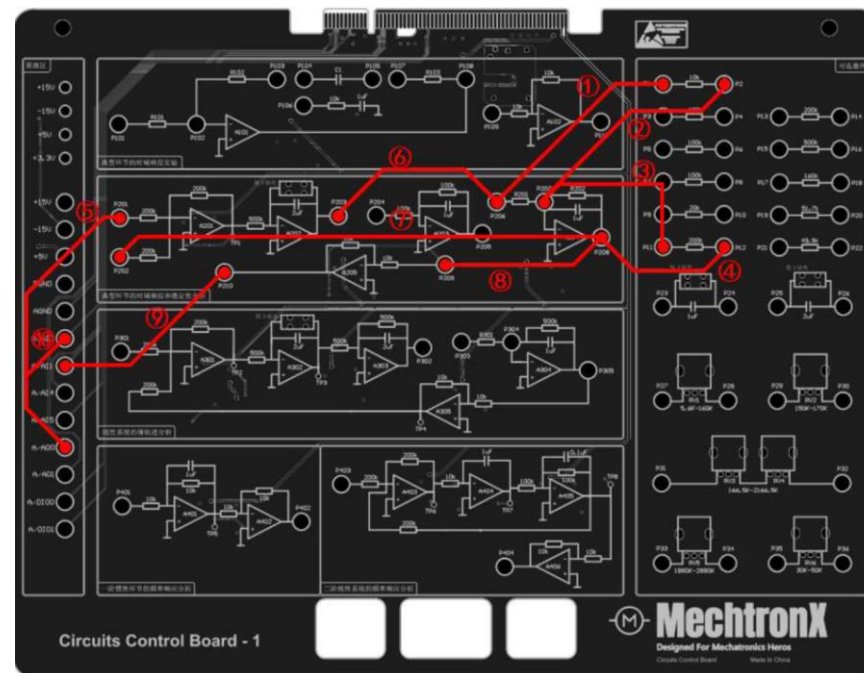
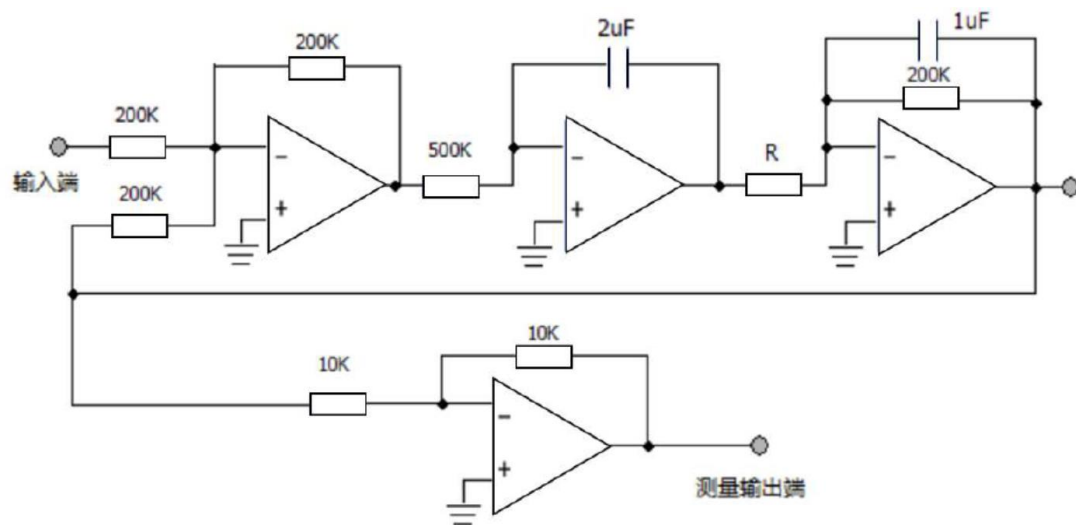
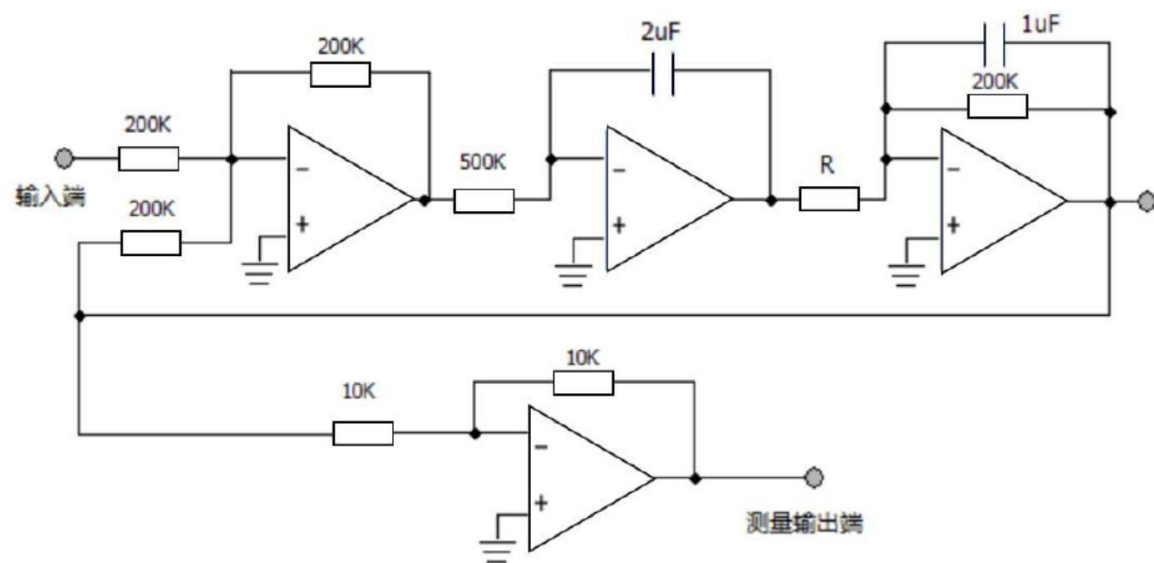


图8. 典型二阶系统模拟电路及实物连线示意图

## 六、实验报告

**任务5：** 根据二阶系统附加实验中电阻  $R = 50k\Omega$  时的伯德图，试确定二阶系统的开环传递函数，并与理论计算的结果进行对比分析。



开环传递函数：

$$G(s) = \frac{K_1}{T_0 S(T_1 S + 1)} = \frac{K_1/T_0}{S(T_1 S + 1)}$$

其中，开环增益为  $K = K_1/T_0$

$$T_0 = 1s, \quad T_1 = 0.2s;$$

$$K_1 = 200/R \Rightarrow K = 200/R$$

图9. 典型二阶系统模拟电路及对应的开环传递函数



## 六、实验报告

### 实验报告要求：

- 实验目的；
- 实验任务/要求；
- 实验仪器、设备及材料；
- 实验原理；
- 实验步骤；
- 实验结果及心得。