

传感器综合实验-实验台简介



1、信号发生模块

- 低频振荡器：低频信号（1-30Hz），作为振动台的激励源，幅值、频率可调，小拨杆左右档位分别控制振荡线圈 I（中间振动台：搭载压电传感器、磁电式传感器、电感式传感器磁芯）、振荡线圈 II（右边振动台：搭载霍尔传感器、电容式传感器）的振动。在做静态实验时，拨杆调至中间 OFF 档位，使振动台保持静止，防止振坏螺旋测微器。
- 音频振荡器：高频信号（100-10KHz），一般作为信号调理部分的参考信号，幅值、频率可调。
- 直流电源模块：正负电压可调，±15V 稳压电源。

2、信号测试模块

- 电压值：3个不同档位，使用时从大的档位慢慢往小档位调整。

➤ 频率/转速

➤ 压力值

3、传感器信号模块

将各种不同传感器的信号端引出，方便后续测量

4、信号处理模块

对被测信号进行调理，如信号转换、信号放大、滤波等。

注意事项：

- 1、差动放大器，**逆时针旋到底增益最大**，差动放大器需要**先调零**，再接入电路。差动放大器 I、差动放大器 II 的放大倍数是不一样的，请根据实验指导书要求进行选择。
- 2、实验电路板所有的地，请在使用过程中接一起，防止电路板的地没有共到一起。模块是否共地，可以通过万用表的二极管 档位进行判别。信号处理模块的地与直流电源的±15V 稳压电源模块共地；低频振荡器的地与音频振荡器的地共地；直流电源正负可调电源模块的地与其它地均不共地，需要外部用导线相连接。
- 3、能用短的连接线就不用长的，不要两根线拼接使用
- 4、实验过程多记录，有些需要拍照说明，请选取合适素材，完成最终实验报告电子版。
- 5、保持实验台整洁。

传感器综合实验-示波器使用简单说明

1. 这是一个数字示波器，双输入通道、一个外部触发输入通道。
2. 具有自动设置的功能（按 Auto 键），根据输入的信号，可自动调整电压倍率、时基以及触发方式，使波形显示达到最佳状态。若未达到想要的理想状态，可以再手动调节水平控制旋钮或者垂直控制旋钮。
3. 示波器触发模式一般默认为 CH1 通道的上升沿触发，所以请保证你 **CH1 通道接入稳定信号**，而不是随机噪声。
4. 一般而言，由于 CH1 和 CH2 通道的水平时基是一致的，所以两个通道会同时观察相近频率的信号，不会一个通道看高频，另外一个通道看低频。在实验过程中，注意 CH1 和 CH2 信号的选择。一般 CH1 接基准稳定信号。
5. 注意探头的探针连接被测信号，接地鳄鱼夹连接被测信号的地。探针上的钩帽可以钩住导线，如果容易松动，请将钩帽钩针钩住导线花瓣形外壳进行有效连接。
6. 旋钮不仅可以旋转，还可以按下确认。
7. 对于需要比较的信号，建议将两个通道的信号垂直移到部分重合的位置，方便观察比较。
8. 示波器的波形可以存储导出，报告中尽量用示波器导出的波形进行说明，实验过程中也可以拍一些波形，以防原始资料记录有误。

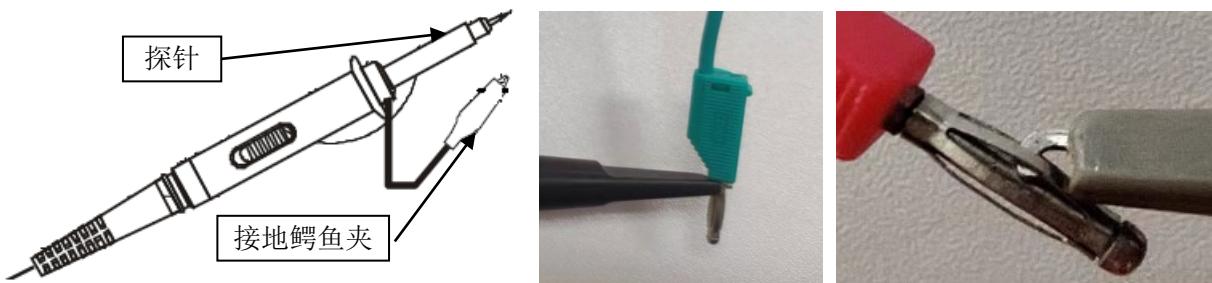


图 0.1 示波器探针的使用

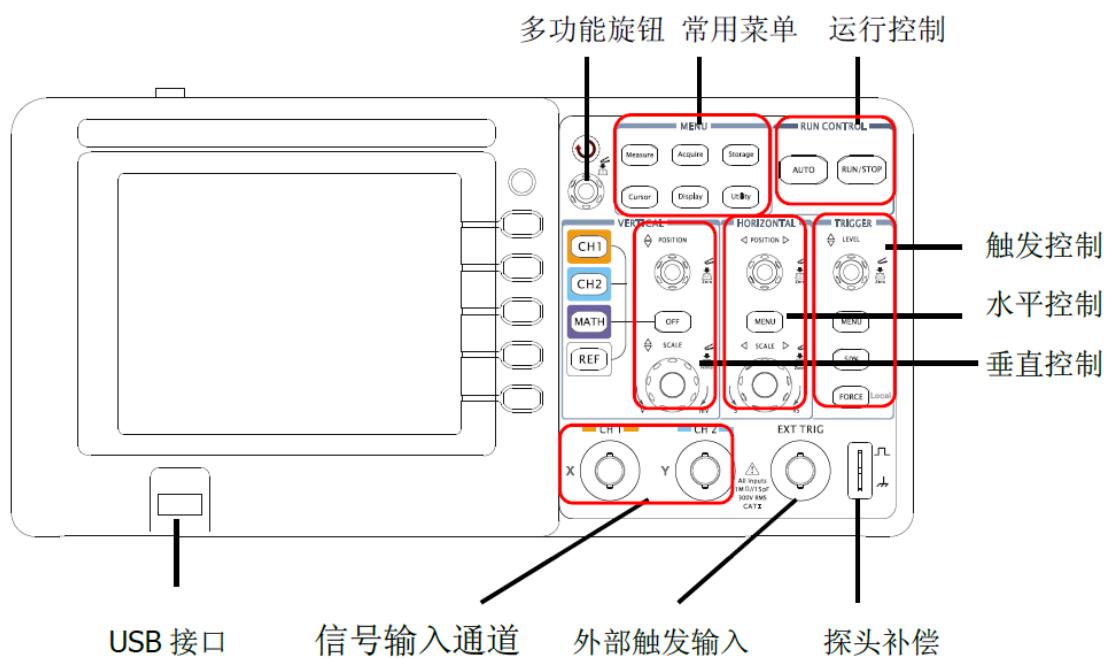


图 0.2 示波器前面板

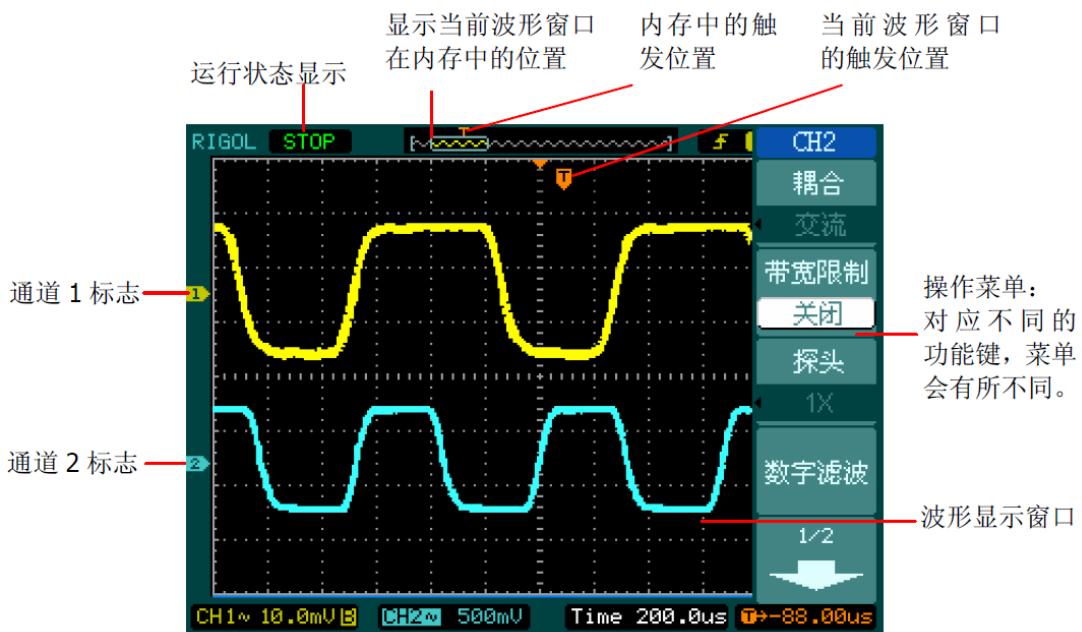


图 0.3 波形显示界面

表 2-85 自动设定项目

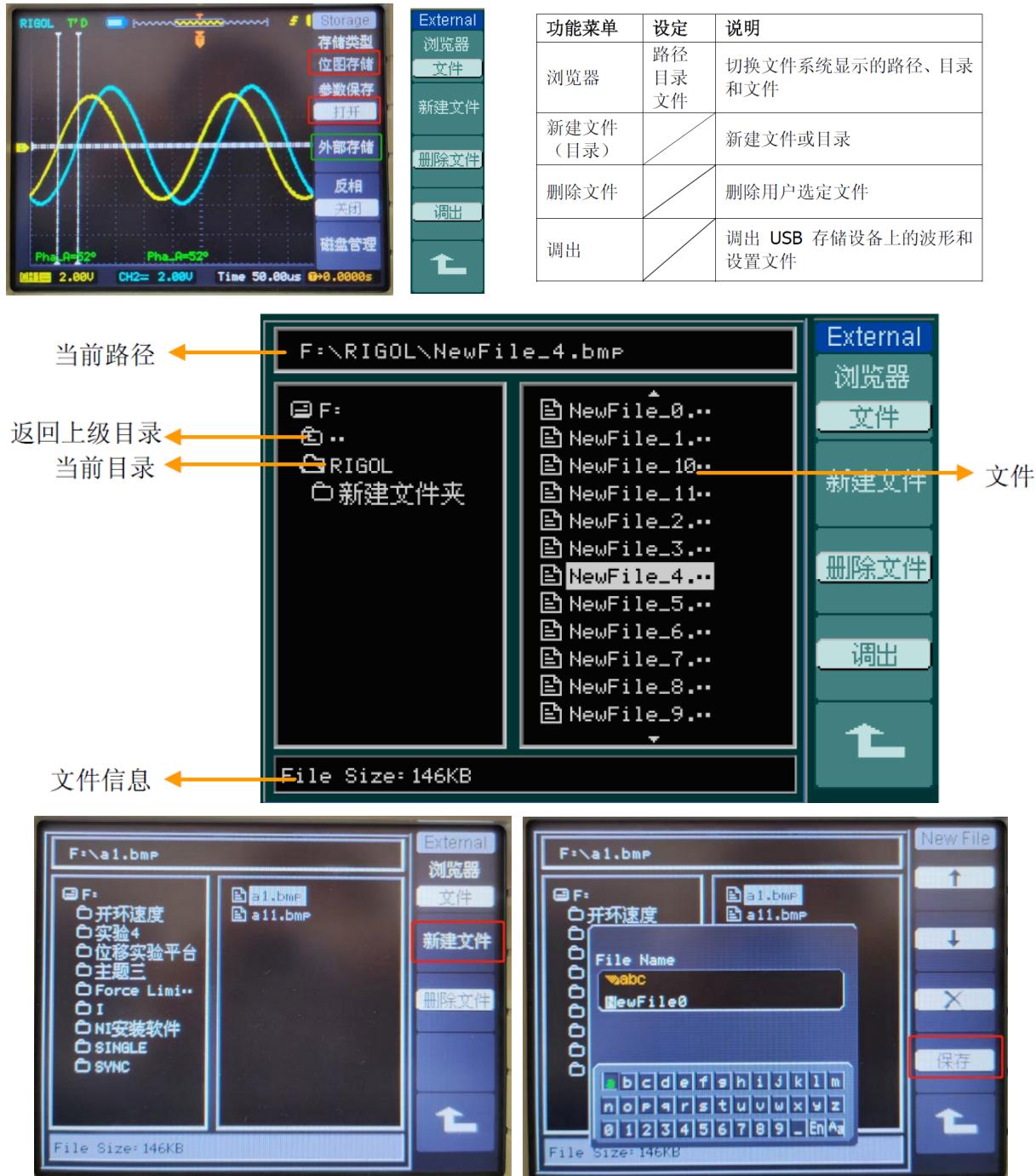
功能	设定
显示方式	Y-T
获取方式	普通
垂直耦合	根据信号调整到交流或直流
垂直位置	调节至适当位置
垂直“V/div”	调节至适当档位
垂直档位调节	粗调
带宽限制	关闭 (即满带宽)
信号反相	关闭
水平位置	居中
水平“s/div”	调节至适当档位
触发类型	边沿
触发信源	自动检测到有信号输入的通道
触发耦合	直流
触发电平	中点设定
触发方式	自动

图 0.4 采用自动测量 (AUTO) 模式时的默认参数表

波形存储注意事项:

- 1、存储类型: 位图存储。这样最后保存的图形为.BMP 格式, 报告中能够直接使用, 其他格式电脑打不开。
- 2、参数保存: 打开。这样可以一并保存参数文件, 读取文件, 能够知道自己在当前界面各个旋钮及探针等所在的档位。

- 3、外部存储：需要插入U盘。将波形保存后，请插入一体机，联网后将文件发送至自己邮箱，实验台U盘请不要插入自己电脑，避免病毒。
- 4、新建文件：文件名可以随便取，使用多功能旋钮，旋转：选择键盘字母或数字，按下：可确认。文件名输入好后，按保存。保存进度条如果没有结束，请不要随意插拔U盘。



1. 金属箔式应变片性能及全桥测试实验

一、实验目的

➤ 了解金属箔式应变片的工作原理并进行全桥性能测试

二、需用器件与单元

直流电源模块、电桥、差动放大器 I、应变片传感器、砝码、电压表等。

三、实验步骤

1、直流电源模块可调电源调到 $\pm 4V$ 。

2、差动放大器 I 调零

将差动放大器的**增益**到最大位置(**逆时针**旋转到底), U_{in2} (+)、 U_{in1} (-)、地上短接, 输出端与电压表相连; 开启电源; 然后调整**调零**旋钮使电压表显示为零(mv 档位), 关闭电源。

注意: 差动放大器 I 调零过后, 增益及调零旋钮, 均不再调节。

3、观察应变片传感器的位置, 见图 1.1, 应变片为金色箔式结构小方薄片, 在图中标示出来, 结合应变片受力, 标出应变片对应的序号 **BF1**, **BF2**, **BF3**, **BF4**。

注意: BF1、BF3, 不区分位置, 都代表放上砝码后电阻变大; BF2、BF4, 不区分位置, 都代表放上砝码后电阻变小。

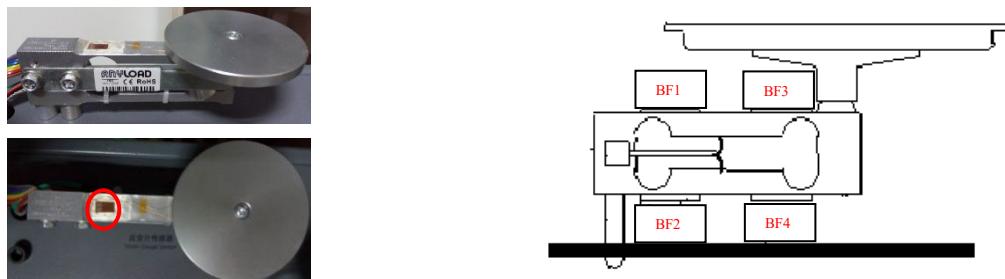


图 1.1 应变片示意图

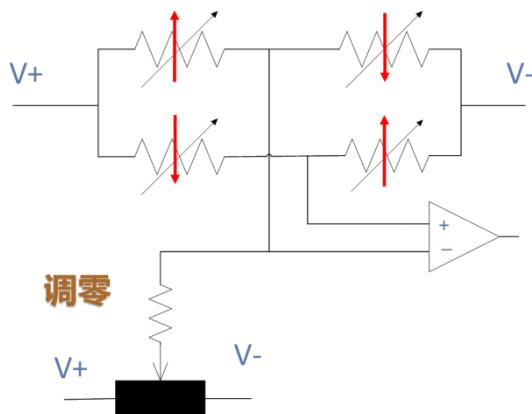


图 1.2 直流全桥原理图

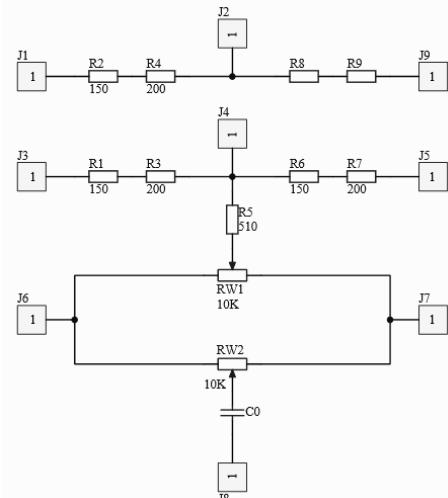


图 1.3 电桥模块-电路原理图

4、根据直流全桥原理, 在图 1.4 中画出接线图, 并进行实际连线。

电压置 20V 档, 开启电源, 调节电桥平衡网络中的 R_{W1} , 使电压表显示为零; 然后将电压表置 2V 档, 再调电桥 R_{W1} (慢慢地调), 使电压表显示基本为零(也可选取 0 附近的值记录)。

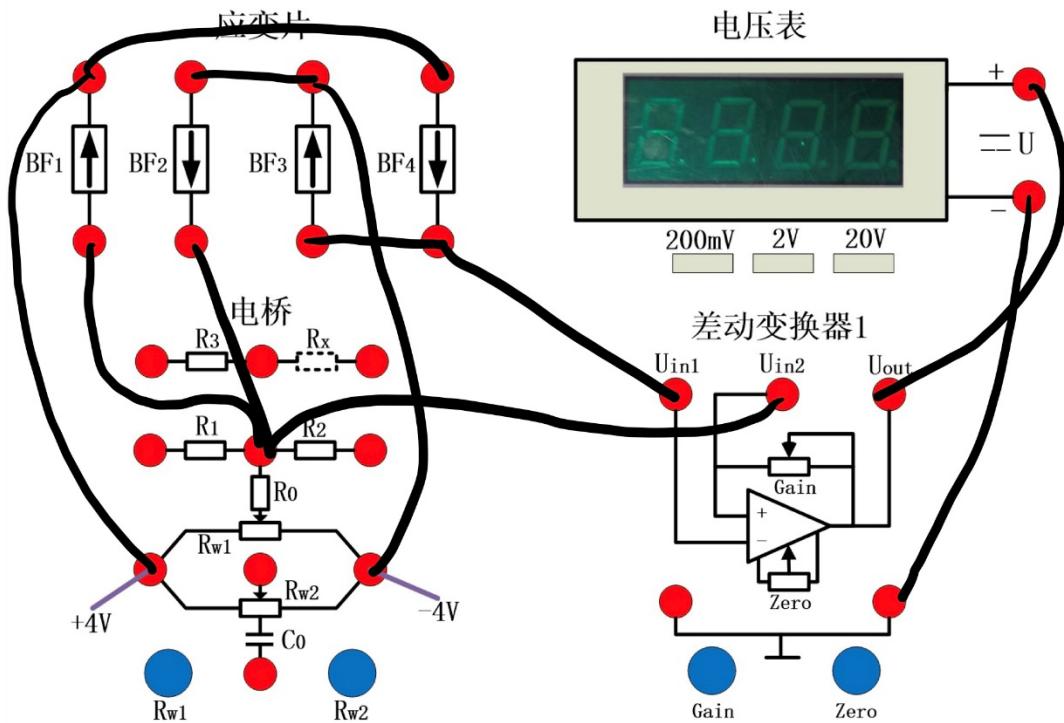


图 1.4 全桥测试接线图

表格 1.1 全桥测量数据表

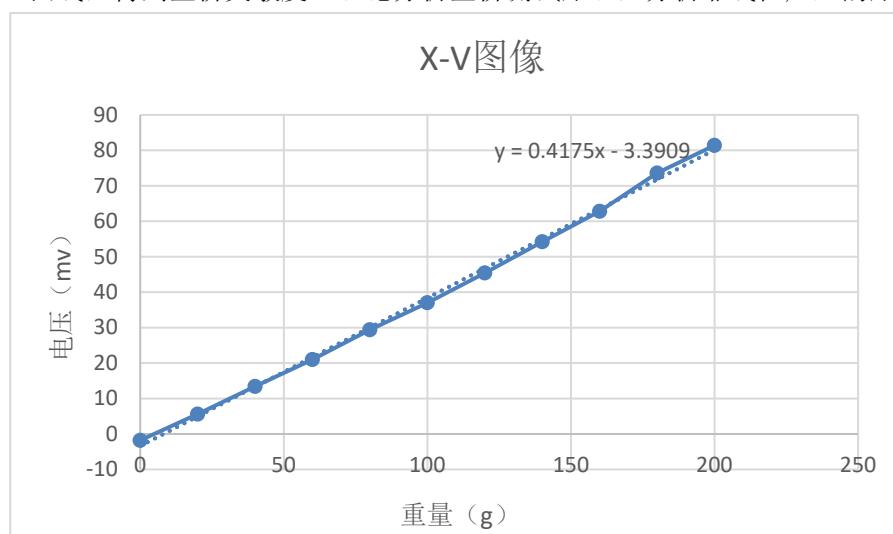
重量 (g)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压 (mV)	-1.8	5.6	13.4	21.0	29.4	37.0	45.4	54.2	62.8	73.6	81.4

四、注意事项:

- 1、做此实验时应将低频振荡器的幅度关至最小, 以减小其对直流电桥的影响。
- 2、在实验过程中如发现电压表发生过载, 应将电压量程扩大。
- 3、在本实验中只能将放大器接成差动形式, 否则系统不能正常工作。
- 4、直流稳压电源±4V不能打的过大, 以免损坏应变片或造成严重自热效应。
- 5、接全桥时请注意区别各应变片子的工作状态方向。

五、实验分析与结论

- 1、画出 X-V 曲线, 得到全桥灵敏度。理论分析全桥测试原理, 分析非线性产生的原因。



$$\text{灵敏度 } S = \frac{\Delta U}{\Delta m} = 0.4175 \text{ (V/Kg)}$$

全桥测试原理: 全桥由四个电阻组成, 形成一个闭合回路。当对角线上两个电阻的比值相等时, 电桥处于平衡状态, 此时没有电流通过电桥中心的检测器。如果其中一个或多个电阻发生变化(本实验中是由于放上砝码后。应变片受力引起电阻变化), 电桥就会失去平衡, 导致检测器显示出电压差。

非线性产生的原因: ①应变片存在应变极限, 只在一定范围内是线性的, 同时存在零点偏移。
②电压表示数存在波动, 会存在误差。③未完全调零。④应变片安装的位置不够对称可能导致测量结果出现偏差。

2、根据图 1.5 差动放大器 I 电路原理图, 分析差动变换器 I 的放大倍数。

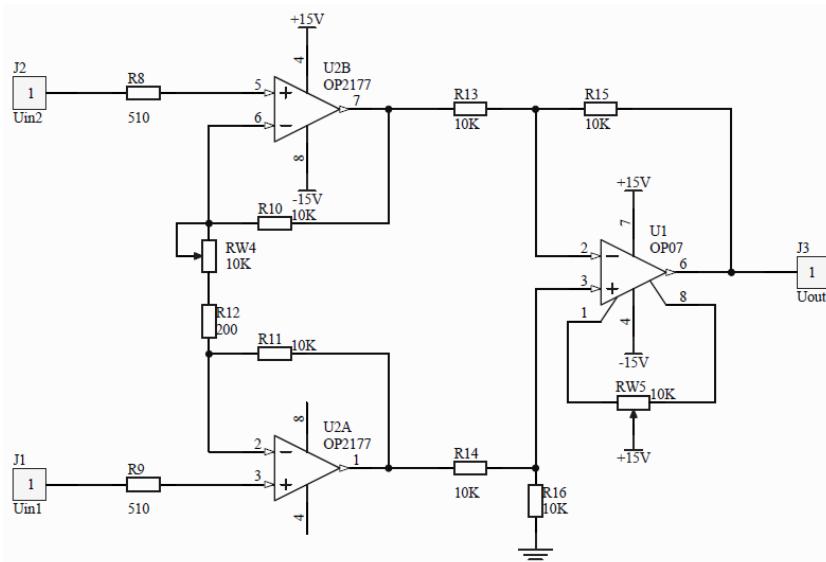


图 1.5 差动放大器 I 电路原理图

$$U_{in1} = U_2 = U_3$$

$$U_{in2} = U_5 = U_6$$

$$\frac{U_7 - U_6}{R_{10}} = \frac{U_6 - U_2}{R_{w4} + R_{12}} = \frac{U_2 - U_1}{R_{11}}$$

$$U_1 \frac{R_{16}}{R_{14} + R_{16}} = U_7 - (U_7 - U_{out}) \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{15}}$$

$$U_1 \frac{R_{16}}{R_{14} + R_{16}} = U_7 - (U_7 - U_{out}) \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{15}}$$

$$U_{out} = U_1 - U_7 = (U_{in1} - U_{in2}) \left(1 + \frac{20k\Omega}{R_{w4} + 200\Omega} \right)$$

放大倍数为

$$\frac{U_{out}}{U_{in1} - U_{in2}} = 1 + \frac{20k\Omega}{R_{w4} + 200\Omega}$$

2. 移相器实验

一、实验目的

- 了解运算放大器构成的移相电路的原理及工作情况
- 学会使用示波器进行基础信号测试

二、所需单元及部件

移相器、音频振荡器、双模拟通道数字示波器、电源

三、实验步骤

- 了解移相器在实验仪所在位置及电路原理（见图 2.1）。

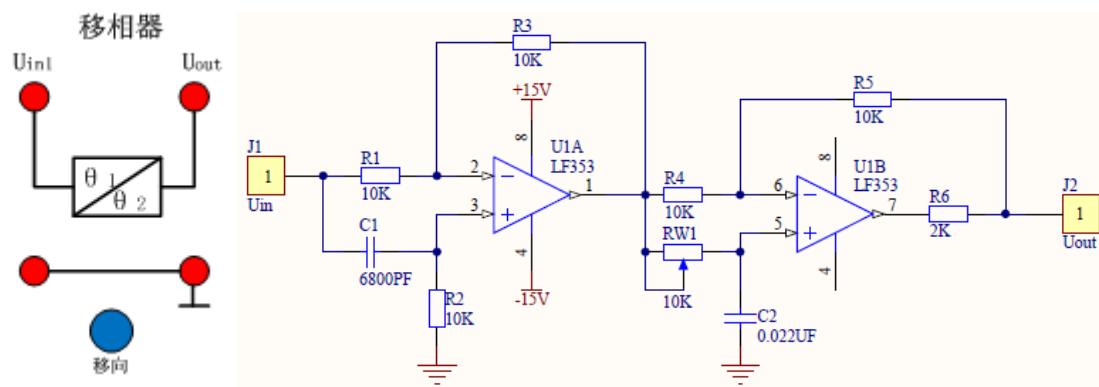


图 2.1 移相器模块及其电路原理图

- 将音频振荡器的信号从 0° 插口输出, 引入移相器的输入端 U_{in} , 开启电源。
- 将示波器的两个探测口 CH1、CH2 分别接到移相器的输入和输出端, 观察示波器的波形 (调整音频振荡器输出峰峰值为 4V)。
- 观察信号, 使用数字示波器得到的相位差 (Measure → 时间测量 → 相位 1-2) 代表的是 CH1-CH2 还是 CH2-CH1? 请记录波形及数据, 并进行说明。

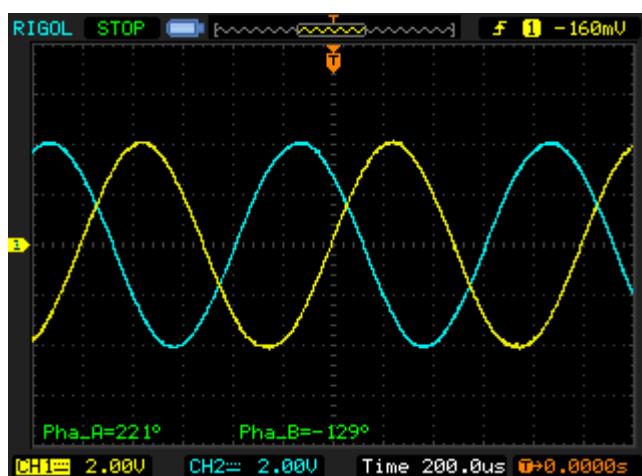


图: CH1= 2.00V CH2= 2.00V Time 200.0ns T=0.0000s

说明: 相位差 (Measure → 时间测量 → 相位 1-2) 代表的是 CH1-CH2。图中的 Pha_A 代表相位 1-2, 为 221° 。从波形图看出, CH1 超前于 CH2, 且超前的相位角大概为 221° 。故相位 1-2, 代表的是 CH1-CH2。

4、 旋动移相器上的电位器, 观察两个波形间相位的变化。改变音频振荡器的频率, 记录不同频率的最大移相范围。

	RW1=0K (移相旋钮左旋到底)		RW1=10K (移相旋钮右旋到底)	
频率	相位 1→2 ↗	相位 1-2 ↘	相位 1→2 ↗	相位 1-2 ↘
1K	221	-129	-34	-28
2K	256	-95	34	37
4K	296	-59	94	94
6K	-42	-42	-247	121
8K	-32	-28	-228	136
10K	-30	-28	138	-216

四、实验分析与结论

1、分析本移相器的工作原理: 根据图 2.1, 推导移相器输出 U_{out} 与输入 U_{in} 关于 $Rw1$ 的传递函数, 得到其幅频特性和相频特性, 并解释所观察到的现象。将相位的实测数据与理论数据进行比较分析。

传递函数推导:

$$\begin{aligned}
 U_3 &= U_2 \\
 U_2 &= U_1 - \frac{U_1 - U_{in}}{R_1 + R_3} R_3 \\
 U_3 &= \frac{U_{in}}{R_2 - jX_{c1}} R_2 \\
 U_1 &= U_{in} \left(\frac{2R_2}{R_2 - jX_{c1}} - 1 \right) \\
 U_{out} &= U_{in} \left(\frac{R_2 + jX_{c1}}{R_2 - jX_{c1}} \times \frac{X_{c2} - jR_{w1}}{X_{c2} + jR_{w1}} \right) \\
 \varphi &= U_{out} - U_{in} = \pi - 2 \arctan \omega C_1 R_2 + 2 \arctan \omega C_2 R_{w1} \\
 \varphi' &= U_{in} - U_{out} = -\pi + 2 \arctan \omega C_1 R_2 - 2 \arctan \omega C_2 R_{w1}
 \end{aligned}$$

现象分析: 输出信号与输入信号之间存在相位差, U_{in} 与 U_{out} 的相位差在 $-\pi + 2 \arctan \omega C_1 R_2 - 2 \arctan \omega C_2 R_{w1}$ 左右。

数据比较分析:

频率	RW1=0K			RW1=10K		
	实测相位差 Φ_1 (°)	计算相位差 Φ_1' (°)	误差百分比 (%)	实测相位差 Φ_2 (°)	计算相位差 Φ_2' (°)	误差百分比 (%)
1K	-129	-133.73	3.53697749	-28	-25.5	9.803922
2K	-95	-98.979	4.02004466	37	41.26	10.32477
4K	-59	-60.67	2.75259601	94	98.83	4.88718
6K	-42	-42.62	1.4547161	121	123.63	2.127315
8K	-28	-32.62	14.1630901	136	137.05	0.766144
10K	-28	-26.35	6.26185958	144	145.38	0.949236

姓名: 吴婷婷
实验台: 1号

学号: 3220103538
组号: 04

指导老师: 管凯敏
时间: 2024/10/28

成绩:

分析比较: 频率不变, R_{w1} 变大时, $U_{in} - U_{out}$ 变大。 R_{w1} 不变, 频率变大时, $U_{in} - U_{out}$ 变大。
存在误差的原因可能是①频率未精准调到相应数值 ②电容值和电阻值与标定的数值不同 ③示波器显示的相位差在上下波动, 未完全稳定

3. 相敏检波器实验

一、实验目的

了解相敏检波器的原理和工作情况。

二、所需单元和部件

相敏检波器、移相器、音频振荡器、双线示波器、直流稳压电源、低通滤波器、电压表、电源。

三、实验步骤

1、 直流稳压电源输出调置于 $\pm 2V$, 音频振荡器的幅度旋钮调至 $峰峰值 8V$, 频率 $4KHz$

2、 了解相敏检波器和低通滤波器在实验仪面板上的符号。

Uin: 信号输入端, Uout: 信号输出端, AC: 交流参考信号输入端, DC: 直流参考信号输入端,

Π 、 Λ 用于观察参考信号在电路内部被转化成矩形波的情况。

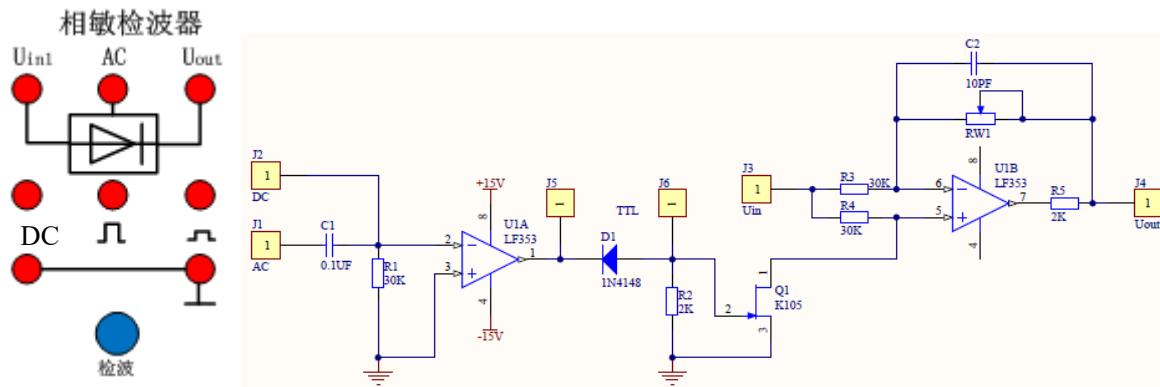


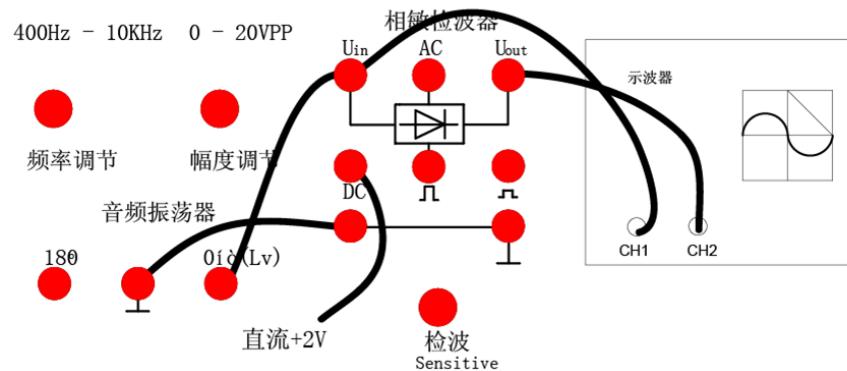
图 3.1 相敏检波电路及其原理图

相敏检波器的电路如图所示, 其中, U1A 为零电压比较器; D1 为检波二极管; Q1 为场效应管电子开关; U1B 为差动放大器。

相敏检波器主要由三部分组成: 一是由运算放大器 U1A 构成的整形电路部分, 用于对参考信号的处理; 二是由场效应管 Q1 构成的电子开关电路部分, 控制相敏检波器; 三是由运算放大器 U1B 构成的相敏检波器部分。

3、采用 直流控制 模式, 需在 **DC** 端口接入直流控制电压。

a) 直流参考电压 DC 端口接+2V 直流电源, 观察输入和输出波形的相位和幅值关系。调整检波旋钮, Uout 是否有变化?

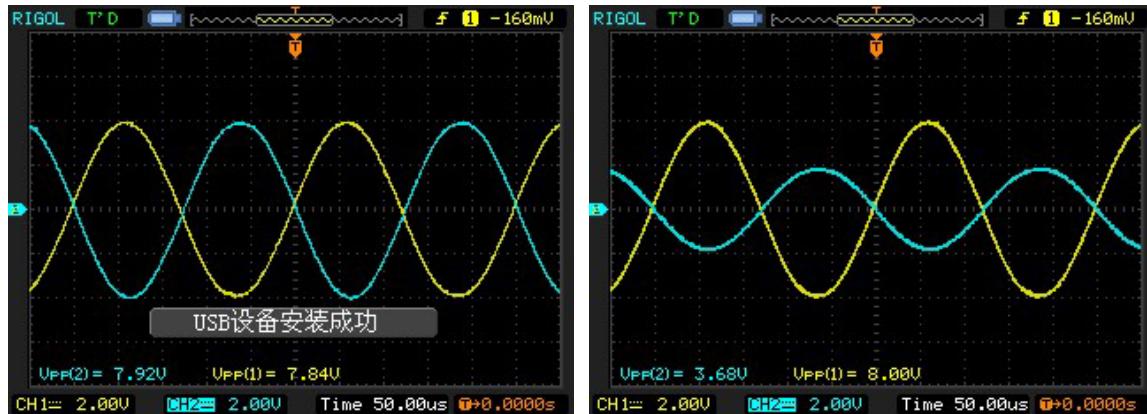


结论: 调整检波旋钮, 相位 同向 (同向/反向), 幅值 不变 (可调/不变)。

b) 直流参考电压 DC 端口接-2V 直流电源, 观察并记录输入和输出波形的相位和幅值关系。

调整检波旋钮, U_{out} 是否有变化?

记录波形 (挑 2 组):

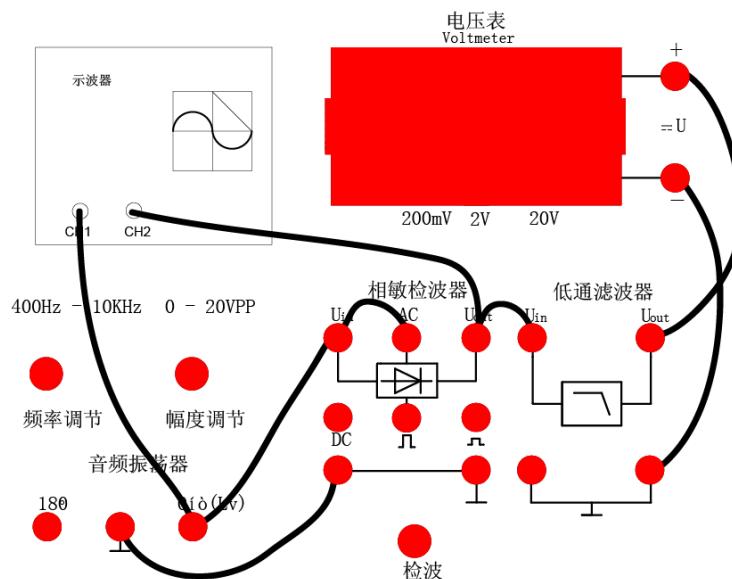


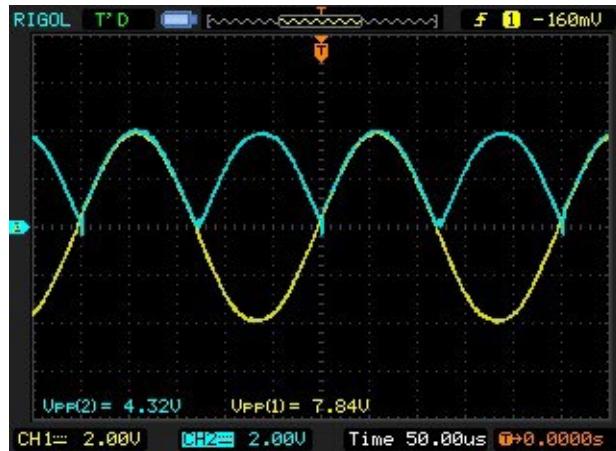
结论: 调整检波旋钮, 相位 反向 (同向/反向), 幅值 可调 (可调/不变)。

c) 结论: 此电路的放大倍数由检波旋钮调节, 将放大倍数调为 1 倍, 在后续实验过程, 检波旋钮保持不变。

4、采用交流控制模式, 需要删除 DC 口控制电压, 在 AC 口接入交流控制信号。

a) 如图所示, 使得相敏检波器 AC 端口与相敏检波器 U_{in} 端口的相位差为 0° (相敏检波器 U_{in} 口接音频振荡器 0° 输出端, AC 口接音频振荡器 0° 输出端), U_{out} 接至低通滤波器输入端, 示波器 CH1 接相敏检波器 U_{in} , CH2 接相敏检波器 U_{out} , 观察并记录波形, 同时记录电压表的读数。

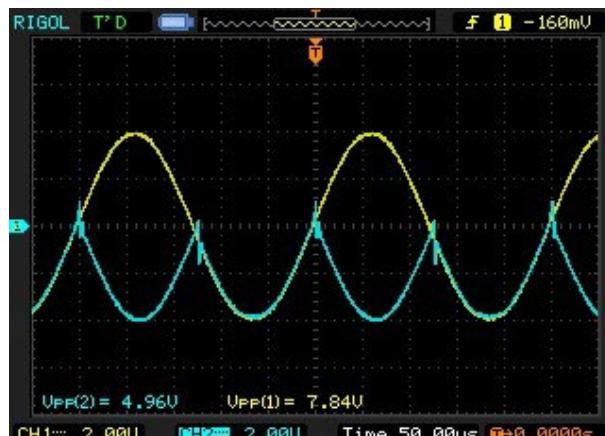




波形记录:

电压表读数: 6.63V

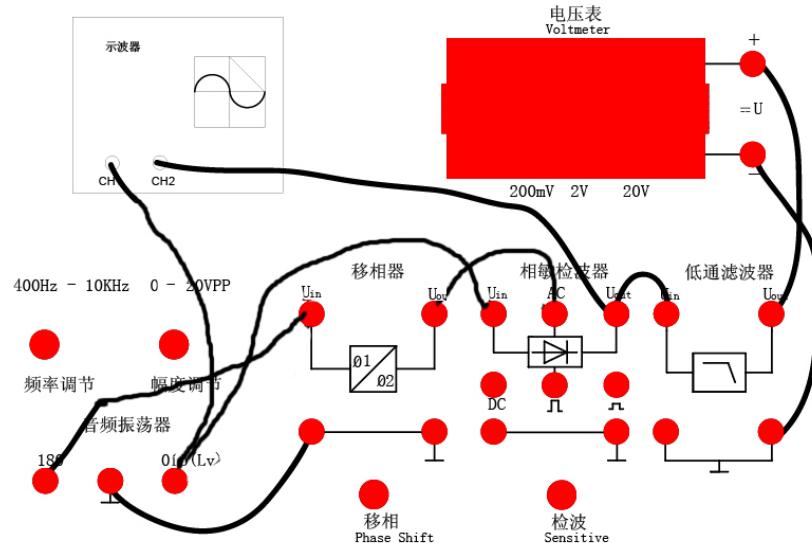
- b) 更换相敏检波器 AC 端口的参考电压，使得相敏检波器 AC 端口与相敏检波器 Uin 端口的相位差为 180° 。（相敏检波器 Uin 口接音频振荡器 0° 输出端，AC 口接音频振荡器 180° 输出端），观察并记录波形，同时记录电压表的读数。



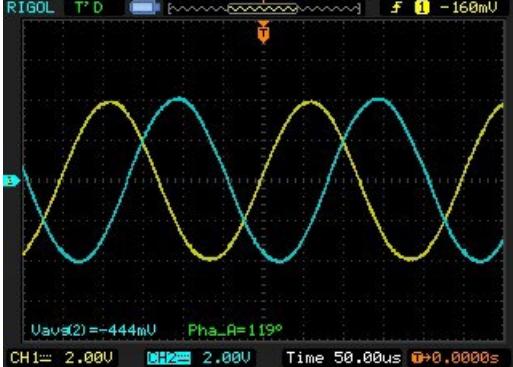
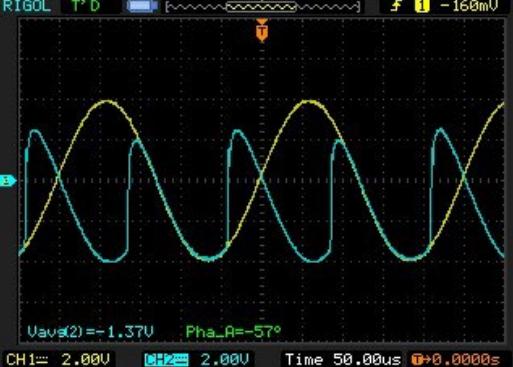
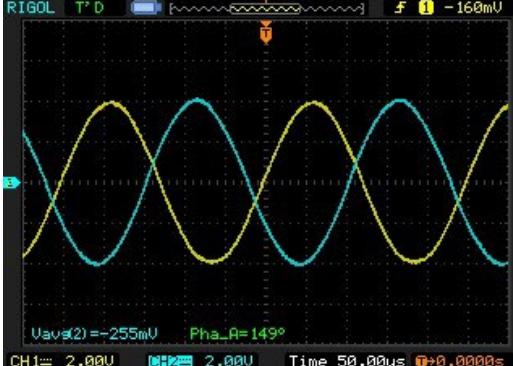
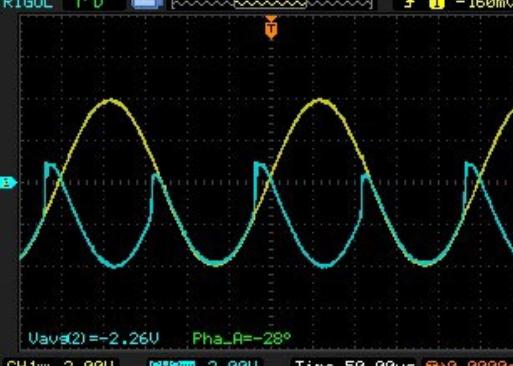
波形记录:

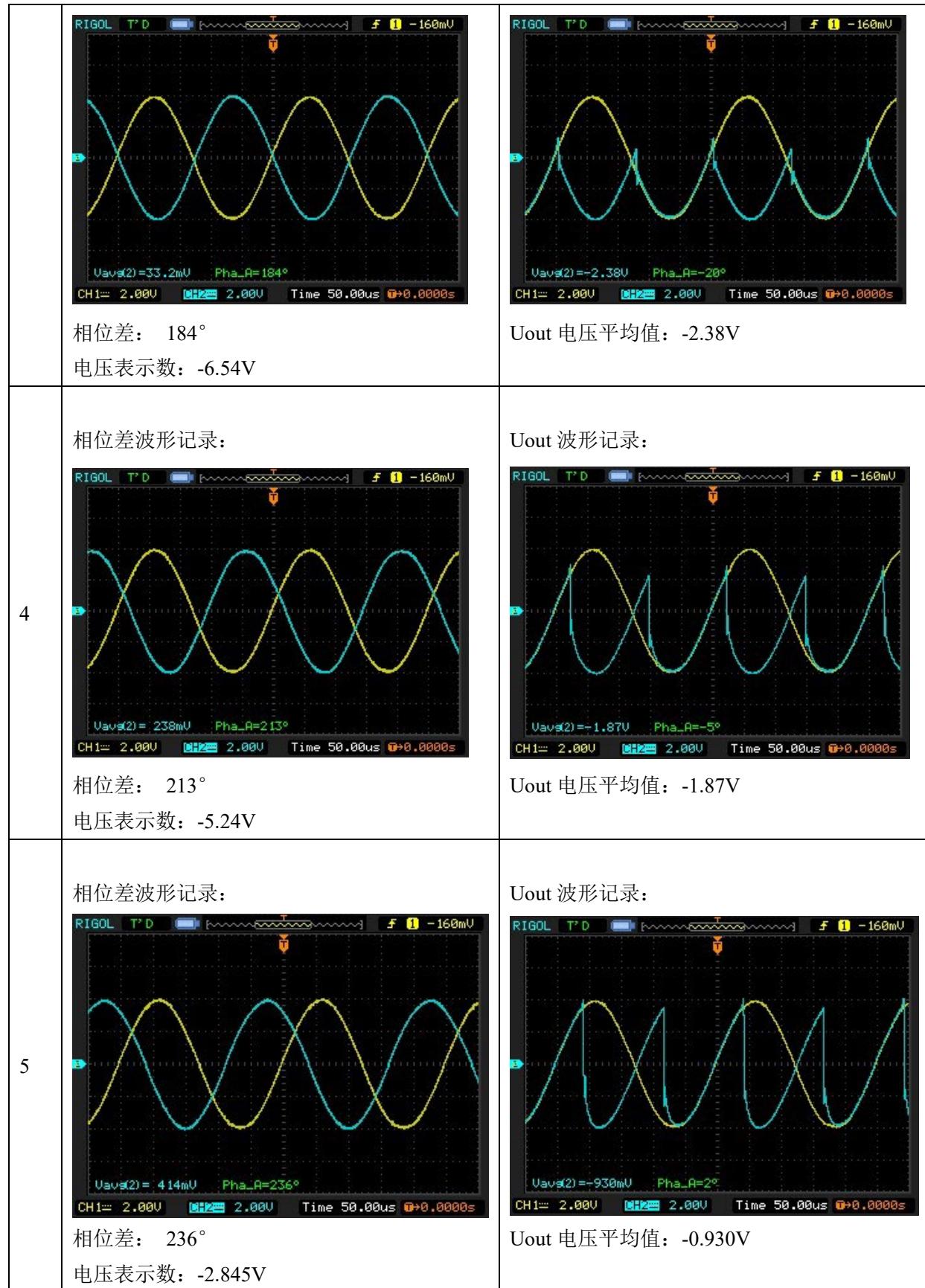
电压表读数: -6.60V

- c) 根据下图进行连线，使得相敏检波器 AC 端口与相敏检波器 Uin 端口的相位差可调，调节移相旋钮，观察电压表的示数变化与相敏检波器输出波形变化。

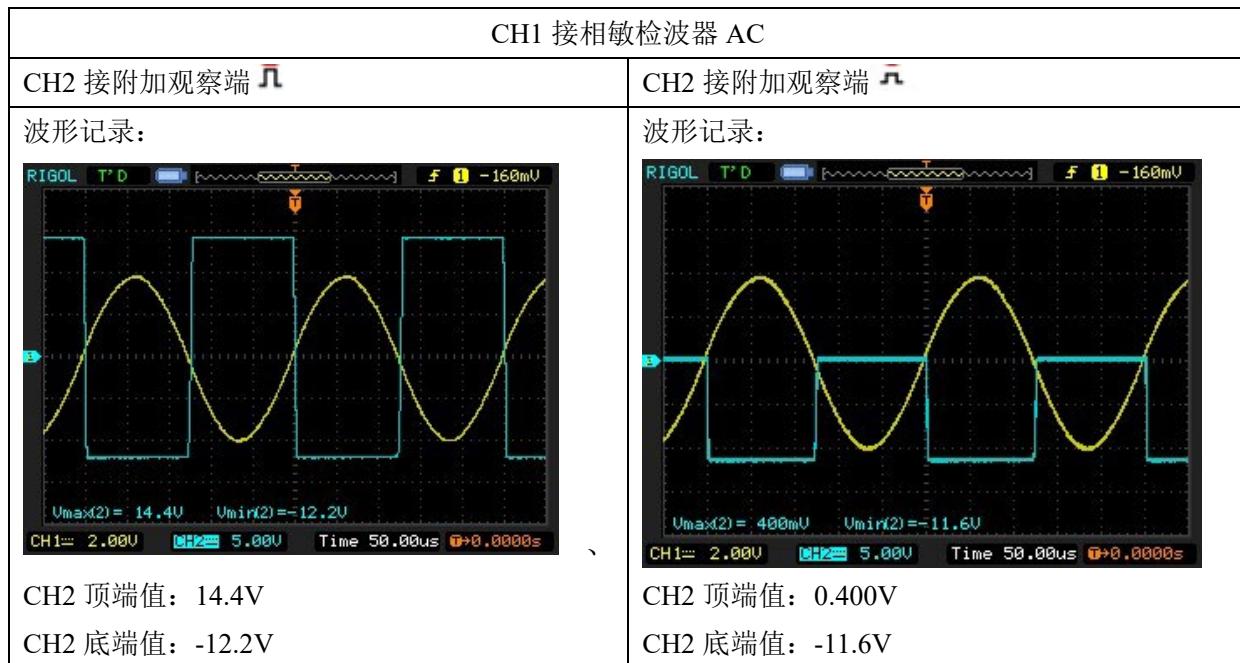


- CH1 接相敏检波器 Uin, CH2 接相敏检波器 AC, 可以读出两个信号之间的相位差以及电压表示数
- CH1 接相敏检波器 Uin, CH2 接相敏检波器 Uout, 可以记录输入与输出波形。
- 调节移相旋钮, 相位差可以选取有代表性的数值

序号	CH1 接相敏检波器 Uin	
	CH2 接相敏检波器 AC	CH2 接相敏检波器 Uout
1	<p>相位差波形记录:</p>  <p>相位差: 119°</p> <p>电压表示数: -4.03V</p>	<p>Uout 波形记录:</p>  <p>Uout 电压平均值: -1.37V</p>
2	<p>相位差波形记录:</p>  <p>相位差: 149°</p> <p>电压表示数: -6.23V</p>	<p>Uout 波形记录:</p>  <p>Uout 电压平均值: -2.26V</p>
3	相位差波形记录:	Uout 波形记录:



- d) 示波器 CH1, CH2 分别接至相敏检波器 AC 和附加观察端 $\text{J}1$; 示波器 CH1, CH2 分别接至相敏检波器 AC 和附加观察端 $\text{J}2$, 观察并记录波形。结合上述相关实验, 以及图 3.1 相敏检波电路及其原理图, 深入理解并解释相敏检波器的作用。



电路原理分析:

相敏检波器需要一个与待测信号同频的参考信号, 将待测信号与参考信号进行混频处理, 即两者相乘。当待测信号与参考信号相位相同或相差 180° 时, 输出信号最大; 而当两者的相位差为 90° 或 270° 时, 输出信号最小或接近于零。混频后的信号是一个包含直流分量和高频分量的复合信号。使用低通滤波器可以去除高频分量, 保留有用的直流或低频信号。直流分量的大小反映了待测信号与参考信号之间的相位关系。最后, 通过适当的信号处理, 可以得到所需的输出信号, 用于进一步的分析或控制目的。

理解相敏检波器的作用:

①鉴相特性: 当 J5 电压为高电平时, 二极管 D1 截止, 开关管截止, 此时相敏检波器为反相运算放大器, 输入与输出信号反相; 当 J5 电压为低电平时, 二极管 D1 导通, 开关管导通, 此时相敏检波器为同相运算放大器, 输入与输出信号同相。因此, 若 U_{in} 与参考信号同频但存在相位差 φ 时, 输出电压 $U_{out} = \frac{U_{in\max}}{2\cos\varphi}$, 通过输出信号大小计算得到相位差。②选频特性: 相敏检波器对不同频率的输入信号有不同的传递特性。以参考信号为基波, 计算得到所有偶次谐波在载波信号的一个周期内平均输出为零, 对于 $n=1,3,5$ 等各奇次谐波, 输出信号的幅值相应衰减为基波的 $\frac{1}{n}$ 。

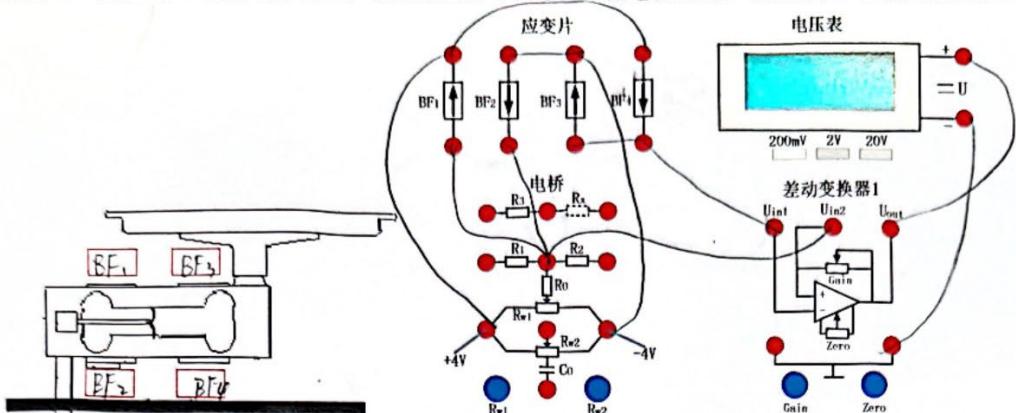
4. 实验感想:

通过本次实验, 我了解了金属箔式应变片的工作原理并进行全桥性能测试, 了解了运算放大器构成的移相电路的原理及工作情况, 学会了使用示波器进行基础信号测试, 了解相敏检波器的原理和工作情况。通过这三个实验, 我对传感器技术、信号处理和电子测量有了更全面和深入的理解。每个实验都让我学到了新的知识和技能, 同时也发现了自己在实验操作和数据分析方面的不足之处。未来, 我将继续努力提升自己的实验技能, 为今后的学习和研究打下坚实的基础。

姓名: 吴婷婷、陈慧慧
实验台: 1
学号: 3220103538
组号: 06
时间: 3220103467

实验记录纸

实验 1: 准备工作: 直流电源 $\pm 4V$; 差动放大器 I 调零; 直流电桥连线, 电桥调平, 直接用万用表测量。



重量 (g)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压(mV或V)	-1.8	5.6	13.4	21.0	29.4	37.0	45.4	54.2	62.8	73.6	81.4

实验 2: 准备: 音频振荡器 $V_{pp}=4V$ 。

注意: CH1 和 CH2 通道信号观察并图形记录, 分析两个信号之间的超前滞后, 与记录得到的相位差是什么关系?

数据记录: 建议移项旋钮左旋到底后, 调节音频振荡器频率, 进行数据记录 (这样不用移项旋钮不停的来回旋转很多圈, 提高速率), 频率调节的过程中, 根据图形及时调整示波器水平基 Scale 旋钮, 窗口的波形为 2-5 个。

相位差 频率	RW1=OK (左旋到底)					RW1=10K (右旋到底)				
	相位 1→2 ↑	相位 1-2 ↓	相位差 Φ_1 记录	相位差 Φ_1 计算	误差百分比	相位 1→2 ↑	相位 1-2 ↓	相位差 Φ_2 记录	相位差 Φ_2 计算	误差百分比
1K	221	129				-34	-28			
2K	256	-95				34	27			
4K	296	-59				94	94			
6K	-42	-42				-247	121			
8K	-32	-28				-228	136			
10K	-30	-28				138	-216			

实验三: 准备 直流模块 $\pm 2V$, 音频振荡器 $V_{pp}=8V$ 、频率 4K。

1a、DC=2V, 调整检波旋钮, 相位 (同向/反向), 幅值 (可调/不变)。

1b、DC= -2V, 调整检波旋钮, 相位 (同向/反向), 幅值 (可调/不变)。记录波形 2 组。检波调 1 倍 ($U_{out,pp} = U_{in,pp}$) 后不变。

2a、AC 接音频振荡器 0° , 电压表的读数: 6.63V。波形记录: U 盘

2b、AC 接音频振荡器 180° , 电压表的读数: 6.60V。波形记录: U 盘

2c、AC 接任意相位差波形 (通过移相器实现)

CH1 接相敏检波器 U_{in} , 注意: 每一行的数据是同样的实验条件, 只是改变 CH2 的观测口					
	控制相位差记录 (CH2 接相敏检波器 AC)	输出结果 (CH2 接相敏检波器 U_{out})	电压表		
1	波形: U 盘 相位差: 119	波形: U 盘 CH2 电压平均值: -1.37V	±4.03V		
2	波形: U 盘 相位差: 149	波形: U 盘 CH2 电压平均值: -2.26V	-6.23V		
3	波形: U 盘 相位差: 184	波形: U 盘 CH2 电压平均值: -1.38V	-6.54V		
4	波形: U 盘 相位差: 213	波形: U 盘 CH2 电压平均值: -1.87V	-5.24V		
5	波形: U 盘 相位差: 236	波形: U 盘 CH2 电压平均值: -9.30mV	-2.845V		

方波记录注意示波器信号的耦合模式在直流模式, 不能选交流模式, 不然会把直流分量过滤掉。

波形记录: CH2 顶端值: 14.4	波形记录: CH2 底端值: -17.1
CH2 顶端值: 4.00mV	CH2 底端值: -11.6