

1. 差动变压器综合测试实验

一、实验目的

- 1、掌握三段式差动变压器原理及工作情况。
- 2、掌握差动变压器残余电压的补偿方法。
- 3、掌握差动变压器位移测量的方法。
- 4、掌握差动变压器振动测量的方法。

二、所需单元和部件

差动变压器、测微头、低频振荡器、振动平台、音频振荡器、电桥、**差动放大器 II**、移相器、相敏检波器、低通滤波器、示波器、电源。

三、实验步骤

1、静态性能测试

- a) 调整音频振荡器激励信号峰峰值为 **2V**，频率为 **4K**。
- b) 差动变压器是利用电磁感应中的互感现象，将被测位移量转化为线圈的互感变化。再利用测量电路将互感值转化为电压值进而实现位移量的测量。如图 1.1，1 是磁芯，2 是磁筒，3 是骨架。三段开螺管式差动变压器结构，它由初级线圈 N_1 和两个结构与电气参数完全相同的次级线圈 N_{2a} 、 N_{2b} 组成。线圈中心插入圆柱形铁芯。

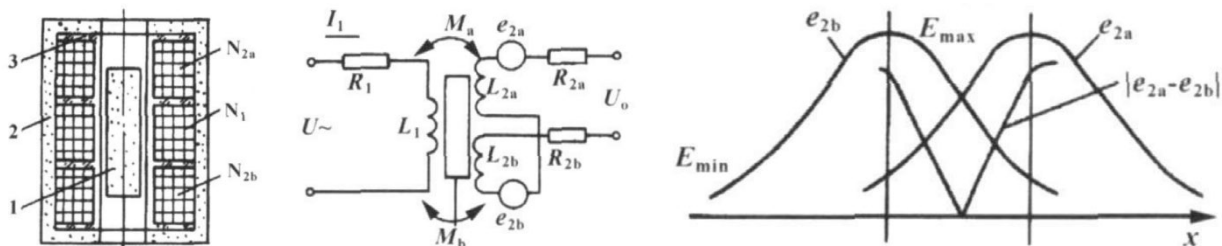
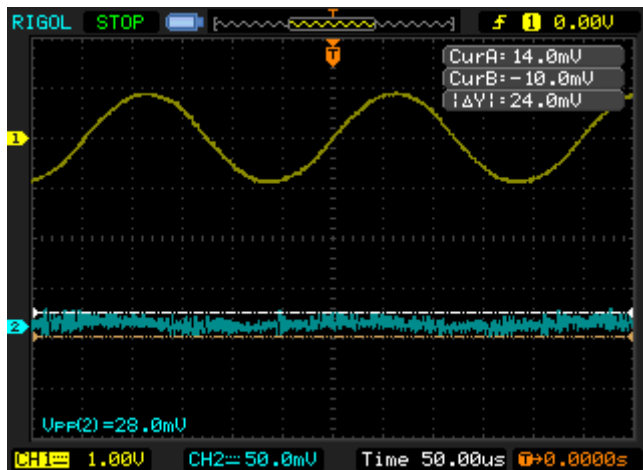


图 1.1 差动变压器结构与原理图

- c) 根据接线，组成一个测量线路。 L_1 为主线圈， L_{01} 、 L_{02} 为次线圈。转动螺旋测微头使测微头与振动平台吸合。用测微头调节振动平台位置，使示波器上观察到的差动变压器的输出端信号为最小（最好能记录当前螺旋测微器位置，后续实验都会以此为零点附近参照，读数方法：固定刻度+半刻度+0.01*可动刻度，单位毫米）。**保存零点残余电压时的波形图**，并用手动模式，**cursor 光标模式**进行读数测量，此电压为 $V_{\text{残余}p-p} = \underline{24\text{mV}}$ 。



波形图 1:

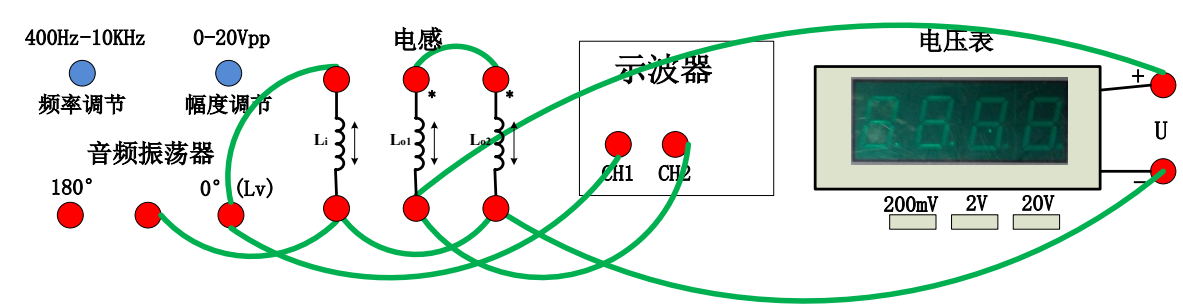
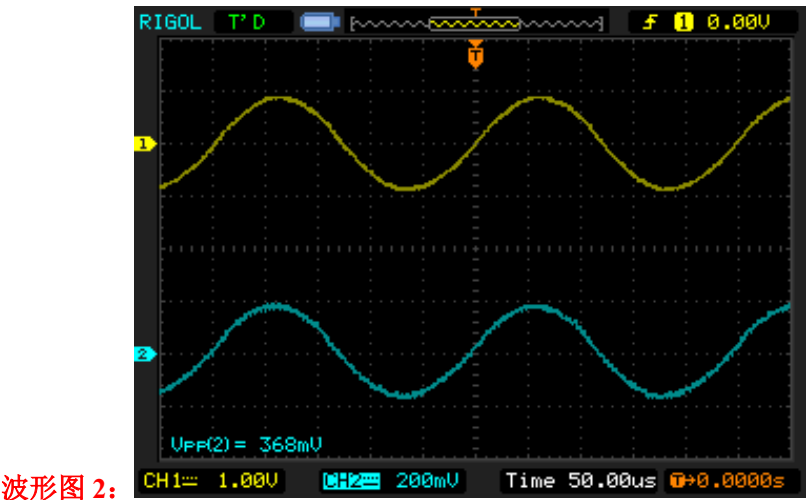


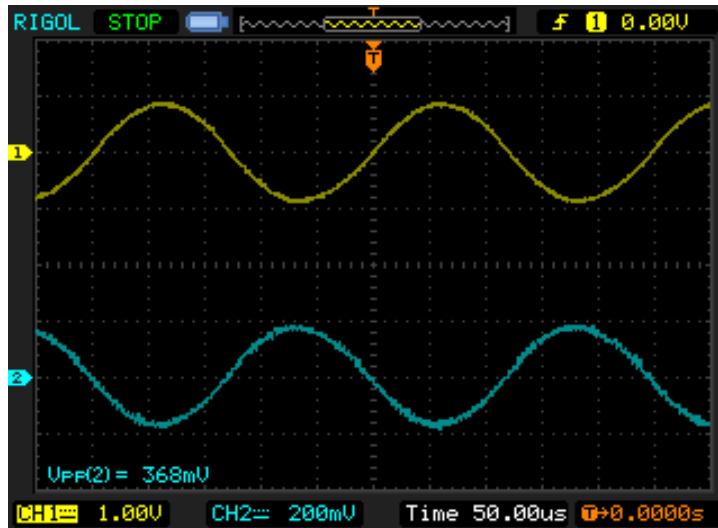
图 1.2 静态性能测试参考接线图

d) 再向上转动测微头 5mm，使振动平台产生向上的位移。开始记录数据。慢慢往下旋动测微头，使振动平台产生向下位移。每次位移量 0.5mm，用示波器读出差动变压器输出端的峰峰值，观察 CH2 和 CH1 的相位差是趋于同相还是反相，并读取电压表示数，在正向位移和反向位移的时候各保存一幅波形图。根据所得数据计算灵敏度 S。S=ΔV/ΔX（式中ΔV为Vo(p-p)的电压变化，ΔX为相应振动平台的位移变化），作出V-X线。

Table 1 静态性能测试数据记录

X (mm)	5.0	4.5	4	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0
Vo(p-p)/mV	368	328	296	264	232	200	168	120	96.0	58.0	24.0
相位差	同相	同相	同相	同相	同相	同相	同相	同相	同相	同相	
V 电压表/mV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
X (mm)	0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0
Vo(p-p)/mV	24.0	60.0	96.0	128	164	200	236	264	304	336	368
相位差		反相	反相	反相	反相	反相	反相	反相	反相	反相	反相
V 电压表/mV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

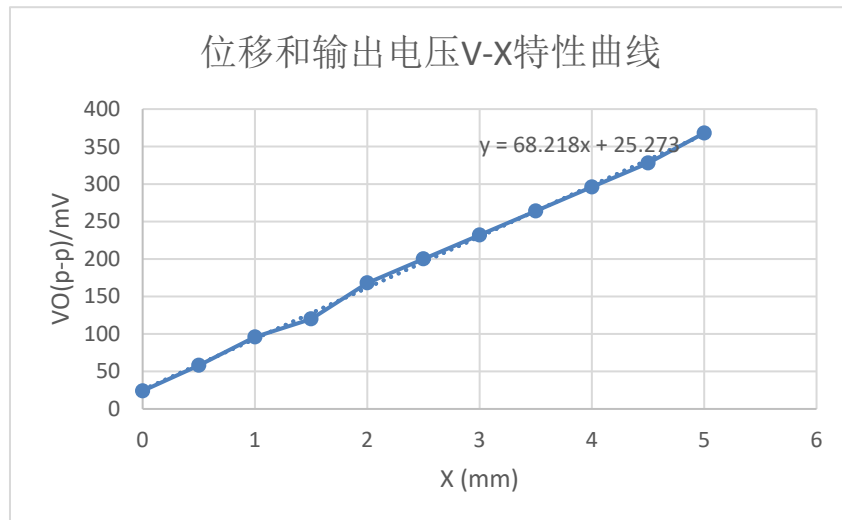




波形图 3:

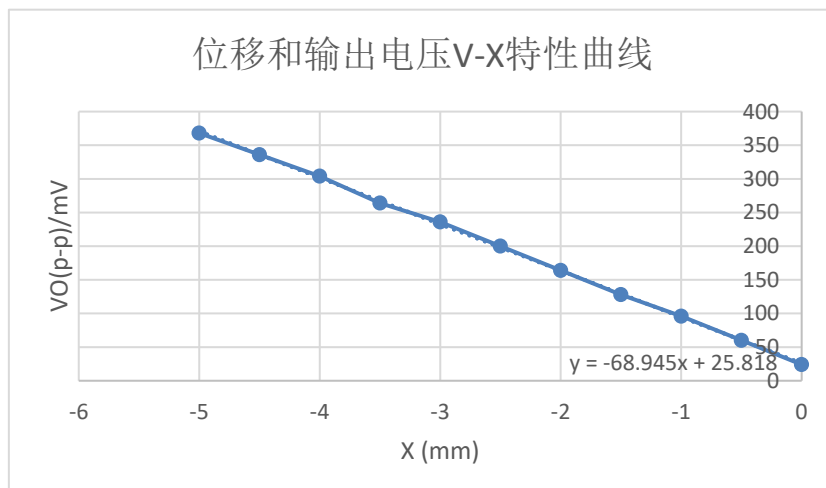
V-X 曲线及分析:

X= (5.0~0) mm



$$\text{灵敏度 } S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = 68.218V/m$$

X= (0~5.0) mm



$$\text{灵敏度 } S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = -68.945V/m$$

e) 转动螺旋测微器，使得磁棒回到零点残余电压位置附近。

思考：

根据实验测得的数据，绘制出测微头上移和下移时传感器的电压特性曲线，分析产生非线性误差的原因。当差动变压器中磁棒的位置由上到下变化时，示波器观察到的波形相位会发生怎样的变化？

非线性误差原因：①测微头移动存在误差 ②示波器示数波动，测量存在误差 ③激励电压幅值和频率的波动会使激励磁场磁通发生变化，直接影响输出电势 ④通电后温度的变化引起线圈和导磁体磁导率变化 ⑤差动变压器制作不对称等因素引起的零点残余电压

差动变压器中磁棒的位置由上到下变化时，在 $X=0\text{mm}$ 附近会呈现 180° 的突变，由同相变为反相。

2、零点残余电压补偿

a) 差动变换器 II 调零

将差动变换器 II 的 U_{in1} 、 U_{in2} 、地短接，输出端 U_{out} 与电压表相连；开启电源；调节增益到最大位置（逆时针旋转到底），然后调整调零旋钮使电压表显示为零（mv 档位），关闭电源。

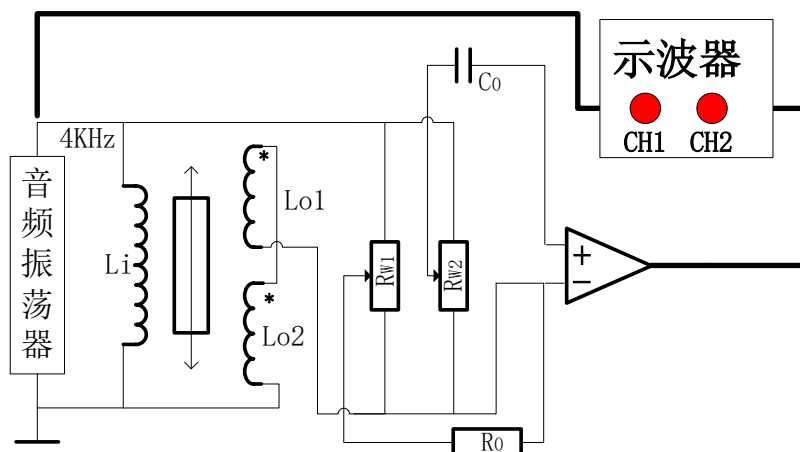


图 1.3 零点残余电压补偿电路原理图

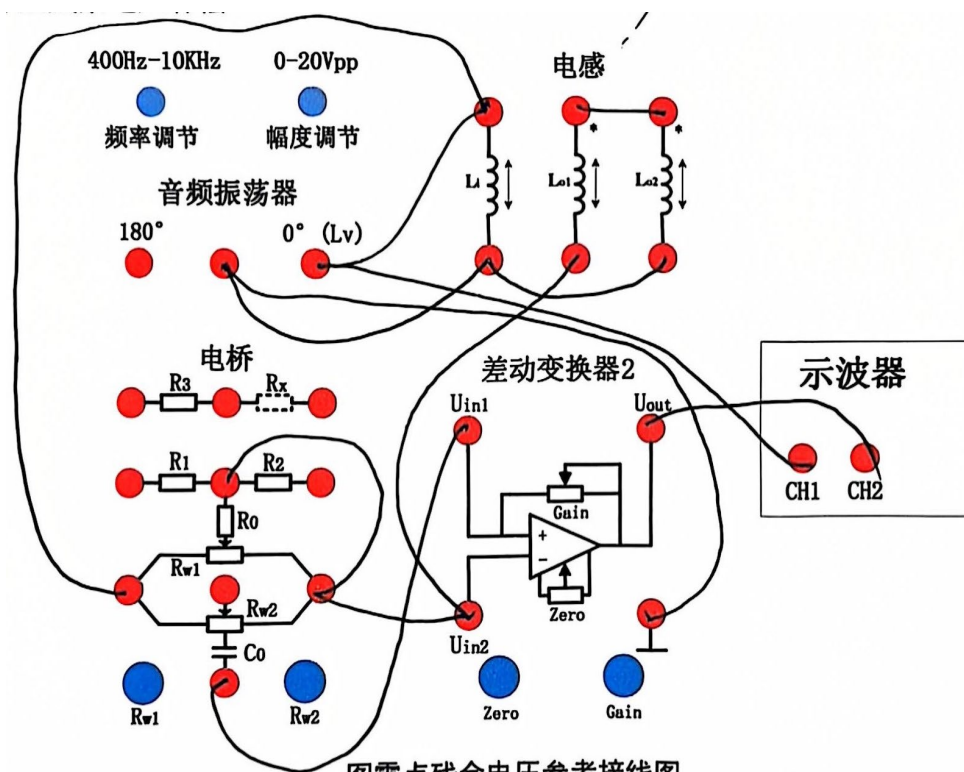
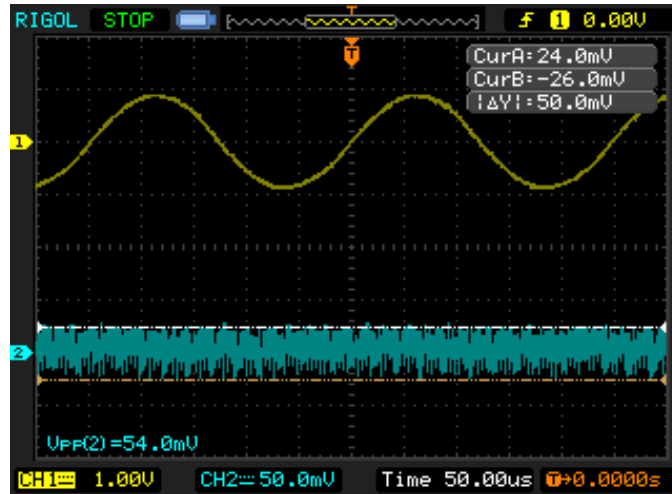


图 1.4 零点残余电压参考接线图

- b) 根据图 1.3 原理图，在图 1.4 进行连线，并进行实际连线和测试。调整 $W1$ ， $W2$ ，使差动放大器输出电压最小。继续微微调整测微头，使差动放大器输出电压进一步减小。调整 $W1$ ， $W2$ ，使输出电压进一步减小，必要时重新调节测微头，尽量使输出电压最小。（判别差动变换器 2 输出电压最小的办法：微调 R_{w1} ，输出波形反转；微调 R_{w2} ，输出波形反转；微调螺旋测微器，输出波形反转）。保存零点残余电压时的波形图，并用手动模式，**cursor 光标模式**进行读数测量，记录此时差动变换器 2 输出电压为 $V_{\text{零点 p-p}} = \underline{50\text{mV}}$ 。



波形图 4:

- c) $V'_{\text{残余 p-p}} = V_{\text{零点 p-p}} / K = 8.33\text{mV}$, K 为差动放大器 II 的放大倍数 (通过图 1.5 进行计算)。与上面未经补偿的残余电压 $V_{\text{残余 p-p}}$ 进行比较分析。

$$K = \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in2}}} = \frac{2k\Omega + R_{W6}}{2k\Omega}, \text{ 取 } R_{W6} = 10k\Omega, \text{ 则 } K_{\text{max}} = 6.$$

$$V_{\text{零点 p-p}} = 50.0\text{mV}, V'_{\text{残余 p-p}} = 8.33\text{mV}$$

$$V'_{\text{残余 p-p}} < V_{\text{残余 p-p}} = 24\text{mV}$$

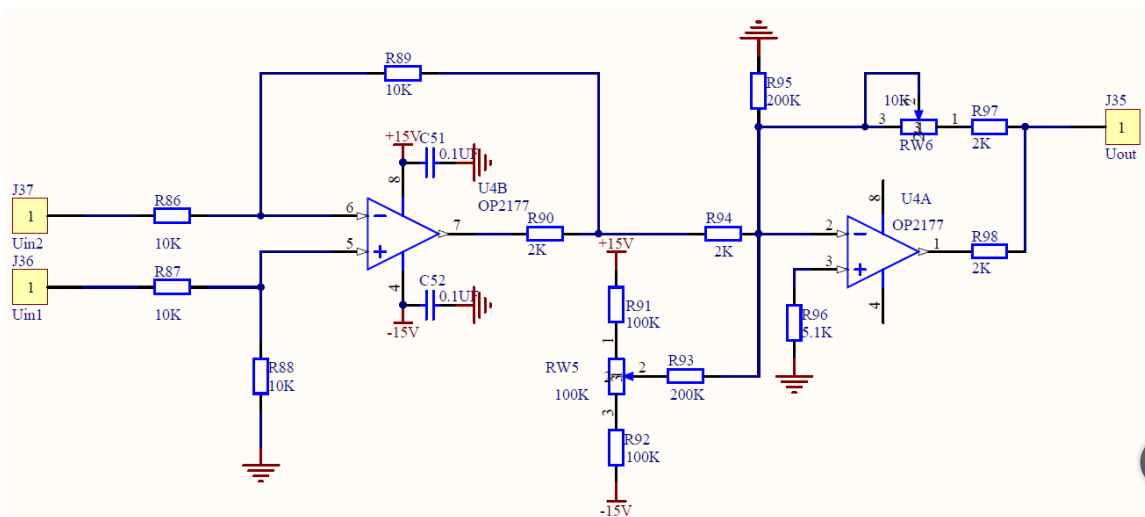


图 1.5 差动放大器 II 原理图

3、静态位移测试实验

a) 相敏检波器倍数调节为 1 倍

调节检波旋钮，使得放大倍数为 1 倍（DC 接-2V 参考电压，使得 U_{out} 和 U_{in} 的峰峰值相等）

b) 传感器连接支架高度，电桥模块 R_{w1} 、 R_{w2} ，差动变换器 II 模块 Gain、Zero 均保持不变。

c) 根据图 1.6 对图 1.7 进行连线，**CH1 接音频振荡器器 0° 输出端，CH2 接相敏检波器 U_{out} 输出端**（在高频段进行电路参数调整）。用手按住振动平台（让传感器产生一个大位移），仔细**调节移相器的旋钮**，使示波器 CH2 波形为一个接近**全波整流**（比较精确地判断方法：相敏检波器 U_{out} 端口接电压表，电压表示数**绝对值**最大时移相旋钮即为需要调整的位置）。

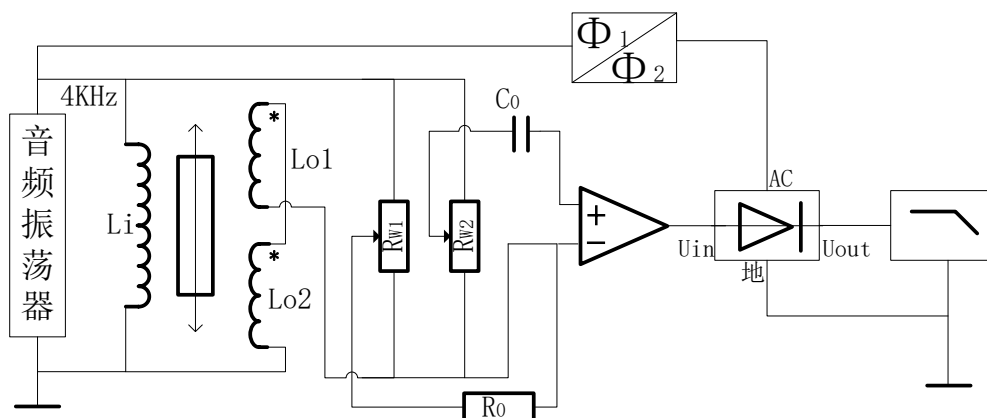


图 1.6 差动变压器位移测试原理图

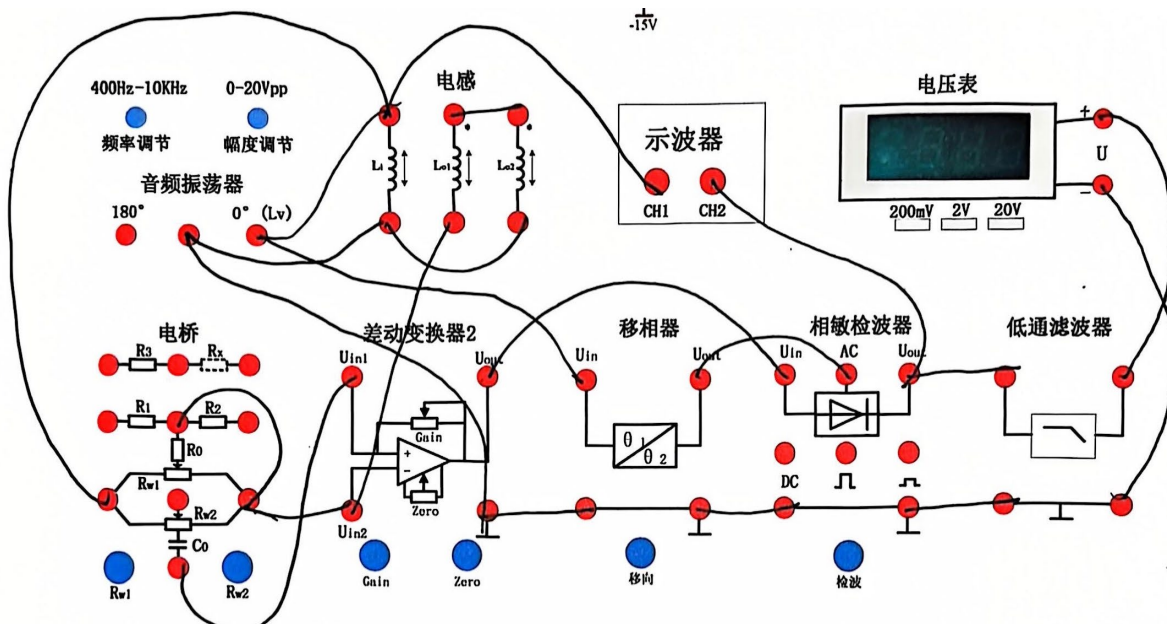


图 1.7 差动变压器位移测试连线图

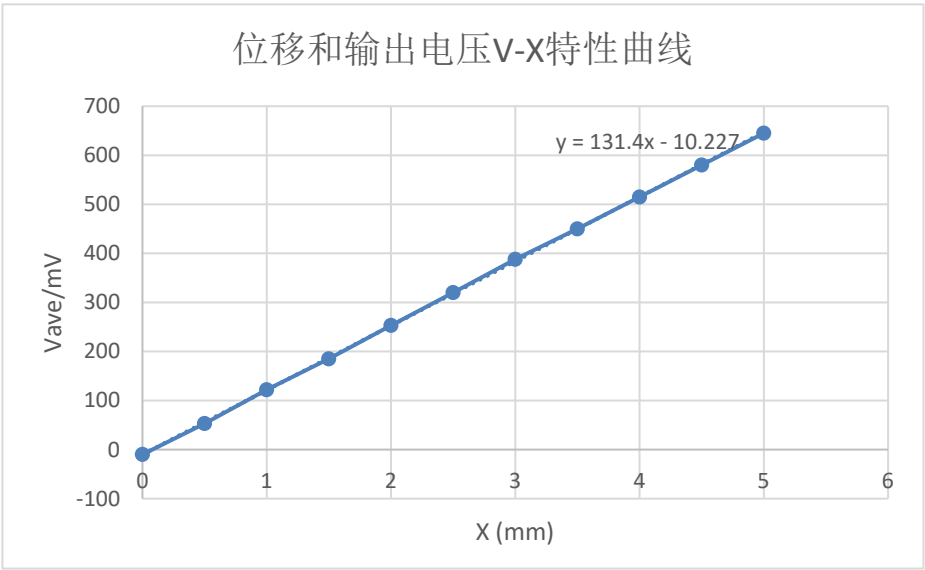
d) 松开手，整流波形消失，变为一条接近零点的直线。

e) 再向上转动测微头 5mm，使振动平台产生向上的位移。开始记录 CH2 的平均值，以及电压表当前读数。慢慢往下旋动测微头，使振动平台产生向下位移。每次位移量 0.5mm。根据所得数据计算灵敏度 S' ，与前面静态性能测试得到的灵敏度 S 进行比较分析。

Table 2 静态位移测试数据记录

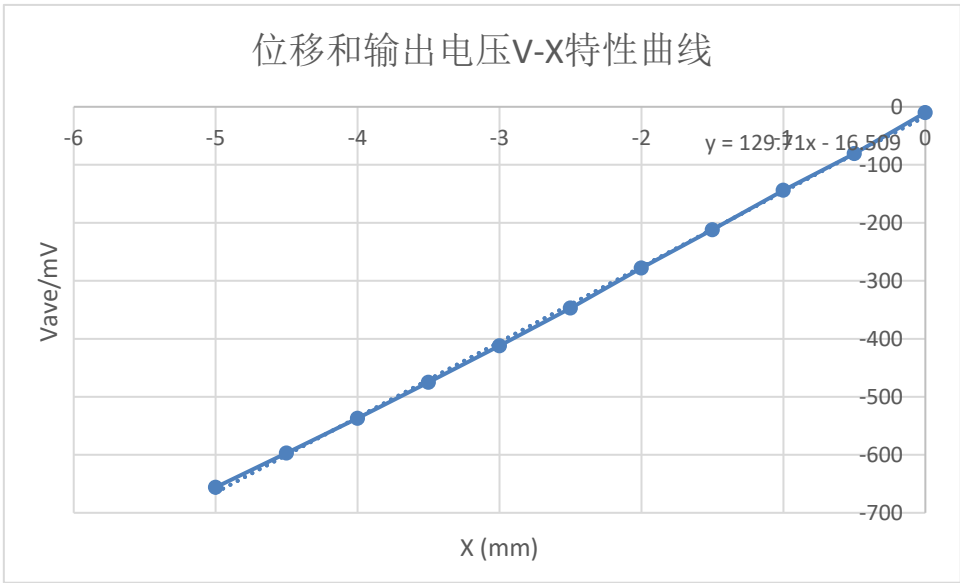
X (mm)	5.0	4.5	4	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0
Vave (V)	0.645	0.580	0.515	0.450	0.388	0.320	0.253	0.185	0.122	0.0530	-0.0100
V 电压表(V)	1.673	1.510	1.352	1.184	1.022	0.847	0.674	0.498	0.330	0.155	-0.017
X (mm)	0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-5.0
Vave (V)	-0.0100	-0.0807	-0.144	-0.212	-0.278	-0.347	-0.412	-0.475	-0.537	-0.597	-0.656
V 电压表(V)	-0.017	-0.198	-0.370	-0.543	-0.714	-0.892	-1.056	-1.222	-1.384	-1.541	-1.697

X= (5.0~0) mm



灵敏度 $S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = 131.4V/m$ ，大于前面静态性能测试得到的灵敏度 S

X= (0~-5.0) mm

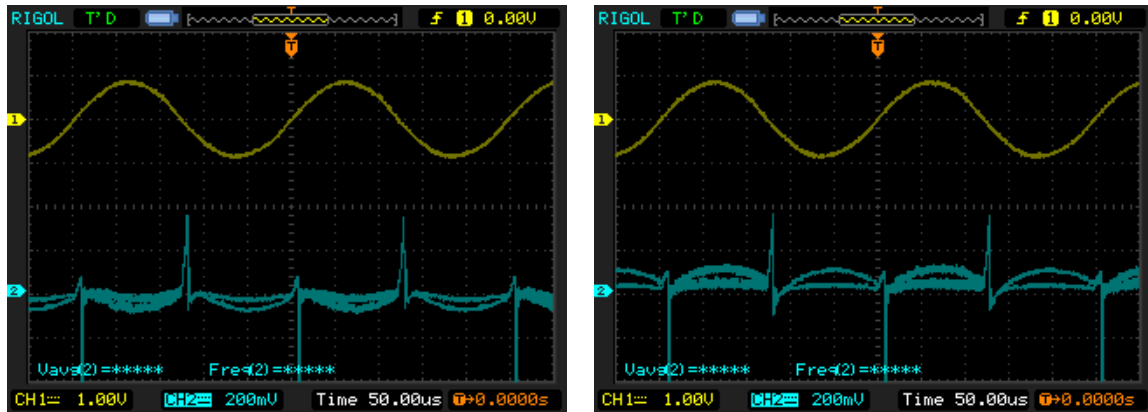


灵敏度 $S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = 129.71V/m$ ，大于前面静态性能测试得到的灵敏度 S 的绝对值

4、动态性能测试实验

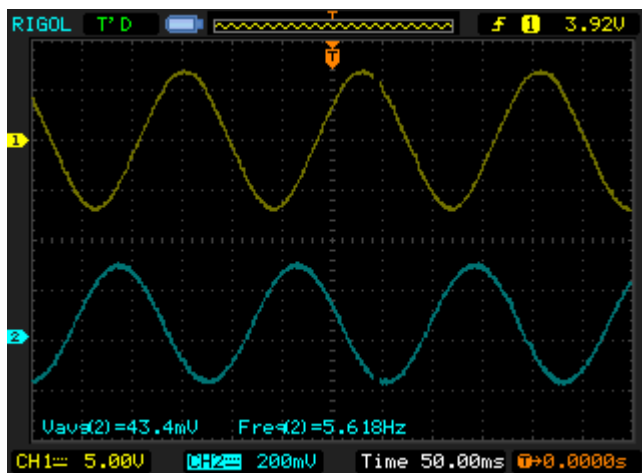
- a) 移除螺旋测微器，低频振荡器拨杆拨到左边，调节低频振荡器的幅值和频率，使振动台振动较为明显。（幅值不宜过低，振动不明显；也不宜过高，会造成位移过大，不在线性区间或者撞击实验台）

示波器的 CH1 接音频振荡器输出口，CH2 接相敏检波器输出端。观察当前波形如何变化？



波形 2 不断振荡。

示波器的 CH1 接低频振荡器输出口，CH2 接低通滤波器输出端。观察当前波形如何变化？记录此时波形图：



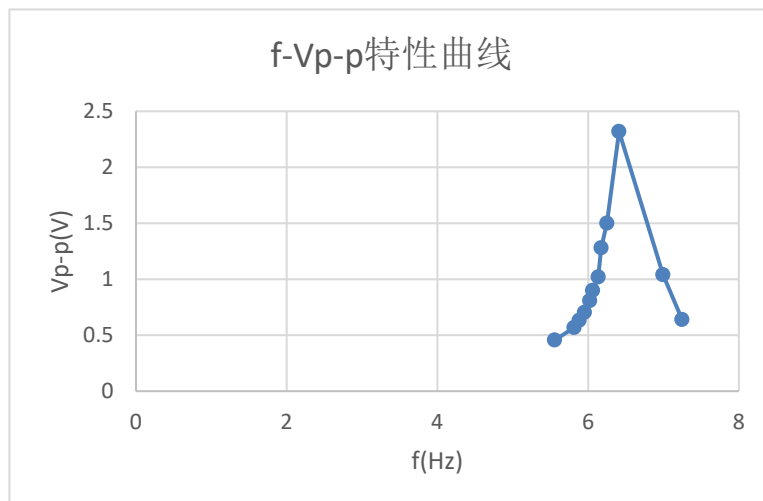
波形 2 稳定，且与波形 1 接近反相。

低频振荡器的输出峰峰值：13.8V

- b) 保持低频振荡器的幅度不变，改变振荡频率，记录 CH2 峰-峰电压值填入下表。（自振频率附近多记录一些数据，表格可以按需增加）

f(Hz)	5.556	5.814	5.882	5.952	6.024	6.061	6.135	6.173	6.250	6.410	6.994	7.246
Vp-p(V)	0.456	0.568	0.632	0.704	0.808	0.900	1.02	1.28	1.50	2.32	1.04	0.640

- c) 根据实验结果画出振动台 1 的 f - V_{p-p} 特性曲线，指出其自振频率的大致值。



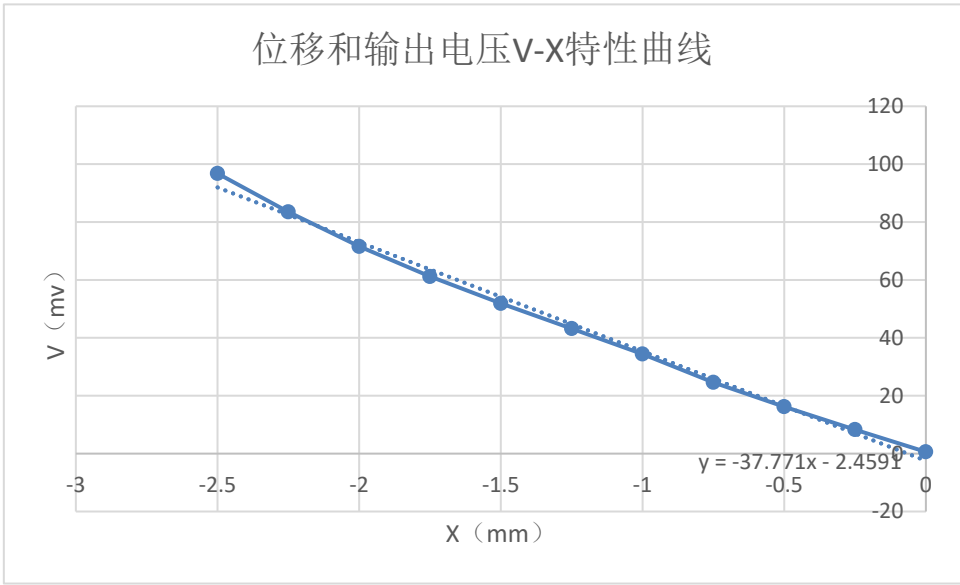
f-V_{p-p} 特性曲线：

自振频率的大致值为 6.41Hz。

表 2-1 直流激励电压表读数

X (mm)	-2.5	-2.25	-2	-1.75	-1.5	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0
V (mV)	96.8	83.5	71.6	61.2	51.9	43.2	34.4	24.6	16.2	8.3	0.6
X (mm)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5
V (mV)	0.6	-8.0	-15.3	-24.2	-32.5	-40.8	-50.6	-60.0	-69.3	-79.5	-90.0

X= (5.0~0) mm

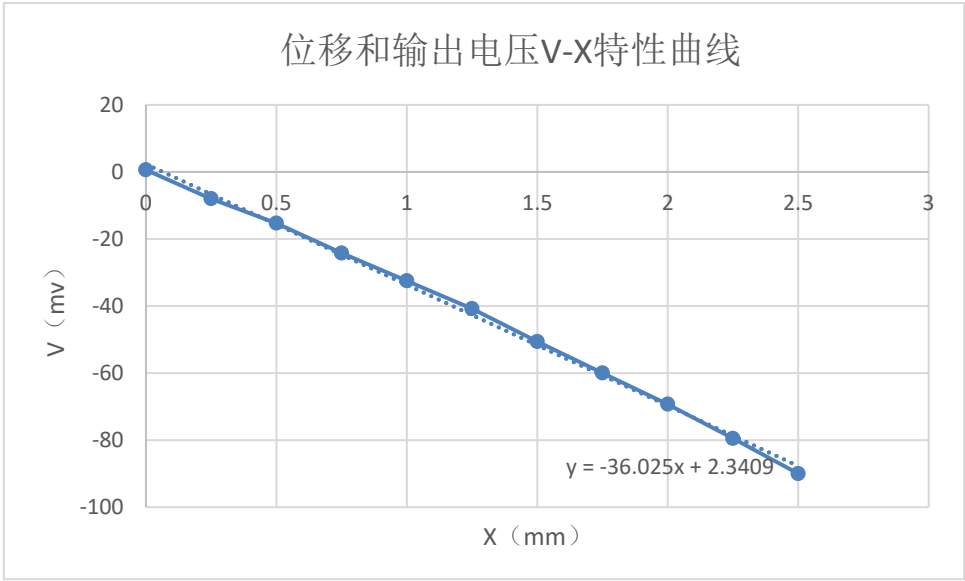


V(mV) (真实值)	96.8	83.5	71.6	61.2	51.9	43.2	34.4	24.6	16.2	8.3	0.6
V(mV) (拟合值)	91.97	82.53	73.08	63.64	54.20	44.75	35.31	25.87	16.43	6.98	-2.46
误差Δ (mV)	-4.83	-0.97	1.48	2.44	2.30	1.55	0.91	1.27	0.23	-1.32	-3.06

灵敏度 $S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = -37.771V/m$

$\Delta V_{\max} = 4.83\text{mV}$, 非线性误差 $\delta = \frac{\Delta V_{\max}}{V_{\max}} * 100\% = \frac{4.83\text{mV}}{96.8\text{mV}} * 100\% = 5.0\%$

X=（0~5.0）mm



V(mV) (真实值)	0.6	-8	-15.3	-24.2	-32.5	-40.8	-50.6	-60	-69.3	-79.5	-90
V(mV) (拟合值)	2.34	-6.67	-15.67	-24.68	-33.68	-42.69	-51.70	-60.70	-69.71	-78.72	-87.72
误差Δ (mV)	1.74	1.33	-0.37	-0.48	-1.18	-1.89	-1.10	-0.70	-0.41	0.78	2.28

灵敏度 $S = \frac{\Delta V}{\Delta X} = -36.025V/m$

$\Delta V_{\max} = 2.28\text{mV}$ ，非线性误差 $\delta = \frac{\Delta V_{\max}}{V_{\max}} * 100\% = \frac{2.28\text{mV}}{90\text{mV}} * 100\% = 2.5\%$

3. 实验感想：

通过本次实验，我掌握了三段式差动变压器原理及工作情况，掌握了差动变压器残余电压的补偿方法，掌握了差动变压器位移测量的方法，掌握了差动变压器振动测量的方法。对差动变压器和霍尔式传感器有了更深入的认识，学会了补偿残余电压，了解了这两种电子元器件测量振动的方法。了解了霍尔式传感器原理与应用，了解了交流激励霍尔片的特性，了解了霍尔式传感器在振动测量中的应用。通过实验我也逐渐熟悉理论知识以及示波器等器材的操作方法，最终顺利完成了实验。