

# 第一篇 测试技术基础实验

## 实验一 RLC 测量实验

### 一、实验目的

通过本实验加深对电桥法测量系列电子元件参数如电感量  $L$ 、电容量  $C$ 、电阻值  $R$ 、复阻抗  $|Z|$ 、品质因数  $Q$  和损耗角正切值原理的了解，并熟练掌握 TH2810 型 RLC 数字电桥的使用方法。

### 二、基本原理

#### (一) 概述

电子元件参数的测量是电子测量的重要内容之一，电子元件参数的测量就是指电感量  $L$ 、电容量  $C$ 、电阻值  $R$ 、复阻抗  $|Z|$ 、品质因数  $Q$  和损耗角正切值  $D$  的测量。测量方法通常采用电桥法和谐振法，所使用的仪器有电桥和  $Q$  表。一般电桥测量低频元件，用  $Q$  表测量高频元件。在电子技术领域里，电子元件常见的有电阻器、电容器和电感器。

**1. 电阻器** 理想的电阻器不含电抗分量，流过它的电流与其两端的电压同相，但实际的电阻器存在着一定的寄生电感。如线绕电阻器是用金属丝绕制而成，寄生电感量较大；碳膜电阻器在制造过程中需要刻槽，也存在一定的电感量。考虑了寄生电感  $L_R$  之后，电阻器的等效电路如图 1.1 所示，在低频状态下， $\omega L_R$  很小，故寄生电感  $L_R$  的影响可以忽略，但在高频状态下， $\omega L_R$  很大，故必须考虑  $L_R$  的影响。

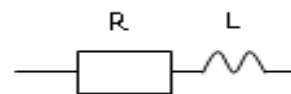


图 1.1 实际电阻器的等效电路

**2. 电容器** 实际使用的电容器也不可能是理想的纯电容，它除包含电容外，还存在引线电感和损耗电阻（包括漏电阻和介质损耗等）。在频率不高状态下，引线电感的感抗很小，可以忽略不计，故电容器的实际等效电路如图 1.2 所示

图中， $R_{cs}$  为电容器的等效串联损耗电阻， $R_{cp}$  为等效并联损耗电阻。电容器损耗大小通常用损耗因数  $D_X$ （或损耗角的正切  $\tan \delta$ ）表示。对于图（a），

$$D_X = \tan \delta = R_{cs} / X_c = \omega C R_{cs} \quad (1-1)$$

对于图（b），

$$D_X = \tan \delta = X_c / R_{cp} = 1 / \omega C R_{cp} \quad (1-2)$$

式中， $X_c$  为电容器的容抗； $\delta$  为电容器的损耗角。

一般介质电容器的损耗因数为  $10^{-4} \leq D_X \leq 10^{-2}$ ，空气电容器的损耗因数较小，为  $D_X < 10^{-3}$ ，电解电容器的损耗损耗因数较大，为  $10^{-2} D_X \leq 2 \times 10^{-1}$ 。

#### 3. 电感器

实际使用的电感器，除包含电感量外，同样存在损耗电阻。在高频状态下，还必须考虑分布电容的影响。电感器在一般情况下的等效电路如图 1.3 所示。图中， $R_{lp}$ 、 $R_{ls}$  为电感线圈的的等效串联损耗电阻。

电感线圈损耗的大小通常用品质因数（即  $Q$  值）表示。

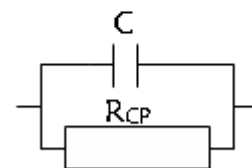
对于图（a），

$$X_L / R_{ls} = \omega L / R_{ls} \quad (1-3)$$

对于图（b），

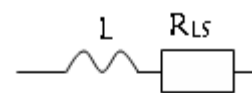


a) 串联等效电路

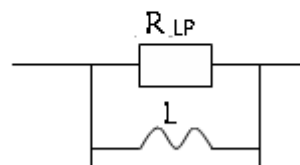


b) 并联等效电路

图 1.2 实际电容器的等效



(a) 串联等效电路



(b) 并联等效电路

$$R_{lp}/X_l = R_{lp}/\omega l \quad (1-4)$$

式中， $X_l$  是电感线圈的感抗。线圈的  $Q$  值越大，说明损耗越小；反之则损耗越大。空心线圈及带高频磁芯的线圈的  $Q$  值则较高，一般有几十到一、二百；带铁芯的线圈的  $Q$  值则较低，一般在十以内。

图 1.3 实际电感器的等效电路

### (二) 电桥平衡条件

低频电子元件参数一般采用电桥法测量。电桥法是一种比较法，它把被测量与同类性质的已知标准量相比较，从而确定被测量的大小。根据电桥法制造的测量仪器称为电桥。而同时具备测量 RLC 功能的电桥，通常称为万用电桥。它的基本组成如图 1.4 所示。

电路由桥体、信号源和指零仪三个部分组成。桥体是电桥的核心部分，由标准电阻、标准电容和转换开关组成。通过转化开关的切换，电桥构成不同形式的电路对 R、L、C 进行测量。

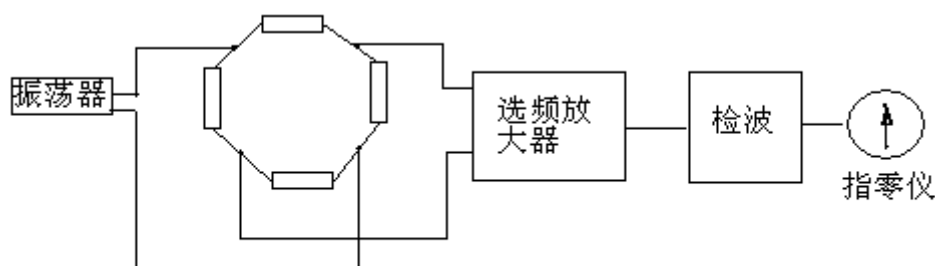


图 1.4 RLC 电桥的电路组成

### 1. 测量电阻

在测量电阻时，桥体电路的连接方法如图 1.5 所示，成为“惠斯顿电桥”。电桥的平衡条件为

$$R_x R_3 = R_2 R_4 \quad (1-5)$$

即

$$R_x = R_2 R_4 / R_3 \quad (1-6)$$

式中， $R_2$ 、 $R_4$  为固定标准电阻； $R_3$  为可调标准电阻。

在测量电阻时，有的仪器采用直流电源，也有的采用与测量电感、电容时同一交流信号源。

### 2. 测量电感

在测量电感时，根据被测电感器  $Q$  值的不同，桥体电路连接成不同的形式。

(1) 测量低  $Q$  电感。此时，桥体电路连接成如图 1.5 所示的麦克斯韦电桥。电桥的平衡条

$$\text{件为 } R_1 R_3 = (R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_s} + j\omega C_s} \quad (1-7)$$

$$\text{对式 (1-7) 化简后可得 } R_s = \frac{R_1 R_3}{R_x}$$

$$L_x = R_1 R_3 C_s$$

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega R_s C_s \quad (1-8)$$

式中， $R_s$ 、 $C_s$  为可调节的标准元件。

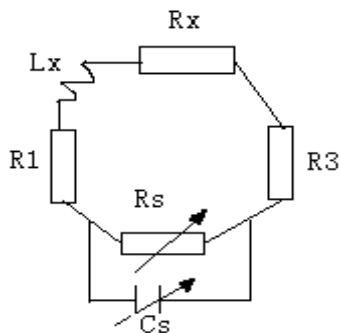
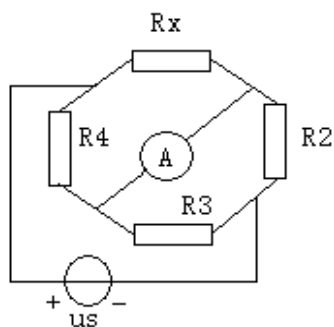


图 1.5 惠斯顿电桥（测量电阻用）图 1.6 麦克斯韦电桥（测量低 Q 值电感用）

(2) 测量高 Q 电感。此时，桥体电路连接成如图所示的海式电桥。

电桥平衡条件为

$$R_2 R_4 = \frac{j\omega L_x R_x}{j\omega L_x + R_x} \left( R_s + \frac{1}{j\omega C_s} \right) \quad (1-9)$$

对式 (1-9) 化简后可得

$$\begin{aligned} L_x &= R_2 R_4 C_s \\ R_x &= R_2 R_4 / R_s \\ Q_x &= 1 / \omega C_s R_s \end{aligned} \quad (1-10)$$

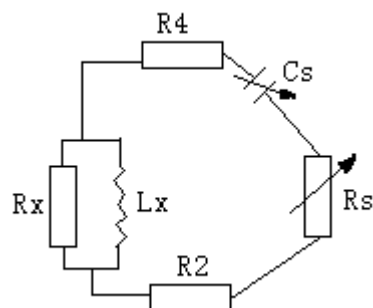


图 1.7 海氏电桥（测量高 Q 电感用）

### 3. 测量电容

测量电容时，根据被测量电容损耗角正切的不同，桥体电路连接成不同的形式。

(1) 测量损耗小的电容。此时，桥体电路连接成如图所示的串联电阻式比较电桥，电桥的平衡条件为

$$R_1 \left( R_s + \frac{1}{j\omega C_s} \right) = R_2 \left( R_x + \frac{1}{j\omega C_s} \right) \quad (1-11)$$

化简后可得  $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s$

$$C_x = \frac{R_2}{R_1} C_s$$

$$D_x = \omega R_x C_x = \omega R_s C_s \quad (1-12)$$

(2) 测量损耗大的电容。此时，桥体电路连接成如图所示的并联电阻式比较电桥，电桥的平衡条件为

$$R_4 \frac{R_x \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = R_4 \frac{R_s \frac{1}{j\omega C_s}}{R_s + \frac{1}{j\omega C_s}} \quad (1-13)$$

化简后可得

$$C_x = \frac{R_3}{R_4} \cdot C_s$$

$$R_x = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_s$$

$$D_x = 1/\omega R_s C_s \quad (1-14)$$

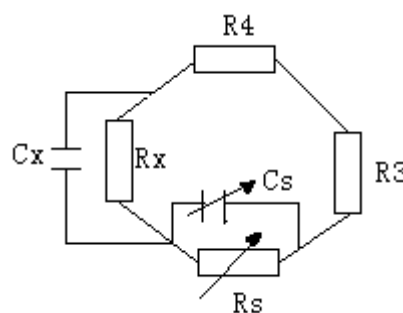
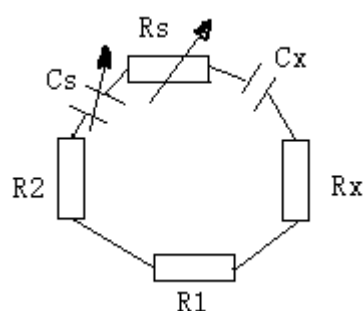


图 1.8 串联电阻式比较电桥 (测量低损耗电容用)      图 1.9 并联电阻式比较电桥 (测量高损耗电容用)

## (二) TH2810 型 RLC 数字电桥

TH2810 型 RLC 数字电桥是一种高性能的全自动阻抗测量电桥。具有测量参数多、量程广、精度高、易于操作等特点。适用于测量电感 L、电容 C、电阻 R 及相关的 D、Q、Z 值。测量结果用四位发光二极管 (LED) 显示。最大显示值为 9999，且可同时显示被测量参数的单位。

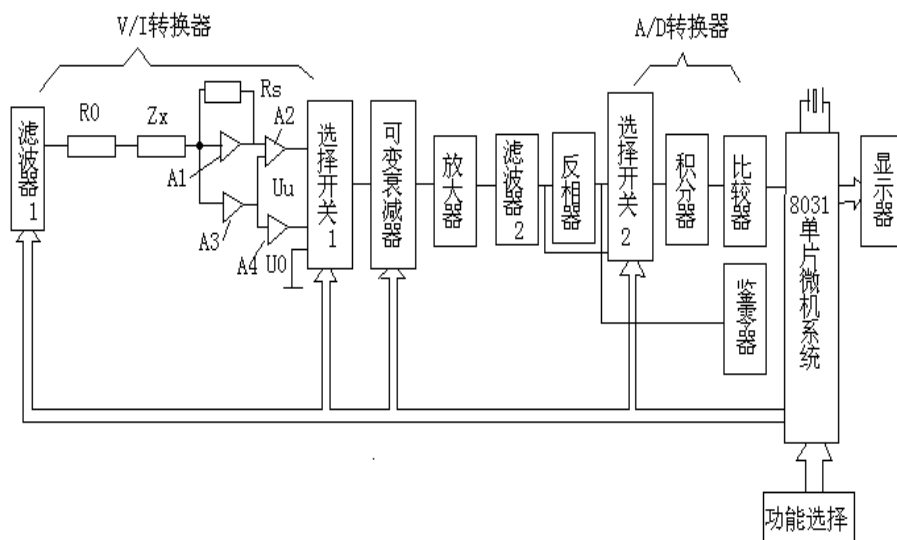
由于该仪器采用 8031 单片机系统进行实时控制和数据处理，实现 L、C、R 元件测量过程的全自动控制，并且具有自动识别阻抗元件性能的能力，只要把被测元件插入测试架，在显示器上就能自动显示出被测元件的种类、大小及单位，而且能自动消除引线及测试夹具的分别参数对测量结果所产生的误差。

### 1. 主要特性

TH2810 型 RLC 数字电桥主要技术特性见表

测试项目		性能		
		基本测量范围	测量范围	测量范围内准确度
主量	电感 L	1mH~10H	0.000μH ~ 9999H	$\pm (0.25 + \frac{L_x}{20L_{max}} + \frac{L_{min}}{20L_x})K_f\%$ ±1 字, Q>10
	电容 C	1nF~10μf	0.000pF ~ 9999μf	$\pm (0.25 + \frac{C_x}{C_{max}} + \frac{C_{min}}{20C_x})K_f\% \pm 1$ 字, D<0.1
副量	电阻 R 阻抗 Z	10Ω ~ 100kΩ	0.0000Ω ~ 9999MΩ	$\pm (0.25 + \frac{R_x}{20R_{max}} + \frac{R_{min}}{20R_x})K_f\%$ ±1 字
	损耗因数 D	0.0000 ~ 15.99	0.0000 ~ 15.99	±0.0025 (1+ D +D²) Kf ±0.001 (基本量程)
	品质因数	0.0625 ~ 9900	0.0625~9900	±0.0025 (1+ Q +Q²) Kf ±0.001 (基本量程)

2. TH2810 型 RLC 数字电桥原理方框图如图所示。



### 3.工作原理

方框图中的 8031 单片机系统是整个电路的核心。由 8031 产生的 1kHz（或 100Hz）方波信号，经滤波器 1 形成正弦波信号进入 V/I 转换器，此正弦信号加在被测阻抗元件  $Z_x$  上，流经  $Z_x$  的电流与流经  $R_s$  的电流是相等的，通过差动放大器分别产生相应于标准  $R_s$  和被测阻抗元件  $Z_x$  并与其阻抗值成正比的电压  $U_s$  和  $U_x$ 。在 8031 单片机系统的控制下，选择开关 1 分别接通  $U_s$ 、 $U_x$ 、 $U_o$ ；同时 8031 单片机系统视相应的输入信号电平，自动控制放大器的增益，如果是正极性的正弦波信号，则直接经选择开关 2 送入 A/D 转换器；如果是负极性的正弦波信号，则通过反相器再送入 A/D 转换器；A/D 转换器的输出脉冲信号去控制 8031 单片机系统中的计数电路。8031 单片机系统根据一定的数学模型，最后将运算结果输入 LED 显示器。

## 三、实验仪器及器材

名称	型号规格	数量
数字电桥	TH2810	1 台
电阻、电容、电感		若干

## 四、实验内容及步骤

1. 利用 TH2801 型数字电桥测量电子元件如电阻器、电感器、电容器的电阻值  $R$ 、电感量  $L$ 、电容值  $C$ 、复阻抗  $|Z|$ 、品质因数  $Q$  和损耗角正切值  $D$  等参数。

### 2. 操作步骤

#### 2.1 电源

插上电源插头，将面板电源开关按至 ON，显示窗口应有不断翻动的数字显示，否则重新启动电源。开机后，仪器功能指示于

表 2-1 仪器初始状态

频率	显示	等效	电平	锁定	参数	讯响	触发
1KHz	直读	串联	0.3V	关	C-D	关	连续

预热 10 分钟后，待机内达到热平衡后，进行正常测试。

#### 2.2 连接被测元件

根据被测试件，选用合适之测试夹具或测试电缆。选用测试电缆应保证 HD、HS、LD、LS 在末端短接。被测试件引线应清洁，与测试端保持良好接触。

#### 2.3 测量条件

仪器开机后应根据被测试件要求选择相应测量条件。

##### 2.3.1 频率

使用者应根据被测试件的测试标准或使用要求按频率键，选择相应的测量频率，可选择 100Hz、120Hz、1KHz、10KHz 四个测试频率。

2.3.2 测量参数、显示、量程和量程保持仪器以五位数值显示主参数，使用参数键选择 L、C、R 和  $|Z|$ ，单位如下：

L：单位  $\mu H$ 、mH、H 对应付参数—Q

C：单位 pF、nF、 $\mu F$  对应付参数—D

R/ $|Z|$ ：单位  $\Omega$ 、K $\Omega$ 、M $\Omega$  对应付参数—Q

本仪器共分五个量程，五个高精密度电阻依次对应于各个量程，不同量程决定了不同的测试范围，所有量程构成了仪器完整的测试范围。仪器使用锁定键处于 ON 可使量程锁定。量程锁定推荐在同规格元件批量测试时或外接测试系统时使用。

当锁定灯熄灭时，使用者将试件插入后所获得的测量值并不直接送显示，而是首先判断该次测量是否选择了最佳量程，当在最佳量程时才将数据送至显示器显示。在此状态最多可能需两次才能完成一次测量。

当锁定灯处于点亮状态时，仪器量程锁定于当前量程，此时，仪器测试速度为 5 次/秒，仪器不进行量程选择，可提高机内继电器使用寿命，降低仪器故障率。

使用锁定功能时应首先将测试元件中的一个插入测试夹具，待数据稳定后按锁定键，此时设定便完成了量程的锁定。

用显示键选择仪器的显示方式为直读、 $\Delta\%$ 百分比偏差或 CHECK 状态（用以检查拨盘开关设置数据）。

### 2.3.3 电平

使用者应根据被测件的测试标准或使用要求按电平键，选择 0.3V 或 1V 有效值的测试电平。

### 2.3.4 等效方式

在本仪器中，采用串联或并联两种等效方式输出测试结果。等效方式由等效键转换得到。在上述两种方式中，品质因数 Q 和损耗 D 是相同的。

实际电感、电容、电阻并非理想的纯电抗或电阻元件，而是以串联或并联形式呈现为一个复阻抗元件，本仪器根据串联或并联等效电路来计算其所需值，不同等效电路将得到不同的结果。其不同性取决于不同的元件。

一般地，对于低值阻抗元件（基本是高值电容和低值电感）使用串联等效电路，反之，对于高值阻抗元件（基本是低值电容和高值电感）使用并联等效电路。

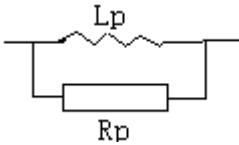
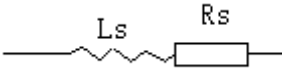
同时，也须根据元件的实际使用情况而决定其等效电路，如对电容器，用于电源滤波时使用串联等效电路，而用于 LC 振荡电路时使用并联等效电路。

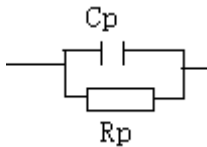
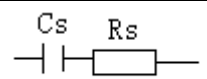
两种等效电路可通过一定的公式进行转换，而对于 Q 和 D 则无论何种方式均是相同的。

如下图所示：这里，s 为串联，p 为并联

$$Q=X_s/R_s, \quad D=R_s/X_s, \quad X_s=1/2\pi FC_s=2\pi FL_s$$

表 2—2 串并联电路型式转换表

电路形式	损耗 D	等效方式转换
	$D=2\pi FL_p/R_p=1/Q$	$L_s=L_p/(1+D^2)$ $R_s=R_p D^2/(1+D^2)$
	$D=R_s/2\pi FL_s=1/Q$	$L_p=L_s(1+D^2)$ $R_p=(1+D^2)R_s/D^2$

C		$D = 1/2\pi$ $FC_pR_p = 1/Q$	$C_s = C_p (1+D^2)$ $R_s = R_p D^2 / (1+D^2)$
		$D = 2\pi FC_sR_s$ $= 1/Q$	$C_p = C_s / (1+D^2)$ $R_p = R_s (1+D^2) / D^2$

### 2.4 清“0”功能（校准）

本仪器通过对存在于测试端的杂散电抗和引线电阻清除以提高系统测试精度，清“0”功能便是将这些参数测量出来，存储于仪器中，在测量时自动将其减掉，从而保证仪器的正确性。仪器对清零数据的存放具有掉电保护的功能。

仪器清“0”包括两种方式，短路清“0”，和开路清“0”。通过按清零键一次或两次来选择。

本仪器采用扫频方式进行清“0”，即可同时测试并存放各种频率、各种量程下的清“0”参数，则在一种频率下清“0”后转换至另一频率时无需重新清“0”。若使用电平或使用环境（湿度、温度、电磁场）变化很大时应重新清“0”。

为使仪器进行可靠的清“0”，请参照以下步骤：

#### 方法一、短路清零

1. 按清零键一次，仪器显示 A 显示“CLEAR”，显示器 B 显示“SH”；
2. 使用 TH26010 短路片或低阻导线将测试端可靠短路。
3. 按启动键，仪器进行短路清“0”，其后退出清“0”状态，返回测试状态。

#### 方法二、开路清零

1. 按清零键两次，仪器显示 A 显示“CLEAR”，显示器 B 显示“OP”；
2. 将仪器测试端可靠开路；
3. 再按启动键，仪器开路清“0”后退出清“0”状态，返回测试状态。

注：若测试端短路或开路不可靠，进行了清零后，可能由于清“0”参数的不准确而影响仪器的正常工作性能。

### 2.5 分选

在元器件生产和进货检验时，常常需对大量同规格的元器件进行测试，以判定该批次的质量情况。这种情况无需知道元件的具体数值，而仅需得知其参数是否存在于某一特定范围，即分选。对于仪器的要求便是能快速简便地获得所需结果。TH2810 系列测量仪提供了一档主参数分选和付参数合格分选的功能。在直读和百分比误差（Δ%）状态时，分选功能皆有效。

百分比误差Δ%状态，仪器根据面板拨盘上所设定的元器件标称值将测试结果计算成百分比误差显示，根据设定的各种极值进行分选并输出分选结果。

设标称值为 C，测量值为 Cx，则：

$$\Delta\% = [(C_x - C) / C] \times 100\%$$

#### 2.2.5.1 参数设定

概述：

表 2-3 参数设置换算

内容	参数	频率	数值换算
标称值	L	100、120Hz	$0.1 \times 2 \times 10^3 \mu H$
	C		$0.1 \times 2 \times 10^3 nF$

		1k、10kHz	$0.x_1x_2 \times 10^{x_3} \text{pF}$
	R/ Z		$0.x_1x_2 \times 10^{x_3} \Omega$
上下极限	上极限		$x_1x_2.x_3\%$
	下极限		$-x_1x_2.x_3\%$
付参数 Q/D	D	100、120Hz	$0.x_1x_2x_3$
		1K、10KHz	$0.0x_1x_2x_3$
	Q		$x_1x_2.x_3$

注：x1、x2、x3 分别对应拨盘开关的首位、中间位和末位。

例 1：拨盘开关数值如下，则所对应各参数值如表 2 - 4 所示

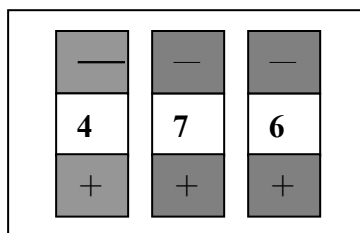


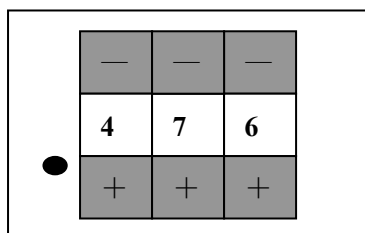
表 2 - 4 参数设置举例

内容	参数	频率	数值换算
标称值	L		$0.47 \times 10^{x_6} \mu\text{H} = 470\text{mH}$
	C	100、120Hz	$0.47 \times 10^{x_6} \text{nF} = 470\mu\text{F}$
		1K、10KHz	$0.47 \times 10^{x_6} \text{pF} = 0.47\mu\text{F}$
	R/ Z		$0.47 \times 10^{x_6} \Omega = 470\text{K}\Omega$
上下极限	上极限		47.6%
	下极限		-47.6%
付参数 Q/D	D	100、120Hz	<b>0.476</b>
		1K、10KHz	<b>0.0476</b>
	Q		47.6

例 2:若要对一批标称值为  $0.47\mu\text{F}$  的电容在  $10\text{KHz}$  频率下进行分选, 已知范围是  $-12.3\% \sim 45.6\%$ , 损耗极值 0.0680。则对应的拨盘开关数值如下:

a. 标称容量的设置方式为  $0.47\mu\text{F} = 0.47 \times 10^{x_6} \text{pF} (10\text{KHz})$  注

拨盘开关按至下述状态:

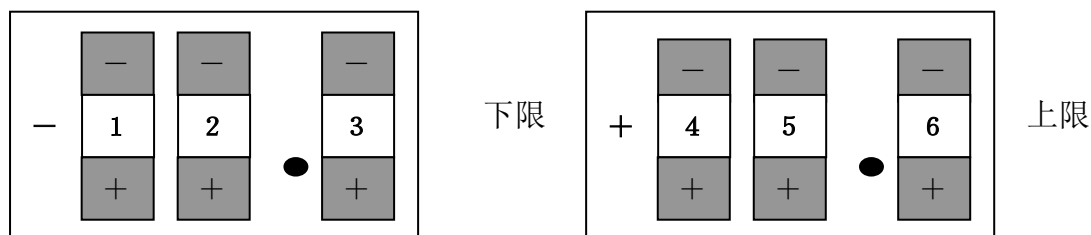


注：设定值应转化为小数两位有效数字和权位一位有效数字。

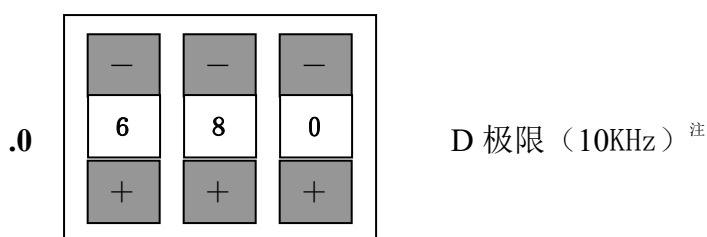
**b.百分比极值的设置**

百分比极值设置时，拨盘开关数据所表征的容量合格档极值为百分比，且上限默认为正值，下限默认为负值。

设置容量限-12.3%~45.6% 则



**c.设置损耗极值 0.0680 则**



注：在以上的电容量参数设置中，因低频(100、120Hz)与高频(1K、10KHz)所测试的容量范围和损耗范围有区别，一般低频情况下所测试电容的容量、损耗较大，高频反之，故标称值与损耗 D 极值的设置有区别，标称值相差 1000 倍，损耗 D 极值相差 10 倍。

**五、数据处理及误差分析**

## 实验二 电子计数器工作原理实验

### 一、实验目的

1. 通过实验，了解电子计数器的工作原理。
2. 熟悉电子计数器的基本组成电路。
3. 掌握数据处理及误差分析。

### 二、实验内容

利用通过计数器组成原理试验台，自行组合成自校、测频率、测周期、累加计数等电路，并检定 8112C 信号发生器输出频率、周期的误差。

### 三、理论概要

通用计数器是一种应用十分广泛的多功能计数器，它可以测频率、周期、时间间隔、频率比，还能进行累加计数、计时等。

通用计数器的基本工作原理如图所示：

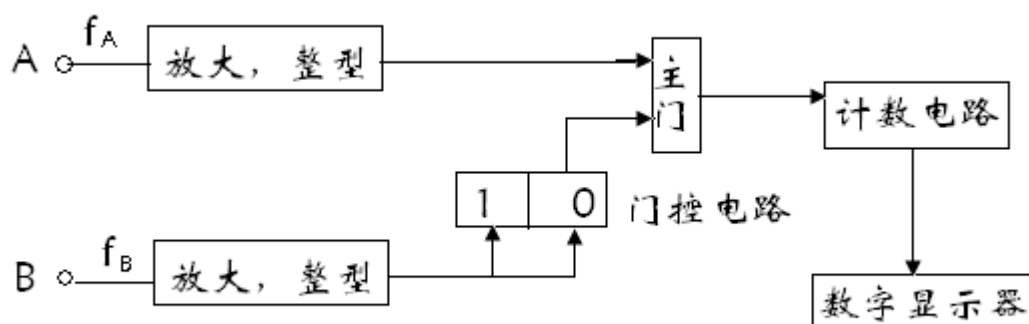


图 2.1 通用计数器原理

通用计数器的基本功能是利用计数电路进行累加计数。当在计数电路前增加一个门电路后，更能使计数值  $N$  与待测信号的频率或周期参数相联系。此时有：

$$N = \frac{T_B}{T_A} = F_A T_B = \frac{f_A}{f_B} \quad 2-1$$

式中  $T_A$ -A 通道输入信号的周期，

$$T_A = \frac{1}{f_A} \quad 2-2$$

$T_B$ -B 通道输入信号的周期，

$$T_B = \frac{1}{f_B} \quad 2-3$$

只要 A、B 两个通道输入的信号总有一个是频率（或周期）标准已知的信号、且满足  $f_A \geq T_B$ ，则可以求出另一个信号的频率或周期以及两信号之间的时间间隔、频率比等多种参量。图 2.2 出示了通用计数器组成原理图试验台的方框图

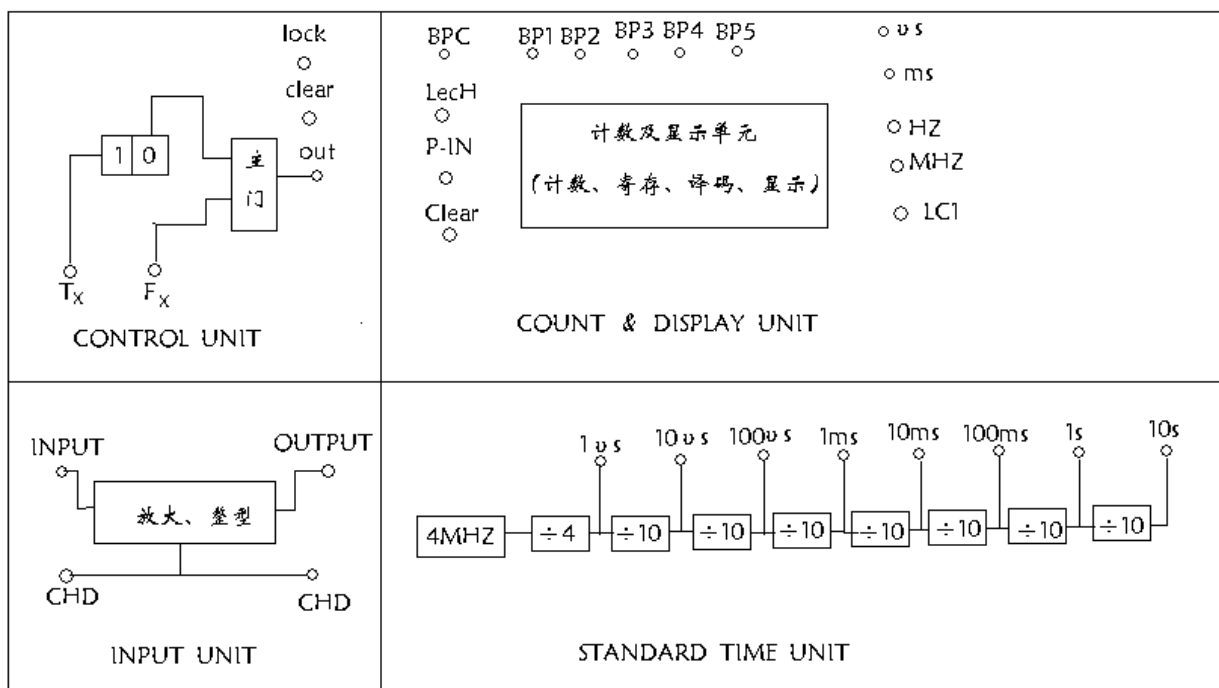


图 2.2 通用计数器组成原理图试验台的方框图

图中，计数器主要包括以下四个部分：

(1) 输入通道 (INPUT UNIT) :

通用计数器一般有 A、B 两个输入通道。A 通道称为主通道，B 通道称为辅助通道（只在测周期或频率比时才能）。它们的作用都是将各自输入的信号经放大、整形后，变抱为后级电路所需的控制信号。经 A 通道变换后的信号成为计数脉冲；经 B 通道变换后的信号为外控制闸门时间信号。

(2) 控制电器 (CONTROL UNIT) :

用来控制整机按规定自动完成测量任务。包括门控双稳电路、显示时间控制电路、寄存、闭锁、复零脉冲产生电路等。

(3) 时基电路 (STANDARD TIME UNIT) :

时基电路是用来提供标准时间信号及标准频率信号。包括晶体振荡器、倍频器、分频器、时标选择电路及闸门时间选择（兼作周期倍乘选择）电路等。

(4) 计数及显示电路 (COUNT&DISPLAY UNIT) :

这是通用计数器的基本功能电路。包括十进计数器、寄存器、译码器和数字显示器等。

1. 通用计数器测量各种参数的工作原理

(1) 自校

自校的工作原理如图 (2.3) 所示，由于自校时，计数器 A 通道的输入信号与闸门控制信号 T 均来自同一晶体振荡器，因此，利用自校可以检查整机逻辑功能是否正常。

正常情况下，自校时，应在显示器上得到表 (一) 所示的稳定读数。

(2) 测频率

图 (2.4) 是通用计数器测频率的原理图

测频率时，待测信号 A 通道输入。闸门时间 T（晶体振荡器经多次分频产生）的控制，并通过“闸门选择”开关进行选择。闸门时间一般设置有 1ms、10ms、0.1s、1s 及 10s 五种。待测频率为

$$f_z = \frac{N}{T} = N \times 10^n \text{ Hz} (n = -3, -2, -1, 0, 1) \quad 2-4$$

表 (一)

显示时间标	闸门时间 (KHZ)	10ms	100ms	1s	10s
1μs		010000	100000	000000	000000
10μs		001000	010000	100000	000000
100μs		000100	001000	010000	100000
1ms		000010	000100	001000	010000

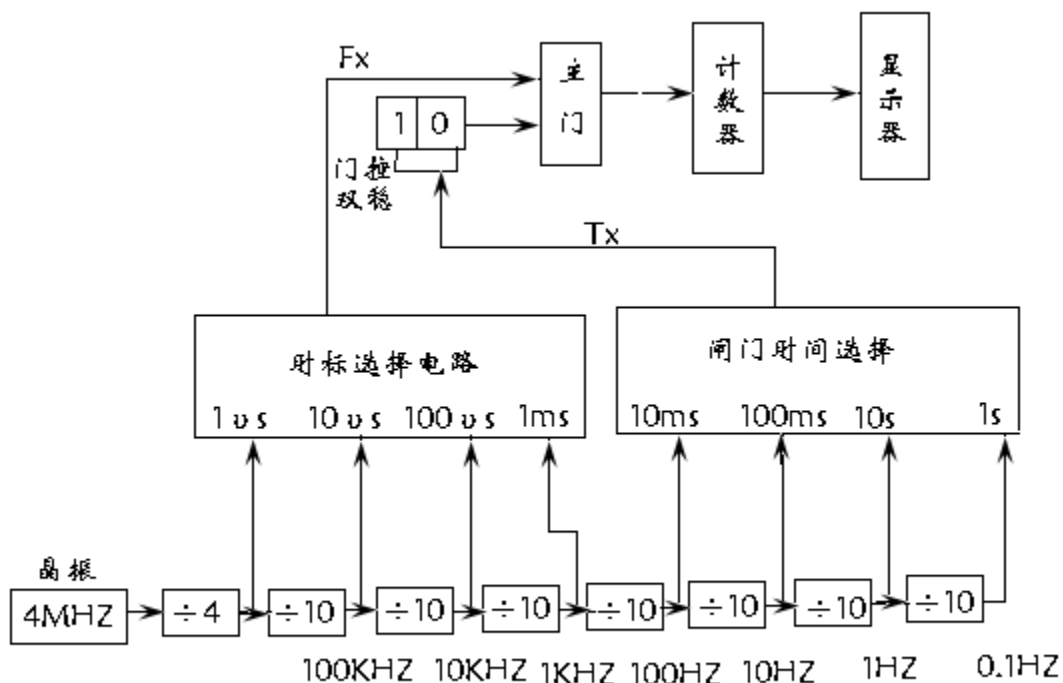


图 2.3 通用计数器自校原理

(3) 测周期

图 (2.5) 示出了通用计数器测量周期原理图、

测周期时，周期为  $T_x$  的待测信号有 B 通道输入，作为闸门控制信号。A 通道接内置时标信号  $T_s$ 。如待测周期短，为提高测量精度，可采用多周期平均测量法，即将待测信号的周期  $T_x$  经倍乘  $10^n$  ( $n$  为正整数) 后，再作为闸门控制信号，此时有：

$$T_x = \frac{NT_s}{10^n} \quad 2-5$$

通用计数器测周期用的周期倍乘器，实际上是一系列的分频器。“周期倍乘”选择开关，与测频率时用的“闸门选择”开关是合用的。一般设有 1、10、 $10^2$ 、 $10^3$ 、 $10^4$  五档。

时标信号是内附晶体振荡器经倍频及分频提供的，一般 0us、1us、10us、100us、1ms 等几种。

(4) 累加计数

累加计数的工作原理如(2.6)图所示。累加计数是手动的方法控制门控双稳电路在一定时间内翻转的，待测信号经 A 通道输入，显示器上的读数即等于待计数信号的脉冲个数  $N_z$ 。

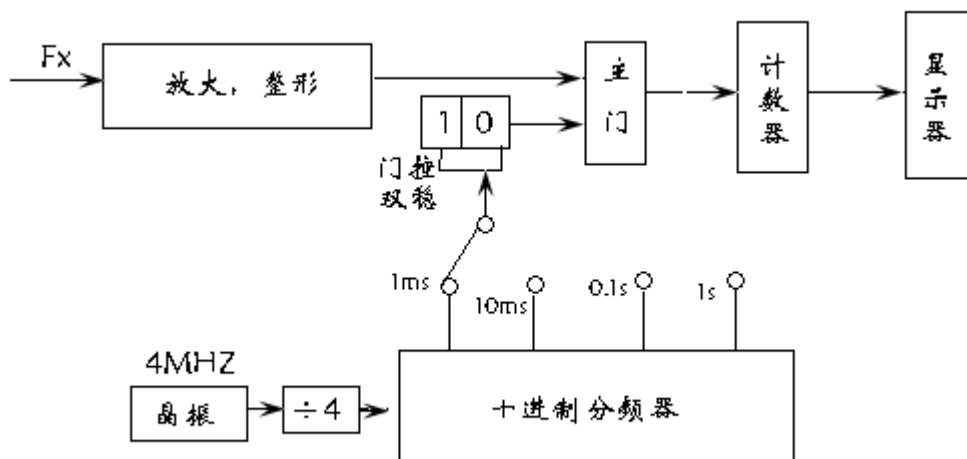


图 2.4 计数器测频率原理

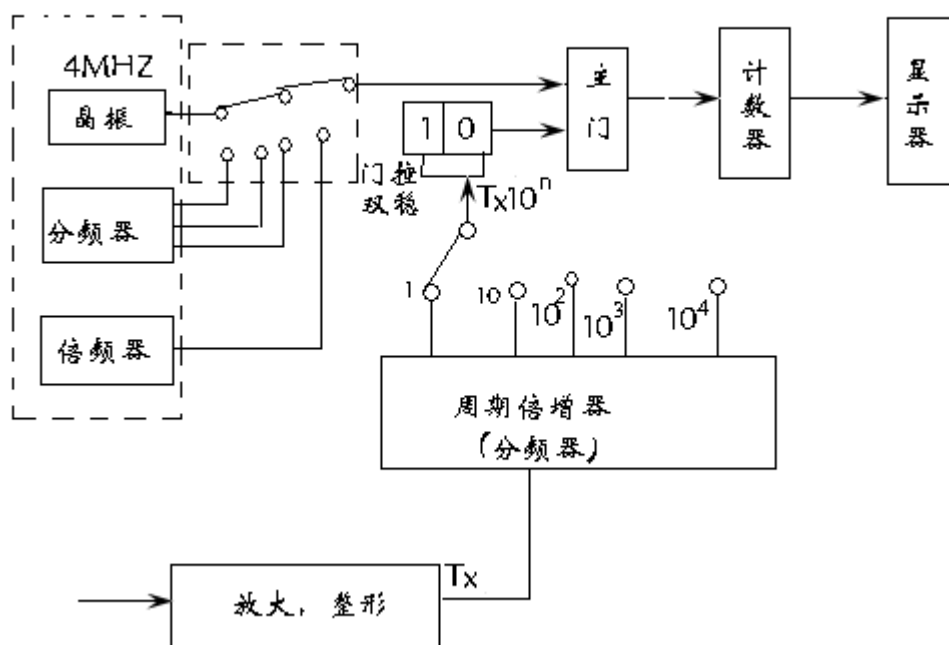


图 2.5 计数器测周期原理

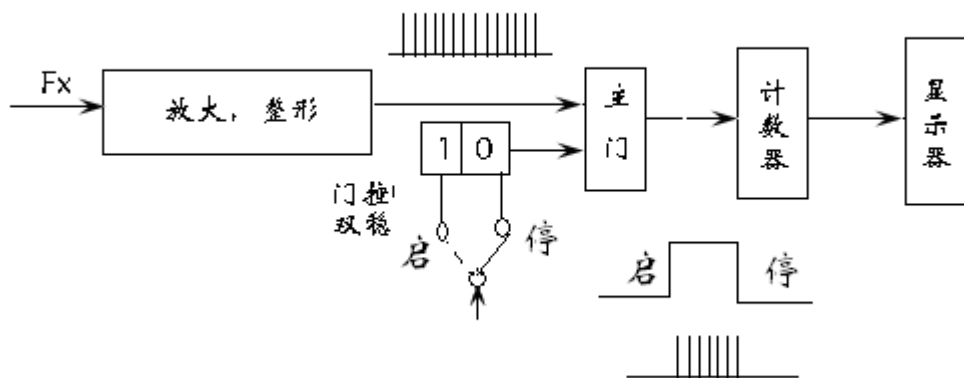


图 2.6 计数器中累加计数原理

#### 四、 实验设备

名称	规格	数量
低频信号发生器	8112C	1 台
通用计数器组成原理试验台		1 台
导线若干		

#### 五、 实验方法及步骤

##### 1、 自校

- (1) 将控制电路中 LOCK、Clear、OUT 三点用导线分别接至计数及显示电路中的 LOCK、Clear、P-IN 三点上、
- (2) Fx 取值: 1us、10us、100us、1Ms; Tx 取值: 10Ms、100Ms、1s、10s, 当闸门指示灯 15 由暗变亮, 再由亮变暗时, 记下显示器上显示的数值, 并填入 (1) 中。

表 (1)

表 1

显示 ( HZ ) 时 标	闸门时间			
	1u s	10u s	100u s	1ms
10ms				
100ms				
1s				
10s				

##### 2、 测频率:

- (1) 同学自己在计数器组成原理试验台上搭出测频率电路。

连线方法: 将试验台上控制电路中的 LOCK、Clear、OUT 三个输出信号用导线分别接至计数及显示电路中 LOCK、Clear、P-IN 三点上; Tx 可任取 10Ms、100Ms、1s、10s 中的一个作为闸门时间。输

入通道中的输出端 (OUTPUT) 接  $F_x$ 。计数及显示电路中 LCI 单位选择点, 用导线接至 HZ 点或 KHZ 点, 当接 HZ 点时, HZ 指示灯亮表示显示器上所显的数值是以 HZ 为单位的; 当接 KHZ 指示灯亮表示显示器上所显的数值是以 KHZ 为单位的。DPC 点为小数点的点, 用导线依次连接 DP1~DP5, 那么显示器上数码管的小数点从左到右依次对应点亮。如何选择单位和点亮小数点的位置, 可根据所取闸门时间 ( $T_x$ ) 的大小来确定。

- (2) 将一台待测低频信号发生器 (8112C), 接通电源, 按下方波按钮使输出为一脉冲波, 把输出探头线接如计数器组成原理试验台输入通道的输入端。在 0HZ-1MHZ 的频率范围内, 信号发生器输出 10 个频率, 将试验台上测得的频率值填入标 (2) 中, 测量结果要求保留最多的有效位。

表 2

标称频率 $F_0$	闸门时间	小数点位数	显示结果 $F_x$	相对误差
20HZ				
500HZ				
100HZ				
300HZ				
1K				
40KHZ				
100KHZ				
150KHZ				
180KHZ				
1MHZ				

### 3、测周期:

- (1) 同学自己在计数器组成原理试验台上的搭出测周期电路。

连线方法: 将控制电路中 LOCK、Clear、OUT 三个信号分别接至计数显示电路 LOCK、Clear、P-IN 三点上;  $T_x$  接至输入通道的输出 (OUTPUT) 端;  $F_x$  可任取 1us、10us、100us、1Ms 中的一个数。LCI 成为取时间单位的点, 它可接或 Ms, 若 S 指示灯亮此时显示的时间是以 S 为单位, 若 MS 指示灯亮此时显示时间是以 MS 为单位。DPC 仍是取小数点的点。选择时间单位和小数点的位置, 可根据  $F_x$  的取值来确定, 时基电路中 J3 插针的跳子是插在 1、2 脚。以上完成后就搭好了通用测周期电路。

在频率为 0HZ~10KHZ 范围内, 测频率为 50HZ、100HZ、1KHZ、5KHZ 信号的周期, 由低频信号发生器输出并接入通道输入端,  $F_x$  分别取 1us、10us、100us、1Ms。测出这 4 个信号周期值填入表 (3), 并计算所测信号周期的相对误差。

表 3

标准频率	标准周期	时标	测量周期	相对误差
50HZ				
100HZ				
1KHZ				
5KHZ				

- (2) 测频率为 10KHZ~1MHZ 范围内信号的周期, 要采用多周期测量法; 把时基电路中 J3 插针

的跳子插到 2、3 脚，再将通道输出端 (OUTPUT) 接至时基电路中 J3 跳针上方的 Tx 点，Tx 可任取 10Ms、100Ms、1s、10s 中的一个作为周期倍乘输出，Fx 分别取 1us、10us、100us、1Ms。测频率为 20KHZ、50KHZ、100KHZ、150KHZ 信号的周期，由低频信号发生器输出并接入通道输入端，将测信号的周期值填入表 (4)，并算出各周期的相对误差。

表 4

标准频率	标准周期	倍乘率	时标	测量周期	相对误差
20KHZ					
50KHZ					
100KHZ					
150KHZ					

## 六、思考题

对于低频率的周期信号，采用测周期或测频率方法，哪种方法精度高？为什么？如果是高频信号，应采用哪种方法测量精度高。低频、高频分界的依据是什么？

## 实验三 电压测量实验

### 一、 实验目的

- 1、分析几种典型电压波形对不同检波特性电压表的影响。
- 2、熟悉交流毫伏表和超高频毫伏表的频率响应特性。

### 二、 理论概要

一个交流电压的大小，可以用峰值、平均值、有效值以及波形因数，波峰因数等来表征，若被测电压的瞬时值为  $u(t)$ ，则全波平均值为：

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad 3-1$$

有效值：

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad 3-2$$

波形因数为：

$$K_F = \frac{U}{\bar{U}} \quad 3-3$$

波峰因数为：

$$K_P = \frac{\hat{U}}{U} \quad 3-4$$

表（1）示出了。几种典型波形交流电压的上述几种参数

表 1 几种典型波形交流电压的参数

电压波形	U	U	U	KF	KP	备注
正弦波	A	$A/\sqrt{2} \approx 0.707A$	$2A/\pi \approx 0.637A$	1.11	1.414	$U_0=0$
全波整流后的正弦波	A	$A/\sqrt{2} \approx 0.707A$	$2A/\pi \approx 0.637A$	1.11	1.414	未隔去直流成分
三角波	A	$A/\sqrt{3} \approx 0.577A$	$A/2=0.5A$	1.15	1.732	$U_0=0$
锯齿波	A	$A/\sqrt{3} \approx 0.577A$	$A/2=0.5A$	1.15	1.732	$U_0=0$
方波	A	A	A	1	1	$U_0=0$

用来测量电压的电压表中的检波器有多种形式，但无论是哪一种类型检波的电压表，一般都按正弦波有效值进行刻度。因此，当被测电压为非正弦波时，将会带来额外的附加误差，这一现象又称波形响应。

表（2）为检波器的波形响应

表 2 检波器的波形响应

项目	峰值检波	有效值检波	全波均值检波
读数 a 的含义	$a = \frac{U}{K_{PS}} = \frac{U}{\sqrt{2}}$	$a = U$	$a = K_{FS}U = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}U$
被测电压值			
$\hat{U}$	$K_{PS}a = \sqrt{2}a$	$K_P a$	$\frac{K_P K_F}{K_{FS}} a = K_P K_F \frac{2\sqrt{2}}{\pi} a$
U	$\frac{K_{PS}}{K_P} a \approx \frac{\sqrt{2}}{K_P} a$	a	$\frac{K_F}{K_{FS}} a = K_F \frac{2\sqrt{2}}{\pi} a$
$\bar{U}$	$\frac{K_{FS}}{K_F K_P} a \approx \frac{\sqrt{2}}{K_P K_F} a$	$\frac{K_P}{K_F} a$	$\frac{1}{K_{FS}} a = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} a$
波形误差			
测失真下正弦波	$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{MAX} = \gamma\%$	$\frac{\Delta U}{U} = 1 + \gamma^2 - 1$ 当 $\gamma < 10\%, \frac{\Delta U}{U} \approx \frac{1}{2}\gamma^2$	$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{MAX} = \frac{\gamma}{i}$ 奇次谐波为主, 可取 i=3
测非正弦电压	$\frac{\Delta U}{U} = 1 - \frac{K_{PS}}{K_P} = 1 - K \frac{\sqrt{2}}{K_P}$	与待测电压波峰因数及仪器带宽有关	$\frac{\Delta U}{U} = 1 - \frac{K_F}{K_{FS}} = 1 - K_F \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$

注：(1) 波形误差是指直接把电压表读数视为待测电压的有效值时，与该电压理论上和有效值之间的相对误差。

(2)  $\gamma$  为失真度。当待测电压中只有某一项高次谐波为主（对奇次谐波，谐波次数 i 为 3；对偶次谐波，i 为 2）时， $\gamma$  为该谐波电压与基波电压之比；

对于不响应的电压表，在测量正弦波、方波、三角波电压时，除有效值电压表，它们本身并不反映在任意波形被测电压的有效值，因此，如何利用不同检波特性电压表的读数，正确求出均值、有效值和峰值。是一个十分值得注意的问题。

根据理论分析，不同波形的电压加至不同检波特性的电压表，再由电压表读数确定被测电压的，一般都根据表（3）的关系计算。

表 3

全波均值电压表				
波形	读数	峰值	有效值	平均值
正弦波	$A_1$	$\sqrt{2}A_1$	$A_1$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} A_1$
方波	$A_2$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} A_2$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} A_2$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} A_2$

三角波	$A_3$	$\frac{4\sqrt{2}}{\pi} A_3$	$\frac{4\sqrt{2}}{\sqrt{3}\pi} A_3$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} A_3$
有效值电压表				
正弦波	$A_1$	$\sqrt{2}A_1$	$A_1$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} A_1$
方波	$A_2$	$A_2$	$A_2$	$A_2$
三角波	$A_3$	$\sqrt{3}A_3$	$A_3$	$\frac{\sqrt{3}}{2} A_3$
峰值电压表				
正弦波	$A_1$	$\sqrt{2}A_1$	$A_1$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} A_1$
方波	$A_2$	$\sqrt{2}A_2$	$\sqrt{2}A_2$	$\sqrt{2}A_2$
三角波	$A_3$	$\sqrt{2}A_3$	$(\sqrt{2}/\sqrt{3})A_3$	$A_3/\sqrt{2}$

### 三、 实验方法和步骤

被测电压波形对测量结果的影响

- (1) 接通信号 8112C 电源，将其输出频率调到 500KHZ，按下正弦按钮，用示波器 VB4324 观察其波形，调节输出幅度，使，用 SX2172、DA22B、DA30A 分别测量其输出，并记下读数填入表（一）。
- (2) 按下方波按钮，用 VB4324 观察其波形，调节输出幅度使，用 SX2172、DA22B、DA30A 分别测量其输出，记下读数填入表（一）。
- (3) 按下三角波按钮，重复以上过程。
- (4) 计算表中列出的电压值。

表（一）

电压表 类型	平均值检波 SX2172			有效值检波 DA30A			峰值检波 DA22B		
	正弦波	方波	三角波	正弦波	方波	三角波	正弦波	方波	三角波
波形									

#### 四、 实验设备

名称	规格	数量
交流毫伏表	SX2172	1 台
有效值电压表	DA30A	1 台
超高频毫伏表	DA22B	1 台
函数发生器	8112C	1 台
双踪示波器	YB4324	1 台
高频信号发生器	XFG-7	1 台

#### 五、 思考题

- 1、 根据哪些参数选用电压表？
- 2、 正确使用电压表必须注意哪些问题？

## 实验四 示波器的原理和应用及测绘

### 一、实验课程目的与基本要求

本实验课的目的是使学生在测绘示波器线路时掌握示波器电子电路中基本单元电路的构成原理，基本性能的测量和调试技术。基本要求如下：

- 1、掌握示波器的使用方法和基本的测量及调试技术。
- 2、了解基本的元器件：如二极管、三极管、集成运放及基本数字部件的性能及应用。
- 3、掌握示波器基本放大电路、负反馈电路、低频功放、RC 正弦振荡、差动放大器、集成运放应用电路、稳压电源、门电路、简单组合逻辑电路、加法器、触发器、计数器及译码/显示器等常用基本电路的调整及主要性能的测量。
- 4、绘制电子示波器各基本单元电子电路。

### 二、本实验课程与相关课程关系

综合性实验是培养学生综合运用所学理论知识的能力和解决复杂问题的能力。本实验课综合了《电工基础》、《模拟电子电路》、《数字电子电路》、《电子线路 CAD》等课程的内容。

综合性实验是在验证性实验的基础上进行的综合性训练。实验内容侧重综合应用知识。本实验所安排的综合性实验一般是给出实验任务和设计要求，学生通过绘制电子示波器各基本单元电子电路、电路安装调试和指标测试、撰写报告等过程，提高电路知识水平和实验技能，提高综合运用所学知识，解决实际问题的能力。

### 三、实验原理

#### 1. 示波器的构造

一般示波器主要由 Y 轴偏转系统、X 轴偏转系统、显示系统和供电电源系统四部分组成。Y 轴偏转系统包括 Y 放大器，用于放大被观测信号以控制电子束的垂直偏转；X 轴偏转系统包括触发电路、同步电路、扫描电路和 X 放大电路，用于产生稳定的线性扫描信号或放大外接待测信号，以控制电子束的水平偏转；显示系统包括电子束形成和控制电路及荧光屏，用于显示图形。

示波管是示波器中的显示部件，在一个抽成真空的玻璃泡中，装中各种电极，其内部结构包括电子枪、偏转板及荧光屏三个主要部分。

其中电子枪用以产生定向运动的高速电子。它包括三个电极：①热阴极 K。这是一个罩在灯丝外面的小金属圆筒。其端头涂有氧化物，当灯丝中通以电流而使阴极受热时，阴极就会发射电子，并形成电子流，阴极射线的名称由此而来。②控制栅极 G。这是一个端头开有小孔的金属圆筒，套于阴极外面，电子可以从小孔通过，由于工作时栅极的电位比阴极低，故可控制通过小孔的电子数目。也就是说，调节栅极电位，就可以控制到达荧光屏的电子流强度，使荧光屏光点的亮度（也称辉度）发生变化，这称为辉度调节。③阳极 A。这也是由小孔的圆筒所组成，阳极电压（对阴极而言）约 1000~2000V，可使电子流

得到很高的速度，而且阳极区域的电场还能将由栅极过来的散开的电子流聚焦成一窄细的电子束。通过改变阳极电压的大小来调节电子束聚焦程度，即荧光屏上光点的大小，这称为聚焦调节。（用于调聚焦，是用于改善因调节对其它参数带来影响的前置加速极）。

偏转板包括垂直偏转板和水平偏转板。光点偏转距离的大小与加在偏转板上的偏转电压成正比。

荧光屏阴极射线前端的玻璃壁，其内壁涂的发光物质，当它受到具有足够能量的电子轰击时，会发出可见光。在电子轰击停止后，发光仍能持续一段时间，这段时间称迷余辉，余辉的长短取决于发光物质的成分。一般示波管分为长余辉、短余辉和中余辉三类，而我们较常使用发绿光的中余辉管。在荧光屏上，电子束的动能不仅转换成光能，同时还转换成热能。因此，若电子束长时间地轰击屏幕上某一点或电子流密度过大，就可能把被轰击点的发光物质烧毁，从而形成暗斑，故在操作时应予注意。

## 2. 示波器的工作原理

示波器是采用静电偏转的方式工作的。从电偏转的规律可知，荧光屏上光点的位移方向和大小正比于加在偏转板上的电压的大小。若在垂直偏转板（以下简称Y轴）上加一个交流电压信号，则电子束随信号在垂直方向和大小正比于加在偏转板上的电压的大小。把两个信号分别加在X、Y轴上，则电子束在这两个信号电压的共同作用下，合运动形成一个二量相关的函数图形。如果二量变化频率相同（或成简单整数比）、位相差恒定，则会得到稳定的图形。这正是示波器显示任何二量的函数曲线的原理。

若运用示波器观波形时，常把被研究信号电压加到Y轴输入端。为了使波形展开，在X轴加上“扫描电压”。电子束在X、Y轴电压的合作用下偏转运行。与上述二量函数图线不同的是，“扫描电压”是随时间线性变化的周期性电压，称为锯齿波电压。电子束在其作用下，就会依时间线性地自左至右移动，信号就会被展开（称为扫描正程），致电端点以后，又立即返回原位置（称为扫描逆程或回扫程）。然后又进行下一个周期的扫描。这样，荧光屏上的光点除沿Y轴方向运动外，还沿X轴方向被扫描，调整扫描周期为信号周期的几倍。则屏上将看到几个周期的、稳定的信号图形。

如果X、Y轴信号周期比，则第二次扫描的曲线与第一次扫描的轨迹不能重合，荧光屏上将看到不稳定甚至紊乱的图象。

为了方便观测波形，在各类示波器的X轴系统都设有锯齿波发生器，产生一定频率范围的、线性良好的扫描波，供观测波形调节作用。

为了观察稳定的波形，即满足的条件，常用同步控制。一般是设法引入另一个幅度可以调节的电压，以控制扫描电压的频率，从而满足上述条件，这就是同步作用（或称同步作用），所引入的电压称作同步电压。同步电压可以取自被测信号（称内同步）或电源电压（称电源同步），也可将另一外加信号由“同步输入”接线柱接入（称为外同步），总之，视需要而定。一般情况下，常使用“内同步”。同步电压不可过大，否则尽管图形的稳定的，但不能获得被测信号的完整波形。因同步起作用的极性不同，又有正、负之分。

为适于观测单一脉冲或周期长的窄脉冲信号，常采用触发扫描方式，即有触发信号作用，就扫描，否则扫描不工作。与同步信号类似，触发信号也有内、外、正、负之分。

为将两波形进行研究，在单枪示波管的条件下，制成由电子开关控制Y放大器从而使屏上能显示两个信号的示波器—双踪示波器。电子开关具有两种工作方式：一种同步转换，每次回扫期间转换因而可以交替显示两个完整的信号波形；另一种是断续转换，由电子开关自激振荡器转换，看到的将是断续的图形。两种方式，供适当选用。前者适用于观察几十以上的信号，后者适用于以下的信号观测。

如有两个不同频率的正弦电压分别从示波器的X和Y轴输入，则在示波器上所观察到的将是怎样的一个合成图形呢？由振动理论知，当正交的二正弦振动满足周期相同（或成简单整数比）且相位差恒定时，则合成为李萨如图形。由于李萨如图形与这两个正弦电压的频率比值有关，因此示波法常用标准信号与待测信号合成李萨如图形来测定未知频率和相位，这种测量方法的精确程度取决于用作标准信号的精确度。一般李萨如图形只适用于测量频率稳定较高的低频信号。

## 四、实验步骤

1、熟悉面板控制器各旋钮的功能和调节方法

2、观察波形

(1) 从正弦波、方波、锯齿波等信号发生器发出的不同波形、不同频率的信号分别接入示波器，观察各种波形。

(2) 列表记录两种频率所对应的波形及示波器各钮的位置。

3、电压测量

(1) 直流电压测量

①选择开关置档，先将输入与短路。调节移位，使水平亮线与某一刻度线重合（此时该线作为参考电平的基线）。一旦确定参考电平线，在本次测量中“移位”就不可以再有，否则读数不准。

②将一节电池的正、负极分别连接到输入和，而旋至合适的档，只要测得亮线距基线的距离，就可根据距离乘偏转因数，计算出所测的直流电压。

(2) 交流电压的测量。输入某一交流信号，从屏上读出数值。

4、综合测量练习

(1) 选择为市电频率的整数倍频率，分别将其输入通道，利用双踪显示，准确调节使其频率比为整数倍。

(2) 利用工作方式，将上述两个信号进行图形合成，测出它们的频率比。并将上述两种方式测量进行一下比较。

5、分别选择合适的值，利用双踪显示，观测电路的移相和微分情况，并将A点和B点的图形描绘出来，记录示波器各主要旋钮的位置。

6、利用工作方式，观看二极管的伏安特性曲线。

7、绘制电子示波器各基本单元电子电路。并运用电子线路CAD画出电子电路。

## 五、实验要求

1. 推导 X、Y 偏转板加了简单波形后，显示图像的函数表达式。

2. 绘制示波器 X 通道、Y 通道的组成框图及各部分作用。并能正确画出框图中各点的波形。

3. 绘制电子示波器各基本单元电子电路。

## 六、实验习题

1. 示波器的主要作用是\_\_\_\_\_。

2. 测频时，被测信号频率越低，则测量误差越\_\_\_\_\_。

3. 测量信号的频谱用\_\_\_\_\_。

4. 8 位 A/D 转换， $V_{REF}=5.000\text{V}$ ， $V_X=5.000\text{V}$ ，则转换结果是\_\_\_\_\_。

5. 双踪示波器可以“同时”观察\_\_\_\_\_路信号。

6. 示波器扫描发生器输出的波形是\_\_\_\_\_波。

7. 在测周中，主门由\_\_\_\_\_信号控制。

## 七、实验仪器及器材

示波器、低频信号发生器、电阻箱、电容箱等。

## 实验五 铂热电阻特性的测试

### 一、实验目的

测绘铂热电阻的电阻值随温度变化的函数关系。

了解铂热电阻的测温原理。

### 二、实验原理

铂的物理、化学性能非常稳定，尤其是抗氧化能力很强，并且在很宽的温度范围内（1200℃以内）均可保持上述特性。电阻率较高，易于提纯，复制性好，易加工，可以制成极细的铂丝或极薄的铂箔。

铂热电阻：是将直径为 0.03~0.07mm 的铂丝绕在线圈骨架上，然后装入玻璃或陶瓷管等保护管内，就构成了铂热电阻。

铂热电阻的电阻温度系数分散性小，精度高，灵敏度也比较高，用它制作的温度差计性能优良，但考虑温度重现性适宜 1000℃ 时以内温度测量。

铂的纯度常常以 R100/R0 来表示，R100 表示 100℃ 时铂热电阻的阻值，R0 表示 0℃ 时铂热电阻的阻值，一般工业上常用的铂电阻，其 R100/R0=1.391，标准的电阻的该比值为 1.3925。

#### 1. 标准铂热电阻

标准铂热电阻是国际实用温标（IPTSS-68）中，规定在 -1℃~295.34~630.74℃ 范围内的温标标准仪器。铂热电阻与温度之间的关系近似线性关系。

在 -200℃ ≤ t ≤ 0℃ 时可用下式：

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3]$$

在 0℃ ≤ t ≤ 650℃ 时可用下式：

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

式中：R<sub>t</sub>——温度为 t℃ 时铂热电阻的电阻值。

R<sub>0</sub>——温度为 0℃ 时铂热电阻的电阻值。

A、B、C——由实验确定的常数，他的数值分别为：

#### 2. 工业铂热电阻

铂热电阻的使用温度范围是 -200~+850℃

当温度 t 为：-200℃ ≤ t ≤ 0℃ 时

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3]$$

当温度 t 为：0℃ ≤ t ≤ 850℃ 时

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

式中：R<sub>0</sub>——0℃ 时的电阻值（欧姆）

R<sub>t</sub>——温度 t℃ 的电阻值（欧姆）

其常数 A、B、C 分别为：

目前，我国标准化铂热电阻按分度号有 BA1，BA2，相应地可记为 Pt50, Pt100，其 R<sub>0</sub> 分别为 50 欧姆，100 欧姆（原国标中分度号为 BA1, BA2 其 R<sub>0</sub> 分别为 46 欧姆，100 欧姆）。

铂热电阻的允许误差为：

A 级：± (0.15 + 0.002 | t | ) °C

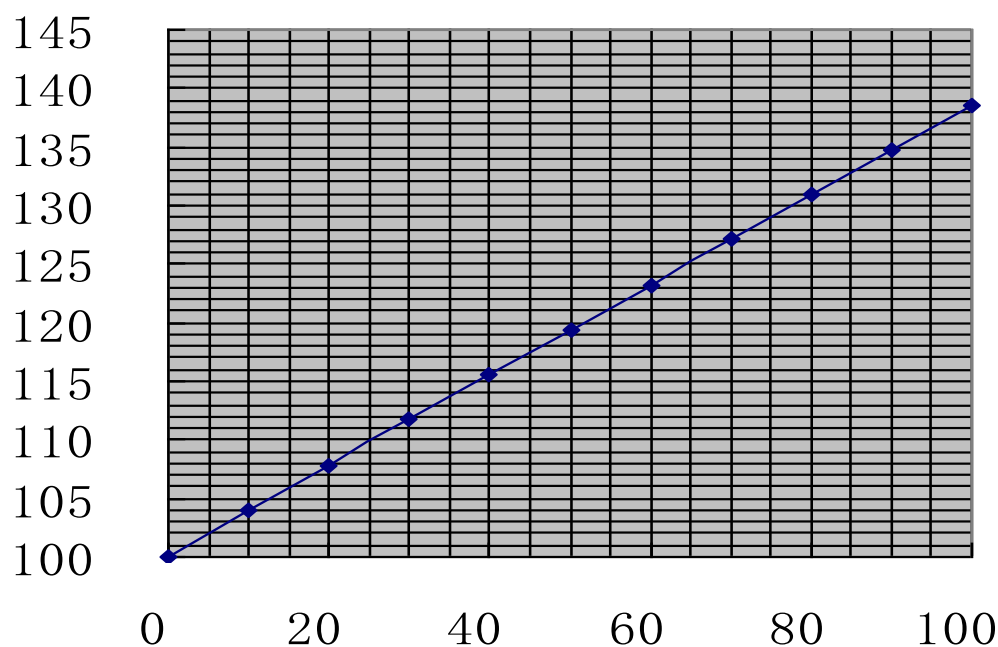
B 级：± (0.3 + 0.005 | t | ) °C

下面列出的铂热电阻在 0℃~100℃时的电阻值：

表（I）

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0℃	100.0	100.4	100.8	101.2	101.6	102.0	102.3	102.7	103.1	103.5
10	103.9	104.3	104.7	105.1	105.5	105.8	106.2	106.6	107.0	107.4
20	107.8	108.2	108.6	109.0	109.3	109.7	110.1	110.5	110.9	111.3
30	111.7	112.1	112.4	112.8	113.2	113.6	114.0	114.4	114.8	115.2
40	115.5	115.9	116.3	116.7	117.1	117.5	117.9	118.2	118.6	119.0
50	119.4	119.8	120.2	120.5	120.9	121.3	121.7	122.1	122.5	122.9
60	123.2	123.6	124.0	124.4	124.8	125.2	125.5	125.9	126.3	126.7
70	127.1	127.5	127.8	128.2	128.6	129.0	129.4	129.7	130.1	130.5
80	130.9	131.3	131.7	132.0	132.4	132.8	133.2	133.6	133.9	134.3
90	134.7	135.1	135.5	135.8	136.2	136.6	137.0	137.4	137.7	138.1
100	138.5									

根据上述数据可绘出铂热电阻的 R—t 曲线图：（0~100℃）



### 三、 实验仪器元件

滴定台	一套
电炉	一只
铂热电阻 (pt-100)	一只
温度计 (100℃)	一只
烧杯	一只

### 四、 实验步骤

将电炉放在铁架的铁台上，把烧杯注满 3/4 的水放在电炉上，再将铁架上的铁夹夹紧铂热电阻调整十字夹使铂热电阻插入水中（在水面与杯底中间位置），将温度计夹在带有橡皮套管的蝴蝶夹上，并插入水中（尽量靠近铂热电阻），然后给水加热，同时不停搅拌水，使水温均匀，水银温度计表示水每升高 3 度，

便测一次铂热电阻的阻值填入表（II）（从常温开始计数到水沸至）并绘出铂热电阻的 R-t 曲线图。

表（II）

温度℃	实测电阻	理论电阻	误差	温度℃	实测电阻	理论电阻	误差
0				30			
3				33			
6				36			
9				39			
12				42			
15				45			
18				48			
温度℃	实测电阻	理论电阻	误差	温度℃	实测电阻	理论电阻	误差
21				51			
24				54			
27				57			
60				84			
63				87			
66				90			
69				93			
72				86			
75				99			
78				100			
81							

### 五、 实验要求

- (1) 绘表列出实验数据。
- (2) 在坐标纸上画出理论和实验得出铂热电阻的 R-t 曲线。

### 六、 实验习题

- (1) 铂热电阻的主要特性有哪些？这主要应用在哪些范围的测温？
- (2) 用铂热电阻测温时为了防止引线电阻的影响，一般采用什么方法消除？

### 七、 实验注意事项

- (1) 用数字完用表测电阻前，应先选择正确的量程，然后把两根测试笔短路，表显示的零点误差，在以后测量中应考虑表的零点误差。
- (2) 在整个测量过程中，应不停地搅拌烧杯中的水，以使之处于温度平衡状态。
- (3) 做完实验后，不要把装着热水烧杯放在铺着橡皮面的实验桌上。

## 实验六 金属箔式应变片传感器实验

### 一. 实验目的

1. 了解金属箔式应变片的应变效应，单臂、半桥、全桥电桥工作原理。
2. 比较单臂、半桥、全桥的性能及相互间的关系，并得出相应结论。

### 二. 实验原理

#### 1. 应变片电阻—应变特性

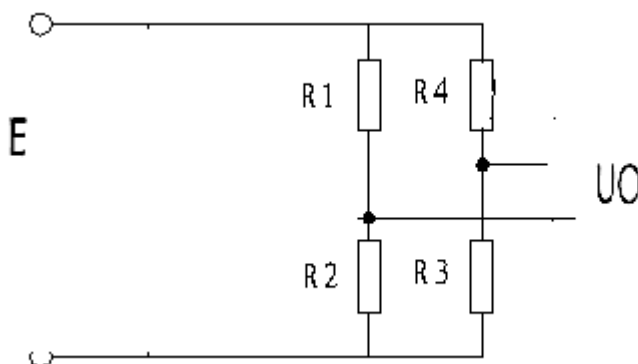
电阻丝在外力作用下发生机械变形时，其电阻值发生变化，这就是电阻的应变效应，描述电阻应变效应的关系式为：

$$\Delta R/R = K\varepsilon$$

式中 $\Delta R/R$ 为电阻丝电阻相对变化， $K$ 为灵敏度， $\varepsilon = \Delta L/L$ 为电阻丝长度相对变化，即应变。金属箔式应变片是一种通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件，使用时，需要把它牢固地粘贴在构件的被测部位的表面。构件受力发生形变，应变片的敏感栅随之变形，其阻值也随之发生变化，通过测量电路—电桥电路，转换成电压信号的输出。

#### 2. 直流电桥原理

电桥电路如图：



当电桥平衡时，即 $R_1R_3=R_2R_4$ ，电桥输出： $U_0=0$

若 $R_1=R_2=R_3=R_4$ ，即等臂电桥，则当四个桥臂都接入应变片时，四个桥臂电阻均有变化，即：

$$R_1 = R + \Delta R_1$$

$$R_2 = R + \Delta R_2$$

$$R_3 = R + \Delta R_3$$

$$R_4 = R + \Delta R_4$$

电桥输出： $U_0 = E/4 (\Delta R_1/R - \Delta R_2/R - \Delta R_4/R + \Delta R_3/R)$

对于单臂电桥输出电压 $U_0 = EK\varepsilon / 4$ ，半桥电路其输出电压 $U_0 = EK\varepsilon / 2$ ，全桥电路其输出电压 $U_0 = EK\varepsilon$ 。可见，单臂、半桥、全桥电路的灵敏度依次增大。

### 三. 实验仪器和部件（任选仪器 1、2 或 3）

ZCY-1 型综合传感器实验仪

部件：测微头、电桥、差动放大器、V/F 表、 $\pm 4V$  电源。

### 四. 实验步骤

1. 差动放大器单元增益电位器（第 2 个）调到合适大小（调好后应一直保持增益不变）。
2. 差动放大器调零，方法是差放正、负输入端与地短接，输出接电压表输入 IN 端，调节差动放大器单元调零电位器（第 1 个），使电压表显示为零。调好后关闭电源。
3. 合理选取箔式应变片按图 6-1、图 6-2、图 6-3 分别接成单臂、半桥、全桥电路进行测量。检查

接线无误后，合上电源。调整测微头使双平行梁处于目测水平位置，调节电桥单元电位器（RW1）使电压表输出为零（每种测量电路都要进行电桥调零工作）。

4. 旋转测微头，使梁向上或下移动，每隔 0.5mm 读数一次，将实验数据记录于下表

(1) 单臂电桥电路：

取实验模板上  $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$  和应变传感器中的任一应变片（ $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ ）组成单臂电桥电路见图 1-1。

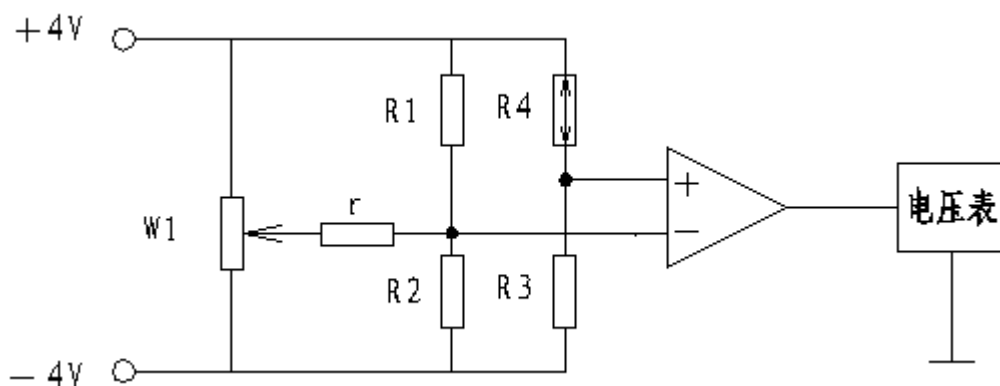


图 6-1 箔式应变片单臂电桥电路

(2) 半桥电路：

取实验模板上  $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$  中任意两个电阻和应变传感器中两片受力方向相反（一片受拉、一片受压）的电阻应变片作为电桥的相邻桥臂组成半桥电路（见图 1-2）。检查接线无误后，合上主控箱电源。调节  $R_{w1}$  使电压表显示为零。

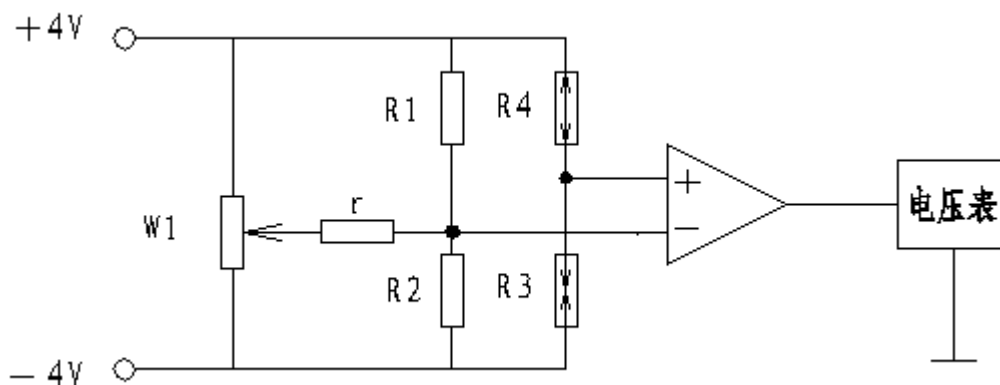


图 6-2 箔式应变片半桥电路

(3) 全桥电路：

取实验模板上四个电阻应变片（ $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ ）组成全桥电路，全桥电路相邻边的电阻应变片受力方向相反（见图 1-3）。检查接线无误后，合上主控箱电源。调节  $R_{w1}$  使电压表显示为零。

**注意：**在连接以上三个电路时， $R_{w3}$  和  $R_{w4}$  一定不要再进行调整。

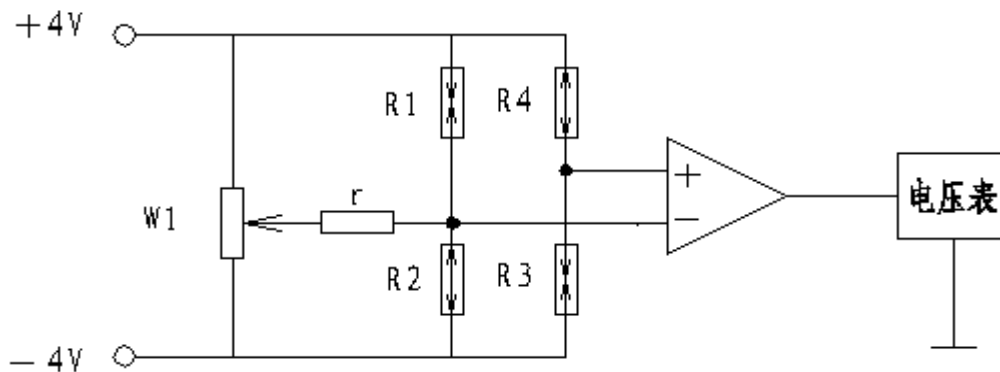


图 6-3 箔式应变片全桥电路

X (mm)										
电压 (mv) 单臂										
电压 (mv) 半桥										
电压 (mv) 全桥										

### 五. 实验要求

1. 根据实验数据分别计算三种桥式电路的系统灵敏度  $S$ ,  $S = \Delta U / \Delta W$  (或  $\Delta X$ ),  $\Delta U$  为电压变化量;  $\Delta W$  (或  $\Delta X$ ) 为重量 (或位移) 变化量。
2. 在同一坐标纸上描出  $G$  (或  $X$ ) —  $V$  曲线, 并比较三种接法的灵敏度。

### 六. 思考题

1. 半桥测量时两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥, 应放在: (1) 对边; (2) 邻边。
2. 在全桥测量中, 当两组对边 ( $R_1$ 、 $R_3$  为对边) 电阻值相同时, 既  $R_1 = R_3$ ,  $R_2 = R_4$ , 而  $R_1 \neq R_3$  时, 是否可以组成全桥: (1) 可以; (2) 不可以。
3. 路测量时存在非线性误差, 是因为: (1) 电桥测量原理上存在非线性; (2) 应变片应变效应是非线性的; (3) 调零值不是真正为零。

### 七. 注意事项

1. 差动放大器调零后, 调零电位器不应再动, 系统调零只能用电桥调零平衡电位器;
2. 本实验中应变片可用箔式中除补偿片以外的任意一片, 要接应变片时应将电源关闭, 放大器只能接成差动形式, 组桥时应注意应变片的受力状态;
3. 电压表第一位显示为  $\pm 1$ , 后面几位无任何显示时 (这种情形称为“消隐”), 表示读数超过该档量程, 此时应扩大量程。
4. 调零时应根据读数的减小而逐步把电压表量程从大调整到小, 最终使电压表在最小量程显示为零。
5. 换应变片时应将电源关闭。
6. 直流稳压电源  $\pm 4V$  不能打的过大, 以免损坏应变片或造成严重的自热效应。

## 实验七 差动变压器的性能实验

### 一. 实验目的

3. 了解差动变压器的工作原理和特性。
4. 了解初级线圈激励频率对差动变压器输出性能的影响。

### 二. 实验原理

差动变压器由一个衔铁及缠绕在同一铁芯上的一个初级线圈和二个结构尺寸、参数相同的次级线圈组成。当差动变压器的衔铁随着被测物移动时，引起初级线圈和次级线圈之间的互感发生变化，使次级线圈感应电势也相应产生变化，一个增加，另一个则减少，将两个次级线圈反向串接（同名端连接），就引出了差动输出。其输出电势的幅值大小反映出被测物的移动量。

### 三. 实验仪器和部件（任选仪器 1、2 或 3）

ZCY-1 型综合传感器实验仪

部件：测微头、V/F 表、差动变压器、音频振荡器、双线示波器。

### 四. 实验步骤

#### （一）差动变压器性能

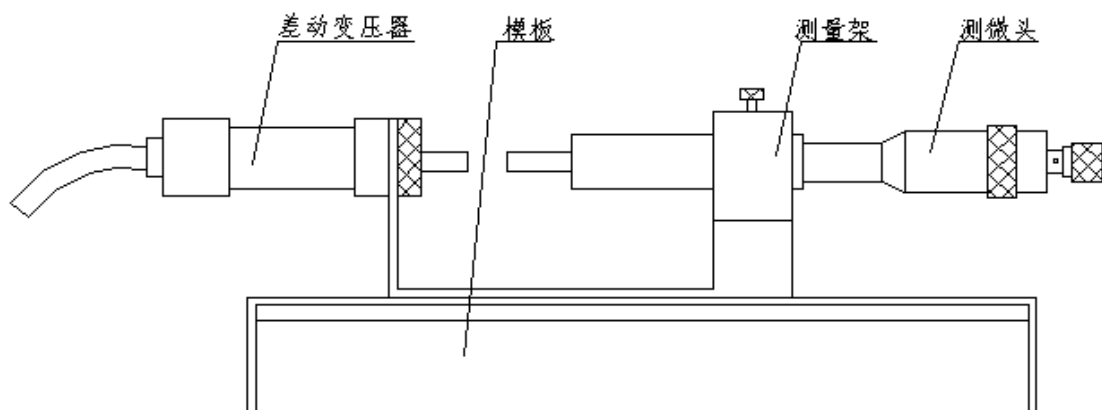


图 7-1 差动变压器安装图

1. 按图示接线。
2. 差动变压器的输入接激励信号 LV 输出口，调节音频信号发生器旋钮到 4KHz（将 V/F 表按到 F 挡监测频率大小）。
3. 调整音频振荡器幅度旋钮，在示波器上得到初级线圈的电压峰—峰值为 2V（示波器 CH1 为 500mv/div、CH2 为 10mv/div，触发选择打到 CH1）。
4. 旋动测微头，使示波器第二通道显示的波形峰—峰值  $V_{p-p}$  为最小。
5. 旋动测微头向下推进，每隔 0.25mm 记录示波器第二通道的输出电压  $V_{p-p}$  于下表中。
6. 旋动测微头，回到示波器显示的波形峰—峰值  $V_{p-p}$  为最小处的位置，旋动测微头后退，每隔 0.25mm 记录示波器第二通道的输出电压  $V_{p-p}$  记录于下表中。

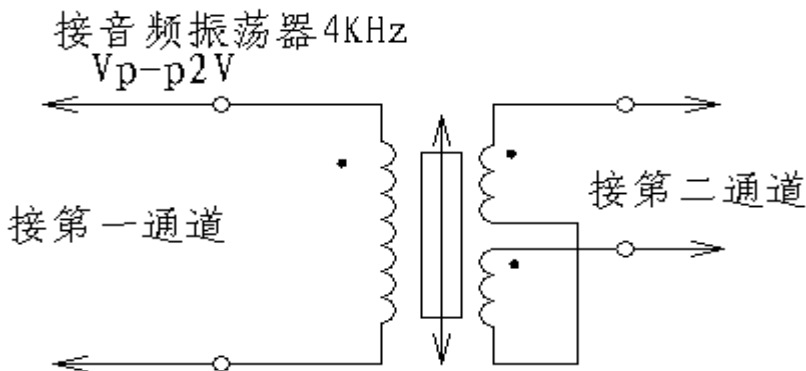


图 7-2 差动变压器性能实验接线图

表 7-1 差动变压器位移与输出电压数据表

X (mm) 前进										
电压 (V)										
X (mm) 后退										
电压 (V)										

7. 分别选择音频信号输出为 1KHz、3KHz、5KHz、7KHz、9KHz，重复上述实验将结果记录于表 6-2 中。

表 7-2 不同激励频率时输出电压(峰-峰)与位移 X 的关系

$\frac{X}{V}$ $f$										
1(khz)										
3(khz)										
5(khz)										
7(khz)										
9(khz)										

(二) 差动变压器零点残余电压补偿

3. 按图 7-3 接线。

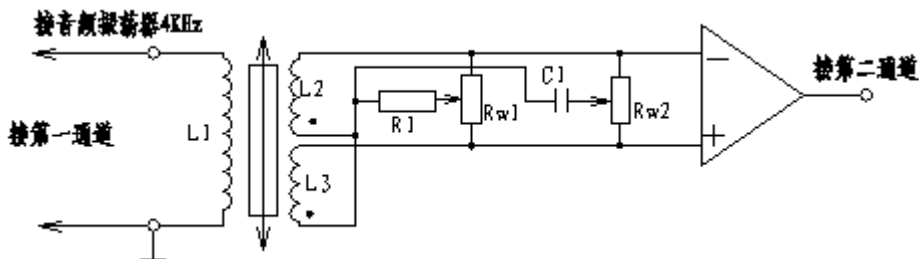
4. 差动变压器的输入接激励信号处  $L_1$ ，调节音频信号旋钮得到 4KHz (将 V/F 表按到 F 挡监测频率大小)。

3. 调整音频振荡器幅度旋钮，在示波器上得到初级线圈的电压峰—峰值为 2V。

4. 旋动测微头，使示波器第二通道显示的波形峰—峰值  $V_{p-p}$  为最小。

5. 依次调整  $R_{w1}$ 、 $R_{w2}$ ，使输出电压降至最小，必要时从新调整测微头，尽量使输出电压最小。

6. 将第二通道的灵敏度提高，观察零点残余电压的波形，注意与激励电压相比较。



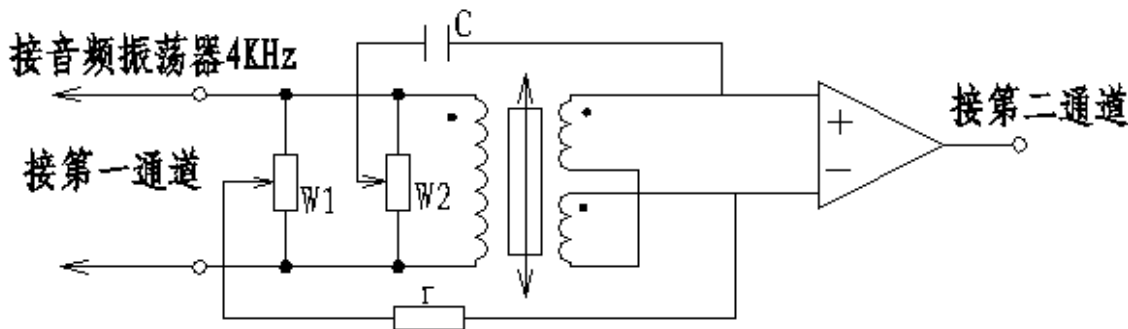


图 7-3 差动变压器接线图

(三) 差动变压器的应用

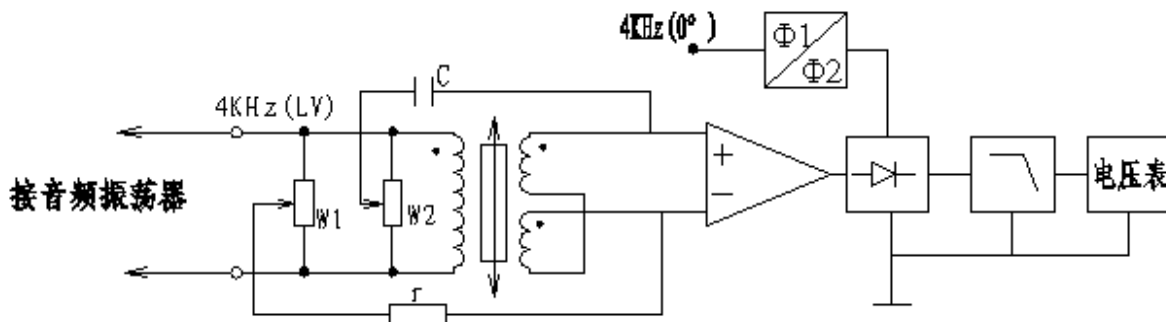


图 7-4 差动变压器接线图

1. 按图 7-4 接线。
2. 差动变压器的输入接激励信号处  $L_V$ ，调节音频信号旋钮得到 5KHz（将 V/F 表按到 F 挡监测频率大小）。
3. 调整音频振荡器幅度旋钮，在示波器上得到初级线圈的电压峰—峰值为 2V，用示波器观察各单元输出波形（示波器 X 轴扫描为 5—10ms/div，Y 轴 CH1 或 CH2 旋钮打到 0.2—2V）。
4. 旋动测微头，使示波器第二通道显示的波形峰—峰值  $V_{P-P}$  为最小。
5. 依次调整  $R_{w1}$ 、 $R_{w2}$ ，使输出电压降至最小。
6. 给振动平台一个较大位移，调整移相器，使示波器显示的波形为一个接近全波整流波形。松手，整流波形消失变为一条接近零点线（否则再调节  $R_{w1}$  和  $R_{w2}$ ）。
7. 旋转测微头，每旋转一周（0.5mm）记录实验数据，填入下表：

位移 (mm)										
$V_{P-P}$ (V)										

做出 U-X 曲线，并求出灵敏度。

五. 实验要求

1. 根据实验数据分别计算系统灵敏度  $S$ ， $S = \Delta V / \Delta X$ ；
2. 在坐标纸上画出每一频率的  $V_{P-P}$ —X 曲线，指出线性工作范围。

六. 思考题

1. 当铁芯从上至下变化时，示波器观察到的相位是怎样变化的？
2. 在实验中，调节测微头输出电压是否可以调到零；如不能，该最小电压叫什么？它与输入电压的相位相差多大？

3. 用差动变压器测量较高频率的振幅, 如 1KHz 的振幅, 可以吗? 差动变压器测量频率的上限受什么影响?

#### 七. 注意事项

1. 差动变压器的激励源必须从音频振荡器的功率输出插口 (LV 口) 引入。
2. 差动变压器的两个次级线圈必须接成差动形式。因此首先要找出同名端 (这可以通过信号相位有否变化判别之)。
3. 差动变压器与示波器的连线应尽量短一些, 以避免引入干扰。

## 实验八 电容式传感器的位移实验

### 一. 实验目的

了解电容式传感器结构及其特点。

### 二. 基本原理

电容式传感器是将被测非电量的变化转化为电容量变化的一种传感器。变面积型传感器是通过动极板移动，引起两极板覆盖面积的改变，从而得到电容的变化，通过测量电路将其转化为电压信号。它的灵敏度为： $S=\Delta C/\Delta L$ 。变面积型电容传感器用于接触式测量，电容与位移呈线性关系。

### 三. 实验仪器和部件（任选仪器 1 和 2）

仪器 1：CSY-2000 型传感器与检测技术实验台

部件：电容传感器实验模板、电容传感器、测微头、±15V 电源、电压表。

仪器 2：ZCY-1 或 CSY998+型综合传感器实验仪

部件：测微头、电容传感器、差动放大器、低通滤波器、电容变换器、V/F 表。

### 四. 实验步骤

#### CSY-2000 型传感器与检测技术实验台

- 按图 8-1 将电容传感器和测微头装于电容传感器实验模板上。

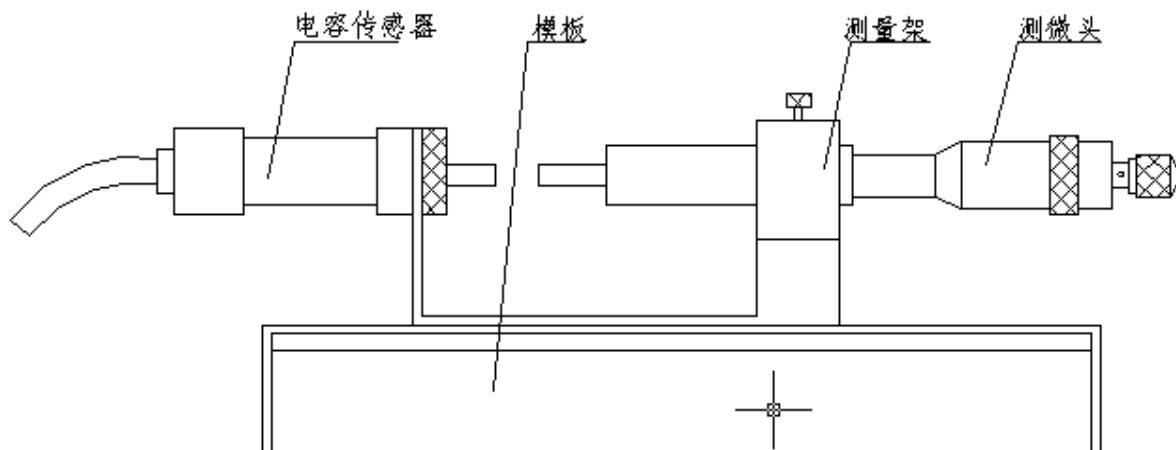


图 8-1 电容传感器安装示意图

- 将电容传感器的信号线接好。实验模板接入±15V 电源（主控箱引入），测量电路输出  $V_{o1}$  接主控箱上电压表， $R_w$  调到中间位置。检查无误后，合上主控箱电源开关。
- 旋动测微头，使电压表显示为零。
- 旋动测微头推进电容器传感器动极板位置，每前进 0.5mm 记录位移与输出电压值，填入表 9-1 中。
- 旋动测微头，回到原始位置。
- 旋动测微头后移电容器传感器动极板位置，每后退 0.5mm 记录位移与输出电压值，填入表 9-1 中。

#### ZCY-I 或 CSY998+型综合传感器实验仪：

- 差动放大器调零（方法见实验一），电路按图 8-2 接线。
- 差动放大器增益旋钮打到中间，电压表打到 20V 档，调节测微头，使电压表读数为零。
- 旋动测微头，每前进 0.5mm，记录测微器和电压表的读数于表 9-1 中，直至电容器动片与静片覆盖面积最大为止。

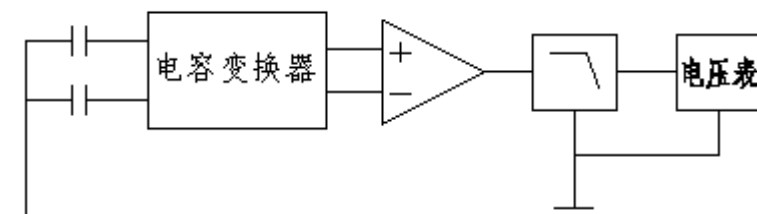


图 8-2 电容传感器实验接线图

4. 回到初始位置,并开始以反方向旋转,方法同上。记录测微器和电压表的读数于表 9-1 中。

表 8-1

X (位移)										
V (mv) 前进										
X (位移)										
V (mv) 后退										

### 五. 实验要求

1. 根据实验数据计算电容传感器的系统灵敏度  $S$ ,  $S = \Delta U / \Delta X$ 。
2. 在坐标纸上画出  $V-X$  曲线。

### 六. 思考题

利用平板电容  $C = \epsilon A/d$ , 试设计利用  $\epsilon$  的变化测谷物湿度的传感器原理及结构?并叙述在设计中应考虑哪些因素?

### 七. 注意事项

在使用 CSY-2000 仪器时, 如果电容的测量范围左右不对称, 可以通过调节电容连接线上的可变电容达到对称。

## 实验九 直流激励时霍尔式传感器位移特性实验

### 一. 实验目的

了解霍尔传感器原理与应用。

### 二. 基本原理

根据霍尔效应，霍尔电势  $U_H = K_H IB$ ，当霍尔元件处在梯度磁场中运动时，它就可以进行位移测量。

### 三. 仪器和部件

1. 仪器：CSY-2000 传感器与检测技术实验台；部件：霍尔传感器实验模板、霍尔传感器、直流±4V、±15V 电源、测微头、数显单元。

2. 仪器：ZCY-1 或 CSY998+型综合传感器实验仪；部件：霍尔片、磁路系统、电桥、差动放大器、V/F 表、直流±2V 电源、测微头。

### 一. 实验步骤

#### CSY-2000 传感器与检测技术实验台：

1. 霍尔传感器按图 9-1 安装，霍尔传感器与实验模板的连接按图 9-2 接线。

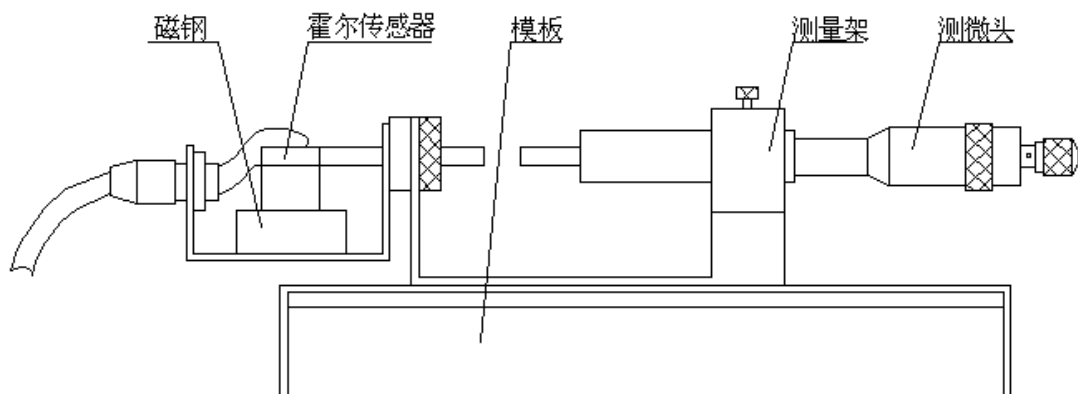


图 9-1 霍尔传感器安装示意图

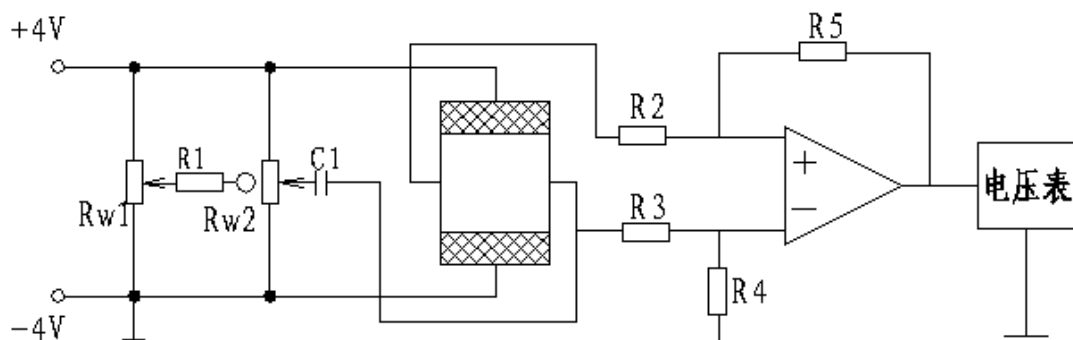


图 9-2 霍尔传感器位移 直流激励实验接线图

2. 开启电源，调节测微头使霍尔片在磁钢中间位置，再调节  $R_{w1}$  使数显表指示为零。  
3. 旋转测微头向轴向方向推进，每转动 0.25mm 记下一个读数，直到读数近似不变，将读数记录于表 9-1 中。

#### ZCY-1 或 CSY998+型综合传感器实验仪：

1. 图 11-3 接线，W1 和 R 为电桥单元中的直流平衡网络。

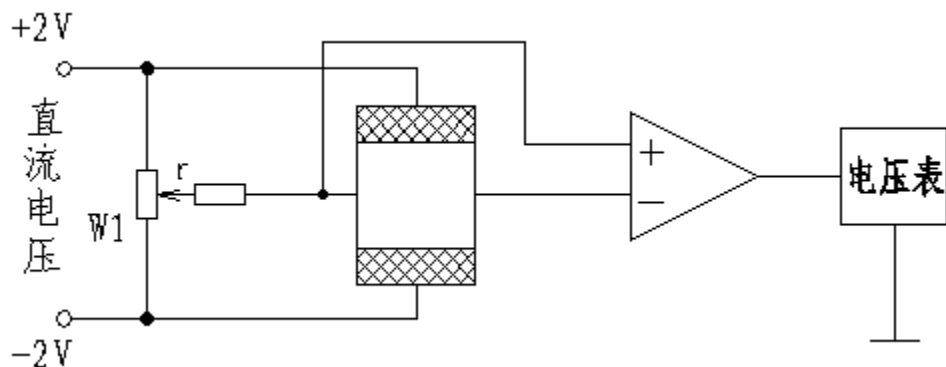


图 9-3

2. 差动放大器调零。
3. 调节测微头使霍尔片在磁钢的中间位置，再通过调节 W1 使电压表指示为零。
4. 旋转测微头向前推进（后退），每间隔 0.25mm 读取一个数据，并填于表 9-1 中。

表 9-1

X (mm)										
V (mv) 前进										
V (mv) 后退										

### 五. 实验要求

1. 画出 V—X 曲线，指出线性范围。
2. 求出灵敏度。

### 六. 思考题

1. 本实验中霍尔元件位移的线性度实际上反映的是什么量的变化？

### 七. 注意事项

1. 由于磁路系统的气隙较大，应使霍尔片尽量靠近极靴，以提高灵敏度。
2. 一旦调整后，测量过程中不能再移动磁路系统。
3. 激励电压不能任意过大，以免损坏霍尔片。

## 实验十 压电式传感器测振动实验

### 一. 实验目的

了解压电传感器的测量振动的原理和方法。

### 二. 基本原理

压电式传感器由惯性质量块和受压的压电陶瓷片等组成(观察实验用压电加速度计结构)。工作时传感器感受与试件相同频率的振动,质量块便有正比于加速度的交变惯性力作用在压电陶瓷片上,由于压电效应,压电陶瓷片上产生正比于加速度的表面电荷。

### 三. 仪器和部件

仪器 1: CSY-2000 型传感器与检测技术实验台

部件: 振动台、压电传感器、检波、移相、低通滤波器模板、压电式传感器实验模板、双线示波器。

仪器 2: ZCY- I 或 CSY998+型综合传感器实验仪

部件: 低频振荡器、低通滤波器、单芯屏蔽线、压电传感器、激振线圈、振动平台。

### 四. 实验步骤

CSY-2000 型传感器与检测技术实验台:

1. 压电传感器已装在振动台面上。
2. 将低频振荡器信号接入到台面三源板振动源的低频输入源插孔。

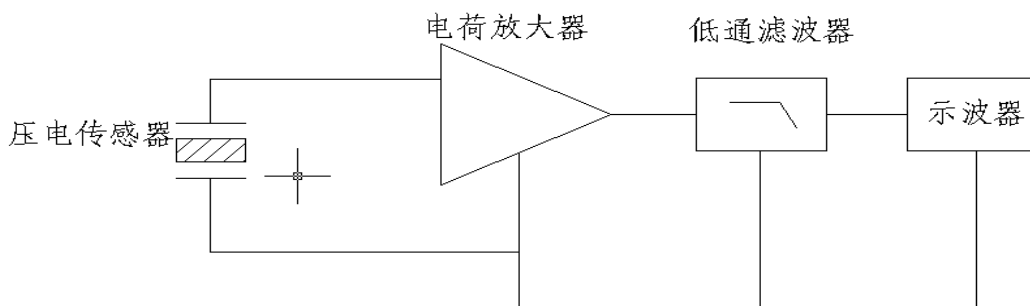


图 10-1 压电式传感器性能实验接线图

3. 将压电传感器输出两端插入到压电传感器实验模板两输入端,见图 10-1,屏蔽线接地。将压电传感器实验模板电路输出端  $V_{01}$  (如增益不够大则  $V_{01}$  接入  $IC_2$ ,  $V_{02}$  接入低通滤波器) 接入低通滤波器输入端  $V_i$ , 低通滤波器输出  $V_o$  与示波器相连。

4. 合上主控箱电源开关,调节低频振荡器的频率与幅度旋钮使振动台振动,观察示波器波形。
5. 改变低频振荡器频率,观察输出波形变化并读出峰峰值填入表 10-1 中。
6. 用示波器的两个通道同时观察低通滤波器输入端和输出端波形。

ZCY- I 或 CSY998+型综合传感器实验仪:

1. 按图 10-1 接线,将低频振荡器的输出端与频率表的输入端相连。
2. 将低频振荡器信号接入振动台的激振线圈。
3. 调整好示波器,低频振荡器的幅度旋钮固定至最大,调节频率,调节时用频率表监测频率,用示波器读出峰峰值填入表 10-1 中。

F(Hz)	5	7	12	15	17	20	25
Vp-p							

### 五. 思考题

1. 根据实验结果,可以知道振动台的自振频率大致是多少?
2. 试回答压电传感器的特点。