

## 示波器的原理和使用、声速测量

2018011365 计 84 张鹤潇

### 示波器的原理和使用

#### 一、实验目的

- (1) 了解示波器的基本构造及原理，学习掌握其基本使用方法；
- (2) 学习电信号有关参数的基本概念及其测量。

#### 二、实验原理

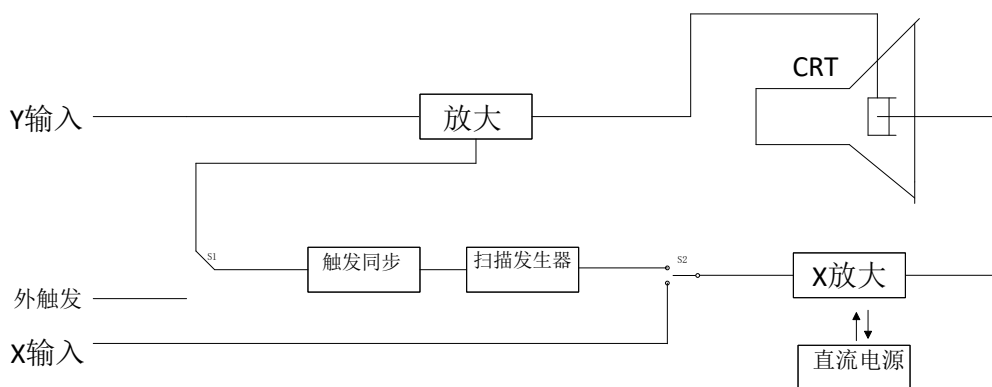


图 1 示波器原理框图

##### 1. 示波器显示波形原理

在示波器竖直偏转板上加一变化电压，则电子束的亮点将在竖直方向来回运动，若同时在水平偏转板上加以扫描电压（锯齿波），则能够显示出波形。若Y轴上加正弦电压，则X轴扫描电压的周期与其相等时，将能显示出完整的波形。

##### 2. 同步触发

若锯齿波的周期 $T_x$ 比正弦波的周期 $T_y$ 略小，屏幕上显示的波形每次都不重叠，好像在向右移动。其原因是 $T_x$ 和 $T_y$ 不成整数倍，以致每次扫描开始时波形曲线上起点不同。

“TIME/DIV”调节旋钮用来调节锯齿波电压频率，使之与被测信号频率有合适的关系，从而在示波器屏幕上得到所需书目的完整的被测波形。

“TRIG LEVER”使波形稳定。

##### 3. 李萨如图形

如果示波器的两输入端同时输入频率相同或成简单整数比的两个正弦波信号，屏幕上的光斑将呈现特殊形状的轨迹，这种轨迹图称为李萨如图形，能方便地比较两个正弦波的频率。

##### 4. 从电容器充放电波形到三角波

将方波信号源，电阻 $R$ ，电容 $C$ 串联。由 $U_c = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ ，当 $E$ 周期性变化时，电容会周期性充放电。固定 $R$ ，增大信号源频率 $f$ ，周期缩短，电容器能达到的最大电压变小，显示出来的波形只有起初 $U_c$ 增速较大的一段， $U_c$ 的波形接近三角波；固定 $f$ ，增大 $R$ ，相同时间内 $U_c$ 的变化量减小，即 $U_c$ 峰值减小，波形接近三角波。

### 三、实验内容

#### 1. 观测波形

实验室提供可输出正弦波、方波、三角波和尖脉冲波四种波形的自制信号发生器。用示波器测出其正弦波输出幅度的有效值，方波幅度的峰峰值，三角波的周期，尖波的频率。

#### 2. 观察李萨如图形

- 1) 将函数信号发生器的 1, 2 两路正弦信号输入示波器两个输入端，调整频率比为 1:1 和 1:2。调整 A、B 两路信号的相差，记录相应图形。
- 2) 将自制信号源和函数信号发生器的正弦波信号分别输入到示波器两个输入端，调出频率比为 1:1 的李萨如图，由此确定自制信号源正弦波信号的频率。

#### 3. 研究方波与三角波之间的关系

将方波信号源，电阻 $R$ ，电容 $C$ 串联。用示波器同时观察 $u$ 和 $u_c$ 的波形，改变方波 $u$ 的频率，观察 $u_c$ 的波形变化及幅度变化情况；或者固定 $u$ 的频率，将 $R$ 由小变大，做同样的观测。

#### 4. 共振电路测电感、电容

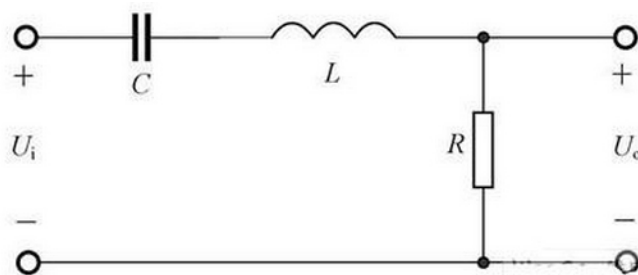


图 2 RLC 串联电路图

测量 LC 串联电路的共振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ，进而根据  $L, C$  中的已知量测量未知量。

### 四、数据处理

原始数据见报告后附表。

#### 1. 观测波形

根据公式，正弦波： $U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{pp}}}{2\sqrt{2}}$ ，方波： $U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{pp}}}{2}$ ，三角波： $U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{pp}}}{4\sqrt{3}}$ ， $f = \frac{1}{T}$ ，测量结果如下：

表 1 自制信号源测量结果

	光标法 $U_{pp}(V)$	分度法 $U_{pp}(V)$	$U_{\text{eff}}(V)$	$T(\mu s)$	$f(kHz)$
正弦波	25.4	25.5	9.00	892	1.121
方波	38.8	38.5	19.33	896	1.116
三角波	118	120	34.35	890	1.124
尖脉冲	125	125	—	890	1.124

2. 观察李萨如图形

李萨如图形见原始数据表。

测得自制信号发生器正弦波频率 $f = 1.121\text{ kHz}$ ，与实验 1 的结果一致。

3. 研究方波和三角波之间的关系

表 2 三角波产生电路测量结果

组别	1	2	3	4	5
$R(k\Omega)$	10	10	10	20	30
$f(kHz)$	5	6	7	5	5
$U_{c_{pp}}(V)$	16.2	13.8	12.4	9.8	7.2

固定 $R = 10k\Omega$ ，从5 kHz开始逐渐增大 $f$ ，得到的 $U_c$ 波形如下。可见，随着方波频率增大， $U_c$ 的频率也增大，幅值减小，越来越接近三角波。固定 $f$ ，逐渐增大 $R$ ，结果类似。

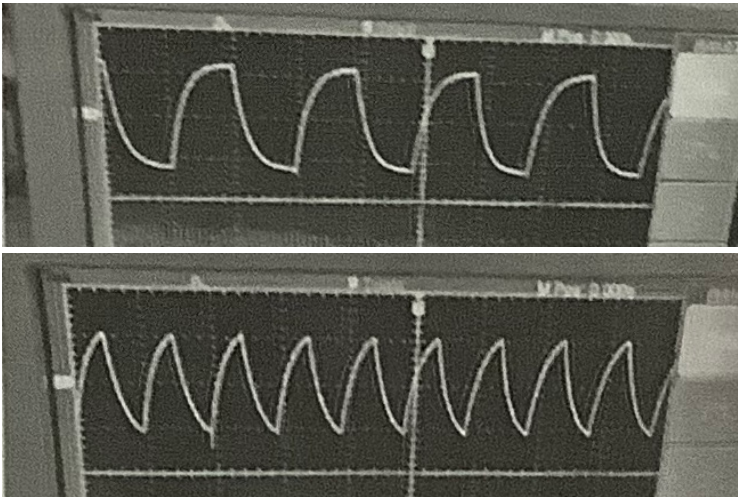


图 3 固定 $R$ ，增大 $f$ ， $U_c$ 的波形变化

解释见实验原理部分。

五、 思考题

## 1. 如果图形不稳定,总是向左或向右移动,该如何调节?

这表明示波器的正弦波与锯齿波电压周期不统一,应当调频,使两者同步触发。

2. 如果 Y 轴信号频率 $f_y$ 比 X 轴信号频率 $f_x$ 大很多,示波器上看到什么情形?相反呢?

如果 $f_y$ 比 $f_x$ 大很多,会看到一条竖线水平移动;反之,会看到示波器上 Y 信号图形被左右拉伸得很长。

## 3. 若被测信号幅度太大(在不引起仪器损坏的前提下),则在屏上看到什么图形?

一条条竖线,即出现饱和失真图形,并出现削顶情况,波形的顶部不见了。

## 4. 观察李萨如图时,如果图形不稳定,而且是一个形状不断变化的椭圆,那么图形变化的快慢与两个信号频率之差有什么关系?

图像变化越快,说明两个信号频率差越大;变化越慢,说明频率差越小。当两个信号频率差为零且相位差一定时,图像不变。

## 声速测量

### 一、实验目的

1. 了解声波在空气中传播速度与气体状态参量之间的关系;
2. 了解超声波产生和接收的原理,学习用相位法来测量空气中的声速。

### 二、实验原理

1. 在温度为 $t^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度为 $r$ 的空气中,声速

$$v_{\text{理论}} = 331.5 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{T_0}\right) \left(1 + 0.31 \frac{rp_s}{p}\right)} \text{ (m/s)}$$

其中 $p_s$ 为温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 空气的饱和蒸气压,可查表得出。

$$p = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}, T_0 = 273.15 \text{ K}.$$

2. 声波的传播速度与频率的关系为

$$v = f\lambda$$

其中 $f$ 可通过测量声源的振动频率得到, $\lambda$ 可以用相位法来进行测量。

- 1) 超声波传感器的固有频率为 40kHz,在其附近微调外加电信号的频率,当传感器接收端的电信号幅度达到最大时,可以判断两者达到共振,读出外加电信号频率,得到声波频率。
- 2) 沿声波传播方向上的任意两点,如果其同相,则该两点的距离应当等于 $\lambda$ 的整数倍,即

$$L = n\lambda$$

利用李萨如图形在两个电信号同相，椭圆退化为右斜直线来判断。

三、 实验内容

- 1. **连接电路。**将函数信号发生器的输出端与超声波发生器的输入端及示波器的通道 1 相连，将超声波接收器的输出端与示波器的通道 2 相连，函数信号发生器置于正弦输出。
- 2. **观察信号。**用示波器观察加在声波发射器上的电信号和超声波接收器输出的信号。当接收器输出信号幅度最大时，记录下发射器的频率。
- 3. **用相位法测波长。**当输入和输出信号同相或反向时，李萨如图形退化为左斜或右斜的直线，据此可以来判断同相点。

在游标卡尺上连续移动接收器，记录下 20 个同相点对应的位移读数，用逐差法和最小二乘法分别处理这 20 个数据，求出λ和v。

- 4. 记录测量开始和结束时的室温t<sub>1</sub>和t<sub>2</sub>，相对湿度r<sub>1</sub>和r<sub>2</sub>，计算出声速的理论值，与实验测得的值相比较。

四、 数据处理

原始数据见报告后附表。

共振频率f = 40393 Hz, t̄ = 23.8°C, r̄ = 20.5%

表 3 相位法测超声波波长

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x <sub>i</sub> (mm)	0.77	10.04	18.74	27.60	36.25	44.9	53.38	61.90	70.56	79.13
x <sub>i+10</sub> (mm)	87.72	96.33	104.52	113.08	121.57	130.18	138.87	147.58	156.35	165.26
Δx <sub>i</sub> (mm)	86.95	86.29	85.78	85.48	85.32	85.28	85.49	85.68	85.79	86.13

用逐差法计算如下：

$$\overline{10\lambda} = 85.82\text{ mm}, \quad \bar{\lambda} = 8.582\text{ mm}$$

$$S_{10\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta x_i - \overline{10\lambda})^2}{9}} = 0.5145\text{ mm}$$

取  $\Delta_{\text{仪}} = 0.03\text{ mm}, \frac{t(n-1)}{\sqrt{n}} = 0.475.$

$$\Delta_{10\lambda} = \sqrt{\left(\frac{t(n-1)}{\sqrt{n}} S_{10\lambda}\right)^2 + \left(\sqrt{2} \Delta_{\text{仪}}\right)^2} = 0.248\text{ mm}$$

$$\Delta_{\lambda} = 0.0248 \text{ mm}$$

$$\lambda + \Delta_{\lambda} = 8.58 \pm 0.03 \text{ mm}$$

$$\text{声速 } v = \lambda f = 346.57 \text{ m/s.}$$

$$\text{取 } \Delta_f = 10 \text{ Hz, } \Delta_v = v \sqrt{\left(\Delta_{\lambda} \frac{\partial \ln v}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\Delta_f \frac{\partial \ln v}{\partial f}\right)^2} = v \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\lambda}}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_f}{f}\right)^2} = 1.21 \text{ m/s}$$

$$v + \Delta_v = 346.6 \pm 1.2 \text{ m/s}$$

用最小二乘法计算如下：

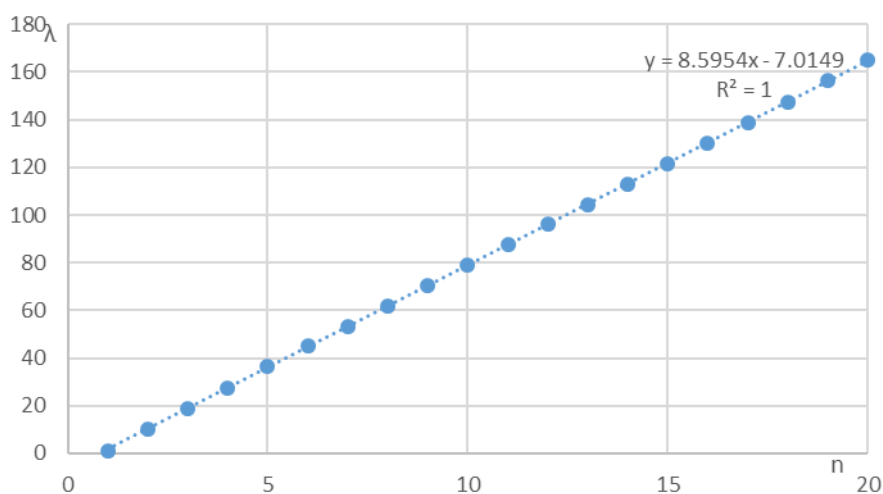


图 4 最小二乘法拟合  $n \sim \lambda$  曲线

$$\lambda = 8.5954 \text{ mm}$$

$$R = 0.99998$$

$$S_{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{r^{-2} - 1}{n - 2}} = 0.01281 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\lambda} = t(20)S_{\lambda} = 0.02648 \text{ mm}$$

$$\lambda + \Delta_{\lambda} = 8.595 \pm 0.026 \text{ mm}$$

$$\text{声速 } v = \lambda f = 346.18 \text{ m/s.}$$

$$\Delta_v = v \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\lambda}}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_f}{f}\right)^2} = 1.07 \text{ m/s}$$

$$v + \Delta_v = 347.2 \pm 1.1 \text{ m/s}$$

声速的理论值:

$$\bar{t} = 23.8^\circ\text{C}, \quad \bar{r} = 20.5\%$$

查表, 由线性内插,  $p_s = 0.0295 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

$$v_{\text{理论}} = 331.5 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{T_0}\right) \left(1 + 0.31 \frac{rp_s}{p}\right)} (\text{m/s}) = 345.9 \text{ m/s}$$

逐差法  $v = 346.6 \text{ m/s}$ , 相对偏差  $E = \frac{|v_{\text{理论}} - v|}{v_{\text{理论}}} = 0.20 \%$

最小二乘法  $v = 347.2 \text{ m/s}$ , 相对偏差  $E = \frac{|v_{\text{理论}} - v|}{v_{\text{理论}}} = 0.38 \%$

## 五、思考题

1. 用逐差法处理数据的优点是什么? 还有没有其它合适的处理方法?

逐差法充分利用了测量数据, 保持了多次测量的优点, 尽量减小了随机误差。

还可以用最小二乘法。

2. 式  $\Delta_{10\lambda} = \sqrt{\left(\frac{t}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\sqrt{2} \Delta_{\text{仪}}\right)^2}$  中  $\Delta_{\text{仪}}$  前有一系数  $\sqrt{2}$ , 这是为什么?

对于每个测量值  $x$  来说, 其  $\Delta_B = \Delta_{\text{仪}}$ , 而  $10\lambda = x_{10+i} - x_i$

$$\text{故 } \Delta_{10\lambda_B} = \sqrt{\Delta_{x_{10+iB}}^2 + \Delta_{x_{iB}}^2} = \sqrt{2} \Delta_{\text{仪}}.$$

# 示波器的原理和使用、声速测量 实验数据

2018011365 计 84 张鹤潇

## 1. 观测波形

波形图	$U_{PP}$		$T$	
	光标法(V)	相位法(V)	光标法( $\mu s$ )	相位法( $\mu s$ )
	25.4V	25.5V	892	890
	38.8V	38.5V	896	895
	118V	120V	890	890
	125V	125V	890	890

## 2. 李萨如图形

$$\Delta\phi = \phi_B - \phi_A$$

$$f_A : f_B = 1 : 1$$

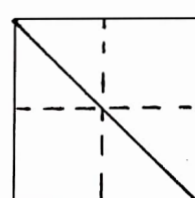
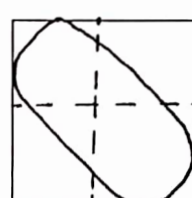
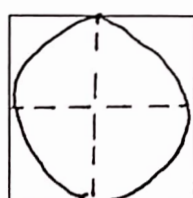
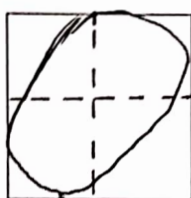
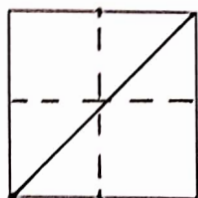
$$\Delta\phi = 0^\circ$$

$$\Delta\phi = 45^\circ$$

$$\Delta\phi = 90^\circ$$

$$\Delta\phi = 135^\circ$$

$$\Delta\phi = 180^\circ$$



$$f_A : f_B = 2 : 1$$

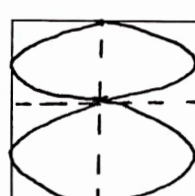
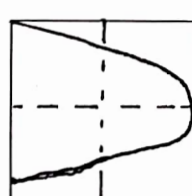
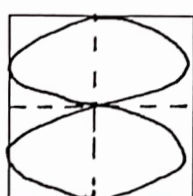
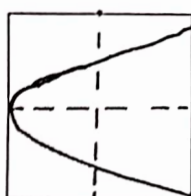
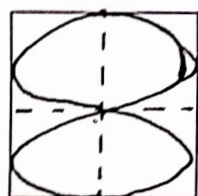
$$\Delta\phi = 0^\circ$$

$$\Delta\phi = 45^\circ$$

$$\Delta\phi = 90^\circ$$

$$\Delta\phi = 135^\circ$$

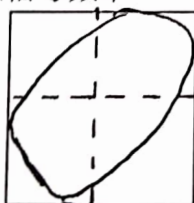
$$\Delta\phi = 180^\circ$$



## 3. 用李萨如图形测未知信号频率

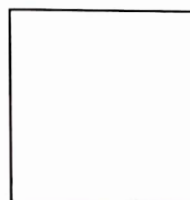
$$f_{\text{已知}} : f_{\text{未知}} = 1 : 1$$

$$f_{\text{已知}} = 1.120 \text{ kHz}$$



$$f_{\text{已知}} : f_{\text{未知}} =$$

$$f_{\text{已知}} =$$



## 4. 室温和湿度的记录

	室温 $t/^\circ\text{C}$	相对湿度 $r$
实验前	23.3	20.0%
实验后	24.3	21.0%

11.18. 108. 李 13#



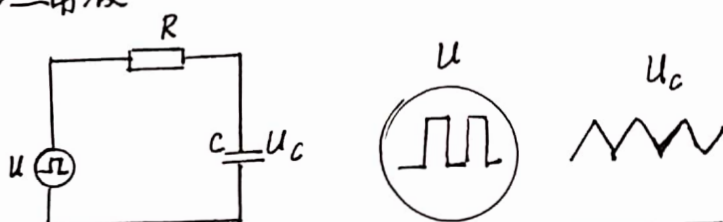
5. 相位法测波长 (注: 表中  $\Delta x_i = x_{i+10} - x_i = 10\lambda$ )

$i =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i/\text{mm}$	<del>0.71</del> 2.71	10.04	18.74	27.60	36.25	44.90	53.38	61.90	70.50	79.13
$x_{i+10}/\text{mm}$	87.72	96.33	104.52	113.08	121.57	130.18	138.87	147.58	156.35	165.26
$\Delta x_i/\text{mm}$										

共振频率

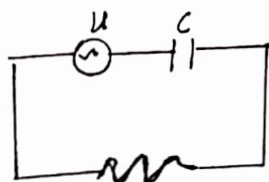
测量次数	1	2	3
频率 (kHz)	40.390	40.396	<sup>94</sup> 40.386

方波  $\rightarrow$  三角波



<del>10k</del> $R/\Omega$	10k $\Omega$	10k $\Omega$	10k $\Omega$	20k $\Omega$	30
$f/\text{kHz}$	5	6	7	5	5
$U_C/\text{V}$	16.2V	13.8	12.4	9.8	7.2

共振.



11.18. 108. 木 13<sup>世</sup>