

# 浙 江 大 学

## 物 理 实 验 报 告

实验名称：示波器的应用

指导教师：吴中正

信 箱 号：23



## 【实验目的】

1. 从物理学角度了解示波器的结构和工作原理
2. 熟悉示波器面板各旋钮的功能, 进而掌握示波器的调节和使用方法
3. 学习用示波器观察信号波形, 并测量其幅度大小, 周期以及相位差
4. 掌握用李萨如图形测量正弦波信号频率的原理和方法
5. 学习示波器在进行一些应用性电路的测量中的使用方法

## 【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

### 1. 示波管工作原理

示波管是由密封在高真空玻璃壳内的电子枪、偏转系统和荧光屏三部分构成, 如图1所示。

套在灯丝外面的阴极因受热而发出大量的电子。在电场作用下, 通过控制栅极和阳极的小孔, 电子高速射向荧光屏。荧光物质在电子的轰击下发出荧光。

在两块Y(或X)偏转板间加上电压时, 受电场力的作用, 通过两板之间的电子束发生偏转, 使荧光屏的亮点发生位移。亮点的偏转位移与加在偏转板间的电压成正比。

### 2. 波形扫描原理

示波器工作时, 需在X轴偏转板上加有一个周期性锯齿波电压, 称为扫描电压。扫描电压随时间的均匀地增大时, 亮点将沿X轴方向从左到右作匀速运动。当锯齿波电压重复产生时, 亮点就不断地在荧光屏上自左向右往复运动。若频率较快, 则在屏上呈现一条水平亮线。扫描电压如图2所示。

在X轴上加扫描电压信号的同时, 如果在Y轴上加待测的正弦变化电压 $U$ 信号, 就可以使正弦变化电压 $U$ 信号沿水平轴展开。此时, 屏上显示的图形如图3所示, 当正弦电压的周期 $T_y$ 与锯齿波电压的周期 $T_x$ 恰好相等时, 信号上点, 一一对应, 则正弦电压波形变化一周, 亮点正好扫描一次。当锯齿波电压信号与被测电压信号的周期成整数倍关系时, 即:

$$T_x = nT_y \quad (n \text{ 为整数}, 1, 2, \dots)$$

则波形显示稳定。当正弦波形的周期 $T_y$ 大于锯齿波电压的周期 $T_x$ 时, 则波形右移。反之, 波形左移。

### 3. 李萨如图形

如果在示波器的X轴和Y轴上都输入正弦变化的电压信号, 两信号的频率 $f_y$ 和 $f_x$ 相同或成简单的整数比, 则电子束的振动将是两个相互垂直的谐振动的合振动, 荧光屏将描绘出合振动的图形, 这种合成图形称为李萨如图形。如图4所示。

理论推导证明李萨如图满足下列关系式:

$$f_y : f_x = N_x : N_y$$

上式中的 $f_x$ ,  $f_y$ 为Y方向与X方向的信号频率,  $N_y$ ,  $N_x$ 分别是Y方向与X方向的一条直线与李萨如图形相交的最多交点个数, 或相切的最少切点个数。

若 $f_x$ 和 $f_y$ 之比越接近整数比关系, 则李萨如图翻转速度越慢, 即越稳定。反之, 则李萨如图翻转速度越快, 即越不稳定。

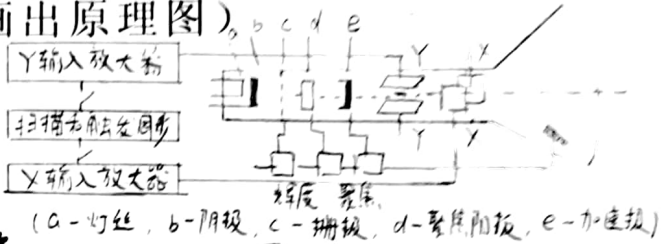


图1

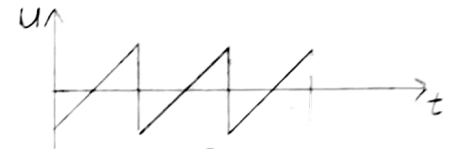


图2

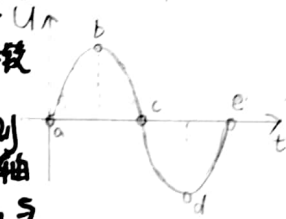


图3



图4



## 【实验内容】（重点说明）

### 1. 电压的测量 1. 示波器的调节

- (1) 首先对示波器的亮度、聚焦进行调节
- (2) 选择合适触发源，触发耦合
- (3) 调节波形在示波器屏幕上的水平位置与垂直位置，并依次调节偏转因数选择，扫描速率和幅度选择，使得屏幕上显示合适的波形
- (4) 如果发生波形左移或右移，则通过调节触发电平幅值使其稳定

### 2. 电压的测量

#### (1) 直接测量法

直接从示波器荧光屏上量出被测量电压波形的高度，然后转换为电压值。公式： $U_{pp} = D \cdot h$ ，其中  $U_{pp}$  是被测电压的峰-峰值， $D$  为示波器的偏转灵敏度， $h$  表示被测量电压波形的高度。

#### (2) 光标测量法

调节示波器的2条水平光标到达合适位置，两光标之间的距离就显示在屏幕下方，即  $U_{pp}$  的大小。

### 3. 频率或周期的测量

(1) 直接测量法：示波器通过测量周期  $T_x$ ，然后由公式  $f = \frac{1}{T_x}$ ，求出待测信号频率。公式  $T_x = Q \cdot X$

(2) 光标测量法：按下 "ΔU-Δt-OFF" 选择 Δt，这时会在屏上出现光标，类似电压测量方法，测量周期。

### 4. 用比较法验证 $f_y = n f_x$ ( $f_y$ 是信号频率而 $f_x$ 是扫描频率)

首先调节 TIME/DIV 扫描基信号，调节信号发生器，使示波器全屏显示 1 个、2 个... 完整周期波形，相应地从信号发生器上读出各种情况下  $f_y$  信号频率，根据  $f_y = n f_x$  求出相应的  $f_x$ ，填入表 1。最后求  $f_x = \frac{f_y}{n}$  和  $E = \frac{|f_x - 200|}{200} \times 100\%$

### 5. 用李萨如图形测量未知信号的频率

输入已知标准信号，合成李萨如图形，根据图象，计算交点个数，由此计算未知  $f_y$  的频率，填入表 2 中

### 6. 二极管单向导电电压测量

将信号发生器输出端接到电路的输入端，同时将示波器的 CH1 接电路输入端，而 CH2 接到电路的输出端。观察输入、输出两端的波形。

### 7. 相位差的测量

将信号发生器输出端接到电路的输入端，示波器的 CH1 接电路输入端，而 CH2 接到电路的输出端，测出因电容而滞后的相位差。相位差  $\phi = \frac{X_{\text{方向上两个波形起之间距离 } X_1(\text{cm})}{X_{\text{方向上 } n \text{ 个周期所占的距离 } X_2(\text{cm})} \times 360^\circ$

## 【实验器材及注意事项】

### 1. 示波器实验仪器

示波器

型号 GOS-6051

信号发生器

SG1005A 1905100515

HFJK-8 模拟电路板

### 2. 注意事项：

- (1) 在使用示波器之前，应先仔细阅读使用说明书，以免损坏仪器
- (2) 示波器在使用时，亮度（辉度）不可过高，不可使亮点长时间固定在同一位置
- (3) 每次实验前要检查示波器的工作状态是否有故障，用其自带的标准校准信号，按电压测量与频率测量的方法观察示波器的显示是否与标准信号符合
- (4) 关机前应先先将辉度旋钮沿逆时针方向转到底，使亮度成最小，然后再断开电源开关
- (5) 在做相位差的测量实验时，由于电容存在损耗，故实际所得两个正弦信号幅度不相等，也可以通过测量 X 方向上两个波峰间距离作为  $X_1$  值。



## 【数据处理与结果】

1. 用比较法验证  $f_s = n f_x$  ( $f_s$  是信号频率而  $f_x$  是扫描频率)

表 1

波形个数 $n$	1	2	3	4	5
$f_s / \text{Hz}$	199.200	398.600	599.200	798.900	999.400
$f_x / \text{Hz}$	199.200	199.300	199.733	199.725	199.880

注: 本实验中输入的扫描电压频率为  $f_x = 200 \text{ Hz}$ .将各次测量数据进行处理  $f_x = \frac{f_s}{n}$ , 填入表中由此可得  $\bar{f}_x = \frac{\sum f_x}{5} = 199.568 \text{ Hz}$ 






$$E = \frac{|\bar{f}_x - 200|}{200} \times 100\% = 0.216\% \approx 0.3\%$$

$$S_{f_x} = \delta = \sqrt{\frac{\sum (f_{xi} - \bar{f}_x)^2}{n(n-1)}} = 0.133 \text{ Hz} \approx 0.2 \text{ Hz}$$

$$\therefore f_x = (199.5 \pm 0.2) \text{ Hz}$$

2. 用李萨如图形测量未知信号频率.

表 2

频率比 $f_y : f_x$	1:1	1:2	1:3	2:1	2:3
图形					
垂直交点数	2	4	6	2	6
水平交点数	2	2	2	4	4
读出 $f_x / \text{Hz}$	50.029	100.025	150.036	24.998	74.948
计算 $f_y / \text{Hz}$	50.029	50.012	50.012	49.996	49.965

注: 校验中被测信号输入频率为  $50 \text{ Hz}$ .将各次测量数据进行处理  $f_y = f_x \cdot \frac{f_y}{f_x}$ , 填入表中由此可得  $\bar{f}_y = \frac{\sum f_y}{5} = 50.003 \text{ Hz}$ 

$$\Delta f_y = |\bar{f}_y - f_y| = 0.003 \text{ Hz} \quad \Delta E = \frac{\Delta f_y}{f_y} = 0.006\%$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (f_{yi} - \bar{f}_y)^2}{5 \times 4}} = 0.011 \text{ Hz}$$

$$f_y = (50.003 \pm 0.011) \text{ Hz}$$

3. 二极管正向导通电压测量

当输入信号为  $f = 2 \text{ kHz}$ ,  $U = 5 \text{ V}$  时, 通过单次测量得  $U_{ip-p} = 4.76 \text{ V}$ ,  $U_p = 1.72 \text{ V}$ 则其正向导通电压为  $U' = (U_{ip-p} - U_p) = 0.66 \text{ V}$ 由于其为单次测量, 只计算 B 类不确定度, 仪器允差取  $0.01 \text{ V}$ 

$$\delta = \frac{0.01 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 0.00577 \text{ V}$$

$$U = (0.66 \pm 0.01) \text{ V}$$

$$\Delta U' = \sqrt{(\Delta U_{ip-p})^2 + (\Delta U_p)^2} = \sqrt{(0.006 \text{ V})^2 + (0.006 \text{ V})^2} = 0.0085 \text{ V}$$

$$\text{仪器允差 } \delta_U = 0.01 \text{ V}$$

4. 相位差的测量

当输入信号为  $f = 2 \text{ kHz}$ ,  $U = 5 \text{ V}$  时, 通过单次测量得  $X_1 = 0.084 \text{ ms}$ ,  $X_2 = 0.496 \text{ ms}$ 

$$\text{相位差 } \phi = \frac{X_1}{X_2} \times 360^\circ = \frac{0.084}{0.496} \times 360^\circ = 61^\circ$$

由于为单次测量, 只计算 B 类不确定度, 仪器允差  $0.01 \text{ ms}$ ,  $\delta = \frac{0.01 \text{ ms}}{\sqrt{3}}$ 

$$\delta_\phi = \sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial X_1} \delta_{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial X_2} \delta_{X_2}\right)^2} = 0.18^\circ$$

$$\phi = (61 \pm 1)^\circ$$



## 【误差分析】

由实验数据处理结果得:

1. 用比较法验证  $f_y = n f_x$ , 得  $f_x = (199.5 \pm 0.2) \text{ Hz}$ ,  $\Delta E = 0.3\%$
2. 用李萨如图测量未知信号频率 得  $f_y = (50.003 \pm 0.011) \text{ Hz}$ ,  $E = 0.006\%$
3. 测得二极管正向导通电压  $U = (0.66 \pm 0.01) \text{ V}$
4. 测得相位差为  $\phi = (61 \pm 1)^\circ$

可见以上实验的误差都相对较小, 符合实验预期, 表明示波器测量的精度较高。

误差来源: 1. 进行频率测量时, 输入的频率实际上并不是定值, 而是上下浮动的, 对测量读数产生影响。  
2. 示波器上显示的荧光线条较粗, 在其对准时很容易造成读数误差, 影响频率、电压、相位测量。  
3. 桌面等振动导致示波器内的偏转板偏移, 则对电子运行轨迹的影响也发生偏移, 导致输出图像上的误差, 进而引起测量误差。

## 【实验心得及思考题】

实验心得:

1. 通过本次实验, 了解示波器的结构和工作原理, 熟悉示波器面板各旋钮的功能, 初步掌握示波器的调节和使用方法。
2. 示波器在电学实验中非常有用, 它能够较简捷地显示各种电压的信号波形, 还可以用2个通道叠加得到李萨如图形来测量正弦波信号频率, 以及一些非线性元件的伏安特性曲线。掌握示波器的操作对于我们电气专业的同学来说更显得尤其重要。
3. 示波器的按钮相对较复杂, 还要注意接线处的连接情况, 避免造成误输入的波形混乱, 导致实验无法正常进行。同时在调节时也要有耐心。
4. 要将实验与理论相结合起来, 实验和理论是相符相成的, 不可孤立起来, 要积极地用理论去解释实验现象, 从而加深对实验和理论的理解。如接入电容后电路中的电压电流的相位图为



可见电路输出端因为电容的存在而电压滞后。

- 思考题: 1. 示波器中套在灯丝外面的阴极筒受热而发出大量电子, 在电场作用下, 通过控制栅极和阳极的小孔, 电子高速地射向荧光屏。荧光物质在电子的轰击下发出荧光, 在屏上呈现一个亮点。又可在两块X或Y偏转板间加上电压, 使荧光屏上的亮点发生位移, 由此可产生正弦变化的电信号。若再在X轴上加上周期变化的锯齿波扫描电压, 则可将变化电压U信号沿水平方向展开, 呈现在屏幕上。
2. 因为X、Y轴的频率不是完整的倍数关系, 则图形就会来回翻动。图形翻动的快慢则取决于两者及其整数倍之间的差值。
  3. 如果发生波形移动, 则说明扫描不同步, 转动调节旋钮, 调节锯齿波脉冲电压的大小和周期。








【数据记录及草表】

表 1

波形个数	1	2	3	4	5
$f_y/\text{Hz}$	199.200	398.600	599.200	798.900	999.400
$f_x/\text{Hz}$					

表 2

频率比 $f_y:f_x$	1:1	1:2	1:3	2:1	2:3
图形					
垂直交点数	2	4	6	2	6
水平交点数	2	2	2	4	4
读出 $f_x/\text{Hz}$	50.029	100.025	150.036	24.998	74.948
计算 $f_y/\text{Hz}$					

$$U_{ip-p} = 4.76\text{V} \quad U_{ip} = 1.72\text{V}$$

$$x_1 = 0.084\text{ms}$$

$$x_2 = 0.496\text{ms}$$

教师签字:

吴

