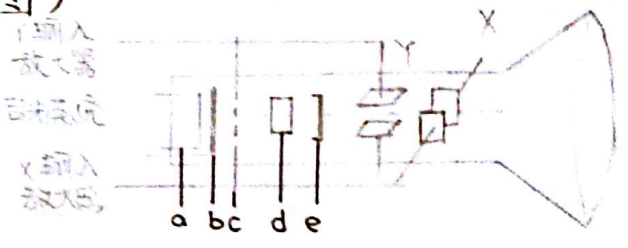


- 【实验目的】**
1. 了解示波器的结构和工作原理
  2. 熟悉示波器面板各旋钮的功能, 进而掌握示波器的调节和使用方法
  3. 学习用示波器观察信号波形, 并测量其幅度大小、周期以及相位差
  4. 观察李萨如图形, 掌握用其测量正弦波信号频率的原理和方法
  5. 学习示波器在进行一些应用性电学测量中的使用方法。

**【实验原理】** (电学、光学画出原理图)

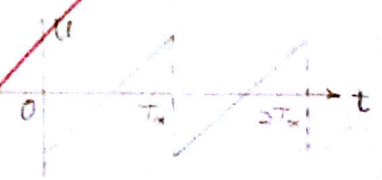
1. 示波管工作原理



阴极(b)在灯丝(a)的加热下发出电子。控制栅极(c)比阴极(b)电位低, 因此只有初速度较大的电子才能通过栅极(c)。聚焦阳极(d)电位高, 引发电场, 对电子射线有聚焦作用。加速极(e)电位更高, 加速电子。

在两块X或Y偏转板上加上电压后, 电子束通过时运动方向发生偏转。由于示波管本身灵敏度不高, 因此X、Y输入电压需放大。容易证明, 亮点时偏转位移与水平、垂直偏转电压成正比。

2. 波形扫描原理



在X轴水平偏转板上加如图所示的扫描电压, 则光点在水平方向上的投影从左到右匀速运动; 由于人眼有视觉暂留作用, 可使Y轴电压信号引发的偏移沿水平轴展开。显然, 当扫描电压周期 $T_x$ 与Y轴电压周期 $T_y$ 满足

$$T_x = nT_y \quad (n = 1, 2, \dots) \tag{1}$$

时, 各次扫描结果全部重叠, 荧光屏上显示清晰、稳定的波形。

3. 李萨如图形

如果在X、Y轴上都输入正弦信号, 频率分别为 $f_x$ 和 $f_y$ , 则电子束的振动为两个相互垂直的谐振动的合振动。荧光屏上将显示出合振动的图形, 称为李萨如图形。

$$\text{有关系: } f_y : f_x = N_x : N_y \tag{2}$$

其中 $N_x, N_y$ 分别为X方向和Y方向的一条直线与图形的最多交点个数。

因此, 根据②, 已知一信号频率时, 可根据李萨如图形求得另一信号的频率。



## 【实验内容】（重点说明）

### 1. 测量电压

#### (1) 直接法

a. 旋转 VOLTS/DIV 选择并读出因数  $D$ 。  
 $D$  在屏上显示。

b. 调节 POSITION 读出正弦波峰-峰所占高度  $h$ 。

c. 计算被测电压峰-峰值  $U_{p-p} = D \cdot h$  ③

#### (2) 光标法

a. 按下 " $\Delta U - \Delta t - OFF$ " 选择  $\Delta U$ , 屏上出现上下两条水平亮线 (光标)

b. 按下 TCK/C2 选择一条, 旋转 FUNCTION 至该线与波峰相切。另一条同样操作。

c. 屏上显示两光标距离即为  $U_{p-p}$  大小。

### 2. 测量频率或周期

#### (1) 直接法

a. 旋转 TIME/DIV 选择并读出时基因素  $Q$ 。

b. 调节 POSITION, 读出一个周期所占格数  $x$ 。

c. 计算周期  $T = Q \cdot x$  ④

#### (2) 光标法

按下 " $\Delta U - \Delta t - OFF$ " 选择  $\Delta t$ , 屏上出现左右两垂直光标。以类似 1. (2) 方法测出  $T$ 。

### 3. 验证 $f_y = n f_x$

a. 调节 TIME/DIV 扫描时基信号, 记录扫描频率  $f_{x0}$ 。

b. 调节信号发生器, 使全屏显示  $n = 1, 2, \dots$  个完整周期波形, 在发生器读出  $f_y$ 。

c. 根据  $f_x = \frac{f_y}{n}$  计算  $f_x$ , 并计算误差

$$E = \frac{|f_x - f_{x0}|}{f_{x0}} \times 100\%, \quad f_x = \frac{\sum f_x}{n} \quad \text{⑤ ⑥}$$

### 4. 用李萨如图形测量信号频率

a. Y 信号 (CH2) 输入 50Hz 标准信号, 作为被测

b. 信号发生器分别产生 25, 50, 75, 100, 150Hz 左右的信号作为 X 信号, 输入至 "CH1" 接口。

c. 调节  $f_x$  至出现稳定图形, 记录  $f_x, N_x, N_y$

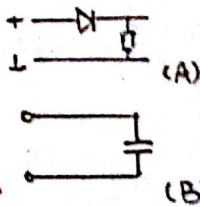
d. 根据式 ② 计算  $f_y$ , 并计算误差

$$\Delta f_y = |f_y - f_{y0}| \quad \text{⑦}$$

5. 测量二极管正向导通电压

6. 相位差的测量

5.6 见附页



## 【实验器材及注意事项】

实验器材: SS-7804 示波器

基本调节方式:

(1) 调节亮度 (INTEN, 即辉度) 和聚焦 (FOCUS) 旋钮

(2) 选择合适的触发源 (SOURCE) 和触发耦合 (COUPL)

(3) 调节波形在屏幕上的水平和垂直位置 (POSITION),

偏转因数 (VOLTS/DIV), 扫描速率和幅度选择

(TIME/DIV) 使屏幕上显示合适的波形。

(4) 如果发生波形左移/右移, 调节触发电平幅度值

(TRIG LEVEL) 来使其稳定下来。

### 注意事项:

(1) 调节 INTEN 和 FOCUS 使直径小, 波形清晰, 有助于减少误差

(2) 亮度 (辉度) 不可过高, 亮点不可长时间固定在一个位置, 以防对荧光屏造成损伤

(3) 使用示波器前, 应先仔细阅读说明书, 以免损坏仪器。

## 接 [实验内容].

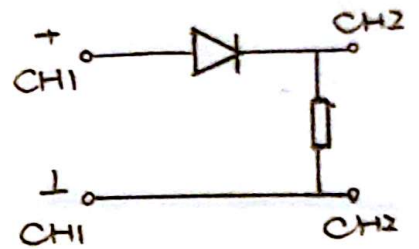
### 5. 测量二极管正向导通电压

a. 信号发生器、示波器 CH1 接电路输入端, CH2 接电路输出端;

b. 调节信号发生器至 2kHz, 5V.

c. 测量 CH1 信号的峰-峰值  $U_{p-p}$  和 CH2 信号的半峰-峰值  $U_{sp}$ .

d. 正向导通电压  $U = \frac{U_{p-p}}{2} - U_{sp}$ .



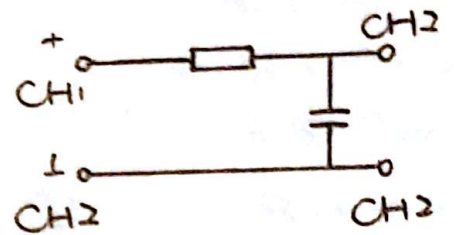
⑧

### 6. 相位差的测量

a. 电路接法、输出信号与 5. a 类似.

b. 测量正弦波周期  $T$  和波形相差时间  $t$ ,

c. 相位差  $\Delta\phi = \frac{t}{T} \times 360^\circ$ .



⑨



## 【数据处理与结果】

### 3. 用比较法验证 $f_y = n f_x$

扫描时基信号  $0.5 \text{ms/div}$ , 因此  $f_x = 200 \text{Hz}$ .

波形个数 $n$	1	2	3	4	5	
信号频率 $f_y/\text{Hz}$	197.600	395.700	593.500	791.100	989.000	
$\hat{f}_x = \frac{f_y}{n} / \text{Hz}$	197.600	197.850	197.833	197.775	197.800	

$$\bar{f}_x = \frac{\sum_{i=1}^5 \hat{f}_{xi}}{5} = 197.772 \text{Hz}$$

$$\text{误差 } E = \frac{|\bar{f}_x - f_x|}{f_x} \times 100\% = 1.2\%$$

$$(A \text{类不确定度 } U_A(f_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\hat{f}_{xi} - \bar{f}_x)^2}{5 \times 4}} = 0.05 \text{Hz}, \text{ 因此 } \bar{f}_x = (197.77 \pm 0.05) \text{Hz})$$

### 4. 用李萨如图形测量信号频率

$$f_y = 50 \text{Hz}$$

$f_y : f_x$	1:1	1:2	1:3	2:1	2:3
图形					
$N_y$	2	4	6	2	6
$N_x$	2	2	2	4	4
$f_x / \text{Hz}$	49.970	100.064	150.039	25.021	74.994
$\hat{f}_y = f_x \cdot \frac{N_x}{N_y} / \text{Hz}$	49.970	50.032	50.013	50.042	49.996

$$\bar{f}_y = \frac{\sum \hat{f}_y}{5} = 50.011 \text{Hz} \quad \Delta f_y = |\bar{f}_y - f_y| = 0.011 \text{Hz}$$

$$\text{误差 } E = \frac{\Delta f_y}{f_y} \times 100\% = 0.022\%$$

### 5. 二极管正向导通电压测量

利用光标法, 测得  $U_{ip-p} = 4.80 \text{V}$ ,  $U_{zp} = 1.76 \text{V}$

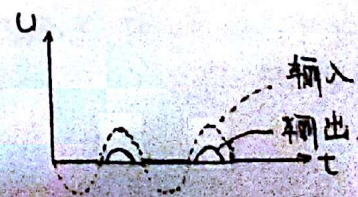
$$\text{因此正向导通电压 } \frac{U_{ip-p}}{2} - U_{zp} = 0.64 \text{V}$$

### 6. 相位差的测量

利用光标法, 测得两波形最近波峰间距  $\Delta t = 0.108 \text{ms}$ , 周期  $T = 0.496 \text{ms}$

$$\text{因此相位差 } \Delta \phi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ = 78.4^\circ$$

二极管整流:





## 【误差分析】

1. 由于波形存在宽度，因此实验 3.5.6 中对  $u$  或  $t$  的测量存在一定误差；
2. 实验 3 中，让两个波峰分别位于示波区域最左、最右两边的竖线上时，由于不一定能确切找到波峰，以及波形宽度带来的影响， $f_y$  的测量会有一定误差；
3. 实验 4 中，由于信号发生器精度有限，很难通过调节  $f_x$  使得李萨如图形保持稳定；同时由于信号发生器不够稳定，有时调节到近乎稳定的状态后数字又会开始翻转；这反映出实际信号的频率与信号发生器的示数（设置值）存在偏差，从而引入误差；
4. 实验 6 中，频率设置值  $f = 2 \text{ kHz}$ ，而实际值  $f' = \frac{1}{T} = 2.016 \text{ kHz}$ ，这再次证明了信号发生器的设置值与实际值存在一定偏差，因此在各个实验中都会引入误差。

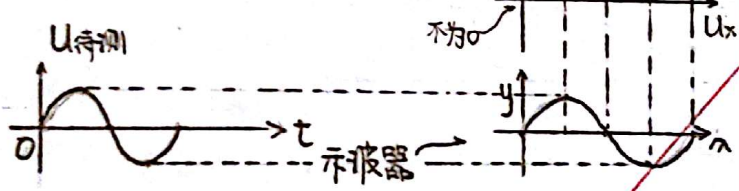
## 【实验心得及思考题】

### 思考题 1. 示波器示波原理：

当我们绘制一张波形图时，我们实际上绘制的是  $u$  关于  $t$  的函数图象  $u = u(t)$ 。我们希望显示波形，就要构造  $x$  和  $y$ ，使得  $y = y(x)$  与  $u = u(t)$  有同样的形状。

我们将待测信号加在 Y 轴垂直偏转板上，那么垂直偏转  $y \propto U_y$ 。同理，扫描信号  $x \propto U_x$ 。而扫描电压是锯齿形的，因此  $x$  等价于  $t$ ， $y$  等价于  $u$ 。我们构造了与  $u(t)$  同样形状的  $y(x)$ 。

即，示波器上亮点坐标  $(x, y)$  中， $y \propto u$ ， $x \propto t$ 。因此  $(x, y)$  反映了  $(u, t)$ 。



当  $T_x = nT_y$  时，各次扫描结果恰好重叠，则波形清晰、稳定。

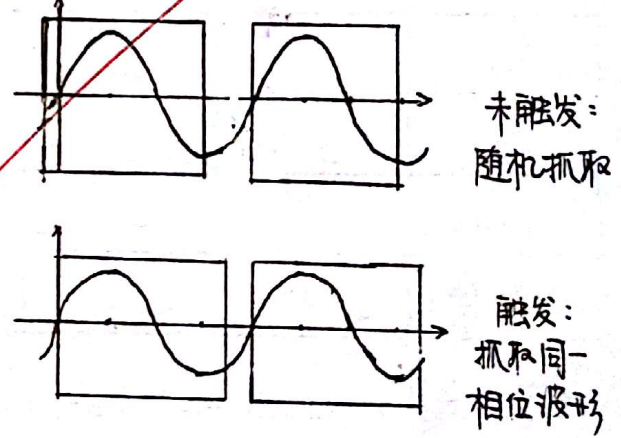
思考题 2. 翻转是由于两个信号的频率并非成严格的整数比，因此导致两信号的相位差不断变化。

翻转快慢即相位差改变的快慢，这与两者频率整数倍间的差值  $|pf_x - qfy|$  有关 ( $p, q$  互质)。

### 思考题 3.

同步：保证被测信号与扫描信号的频率成整数比。否则，由于相位不断变化会导致波形的左移或右移

调整：用 TRIG LEVEL 调节触发电平幅值，使得每次触发抓取的信号相位相同，从而显示一条稳定的波形。



### 实验心得：

本次实验最大的收获之一是老师指出了我在误差有效位数和修约规则方面的错误。非常感谢老师的提醒。

本次实验内容较为简单，但我们对仪器的功能及其实现方式（如栅极、聚焦阳极、同步和触发系统等等）有了较为深层次的理解，这是十分有益的。