

## 【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

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

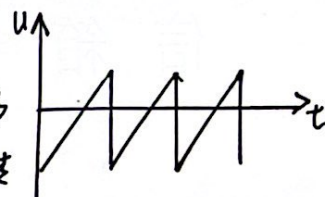
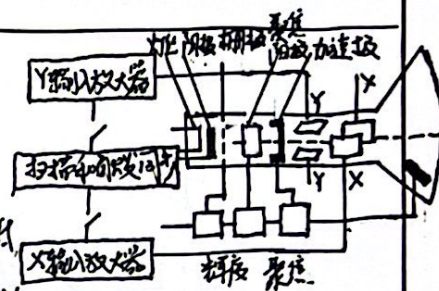
在两块X或Y的偏转板上加上电压后,电子束通过时运动方向发生偏转。由于示波器本身灵敏度不高,因此X、Y输入电压需放大。容易证明,亮点的偏转位移与水平、垂直偏转电压成正比

### ②波形扫描原理

在X轴水平偏转板上加如图示的扫描电压,则亮点在水平方向上的投影从左向右匀速运动。由于人眼有视觉暂留作用,可使Y轴电压信号引发的偏转沿水平线展开。显然,当扫描电压周期 $T_x$ 与Y轴电压周期 $T_y$ 满足 $T_x = nT_y$  ( $n=1,2,3,\dots$ )时,各次扫描结果全部能叠,荧光屏上显示清晰、稳定的波形

### ③李萨如图形

如果在X、Y轴上分别输入正弦信号,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简谐振动的合振动。荧光屏上将显示出合振动的图形,称为李萨如图形。有关系 $f_y:f_x = N_x:N_y$ ,其中 $N_x, N_y$ 分别为x方向和y方向的两直线与图形的最多交点个数。因此,已知一信号频率时,可结合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) 直读法

- 旋转VOLTS/DIV选择倍率因数D, D在屏上显示
- 调节POSITION读出正弦波峰-峰所占高度h.
- 计算被测电压峰-峰值  $U_{p-p} = D \cdot h$ .

#### (2) 光标法

- 按下“ΔU-Δt-OFF”选择ΔU, 屏上出现上下两条水平亮线(光标).
- 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.
- 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) 直读法

- 旋转TIME/DIV选择并读出时基因素Q
- 调节POSITION, 读出一个周期所占格数x
- 计算周期  $T = Q \cdot x$ .

#### (2) 光标法

- 按下“ΔU-Δt-OFF”选择Δt, 屏上出现左右两条垂直光标, 以类似①(2)方法测出T

### ③ 验证 $f_y = n f_x$

- 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, 使屏上显示  $n=1, 2, \dots$  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  $E = \frac{|f_x - f_{x0}|}{f_{x0}} \times 100\%$ ,  $f_x = \frac{\sum f_x}{n}$

#### ④ 用李萨如图形测量信号频率

- Y信号(CH2)输入50Hz标准信号, 作为被测
- 信号发生器分别产生25, 50, 75, 100, 150Hz左右信号作为X信号, 输入至“CH1”端口.

(c) 调节  $f_x$  至出现稳定图形, 记录  $f_x, N_x, M_y$

(d) 根据  $f_y = \frac{M_y}{N_x} f_x$  计算  $f_y$  并计算误差  $\sigma_f = |f_y - f_{y0}|$

#### 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

的峰-峰值  $U_{op}$

(d) 正向导通电压  $U = \frac{U_{p-p}}{2} - U_{op}$

#### ⑥ 相位差的测量

(a) 电路接法与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  $\Delta\phi = \frac{t}{T} \times 360^\circ$

## 【实验器材及注意事项】

### ① 实验器材: SS-7804示波器

基本调节方式:

- 调节亮度(INTEN, 即辉度)和聚焦(FOCUS)按钮
- 选择合适的触发源(SOURCE)和触发耦合(COUP)
- 调节波形在屏幕上的水平和垂直位置(PPOSITION), 倍率因数(VOLTS/DIV), 扫描速率和时度选择(TIME/DIV), 使屏幕上显示合适的波形
- 如果发生波形左移, 右移, 调节触发电平幅度(TRIG LEVEL)至使其稳定下来

### ② 注意事项

- 调节INTEN和FOCUS使直径小, 波形清晰, 有助于减少误差.
- 亮度(辉度)不可过高, 亮点, 不长时间固定在一个位置, 以防对荧光屏造成损伤
- 使用示波器前, 应仔细阅读说明书, 以免损坏仪器.





## 【数据处理与结果】






② 用比较法验证  $f_y = n f_x$ 扫描时基信号为  $0.5\text{ms/div}$ ,  $f_x = 200\text{Hz}$ 

波形个数 $n$	1	2	3	4	5
信号频率 $f_y/\text{Hz}$	199.500	399.700	599.600	798.900	1000.600
$\bar{f}_x = \frac{f_y}{n}/\text{Hz}$	199.500	199.850	199.867	199.725	200.120

$$\bar{f}_x = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 f_{xi} = 199.811\text{Hz}, \text{误差 } e = \frac{|\bar{f}_x - f_x|}{f_x} \times 100\% = 0.1\%$$

$$u(f_x) = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \sum_{i=1}^5 (f_{xi} - \bar{f}_x)^2} = 0.10\text{Hz} \Rightarrow \bar{f}_x = (199.81 \pm 0.10)\text{Hz}$$

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
$f_x/\text{Hz}$	50.030	100.060	150.120	25.017	74.991
$\hat{f}_y = f_x \cdot \frac{N_y}{N_x}/\text{Hz}$	50.030	50.030	50.040	50.034	49.997

$$\bar{f}_y = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \hat{f}_{yi} = 50.026\text{Hz}, e = \frac{|\bar{f}_y - f_y|}{f_y} \times 100\% = 0.05\%$$

## ⑤ 二极管正向导通电压测量

利用光标法, 测得  $U_{IP-P} = 4.76\text{V}$ ,  $U_{IP} = 1.72\text{V}$ 因此正向导通电压为  $\frac{U_{IP-P}}{2} - U_{IP} = 0.66\text{V}$ 

## ⑥ 相位差的测量

利用光标法, 测得两波形的最近波峰间距  $\Delta t = 0.100\text{ms}$ , 周期  $T = 0.496\text{ms}$ 因此相位差  $\Delta\phi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ = 72.6^\circ$ ① 测量电压 (输入电压为  $10.000\text{V}$ )直读法:  $10.100\text{V}$ 光标法:  $10.000\text{V}$ ② 测量频率/周期 (输入频率为  $1\text{kHz}$ )直读法:  $1.020\text{ms}$ 光标法:  $1.000\text{ms}$ 



## 【误差分析】

- ① 由于波形存在亮度, 因此实验①②③④⑤⑥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屏最左、最右两边的竖线上时, 由于不一定能准确地找到波峰, 以及波形成度带来的影响,  $f_y$  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秒又会开始晃动. 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, 因此各个实验中都会引入误差.

## 【实验心得及思考题】

## ① 实验心得

本次实验我了解了示波器的结构和工作原理, 熟悉示波器面板各旋钮的功能, 进而掌握了示波器的调节和使用方法; 学习了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; 观察了李萨如图形, 掌握用其测量正弦波信号频率的原理和方法; 学习了示波器在进行一些应用性电路的测量中的使用办法. 由于之间已在课堂上使用过, 所以这次实验十分顺利.

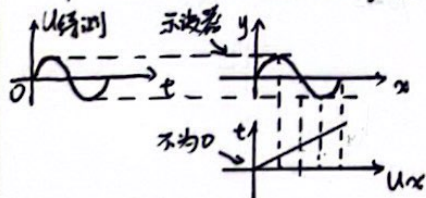
## ② 思考题

(1) 示波器为什么能显示被测信号的波形?

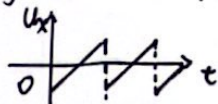
A: 当我们绘制一张波形图时, 我们实际上绘制的是  $u$  关于  $t$  的函数图像  $u = u(t)$ . 我们希望显示波形, 就需求构造  $x$  和  $y$ , 使得  $y = y(x)$  与  $u = u(t)$  有同样的形状.

我们将被测信号加在  $y$  轴垂直偏转板上, 那么垂直偏转  $y \propto u$ . 同理, 扫描信号  $x \propto u_x$ , 而扫描电压是根据时基的, 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, 每次扫描结束恰回到起始位置, 则波形清晰、稳定.



(2) Q: 在观察李萨如图形时为什么总是不断地来回旋转, 旋转快慢受哪些因素影响?

A: 旋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.

旋转快慢即相位差改变的快慢, 这与两信号频率整数倍间的差值  $|pf_x - qf_y|$  有关 ( $p, q \in \mathbb{Z}$ ).

(3) Q: 在实验解示波器同步的概念, 如果发生波形左移或右移时应该如何调整才能使其稳定下来?

A: 同步: 保证被测信号与扫描信号的频率成整数比. 否则, 两相位不断变化会导致波形的左移或右移. 调整: 用 TRIG LEVEL 调节触发电平阈值, 使得每次触发获取的信号相位相同, 从而显示一条稳定的波形.





【数据记录及草表】  
 直接法: 输入电压: 10.000V  
 电压表: 10.0100V  
 电压表: 10.000V

直接法: 输入频率: 1kHz  
 直接法: 1.830ms  
 直接法: 1.000ms

①用比较法验证  $f_y = n f_x$

基准信号: 0.5ms/div  $f_x = 200\text{Hz}$

波形个数/n	1	2	3	4	5
信号频率 $f_y/\text{Hz}$	199.500	399.700	599.600	798.900	1000.600
$f_x = \frac{f_y}{n}/\text{Hz}$	199.500	199.850	199.866	199.725	<del>200.120</del> 200.120

②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

$f_x$

50.030

100.060

150.120

25.017

74.991

$f_y = f_x \frac{N_x}{N_y}/\text{Hz}$

50.030

50.030

50.040

50.034

49.997

③二极管正向电压测量

$U_{PP} = 4.76\text{V}$

$U_{ZP} = 1.72\text{V}$

④相位差的测量

$\Delta t = 0.100\text{ms}$

$T = 0.496\text{ms}$

教师签字: 姚嘉敏

