

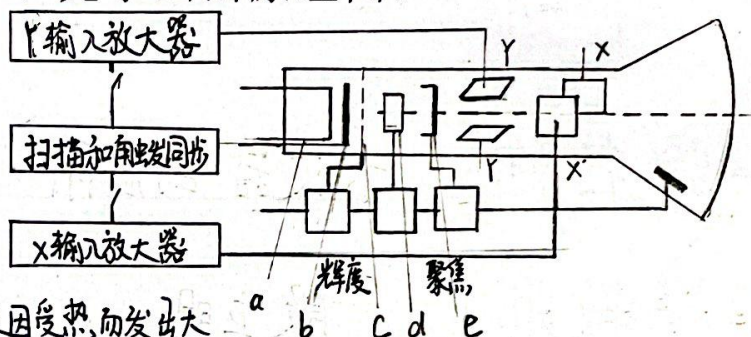
【实验目的】 1. 了解示波器的结构与工作原理。

2. 掌握示波器面板各旋钮的功能, 了解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. 学习用李萨如图形测量正弦波信号频率的原理和方法。
5. 掌握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。



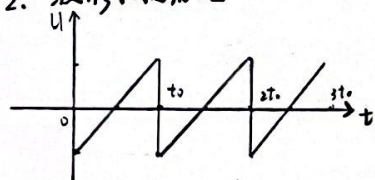
- a: 灯丝
- b: 阴极
- c: 栅极
- d: 聚焦阳极
- e: 加速极

原理: 套在灯丝外的阴极因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, 使电子高速地射向荧光屏 (聚焦阳极电位高, 引发电场)。荧光物质在电子的轰击下发出荧光, 在屏上呈现一个亮点。

当在两块 Y 或 X 偏转板间加上电压时, 受电场力作用, 使两极间电子束发生偏转, 从而荧光屏亮点发生位移。且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



若在示波器工作时在 X 轴偏转板上加有一周期性锯齿波形电压 (扫描电压) 则光点将沿 X 轴方向左右移动。因人眼视觉暂留作用, 屏上会留下水平时间基线。若同时在 Y 轴上加上正弦变化电压 U 信号, 则可使正弦变化电压 U 信号随水平展开。

当锯齿波电压信号与被测电压信号的周期呈整数倍关系, 即

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

波形显示稳定, 各次扫描结果全部重叠。

当正弦波形周期 T_y (大于) 小于锯齿波形周期 T_x 时, 波形会向 (右) 左移动。

3. 李萨如图形

若示波器的 X、Y 轴上都加有正弦变化的电压信号, 两信号频率相同或呈整数比, 则电子束运动将是两个谐运动的合运动, 荧光屏描绘的图形称为李萨如图形。

李萨如图形满足 $f_y : f_x = N_x : N_y$

其中, f_y, f_x 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切的最多交点个数或相切的最少切点个数。

若 f_x 与 f_y 之比越接近整数比关系, 则李萨如图形转动速度越慢, 从而越稳定。

【实验内容】（重点说明）

1. 测量电压

(1) 直接测量法

- ① 旋转CH₁或CH₂的VOLTS/DIV选择偏转因数D.
- ② 调节上下位置移动旋钮,使波形位置固定.
- ③ 直接从荧光屏上量出被测电压波形的高度,用

$U_{p-p} = D \cdot h$ (h 为正弦波峰-峰所占高度)
 功式转换电压值.

(2) 光标测量法

- ① 按下 $\Delta U - \Delta t - OFF$ 选择 ΔU , 至屏上出现上下平行光标.
- ② 按下 TCK/C₂ 选择任意光标, 旋转或拖动 FUNCTION 按钮, 使光标移至指定位置.

③ 再按下 TCK/C₂ 选择另一光标, 到达另一位置, 测得

U_{p-p} 大小

2. 频率或周期测量

(1) 直接测量法

- ① 旋转 TIME/DIV, 选择适当的D
- ② 测得信号一周期内占有的格数 \times 通延公式

$T_x = D \cdot x$ 求得周期, 再由 $f = 1/T$ 求出信号频率.

(2) 光标测量法

- ① 按下 $\Delta U - \Delta t - OFF$ 选择 Δt 至屏上出现左右平行垂直光标, 类比电压测量方法, 测量周期.

3. 用比较法验证 $f_y = n f_x$

(f_y 为信号频率, f_x 为扫描频率)

- ① 调节 TIME/DIV 扫描基信号, 使示波器全屏显示 1 至 5 个整周期波形, 相应记录各种情况下 f_y 信号频率.

② 根据 $f_y = n f_x$ 公式求得相应 f_x

③ 计算 $f_x = \frac{f_y}{n}$, 误差 $E = \frac{|f_x - 200|}{200} \times 100\%$

4. 用李萨如图形测量未知信号的频率

- ① 将 50Hz 标准信号作为示波器 Y 信号, 插入 CH₂ 接口

② 将频率可调信号接至示波器 CH₁ 接口, 作为 X 信号

③ 使示波器工作于 X-Y 状态.

④ 改变频率至波形稳定, 记录 f_x, N_x, N_y 数据

根据 $\Delta f = |f_y - f_x|$ 计算误差

5. 二极管正向导通电压测量

- ① 在示波器于 A 状态下, 调节输出信号, 测量信号峰-峰值 U_{p-p} .

② 测量 CH₂ 半波信号峰值 U_p .

($\frac{U_{p-p}}{2} - U_p$) 为正向导通电压

6. 相位差测量

- ① 示波器于 A 状态, 调节输出信号, 测量正弦波一个周期所占距离 x 值.

② 测量距离 x_1 值

③ 用 $\text{相位差} = \frac{x \text{方向上两波形起点对应距离 } x_1}{x \text{方向上一个周期所占距离 } x} \times 100\%$ 计算

【实验器材及注意事项】

实验器材: SS-7804 示波器

基本调节与功能

- ① 通过 INTEN 和 FOCUS 按钮对示波器亮度与聚焦进行调节
- ② 选择合适触发源 (SOURCE) 与触发耦合 (COUPL)
- ③ 调节示波器屏幕上水平及垂直 POSITION, 依次调节偏转因数选择 (VOLTS/DIV), 扫描速率和幅度选择 (TIME/DIV).
- ④ 若波形不稳或右移, 通过触发电平幅度 (TRIG LEVEL) 按钮使其稳定.

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 电压的直接测量法中, 由于直接从标尺上读数, 所以测量精度会受光迹的宽度, 人眼的视差以及衰减器与放大器的误差限制.
- ④ 调节 INTEN 与 FOCUS 按钮使直径减小, 波形清晰, 有助于减少误差.

【数据处理与结果】

1. 用比较法验证 $f_y = n f_x$ 扫描基信号 0.5 ms/div , $f_x = 200 \text{ Hz}$

波形个数 n	1	2	3	4	5
信号频率 f_y / Hz	199.800	399.200	600.500	799.100	998.500
$f_x = \frac{f_y}{n} / \text{Hz}$	199.800	199.600	200.167	199.775	199.7

$$\bar{f}_x = \frac{\sum_{i=1}^5 f_{xi}}{5} = 199.808 \text{ Hz}$$

$$\text{误差 } E = \frac{|\bar{f}_x - 200|}{200} = 0.076\%$$

$$(A \text{ 类不确定度 } U_A(f_x)) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (f_{xi} - \bar{f}_x)^2}{5 \times 4}} = 0.1 \text{ Hz} \quad \therefore f_x = (199.8 \pm 0.1) \text{ Hz}$$

2. 用李萨如图形测量未知信号的频率

频率比 $f_y : f_x$	1:1	1:2	1:3	2:1	2:3
图形					
垂直交点数 (y)	2	4	6	2	6
水平交点数 (x)	2	2	2	4	4
f_x / Hz	50.061	100.221	150.191	25.054	75.051
$f_y = f_x \cdot \frac{N_x}{N_y} / \text{Hz}$	50.061	50.111	50.064	50.108	50.034

$$\bar{f}_y = \frac{\sum_{i=1}^5 f_{yi}}{5} = 50.076 \text{ Hz}$$

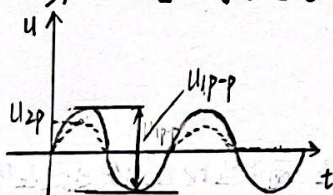
$$\text{误差 } \Delta f_y = |\bar{f}_y - f_y| = 0.076 \text{ Hz}$$

$$E = \frac{\Delta f_y}{f_y} = 0.152\%$$

$$U_A(f_y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (f_{yi} - \bar{f}_y)^2}{5 \times 4}} = 0.015 \text{ Hz}$$

$$\therefore f_y = (50.076 \pm 0.015) \text{ Hz}$$

3. 二极管正向导通电压测量

利用光标测量法, 得 $U_{IP-P} = 4.96 \text{ V}$, $U_{AP} = 1.92 \text{ V}$

$$\therefore \text{正向导通电压: } \frac{U_{IP-P}}{2} - U_{AP} = \frac{4.96}{2} - 1.92 = 0.56 \text{ V}$$

4. 相位差的测量

可以用时间相对比例来代替 x 轴相位相对比例来计算相位差光标法: $T = 0.500 \text{ ms}$, $\Delta t = 0.110 \text{ ms}$

$$\therefore \Delta \varphi = \frac{0.11 \text{ ms}}{0.50 \text{ ms}} \cdot 360^\circ = 79.2^\circ$$

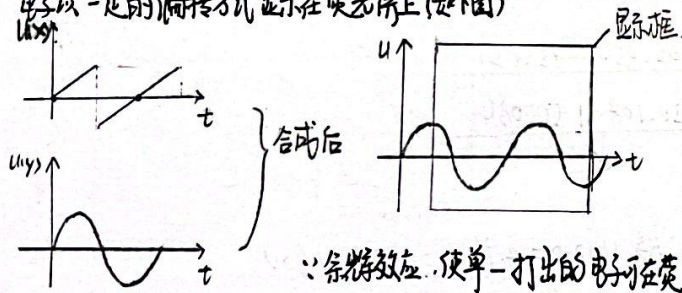
【误差分析】

1. 由于示波器中波形显示存在线宽, 因此用直接测量法或光标测量法读数均存在误差。
2. 在实验“比较法验证 $y = \sin x$ ”需要调节波形个数, 但最左、最右示波区域无精确刻度, 难以精确确定周期是否已重合, 因而对 y 的调节存在一定误差。
3. 受仪器精度影响, 在用李萨如图形测量未知信号的频率”实验中, 图形在显示器上难以静止而持续缓慢变化, 对相应频率调节存在较大误差区间, 因而影响最终 y 的频率计算结果精度。
4. 信号发生器的设置值与实际值存在一定误差, 会在实验的各个部分影响实验结果。

【实验心得及思考题】

思考题一:

绘制器波形图, 实际表现为对某一函数的显示。在示波器中, y 轴方向可视为 $U(t)$ 函数, 电压随时间变化, 而 x 轴则是简单的 t 函数, 因而合成后的 $y(x)$ 函数等价于 $U(t)$ 函数, 使电子以一定的偏移方式显示在荧光屏上 (如图)



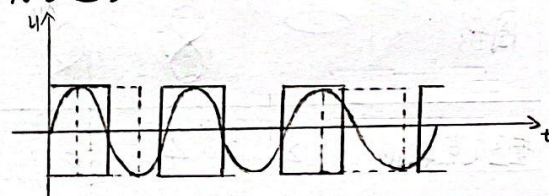
若停留时间大于整体变化周期, 则波形可显示于荧光屏上。当 $T_x = nT_y$, 则各次扫描结果将重合, 波形稳定且清晰。

思考题二:

翻转是由于仪器精度等因素影响, 无法使两个信号频率严格呈整数倍, 而使不同显示周期相位差不同的结果。

翻转的快慢与两信号频率整数倍的差值有关, 越接近严格整数比, 翻转的速度越慢, 远离则反之, 一定程度而言翻转快慢受仪器精度的限制与影响。

思考题三:



如图, 若被测信号与扫描信号的频率几乎呈整数比, 则示波器显示如虚线框选取波形稳定而“同步”。

若两者存在不同变化的相位差, 则示波器显示如实线框选取, 波形会不断左移而右移。此时, 调节 TRIG LEVEL (用触发电平幅度) 旋钮, 使得每次抓取信号相位相同, 可以使波形逐渐稳定。

实验心得:

① 第一次做大学物理实验, 前半程的自动将还是显得有些慌乱, 但对于一些基础的操作问题, 殷老师都耐心地为解答, 而一些答案, 也是一步步引导我自己去思考而醒悟。在相位差测定实验中, 对于示波器的 $U(t)$ 图像而言, x 的测量需要大动干戈一番, 但若等效为 y , 则实验测得将更显得简单。

② 另外, 也希望可以更新一下书中二维码的实验器械, 使我们在预习或者遇到一些常见实验问题时, 可以自主通过视频进行学习与解答。

③ 对误差计算, 不确定度分析, 可谓也是收获满满。