

实验 4.1 示波器的使用

【实验综述】

示波器是一种用途广泛的电子测量仪器,不仅能观测电信号的波形(电压与时间关系),还能直接测量电信号的幅度、周期、频率和相位等参数。配合各种传感器,一切可以转化为电压的电学量(如电流、电功率、电抗等)和非电学量(如温度、位移、速度、压力、光强、磁场等)都可以用示波器来观测。采用双踪示波器还可以测量两个信号之间的时间差,一些性能较好的示波器甚至可以将输入的电信号存储起来进行分析和比较。

示波器具有多种类型,就显示方式来说,主要有阴极射线示波器和液晶显示示波器两种,但它们的基本原理大致相同。本实验通过了解 SS-7804 型阴极射线双踪示波器的基本原理与使用方法,为今后示波器在其它实验中的使用打下基础。

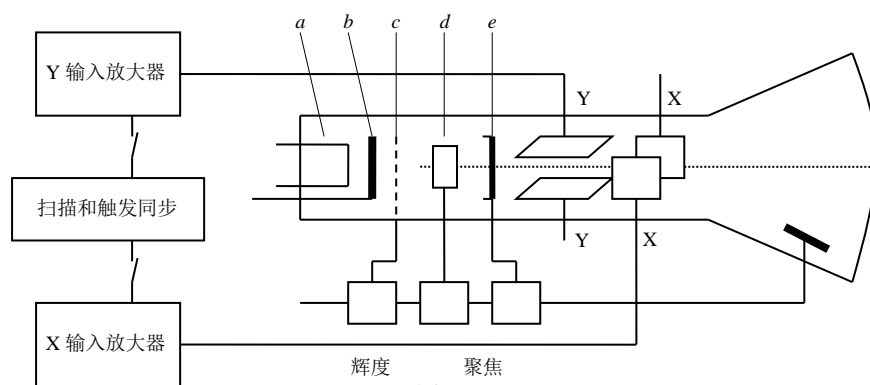
【实验目的】

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】

1. 示波管工作原理

示波器能将振荡信号以波形(正弦波、方波、锯齿波)显示在荧光屏上。它由示波管、放大器(包括 X 轴放大和 Y 轴放大)、扫描与触发同步系统和电源四个基本部分组成。

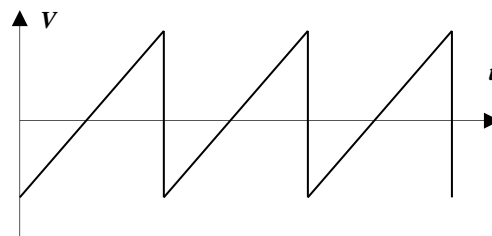


(a-灯丝,b-阴极,c-栅极,d-聚焦阳极,e-加速极)

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 4-1-1 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。

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(X 轴和 Y 轴电压需放大)。



2. 波形扫描原理

示波器工作时,需要在 X 轴偏转板(即水平偏转板)上加有一个周期性锯齿波形的电

压，称为扫描电压，如图 4-1-2 所示。扫描电压随时间均匀地增大，这时光点将沿 X 轴方向从左到右作匀速移动，因为荧光粉有一定的余辉，而且人眼有视觉暂留作用，所以在屏上留下水平时间基线。当扫描电压达到最大值时，亮点偏转位移最大，然后迅速返回原点。当锯齿波形重复产生时，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，这个过程称为“扫描”。

在 X 轴上加扫描电压信号的同时，如果在 Y 轴上加上待测的正弦变化电压 V 信号，就可以使正弦变化电压 V 信号沿水平轴展开。此时，屏上显示的图形如图 4-1-3 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，则正弦电压波形上 a, b, c, d, e 各点分别对应扫描信号上的 a', b', c', d', e' ，则正弦电压波形变化一周，光点正好扫描一次。以后各次扫描所得到的图形位置与第一次完全重叠，因此，在荧光屏上显示出清晰、稳定的正弦波图形，如图 4-1-3 所示。实践与理论都可以证明，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：

$$T_x = nT_y \quad (4-1-1)$$

(n 为正整数 $1, 2, \dots$) 波形显示稳定。只不过 $n = 1$ 时屏上显示一个完整的波形；而 $n = 2$ 时显示两个完整的波形；以此类推。

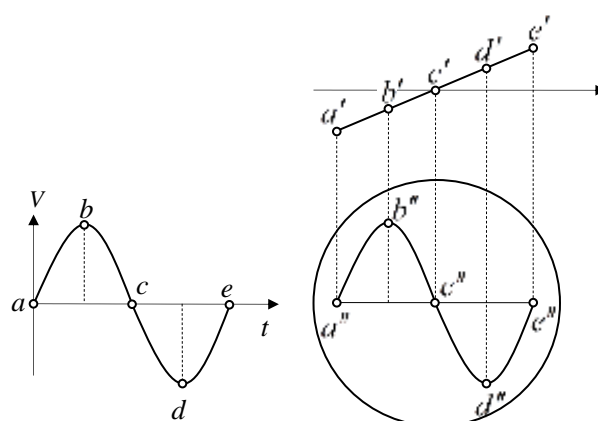


图 4-1-3

当正弦波形的周期 T_y 大于锯齿

波形的周期 T_x 时，则波形会向右移动。

当正弦波形的周期 T_y 小于锯齿波形的周期 T_x 时，则波形会向左移动。

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。图

4-1-4 显示出频率比为 $f_y : f_x = 1 : 2$ 时的李萨如图形。

当 $\phi_y - \phi_x$ 不同时，同一频率比的李萨如图形的形状也

有所不同。图 4-1-5 为三个典型的 $f_y : f_x$ 为不同频率比值时的李萨如图形。

理论推导表明李萨如图形满足以下关系：

$$f_y : f_x = N_x : N_y \quad (4-1-2)$$

式中的 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

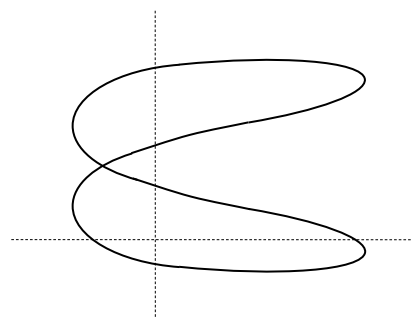


图 4-1-4

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。

利用李萨如图形可以用于未知信号的频率的测量，例如在图 4-1-4 中，如果已知 $f_x = 100\text{Hz}$ ，由图可知 $N_x = 2$ ， $N_y = 4$ ，根据公式可求得 $f_y = 50\text{Hz}$ 。

若 f_y 和 f_x 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。

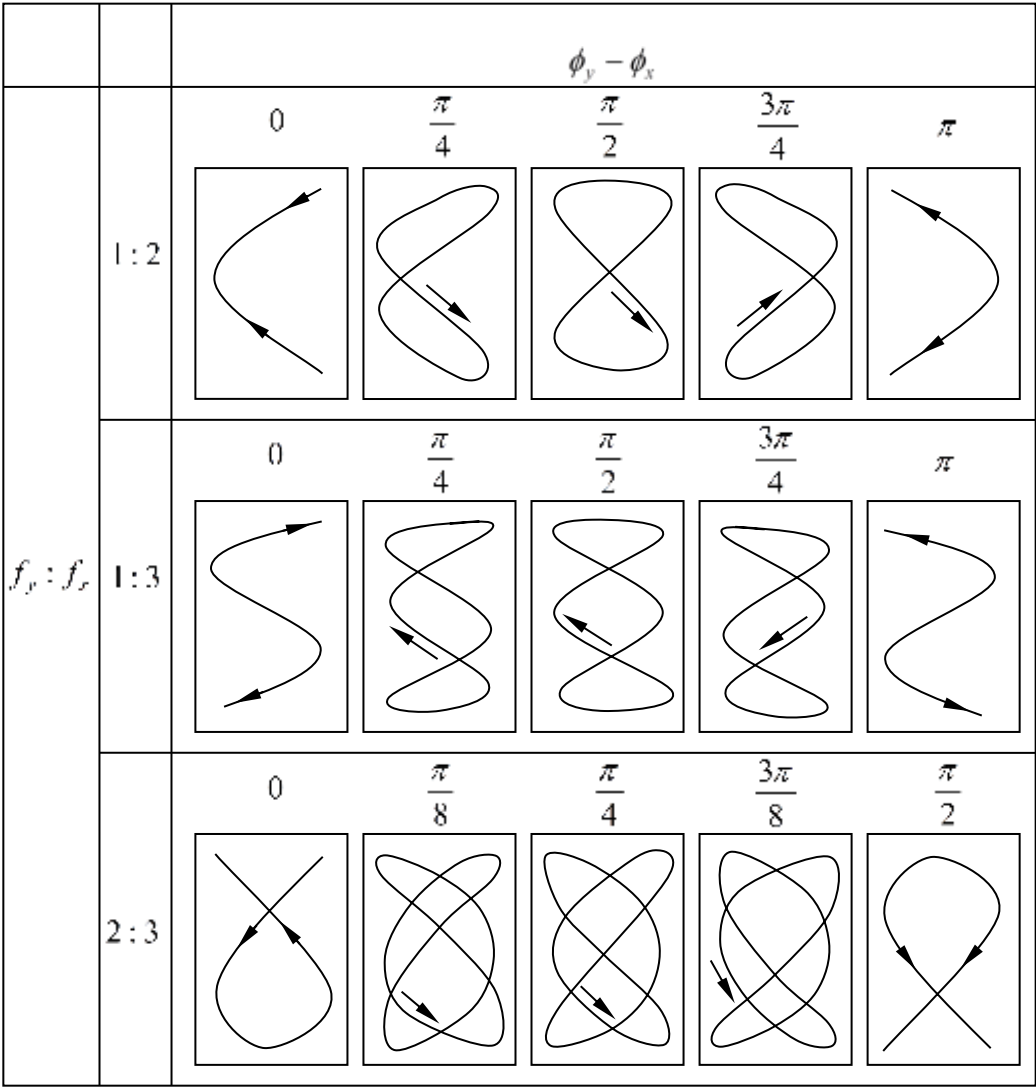


图 4-1-5

【实验仪器】

- SS-7804 示波器前面板图 4-1-6 所示。各部分功能如下：
- 1：电源开关。
 - 2：屏幕亮度、屏幕读出亮度、聚焦、标尺亮度四个调整旋钮。
 - 3：校正电压输出及接地。其中 CAL 连接器可连接输出校正电压信号（1KHz，0.6V_{pp}），用于仪器的操作检测和探头波形的调整。⊥接地可用于接地测量。
 - 4：垂直调节部分：CH1、CH2 接口用于输入信号的连接；EXT 指触发源连接接口；VOLTS / DIV 指偏转因数选择；POSITION 为垂直位移调节；CH1、CH2 按钮用于通道显示选择；

GND 指接地选择；DC/AC 指交直流耦合选择；ADD 指 CH1、CH2 两信号叠加；INV 指倒相选择。

5：水平调节部分：POSITION 为水平位移调节；TIME / DIV 指扫描速率和幅度选择；FINE 指水平位移微调；MAG×10 指光标在水平方向扫描速度扩大 10 倍；ALT 指交替显示模式；CHOP 指断续显示模式。

6：触发部分：TRIG LEVEL 指调节触发电平幅值；SLOPE 指触发斜率选择；SOURCE 指触发源选择；COUPL 指触发耦合模式选择。

7：HORIZ DISPLAY 水平显示模式：A 指单踪或双踪显示选择，X—Y 指李萨如图等闭合曲线显示选择。

8：SWEEP MODE 扫描模式选择：AUTO, NORM, SGL / RST。

9：FUNCTION：光标测量。

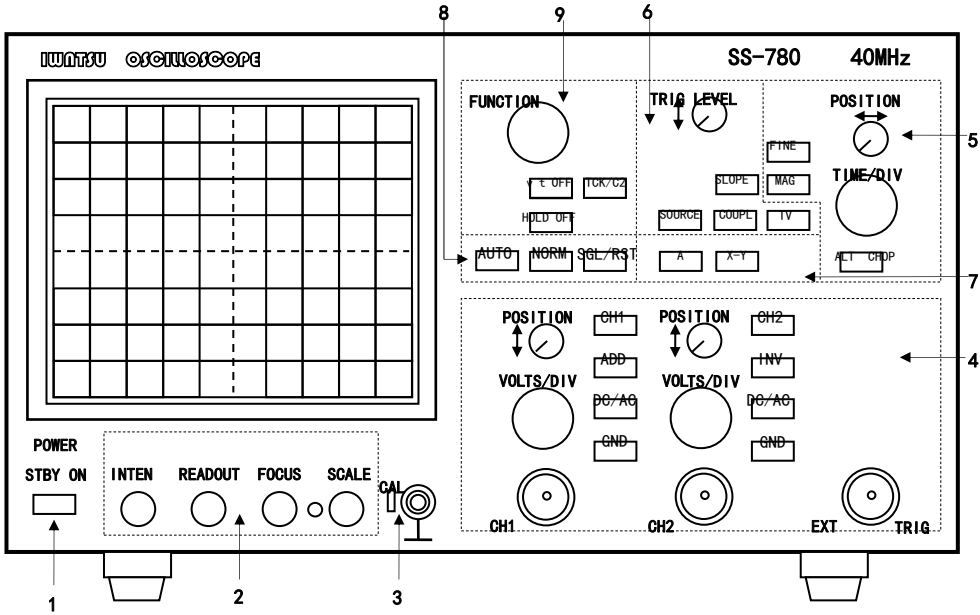


图 4-1-6

示波器屏幕菜单显示见图 4-1-7。

A	10μ s	CH1	+DC	-1. 00mv	H0:100%
B	1μ s	CH2	-DC	3. 00mv	

图 4-1-7

示波器的基本调节方法如下：

- (1) 首先对示波器的亮度 (INTEN 旋钮), 聚焦 (FOCUS 旋钮) 进行调节。
- (2) 然后, 选择合适触发源 (SOURCE 键), 触发耦合 (COUPL 键)。
- (3) 接下去, 调节波形在示波器屏幕上的水平位置和垂直位置 (POSITION), 并依次调节偏转因数选择 (VOLTS / DIV 旋钮), 扫描速率和幅度选择 (TIME / DIV 旋钮), 使得屏幕上显示合适的波形。
- (4) 最后, 如果发生波形左移或右移, 则通过调节触发电平幅值 (TRIG LEVEL 旋钮) 来使其稳定下来。

【实验内容】

1. 电压的测量

(1) 直接测量法

即直接从示波器荧光屏上量出被测量电压波形的高度, 然后转换成电压值, 公式如下:

$$V_{p-p} = D \cdot h \quad (4-1-3)$$

式中 V_{p-p} 是被测电压的峰-峰值, D 为示波器的偏转灵敏度 (偏转因数), 它的选择可以在面板的旋钮上进行, 灵敏度愈大刻度数值愈小, 灵敏度大的示波器可达 2 mv/dit, 较差的只能达到 5 mv/dit, h 表示被测量电压波形的高度。

操作步骤如下: 旋转 CH1 或 CH2 的 VOLTS/DIV, 选择偏转因数, 数值 D 就显示在屏的左下方。调节上下位置移动旋钮, 使波形移动到某一固定的位置, 读出正弦波峰-峰所占高度 h , 代入公式求出 V_{p-p} 。

由于该方法是直接从标尺上读取, 所以测量的精确度会受光迹的宽度、人眼的视差以及衰减器与放大器的误差限制。

(2) 光标测量法

操作步骤如下: 按下“ $\Delta V-\Delta t$ -OFF”选择 ΔV , 这时会在屏上出现上下平行的两条水平光标。按下 TCK/C2, 选择两条水平光标中的任一条 (在光标前会出现小亮线), 旋转或按动面板左上角“FUNCTION”旋钮, 使光标到达所需位置。再按下 TCK/C2 选择两条水平光标中的另一条, 到达所需的另一位置, 两光标之间的距离就显示在屏幕的下方, 所测得的就是 V_{p-p} 的大小。

2. 频率或周期的测量

(1) 直接测量法

示波器常通过测量周期 T_x , 然后由公式 $f = 1/T_x$, 求出待测信号的频率。其测量公式

$$T_x = Q \cdot x \quad (4-1-4)$$

式中 Q 表示时基因素, 可以通过面板扫描选择旋钮而定, 它的刻度范围表示示波器的频带宽度; x 表示被测波形的周期长度。

操作步骤如下: 旋转 TIME/DIV, 选择适当的 Q , 数据显示在屏的左上角。测出信号一个周期占有的格数 x , 进而求得周期, 然后再由 $f = 1/T_x$ 求出信号频率。

(2) 光标测量法

操作步骤如下: 按下“ $\Delta V-\Delta t$ -OFF”选择 Δt , 这时会在屏上出现左右平行的两条垂直光标。类似电压测量的方法, 测量周期。

与测量电压一样，为了提高测量精度需要进行时基信号的校准，测量的误差也是 $\pm 5\%$ 左右。

为了鉴定示波器的工作状态是否有故障，每台示波器都携带一个幅度与频率都十分准确的标准检验信号（由于示波器的型号不一样，有的是正弦信号。有的是方波信号），鉴定时可将该信号引入示波器的“Y”轴的输入端，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。

3. 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 扫描时基信号，比如选择 0.5 ms/dit (500 μ s)，此时示波器扫描频率为 200Hz（水平扫描 10 方格为一个扫描周期）。细心调节信号发生器，使示波器全屏显示 1 个、2 个... 完整周期的波形，相应地从信号发生器上读出各种情况下的 f_y 信号频率，根据 $f_y = n f_x$ 求出相应的 f_x 。

波形个数 n	1	2	3	4	5
f_y					
f_x					

最后求 $\bar{f}_x = \frac{\sum f_x}{5}$ 和 $E = \frac{|\bar{f}_x - 200|}{200} \times 100\%$ 。

4. 用李萨如图形测量未知信号的频率

- (1) 从信号发生器输出 50Hz 的标准信号，作为被测信号输入到示波器的“CH2”接口，作为 Y 信号。
 - (2) 从信号发生器输出一频率可调节的信号到示波器的“CH1”接口，频率从信号发生器读出，作为 X 信号。
 - (3) 示波器工作于“X—Y”状态。
 - (4) 改变信号发生器的输出频率为 25、50、75、100、150Hz 左右，细心调节直到出现稳定的图形。由公式 4-1-2 计算出 f_y 频率，记录数据于表 4-1-2。
 - (5) 由测量的结果，求出最佳实验值。
- 测量的误差公式：

$$\Delta f_y = |\bar{f}_y - f_y|$$

频率比 $f_y : f_x$	1 : 1	1 : 2	1 : 3	2 : 1	2 : 3
图形					
垂直交点数					
水平交点数					

读出 f_x (Hz)					
计算 f_y (Hz)					

5. 二极管正向导通电压测量

晶体二极管具有单向导通的作用，因此在交流电路中有整流作用，实验操作线路图如图 4-1-8。

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，并领会整流的物理涵义。示波器操作步骤如下：

- (1) 示波器置于“A”状态。
- (2) 调节信号发生器的输出信号(如频率为 2KHz，电压为 5V)，测量 CH1 信号峰-峰值 V_{1p-p} 。

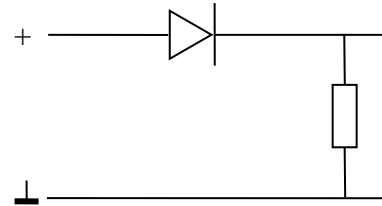


图 4-1-8

- (3) 测量 CH2 的半波信号的峰值 V_{2p} ，

($\frac{V_{1p-p}}{2} - V_{2p}$) 为正向导通电压。(硅管理论值为 0.6~

0.7V)

6. 相位差的测量

利用双踪信号可以测量两信号之间的相位差，实验线路见图 4-1-9。

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，波形图见图 4-1-10。示波器操作步骤如下：

- (1) 示波器置于“A”状态。
- (2) 调节信号发生器的输出信号(如频率为 2KHz，电压为 5V)，测量正弦波一个周期所占的距离 x 值。
- (3) 测量距离 x_1 值。
- (4) 计算公式如下：

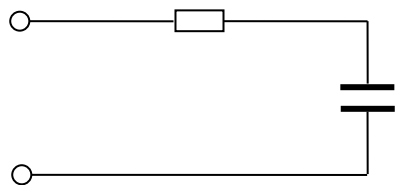


图 4-1-9

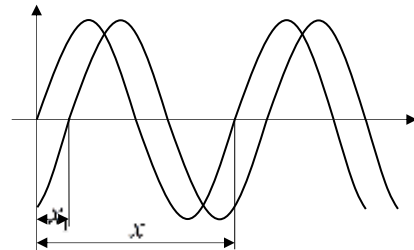


图 4-1-10

$$\text{相位差} \Delta\Phi = \frac{X \text{方向上两个波形起点间距离} x_1 (cm)}{X \text{方向上一个周期所占的距离} x (cm)} \times 360^\circ$$

注意，由于电容存在损耗，故实际所得两个正弦波信号幅度不相等。也可以通过测量 X 方向上两个波峰间距离作为 x_1 值。

【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。

【思考题】

1. 示波器为什么能显示被测信号的波形？
2. 在观察李萨如图形时为什么总是不断的来回翻转，翻转快慢受哪种因素所影响？
3. 切实理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？