

示波器的使用

电子示波器是一种常用的电子测量仪器，主要用于观察和测量各种电信号。示波器是利用电场对电子运动的影响来反映电压的瞬变过程。由于电子惯性小，荷质比大，因此示波器具有较宽的频率响应，用以观察变化极快的电压瞬变过程。示波器能直接观测电压随时间变化的波形；还能测量频率、相位等；利用换能器还能将应变、加速度、压力等其他非电量转换成电压进行测量。

【实验原理】

双踪示波器包括两部分：示波管和控制示波管工作的电路。

1. 示波管：

如图 1，示波管是呈喇叭形的玻璃泡，抽成高真空，内部装有电子枪和两对相互垂直的偏转板，喇叭口的球面壁上涂有荧光物质，构成荧光屏。高速电子撞击在荧光屏上会使荧光物质发光，从而显示出被测信号的波形。偏转板是垂直偏转板，负责 Y 轴偏转；水平偏转板，负责 X 轴偏转。

2. 同步

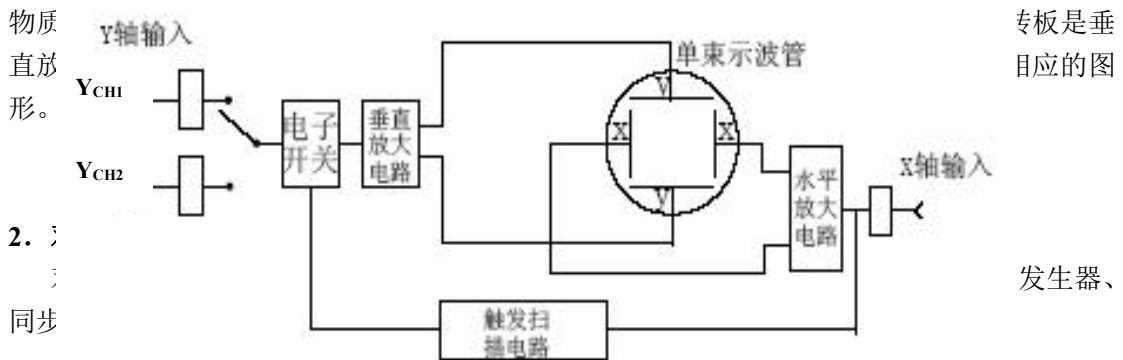


图2. 双踪示波器原理方框图

其中，电子开关使两个待测电压信号 Y_{CH1} 和 Y_{CH2} 周期性地轮流作用在 Y 偏转板，这样在荧光屏上忽而显示 Y_{CH1} 信号波形，忽而显示 Y_{CH2} 信号波形。由于荧光屏荧光物质的余辉及人眼视觉滞留效应，荧光屏上看到的是两个波形。

如果正弦波与锯齿波电压的周期稍不同，屏上出现的是一移动的不稳定图形，这是因为扫描信号的周期与被测信号的周期不一致或不呈整数倍，以致每次扫描开始时波形曲线上的起点均不一样所造成的。为了获得一定数量的完整周期波形，示波器上设有“time/div”调节旋钮，用来调节锯齿波电压的周期，使之与被测信号的周期呈合适的关系，从而显示出完整周期的正弦波形。

当扫描信号的周期与被测信号的周期一致或是整数倍，屏上一般会显示出完整周期的正弦波形，但由于环境或其他因素的影响，波形会移动，为此示波器内装有扫描同步电路，同步电路从垂直放大电路中取出部分待测信号，输入到扫描发生器，迫使锯齿波与待测信号同步，此称为“内同步”。如果同步电路信号从仪器外部输入，则称为“外同步”。操作时，使用“电平 (LEVEL)”旋钮，改变触发电平高度，当待测电压达到触发电平时，扫描发生器开始扫描，直到一个扫描周期结束。但如果触发电位高度超出所显示波形最高点或最低点的范围，则扫描电压消失，扫描停止。

3. 示波器显示波形原理：

如果在示波器的 Y_{CH1} 或 Y_{CH2} 端口加上正弦波，在示波器的 X 偏转板加上示波器内部的锯齿波，当锯齿波电压的变化周期与正弦电压的变化周期相等时，则在荧光屏上将显示出完整周期的正弦波形，如图3。如果在示波器的 Y_{CH1} 、 Y_{CH2} 端口同时加上正弦波，在示波器的

X偏转板加上示波器内部的锯齿波，则在荧光屏上将得到两个正弦波。

时间t

图3. 示波器显示正弦波形的原理

4. 李萨如图形的基本原理

如果在示波器的Y偏转板加上正弦波，在示波器的X偏转板加上另一正弦波，则当两正弦波信号的频率比值为简单整数比时，在荧光屏上将得到李萨如图形。这些李萨如图形是两个相互垂直的简谐振动合成的结果，它们满足 $\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_x}{n_y}$ ，其中， f_x 代表X偏转板上正弦波信号的频率， f_y 代表Y偏转板上正弦波信号的频率， n_x 代表李萨如图形与假想水平线的切点数目， n_y 代表李萨如图形与假想垂直线的切点数目。

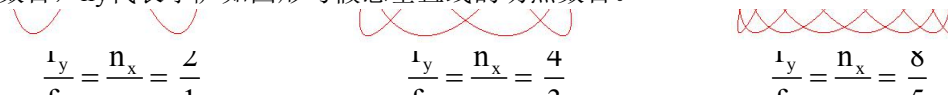


图4. 几种李萨如图形

*5. 利用双踪示波器测量相位差方法一：

将 U_i 输入示波器的 CH_1 轴， U_o 输入示波器的 CH_2 轴， U_o 与 U_i 间相位差 Φ 就转化为 CH_1 与 CH_2 间相位差，满足以下公式。

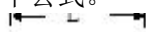


图 5. 测量相位差方法 1

*6. 用双踪示波器测量相位差方法二：

将 U_i 输入示波器X偏转板， U_o 输入示波器的 Y_{CH2} 轴，得李萨如图形。 U_o 与 U_i 间相位差 Φ 就转化为X轴与 Y_{CH2} 轴间相位差。

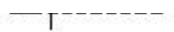


图 6. 测量相位差方法 2

两偏转板上电压解析式为 $X = X_0 \cos(\omega t - \phi)$ ， $Y = Y_0 \cos \omega t$ ，其中， X_0 、 Y_0 分别为正弦信号 U_i 、 U_o 的振幅。

由解析式得：当 $X=0$ 时， $\omega t - \phi = \pm \frac{\pi}{2}$ ，则李萨如图形在 y 轴的两交点距离为

$$B = Y_0 [\cos(\frac{\pi}{2} + \phi) - \cos(-\frac{\pi}{2} + \phi)] = 2Y_0 \sin \phi \quad (1)$$

而由解析式得：当 $\cos \omega t = \pm 1$ 时， $A = 2Y_0$ (2)

综上所述， $\sin \phi = B/A$ $\phi = \arcsin B/A$ (3)

【实验内容】

1. 观察波形：

将被测信号信号发生器的信号从 $CH_1(X)$ 输入端输入，调节“V/div”旋钮，使波形大小适中(大小占屏的 1/2~2/3 为宜)，调节信号发生器的频率和示波器的时间/格旋钮，使示波器出现稳定的正弦波；按信号发生器的波形选择按钮，分别选择三角波、方波，调节 SYM 旋钮，可观察各种波形。

2. 测正弦波的电压

- (1) 将被测信号信号发生器的信号从 $CH_1(X)$ 输入端输入，调节“V/div”旋钮，使图像大小适中(图像大小占屏的 1/2~2/3 为宜)，调节信号发生器的频率和示波器的时间/格旋钮，使示波器出现稳定的正弦波，记录信号发生器的电压值 V_{p-p} 。
- (2) 测出正弦波的波峰到波谷的垂直距离 dy ，并记录“V / div”所置位置的值 a 。
- (3) 改变信号发生器的电压值，调节“V/div”旋钮，使屏中出现大小适中的图像，重复四次，记录以上数据。
- (4) 根据公式计算 V_{p-p} 的值，并比较记录值，分析产生误差的原因。

$$V_{p-p} = a \times dy \quad (4)$$

3. 测正弦波的周期、频率

- (1) 将另一被测信号信号发生器的信号从 CH₂(Y)输入端输入, 调节“V/div”旋钮,使图象大小适中, 按要求调节信号发生器的频率和示波器的时间/格旋钮, 使示波器出现二、三个稳定的正弦波,记录信号发生器的电压值 f_y 。
- (2) 测出一个完整的正弦波的水平宽度 dx ,并记录“T / div”所置位置的值 t 。
- (3) 改变信号发生器的频率,调节“T / div”旋钮,使屏中出现二、三个稳定的正弦波,重复四次, 记录以上数据。
- (4) 根据公式计算 f_y 的值,并比较记录值,分析产生误差的原因。

$$T=t \times dx \quad f=1/T \quad (5)$$

4. 利用李莎如图形测频率

将两信号发生器分别从示波器的 Y 输入端和 X 输入端输入, 将“T / div”开关置于“X-Y”, 调节信号大小, 使屏中出现大小适中的图形, 可保持 Y 输入端信号发生器的频率不变, 调节 X 输入端信号发生器的频率, 使出现如表三所示的李莎如图形, 利用屏上图形与 X 轴和 Y 轴的切点个数比 n_x/n_y , 可分别计算 Y 输入端信号发生器的频率, 同时记录该信号发生器频率的示值。比较计算值和示值。

【思考题】

1. 简述示波器显示电压~时间图形(即电信号波形)的原理。
2. 怎样用示波器定量地测量交流信号的电压有效值和频率?
3. 观察两个信号的合成李萨如图形时, 应如何操作示波器?
4. 为了使李萨如图形稳定下来, 能否使用示波器上的同步旋钮? 为什么?
5. 用示波器观测周期为 0.2ms 的正弦电压, 若在荧光屏上呈现了 3 个完整而稳定的正弦波形, 扫描电压的周期等于多少毫秒?

附

数字示波器原理

数字存储示波器有别于一般的模拟示波器，它是将采集到的模拟电压信号转换为数字信号，由内部微机进行分析、处理、存储、显示或打印等操作。这类示波器通常具有程控和遥控能力，通过 GPIB 接口还可将数据传输到计算机等外部设备进行分析处理。

其工作过程一般分为存储和显示两个阶段。在存储阶段，首先对被测模拟信号进行采样和量化，经 A/D 转换器转换成数字信号后，依次存入 RAM 中，当采样频率足够高时，就可以实现信号的不失真存储。当需要观察这些信息时，只要以合适的频率把这些信息从存储器 RAM 中按原顺序取出，经 D/A 转换和 LPE 滤波后送至示波器就可以观察的还原后的波形。

普通模拟示波器 CRT 上的 P31 荧光物质的余辉时间小于 1ms。在有些情况下，使用 P7 荧光物质的 CRT 能给出大约 300ms 的余辉时间。只要有信号照射荧光物质，CRT 就将不断显示信号波形。而当信号去掉以后使用 P31 材料的 CRT 上的扫迹迅速变暗，而使用 P7 材料的 CRT 上的扫迹停留时间稍长一些。

那么，如果信号在一秒钟内只有几次，或者信号的周期仅为数秒，甚至信号只猝发一次，那又将会怎么样呢？在这种情况下，使用我们上面介绍过的模拟示波器几乎乃至完全不能观察到这些信号。

所谓数字存储就是在示波器中以数字编码的形式来贮存信号。当信号进入数字存储示波器，或称 DSO 以后，在信号到达 CRT 的偏转电路之前（图 1），示波器将按一定的时间间隔对信号电压进行采样。然后用一个模/数变换器（ADC）对这些采样值进行变换从而生成代表每一个采样电压的二进制字。这个过程称为数字化。

获得的二进制数值贮存在存储器中。对输入信号进行采样的速率称为采样速率。采样速率由采样时钟控制。对于一般使用情况来说，采样速率的范围从每秒 20 兆次（20MS/s）到 200MS/s。存储器中贮存的数据用来在示波器的屏幕上重建信号波形。所以，在 DSO 中的输入信号接头和示波器 CRT 之间的电路不只是仅有模拟电路。输入信号的波形在 CRT 上获得显示之前先要存贮到存储器中，我们在示波器屏幕上看到的波形总是由所采集到数据重建的波形，而不是输入连接端上所加信号的直接波形显示。