

实验 3.2.3 示波器原理与交流信号测量

示波器是一种常用的电子仪器，主要用于观察和测量各种电信号。配合各种传感器把非电量转换成电量，示波器也可以用来观察各种非电量的变化过程。本实验是利用示波器观察周期性改变信号和测量其主要参数。交流电的电压（或电流）随时间作周期性变化。实际上，所谓交流电包括各种各样的波形，如正弦波、方波、锯齿波等。本实验，主要讨论正弦交流电。交流电在生产、输送和应用等方面比起直流电来有不少优点，例如正弦交流电变化平滑且不易产生高次谐波，用傅里叶分析法可知各种非正弦的交流电都可由不同频率的正弦交流电叠加而成，用正弦交流电的分析方法可用来分析非正弦交流电。本实验的目的是了解示波器的基本原理和结构，学习使用示波器观察波形和测量信号周期及时间参数等。在本实验中我们也通过实验了解整流滤波电路。

实验原理

示波器主要由示波管（见图 3.2.3-1）和复杂的电子线路构成。示波器的基本结构见图 3.2.3-2。

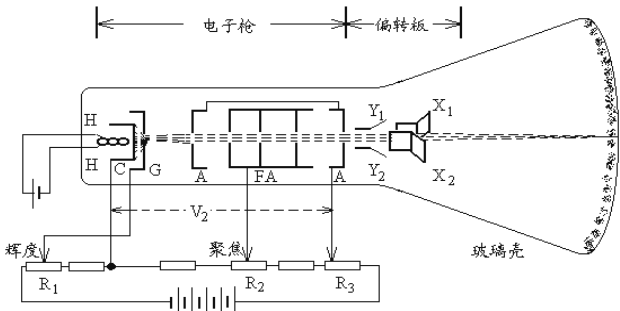


图 3.2.3-1 示波管示意图

1. 偏转电场控制电子束在视屏上的轨迹

偏转电压 U 与偏转位移 Y （或 X ）成正比关系。如图 3.2.3-3 所示： $Y \propto U_y$ 。

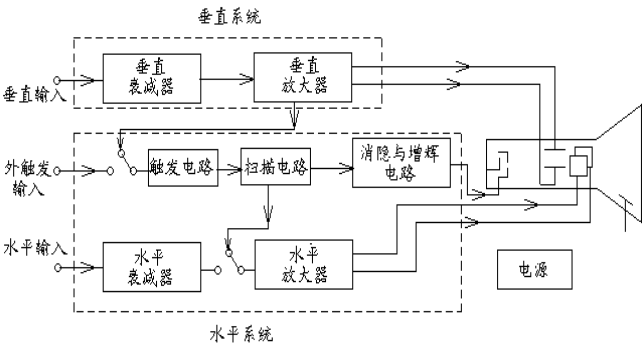


图 3.2.3-2 示波器的基本结构简图

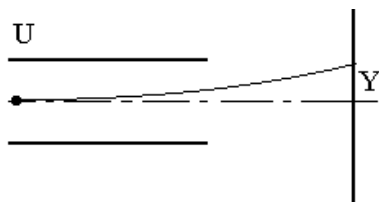


图 3.2.3-3 偏转电压 U 与偏转位移 Y

如果只在竖直偏转板（Y 轴）上加一正弦电压，则电子只在竖直方向随电压变化而往复运动，见图 3.2.3-4。要能够显示波形，必须在水平偏转板（X 轴）上加一扫描电压，见图 3.2.3-5。

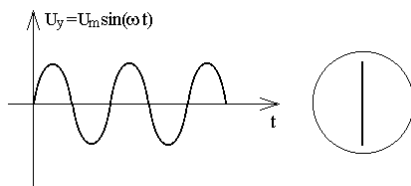


图 3.2.3-4 信号随时间变化的规律（加在 Y 偏转板）

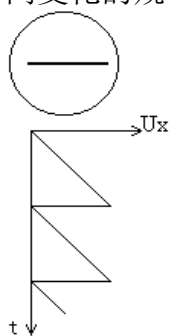


图 3.2.3-5 锯齿波电压（加在 X 偏转板）

示波器显示波形实质：见图 3.2.3-6，沿 Y 轴方向的简谐运动与沿 X 轴方向的匀速运动合成的一种合运动。显示稳定波形的条件：扫描电压周期应为被测信号周期的整数倍，即 $T_x = nT_y$ （ $n=1, 2, 3\cdots$ ）（见图 3.2.3-7）

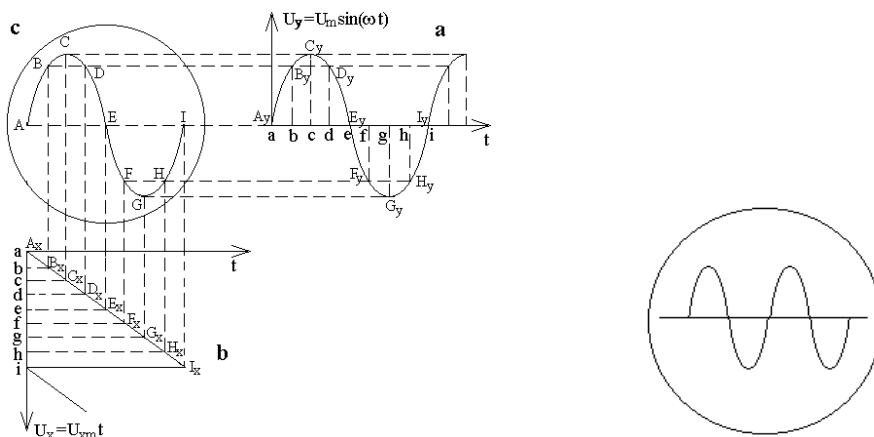


图 3.2.3-6 示波器显示波形原理图（ $T_x = T_y$ ）图 3.2.3-7 $T_x = 2T_y$ 时合成的图形

2. 同步扫描（其目的是保证扫描周期是信号周期的整数倍）

若没有“扫描”（横向的扫描电压），被测信号随时间规律变化规律就显示不出来；如果没有“整步”，就得不到稳定的波形图像。

为了达到“整步”目的，示波器采用三种方式：“内整步”：将待测信号一部分加到扫描发生器，当待测信号频率 f_y 有微小变化，它将迫使扫描频率 f_x 追踪其变化，保证波形的完整稳定；“外整步”：从外部电路中取出信号加到扫描发生器，迫使扫描频率 f_x 变化，保证波形的完整稳定；“电源整步”：整步信号从电源变压器获得。一般在观察信号时，都采用“内整步”（或称为“内触发”）。

3. 李萨如图形

李萨如图形形成实质：沿 Y 轴方向的简谐运动与沿 X 轴方向的简谐振动合成的一种合运动。

$$\begin{aligned} x &= 20\sin(2\pi \cdot f_x \cdot t + \phi_1) \\ y &= 20\sin(2\pi \cdot f_y \cdot t + \phi_2) \end{aligned} \quad (1)$$

利用利萨如图形测定未知信号的频率

公式： $n_y:n_x = f_x:f_y$ 式中的 n_x 、 n_y 分别为利萨如图形于 X、Y 轴的切点数。

4. 测正弦波的峰—峰值 V_{p-p} 、周期 T

用示波器观察正弦波波形，若该信号输入通道的标度因子为 V_0 ，单位为伏/厘米 (V/cm)，被测正弦波的正、负峰之间的距离在荧光屏上所占的高度为 H 厘米，则

$$V_{p-p} = V_0 \cdot H \quad (2)$$

若正弦波此时的时间扫描轴的单位是 t/cm，一个周期的正弦波形在荧光屏上横轴所占长度为 Lcm，则

$$T = t \cdot L \quad (3)$$

实验内容

实验仪器

双踪示波器，函数信号发生器，接线板，导线若干

1. 用示波器测量信号的周期和幅度

(1) 测量示波器自带方波信号的周期和幅度，并与理论值 (1ms, $2V_{p-p}$) 比较。（思考：时基分别选 0.2 ms/div, 0.5ms/div 和 1 ms/div 来测量周期，哪种时基测出的数据更准确，为什么？）

(2) 选择信号发生器的对称方波接 Y 输入，频率为 2000Hz，幅度分别为 0.5 V_{p-p} 、1 V_{p-p} 、1.5 V_{p-p} 、2 V_{p-p} 、2.5 V_{p-p} 、3 V_{p-p} 、3.5 V_{p-p} ，选择示波器合适的灵敏度，测量信号的幅度。以信号发生器的幅度为 x 轴，示波器所测幅度为 y 轴，用坐标纸作曲线。

(3) 选择信号发生器的正弦波接 Y 轴输入，幅度为 $5V_{p-p}$ ，频率分别为 200、500、1 K、2K、5K、10K、20K (Hz)，选择示波器合适的时基，测量信号的周期，并换算成频率。以信号发生器的频率为 x 轴，示波器所测频率为 y 轴，用坐标纸作曲线。

2. 观察李萨如图形并测频率

用信号发生器两个通道分别接 y 轴和 x 轴。当两个信号的频率满足一定关系时，荧光屏上会显示出李萨如图形。可用测李萨如图形的相位参数或波形的切点数来测量时间参数。

频率相同而振幅和相位不同时，两正交正弦电压的合成图形如图 3.2.3-8 所示。两正交正弦电压的相位差一定，频率比为一个有理数时，合成的图形为一条稳定的闭合曲线。图 3.2.3-9 是几种频率比时的图形，频率比与图形的切点数之间有下列关系：

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{\text{水平切线上的切点数}}{\text{垂直切线上的切点数}}$$

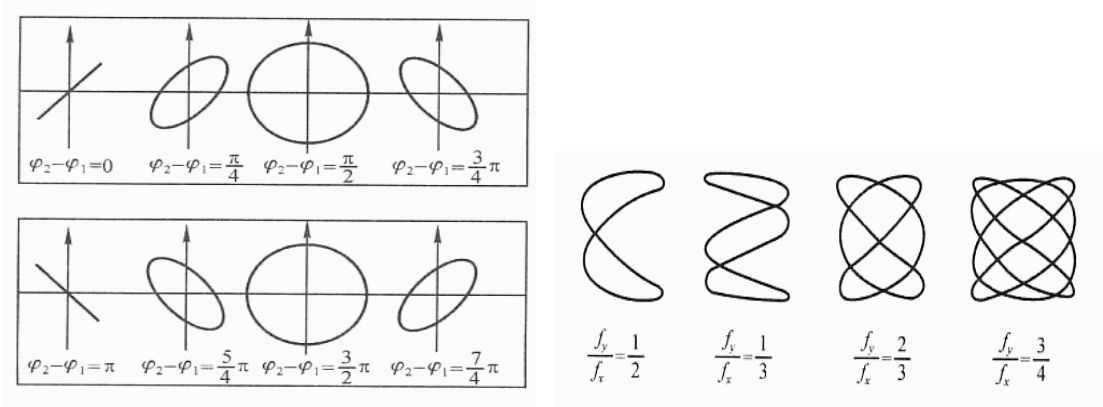


图 3.2.3-8 不同相位差的李萨如图形 图 3.2.3-9 不同频率比的李萨如图形
要求取 $f_x = 1200\text{Hz}$ ，调节 f_y 使得示波器出现 5 种不同的李萨如图形，记录相应的 f_y 和图形，验证上述关系式。

3. 选做内容

(1) 整流电路的观察和测量

1) 半波和全波整流电路如图 3.2.3-10 所示，在实验板上自行搭建电路，调节信号发生器的输出频率为 500Hz。

2) 用示波器分别观察半波整流和全波整流的输入信号 U_i 和输出信号 U_o ，分别画出 U_i 和 U_o 的图形。

3) 用示波器分别测量 U_i 和 U_o ，计算有效值。

注意： U_i 和 U_o 不能用一台示波器的两个通道同时观察，试分析原因。

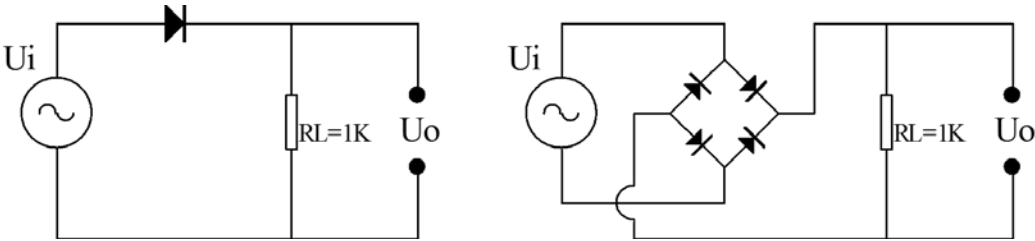


图 3.2.3-10 半波和全波整流电路

(2) 滤波电路的观察和测量

1) 全波整流滤波电路如图 3.2.3-11 所示，在实验板上自行搭建电路，调节信号发生器的输出频率为 500Hz。

2) 用示波器分别观察输入信号 U_i 和输出信号 U_o ，并分别画出 U_i 和 U_o 的图形。

3) 改变信号发生器的输出频率, 观察 U_o 的变化。

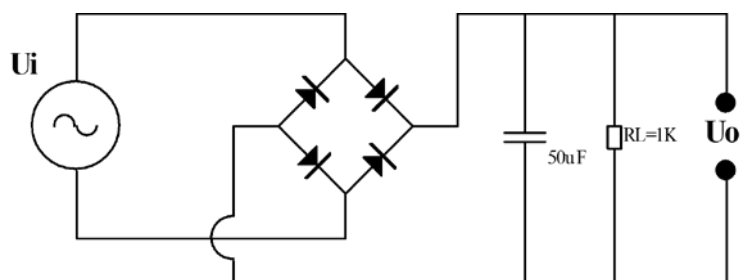


图 3.2.3-11 全波整流滤波电路

思考题

1. 1V 峰峰值的正弦波, 它的有效值是多少?

$$\text{有效值 } U = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}} \approx 0.35355339(\text{V})$$

2. 示波器稳定显示周期信号的条件?

y 轴偏转板上加上待测信号电压, x 轴偏转板上必须加上锯齿电压, 锯齿波电压周期应保持为待测信号周期的整数倍。

参考资料

1. 吴泳华, 霍剑青, 浦其荣 主编. 大学物理实验 (第一册). 北京: 高等教育出版社, 2005.

(王晓峰)