

# 示波器

李嘉轩

1600011628

北京大学物理学院天文学系, 100871

jiaxuan.li@pku.edu.cn

2017年10月14日

## 1 使用示波器测量正弦波的周期、频率、电压峰峰值和电压有效值

本实验要求使用示波器测量信号发生器产生的正弦波的周期、频率、电压峰峰值和电压有效值, 进而熟悉和掌握使用示波器进行实验的基本规范和要求。本次实验使用的仪器有:

- SS-7802A(20MHz)型示波器;
- TFG6920A(20MHz)型信号发生器。

本次实验中设置信号发生器输出信号为100.00Hz、 $U_{pp} = 20.00V$ 的正弦波。实验中我先使用了示波器屏幕上的标尺配合偏转因数 $K$ 和每格扫描时间 $t_0$ 去测量待测正弦波的周期 $T$ 和电压峰峰值 $U_{pp}$ ; 而后使用读出示波器的CURSOR(光标)功能直接测量了待测正弦波的周期 $T$ 和电压峰峰值 $U_{pp}$ ; 最后, 可以根据公式算出频率

$$f = \frac{1}{T},$$

以及电压有效值

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{pp}}{2\sqrt{2}}.$$

本次实验中, 要求测量结果精确到1个误差位。

### 1.1 测量待测正弦波的周期和频率

首先使用屏幕上的标尺进行测量。调节VOLT/DIV和TIME/DIV旋钮, 使待测正弦波显示在屏幕中的恰当位置。此时, 每格扫描时间 $t_0 = 2 \text{ ms}$ 。在示波器屏幕上观察, 可以得到两个波峰之间的时间间隔为 $T = 10.0 \text{ ms}$ 。在这个 $t_0$ 之下, 最小格代表的时间为 $\frac{t_0}{5} = 0.4 \text{ ms}$ , 所以误差位就是十分位, 结果保留到一个误差位即为

$$T = 10.0 \text{ ms}.$$



由此算得

$$f = \frac{1}{T} = 100 \text{ Hz.}$$

根据不确定度传递公式，我们有：

$$\sigma_f = \frac{\sigma_T}{T^2},$$

在本次测量中， $\sigma_T = 0.4 \text{ ms}$ ，因此我们有：

$$\sigma_f = 4 \text{ Hz.}$$

所以一个误差位是个位，因此保留到一个误差位的测量结果就是

$$f = 100 \text{ Hz.}$$

之后我使用示波器CURSOR进行测量，在 $\Delta V - \Delta t - \text{Off}$ 模式下，分别移动光标1和光标2使一个周期被两个光标所夹。这两个光标之间的时间差显示为

$$T_{\text{cursor}} = 9.98 \text{ ms.}$$

因此

$$f_{\text{cursor}} = \frac{1}{T_{\text{cursor}}} = 100.2 \text{ Hz.}$$

## 1.2 测量待测正弦波的电压峰峰值和电压有效值

首先使用屏幕上的标尺进行测量。调节VOLT/DIV和TIME/DIV旋钮，使待测正弦波显示在屏幕中的恰当位置。此时，偏转因数 $K = 5 \text{ V/cm}$ 。在示波器屏幕上观察，可以得到波峰到波谷之间的电位差为 $U_{\text{pp}} = 21.0 \text{ V}$ 。在这个 $K$ 之下，最小格代表的电位是 $\frac{K}{5} = 1 \text{ V/cm}$ ，所以误差位就是个位的下一位，即十分位。所以本次测量的结果保留到一个误差位即为

$$U_{\text{pp}} = 21.0 \text{ V.}$$

由此算得

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{pp}}}{2\sqrt{2}} = 7.4 \text{ V.}$$

这个结果也是保留到一个误差位的。

之后我使用示波器CURSOR进行测量，在 $\Delta V - \Delta t - \text{Off}$ 模式下，分别移动光标1和光标2使波峰波谷被两个光标所夹。幸运的是，我是用的这台示波器不存在扫描方向不水平的情况，所以不用调节扫描方向与水平之间的夹角。这两个光标之间的电位差显示为

$$U_{\text{pp,cursor}} = 20.20 \text{ V.}$$

因此

$$U_{\text{eff,cursor}} = \frac{U_{\text{pp,cursor}}}{2\sqrt{2}} = 7.10 \text{ V.}$$



## 2 李萨如图形

使用示波器的X-Y模式可以方便地将两个振动合成为李萨如图形。在本实验中，CH1与CH2分别连接两个不同频率的正弦信号。在显示CH1时打开X-Y模式，可以看到屏幕上显示的是一根亮线，而非李萨如图形，这是因为CH1通道的X-Y模式是将CH1分别放置在X与Y方向，相当于CH1通道的信号自己与自己合成，必然是一条直线。所以我们关闭CH1通道的显示。在只显示CH2通道之后，X-Y模式下，X方向是CH1通道的信号，Y方向是CH2通道的信号。

本实验中，我调出了三对不同频率的正弦波合成李萨如图形。分别如图1、2、3所示。

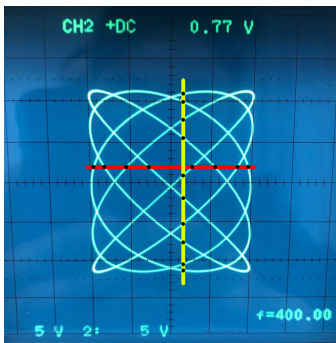


图 1:  $n_y : n_x = 10 : 8$

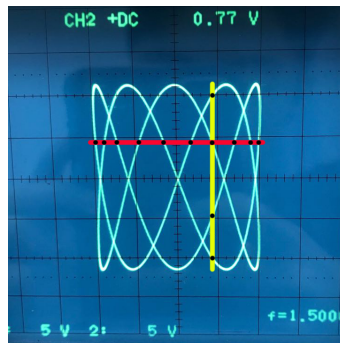


图 2:  $n_y : n_x = 4 : 10$

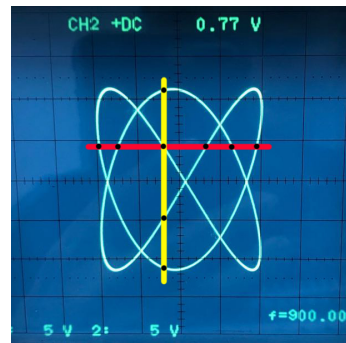


图 3:  $n_y : n_x = 4 : 6$

在图1的实验中， $f_x = 500$  Hz， $f_y = 400$  Hz，因此我们看到：

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{500}{400} = \frac{10}{8} = \frac{n_y}{n_x}.$$

在图2的实验中， $f_x = 600$  Hz， $f_y = 1500$  Hz，因此我们看到：

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{600}{1500} = \frac{4}{10} = \frac{n_y}{n_x}.$$

在图3的实验中， $f_x = 600$  Hz， $f_y = 900$  Hz，因此我们看到：

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{600}{900} = \frac{4}{6} = \frac{n_y}{n_x}.$$

根据这三个李萨如图形，我们可以总结得到：

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x}. \quad (1)$$

## 3 思考题

1. 测量仪器最小分度与测量结果有效数字的关系。

答：在本实验中，测量结果要求保留到一位误差位。因此我们需要根据实验中选择的不同档位(即不同的偏转因数 $K$ 和每格扫描时间 $t_0$ )来确定误差位到底是哪一位。实验中，我们根据偏转因数 $K$ 和



每格扫描时间 $t_0$ 可以算出最小分度值(即最小刻度对应的物理量的值)。

举个例子, 如果最小分度值为1, 0.1, 0.01(单位), 那么误差位就是最小分度值的下一位。如果要保留到一个误差位, 则对于刚才举的例子, 就应该保留到0.1, 0.01, 0.001(单位)这一位。

如果最小分度值计算出来不是类似1, 0.1, 0.01(单位), 而是6, 0.6, 0.06(单位), 那么误差位就是最小分度值这一位, 也就是说测量结果应该保留到1, 0.1, 0.01(单位)这一位。

## 2. 如何使用示波器判断两个正弦波的频率比与相位差?

答: 使用X-Y模式将两路信号接入示波器, 观察起李萨如图形。取一与 $x$ 轴平行的直线与李萨如图形相交, 上下移动该直线, 直到该直线与李萨如图形交点最多, 此时数出交点个数为 $n_x$ ; 然后使用相同的方法, 得到 $y$ 方向的 $n_y$ (实例见1、2、3)。于是我们有式1:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x}.$$

这样就可以确定两路正弦波的频率比。

对于不同频率的正弦波, 我们可以把它们写为:

$$x(t) = A_x \sin(\omega_x t + \phi_{0x}); \quad (2)$$

$$y(t) = A_y \sin(\omega_y t + \phi_{0y}). \quad (3)$$

于是相位差就是:

$$\Delta\phi = (\omega_x - \omega_y)t + (\phi_{0x} - \phi_{0y}).$$

可以看出, 相位差随时间变化。因此测量不同频率正弦波的相位差没有什么意义。

下面讨论测量同频正弦波的相位差。两个同频正弦波形成的李萨如图形是一个椭圆, 如下图4所示: 此时两个振动分别写成:

$$x(t) = A_x \sin(\omega t + \phi_{0x}); \quad (4)$$

$$y(t) = A_y \sin(\omega t + \phi_{0y}). \quad (5)$$

从图中我们可以得到:  $x_m = A_x$ 。在 $(x_0, 0)$ 点时, 我们有:

$$y(t) = A_y \sin(\omega t + \phi_{0y}) = 0,$$

$$\omega t + \phi_{0y} = m\pi,$$

$$\omega t = m\pi - \phi_{0y}.$$

把它带到 $x(t)$ 中, 则有:

$$x_0 = A_x \sin(m\pi - \phi_{0y} + \phi_{0x}) = x_m \sin(\phi_{0y} - \phi_{0x}).$$

因此,

$$\Delta\phi = \phi_{0y} - \phi_{0x} = \arcsin\left(\frac{x_0}{x_m}\right).$$

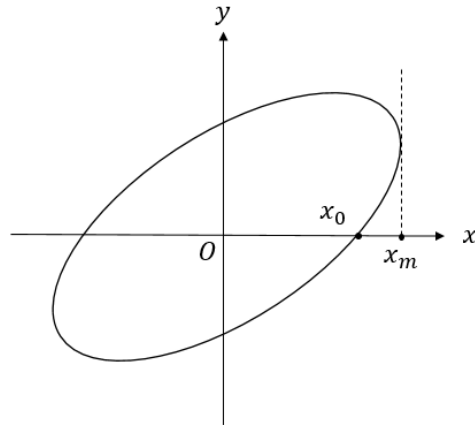


图 4: 测量同频正弦波的相位差

## 4 分析讨论与感想

1. 示波器是电磁学实验的基础仪器之一，通过本次实验，我重新复习了高中学过的示波器的使用，现在能够更加熟练地掌握示波器的使用了。高中时使用的是简单地模拟示波器，没有读出功能，没有光标功能，触发模式也没有实验室提供的读出示波器这么多。通过本次实验，我更加明白了触发的原理以及根据实际情况调节触发模式和触发电位的方法，也体验了用CURSOR进行测量的便捷。
2. 本次实验要求测量结果保留到一个误差位。比如在测量正弦波的周期和频率的时候，测量时间的最小刻度对应的时间为0.4 ms，这样误差位就0.1这一位。通过实验中的实际测量，我真正理解了如何保留到一个误差位。
3. 使用示波器X-Y模式观察两个不同频率的正弦波的李萨如图形时，很容易发现，李萨如图形随时间变化。这是因为相位差 $\Delta\phi = (\omega_x - \omega_y)t + (\phi_{0x} - \phi_{0y})$ 随频率变化。针对这一点，理论被实验所验证。
4. 感谢吕国伟老师的对我实验结果的检查和在实验过程中的指导。

## 参考文献

- [1] 吕斯骅, 段家祗, 张朝晖. 新编基础物理实验. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [2] 吕斯骅. 全国中学生物理竞赛实验指导书. 北京: 北京大学出版社, 2006.